UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CONCEPTS ET DÉMARCHE D'ÉVALUATION DU POTENTIEL DE RÉSILIENCE D'UNE INFRASTRUCTURE ESSENTIELLE

YANNICK HÉMOND

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

THÈSE PRÉSENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE PHILOSOPHIAE DOCTOR (Ph.D.)

(GÉNIE INDUSTRIEL)

AVRIL 2013

© Yannick Hémond, 2013.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Cette thèse intitulée :

CONCEPTS ET DÉMARCHE D'ÉVALUATION DU POTENTIEL DE RÉSILIENCE D'UNE INFRASTRUCTURE ESSENTIELLE

Présentée par : HÉMOND Yannick

en vue de l'obtention du diplôme de : Philosophae Doctor

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

M. BOURGAULT Mario, Ph.D., président

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

Mme DE SERRES Andrée, Ph.D., membre

M. VALLERAND Andrew L., Ph.D., membre

DÉDICACE

Parce que ces citations représentent bien différentes pensées au sujet de la vie :

Mon père me dit une fois que dans ce monde il y a deux catégories de gens, ceux qui font le travail, et ceux qui en prennent l'éloge. Il me dit alors qu'il faut toujours essayer d'appartenir à la première catégorie; il y'a moins de concurrence.
Indira Gandhi

... a décrit un jour les spécialistes comme « des gens qui en savent de plus en plus au sujet de moins en moins, jusqu'à ce qu'ils en arrivent à tout savoir au sujet de rien. »
Ronald Wright, Brève histoire du progrès

C'est dans la différence, les marges, les périphéries que se construisent l'innovation et l'intelligence...
anonyme

et pour terminer avec le meilleur :

Commençons par nous entendre sur cela : l'éducation vise à former des citoyens pas trop tatas et non pas à envoyer le plus de tatas possible à l'université.
Foglia, La Presse

REMERCIEMENTS

Un doctorat ne s'effectue pas sans la collaboration de différentes personnes. Je tenterai de ne pas en oublier, mais si tel est le cas, sachez que je suis reconnaissant pour toutes les personnes avec qui j'ai pu interagir de près ou de loin au cours de ces dernières années.

Tout d'abord, merci au membre de mon Jury (Benoît, Andrée, Andrew et Mario). Vos commentaires et suggestions ont enrichi cette thèse. Un merci spécial à Mario qui est là depuis le début de mes études comme membre de mon jury. Tes conseils m'ont permis de parfaire mes compétences scientifiques.

Je ne voudrais pas oublier de remercier la Fondation *Next Generation Infrastructures* qui a financé (pour 75 000 euros) les quatre premières années de mon doctorat. La demande de subvention que j'ai soumise et qui a été acceptée m'a permis de me confronter au monde de la recherche subventionnée. L'apprentissage qui en résulte (autant dans la rédaction de la demande que dans celle des rapports de suivi de la recherche et du financement) me sera grandement utile pour le futur.

À toute la gang de l'IRTC, merci beaucoup. Vous m'avez offert l'opportunité de travailler avec vous et j'ai grandement appris. J'espère avoir été à la hauteur pour les nombreux conseils. Au plaisir de collaborer de nouveau.

Un merci spécial également à Fred. Tu as su, par ta présence et tes conseils, me guider tout au long de mon doctorat. Tu as toujours représenté une source d'inspiration pour moi. Merci également à Guillaume qui est parti trop vite. Nos nombreuses discussions et réflexions m'ont ouvert sur de nouvelles perspectives et je t'en remercie énormément.

Luciano, Irène et Gabriel, vous êtes les gardiens d'un grand village de résistants. Sans votre présence, cela ne serait pas pareil. Par vos commentaires et réflexions, vous m'avez tous aidé à un moment ou à un autre et pour cela, merci beaucoup. Continuez à bien encadrer Zebigbos parce que sans vous, ça ne serait pas pareil !

Zebigbos, je n'ai aucune idée comment exprimer toute ma gratitude à ton égard. Je vais tenter le coup, mais je suis certain d'oublier des choses. Pour commencer, merci pour la confiance que tu as eue en mes capacités, j'espère avoir été à la hauteur. Tu m'as appris à devenir un chercheur et

tu seras toujours un modèle pour moi. J'ai également appris qu'il y a toujours une autre manière d'aborder un problème, ce qui fait souvent la différence pour être un meilleur chercheur. Tu as été un excellent mentor. J'ai réussi à me surpasser à tes côtés. Nos nombreuses discussions ont souvent déclenché des réflexions importantes qui m'ont amené à me questionner énormément ! J'espère un jour dépasser le maître, mais je sais que j'ai encore beaucoup de chemin à faire pour y parvenir… Encore une fois, merci pour tout.

Pour terminer, MERCI à toute la petite famille. Sans vous, cela n'aurait aucune signification. Marie-France, tu es arrivée dans ma vie comme un soleil et j'ai eu la chance d'avoir des enfants merveilleux avec toi. Tu as toujours été là pour m'écouter, m'aider à voir le bon côté des choses et m'apprendre à vivre le moment présent. Je ne t'en remercierai jamais assez. Je nous souhaite une vie remplie de bonheur ! Xavier et Ariane, vous m'avez apporté beaucoup malgré votre jeune âge. Vous m'avez fait comprendre le sens de la vie et rien n'est plus important pour moi que votre bonheur et votre bien-être. Vous trois, par votre présence et votre joie de vivre, m'avez fait comprendre l'essentiel de la vie.

Et à tous les autres que j'ai pu involontairement oublier, simplement merci… et au plaisir de se revoir.

RÉSUMÉ

Les infrastructures essentielles (IE) sont au cœur du bon fonctionnement d'une communauté. Leur protection et leur fonctionnement font l'objet de plusieurs écrits depuis une quinzaine d'années. Au cours des dernières années, il y a eu une évolution dans les travaux de recherche qui ont conduit d'une vision axée sur la protection des IE vers une autre davantage axée sur la résilience de ces mêmes infrastructures. La résilience peut se définir comme l'aptitude d'un système à maintenir ou rétablir un fonctionnement acceptable. Dans le cas des IE, ce fonctionnement acceptable est très important compte tenu de leurs interdépendances et de leur importance pour le fonctionnement de l'ensemble des composantes d'une communauté (économie, sociale, santé, environnement, population, etc.).

Cette thèse présente une démarche pour évaluer le potentiel de résilience d'une IE. L'objectif étant d'évaluer le potentiel de résilience d'une IE pour comprendre comment cela peut influencer sa capacité de maintenir ou rétablir un fonctionnement acceptable. Un autre objectif visé par cette démarche Le but de la démarche est de s'assurer d'une complémentarité avec différentes méthodes d'évaluation existantes. La démarche proposée guide les gestionnaires des IE pour qu'ils puissent établir un portrait du système, des vulnérabilités et des capacités de l'IE. À partir de ces portraits, trois types d'évaluation sont possibles, soit un état des connaissances, une analyse de la cohérence et une analyse de la performance.

Dans ces travaux, l'analyse de la cohérence constitue une nouveauté. La cohérence entre les différents éléments de la démarche est essentielle pour qu'un fonctionnement acceptable soit maintenu ou rétabli. Cette analyse de la cohérence peut également s'intégrer dans d'autres méthodes d'évaluation en renforçant le résultat qui en découle. Les premières validations effectuées pour cette analyse sont très concluantes. Sans cohérence, il devient difficile de statuer sur le potentiel de résilience d'une IE. Le contexte des interdépendances demande que les différents éléments (mesures, actions, plans, procédures, etc.) soient cohérents entre les IE pour éviter, entre autres, des problèmes lors d'une intervention et de la mise en œuvre de ces éléments.

Diverses autres applications sont envisageables pour cette démarche. Une organisation peut posséder des interdépendances internes élevées ou évoluer dans un milieu interdépendant. Ces types d'organisations pourraient appliquer la méthode et renforcer les évaluations qu'elles effectuent.

ABSTRACT

Critical infrastructure (CI) are the keystone of a society's well functioning. For over 15 years, their operation and their protection have been the subject of several works and studies. In recent years, there has been an evolution in the researches regarding CI that led from a vision focusing on the protection of these infrastructures towards a vision focusing on their resilience. Resilience can be defined as the ability of a system to maintain or restore an acceptable level of operation or functioning. In the case of CI, acceptable performance is very important considering their interdependencies and their importance for the functioning of all parts of the society (economic, social, health, environment, population, etc.).

This thesis presents an approach to assess the potential resilience of CI. The objective is to assess the potential of resilience of CI to understand how this can affect their ability to maintain or restore an acceptable level of functioning. Another objective of this process is to ensure its complementarity with other methods of assessment.

The approach suggested in this document guides managers of CI in the elaboration of portraits of their system, their vulnerabilities and their capabilities. From these portraits, three types of evaluation are possible: a state of knowledge regarding the system, an analysis of the coherence (or consistency) and a performance analysis.

In this work, the coherence analysis is an innovation. Coherence between the different elements of the process is essential to ensure that an acceptable level of functioning of the system (or performance) is maintained or restored. The coherence analysis can also be integrated into other methods of evaluation in order to reinforce the results they produce. The first validation results of this analysis are conclusive. Without the notion of coherence, it becomes difficult to evaluate the potential of resilience of a CI. The context of interdependences requires that different elements (actions, plans, procedures, etc.) are consistent between them to avoid problems during an intervention and the implementation of these elements.

Various other applications are possible for this approach. Many organizations operate in a context with many internal interdependencies or evolve in an interdependent environment. These types of organizations could apply this method in order to reinforce the assessments they make.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE III

REMERCIEMENTS IV

RÉSUMÉ VI

ABSTRACT VII

TABLE DES MATIÈRES VIII

LISTE DES TABLEAUX XI

LISTE DES FIGURES XII

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS XIII

LISTE DES ANNEXES XIV

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 LA RÉSILIENCE ET LES INFRASTRUCTURES ESSENTIELLES 3

1.1 Les infrastructures essentielles 3

1.1.1 La gestion des interdépendances entre IE 5

1.2 Résilience et infrastructure essentielle 5

1.3 Travaux sur la résilience du *Centre risque & performance* 6

1.3.1 Méthodologie d'évaluation de la résilience initiale du CRP 8

1.4 L'évaluation de la résilience spécifique aux IE 9

1.4.1 Méthode du *Argonne National Laboratory* 9

1.4.2 Méthode du Centre de recherche sur les Risques et les Crises : la grille d'analyse de la résilience 13

CHAPITRE 2 PROBLÉMATIQUE ET RECHERCHE 16

2.1 Contexte de recherche 16

2.2 Définition du problème 16

2.3 But de la recherche 17

2.4 Objectifs de recherche 17

2.5 Postulats de recherche 18

2.6 Méthodologie de recherche 18

2.6.1 Principes épistémologiques 19

2.6.2 Théories, concepts et grilles d'analyses 20

2.6.3 Dispositif expérimental 20

2.6.4 Règles méthodologiques 20

2.6.5 Combinaison avec une autre approche 21

2.6.6 Contexte de recherche du doctorat 21

2.7 Articles scientifiques 22

CHAPITRE 3 CONCEPTS DU POTENTIEL DE RÉSILIENCE D'UNE INFRASTRUCTURE ESSENTIELLE 24

3.1 Caractérisation du potentiel de résilience 24

3.1.2 Approches 26

3.2 Concepts du potentiel de résilience 27

3.2.1 Acceptation 28

3.2.2 Anticipation 29

3.2.3 Planification 29

CHAPITRE 4 DÉMARCHE D'ÉVALUATION DU POTENTIEL DE RÉSILIENCE D'UNE INFRASTRUCTURE ESSENTIELLE 30

4.1 Portrait du système 31

4.2 Portrait des vulnérabilités 33

4.2.1 Vulnérabilité interne 33

4.2.2 Vulnérabilité externe 35

4.3 Portrait des capacités 36

4.4 Évaluation du potentiel de résilience 42

4.4.1 État des connaissances : portrait du système et des vulnérabilités 43

4.4.2 Analyse de la performance 45

4.4.3 Analyse de la cohérence 47

4.5 Vers une représentation du potentiel de résilience 49

CHAPITRE 5 VALIDATION DES CONCEPTS DE LA DÉMARCHE 52

5.1 Portrait du système pour le système essentiel « finance » 52

5.2 Validation de la notion de cohérence et des concepts de résilience 53

5.3 Analyse de cohérence a posteriori 54

CHAPITRE 6 DISCUSSION GÉNÉRALE 56

6.1 Originalité des travaux 56

6.2 Retour sur les objectifs et les postulats 56

6.3 Complémentarité de la démarche avec les autres méthodes 58

6.4 Limites de la recherche 59

6.5 Quelques pistes pour de futurs travaux de recherche 60

6.5.1 Raffinement de l'analyse de cohérence 61

6.5.2 Raffinement du portrait du système 61

6.5.3 Exploration de la notion d'adaptation 62

6.5.4 Analyse de la performance 62

6.6 Applications possibles 63

CONCLUSION 64

RÉFÉRENCES 66

ANNEXES 72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Exemple de fonctions (Petit, 2009) 7

Tableau 1.2: Méthode d'origine d'évaluation de la résilience 8

Tableau 1.3: Décomposition de l'indice de résilience du *Argonne National Laboratory* (traduction libre de Petit, Eaton, Fisher, McAraw & Collins (2012)) 11

Tableau 1.4: Exemple d'items d'analyse pour la capacité à surveiller (traduction libre de Hollnagel, 2011). 13

Tableau 4.1: Exemple de tableau pour le portrait du système 33

Tableau 4.2: Exemple d'éléments pour les vulnérabilités internes 35

Tableau 4.3: Exemple de tableau pour les vulnérabilités externes 36

Tableau 4.4: Éléments de la capacité d'anticipation 38

Tableau 4.5: Éléments de la capacité de réponse 39

Tableau 4.6: Éléments de la capacité d'adaptation 40

Tableau 4.7: Portrait du système, des vulnérabilités et des capacités 41

Tableau 4.8: État des connaissances pour chacun des portraits 44

Tableau 5.1: Évolution de la démarche initiale d'évaluation de la résilience 53

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Exemple de tableaux de bord avec le découpage de la résilience (Department of Homeland Security, 2012).....12

Figure 1-2: Grille d'analyse pour la capacité à surveiller (Hollnagel, 2011).....14

Figure 1-3: Grille d'analyse pour les quatre capacités (Hollnagel, 2011) 15

Figure 3-1: Composantes du potentiel de résilience d'une IE 28

Figure 4-1: Démarche d'évaluation du potentiel de résilience d'une IE.....31

Figure 4-2: Courbe de conséquences pour une ressource utilisée X.....34

Figure 4-3: Représentation des capacités regroupées par dimensions de sécurité civile 37

Figure 4-4: Mise en perspective des trois étapes de l'évaluation dans le portrait global de la démarche 43

Figure 4-5: Exemple de tableau de bord représentant l'état de potentiel de résilience d'une IE...50

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CRP	*Centre risque & performance*
IE	Infrastructure essentielle
OSCQ	Organisation de la sécurité civile du Québec

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 - HÉMOND, Y., & ROBERT, B. (2012). PREPAREDNESS : THE STATE OF THE ART AND FUTURE PROSPECTS. *DISASTER PREVENTION AND MANAGEMENT*, *21*(4), 404–417.

ANNEXE 2 - HÉMOND, Y., & ROBERT, B. (2012). EVALUATION OF STATE OF RESILIENCE FOR A CRITICAL INFRASTRUCTURE IN A CONTEXT OF INTERDEPENDENCIES. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CRITICAL INFRASTRUCTURES*, *8*(2/3), 95–106.

ANNEXE 3 - HÉMOND, Y. & ROBERT, B. (ACCEPTÉ POUR PUBLICATION). ASSESSMENT PROCESS OF THE RESILIENCE POTENTIAL OF CRITICAL INFRASTRUCTURES. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CRITICAL INFRASTRUCTURES*. ACCEPTÉ POUR PUBLICATION. FÉVRIER 2013.

ANNEXE 4 - AUTRES CONTRIBUTIONS SCIENTIFIQUES

INTRODUCTION

Le cadre de Hyogo promulgué en 2005 par les Nations-Unies (United Nations, 2005) a ouvert la voie à une multitude de politiques et de stratégies de la part des gouvernements à travers le monde. Que ce soit en Australie (Australian Government, 2010), en Angleterre (Adger, Brooks, Bentham, Agnew & Eriksen, 2004), aux États-Unis (The White House, 2011) ou au Canada (Public Safety Canada, 2009), les gouvernements ont opté pour renforcer la résilience des infrastructures essentielles (IE) sur leur territoire dans une optique de protection de la population. De plus, les instances de normalisation ont emboité le pas et plusieurs normes ont été élaborées avec pour objectif d'améliorer la résilience (ISO 31000 – Management du risque, CSA Z-1600-08 – Programmes de gestion des mesures d'urgence et de continuité des activités, NFPA 1600 – Standard on Disaster-Emergency Management and Business Continuity Programs, BS 25999 – Business continuity management, ISO 22301 – Societal security - business continuity management systems).

Les travaux des dernières années sur la protection des IE et la gestion de leurs interdépendances (Di Mauro, C., et al., 2010 ; Petit, Buehring, Whitfield, Fisher & Collins, 2011 ; Robert, Morabito & Cloutier, 2012) ont évolué vers une évaluation de la résilience de ces IE (Robert, B., et al., 2009 ; Therrien, 2010 ; Petit, Eaton, Fisher, McAraw & Collins, 2012 ; Carlson, L., et al., 2012). Différents travaux, dont ceux du *Argonne National Laboratory* (Petit, Eaton, Fisher, McAraw et Collins, 2012) et d'Hollnagel (2011) sur l'ingénierie de la résilience, ont exploré différentes méthodes et démarches pour évaluer la résilience d'une IE. Tout comme la continuité opérationnelle, la gestion des risques et les mesures d'urgence, la résilience doit s'inscrire dans un processus dynamique d'évaluation : processus qui entraîne de réels changements structurels au sein des IE. L'évaluation ne doit pas être vue comme une fin en soi, mais plutôt comme un cycle ou chaque étape débouche sur une nouvelle évaluation.

Comme le mentionne Gibson & Tarrant (2010), tout nouveau champ de recherche génère une variété de définitions, concepts, méthodes, systèmes de gestion et outils de mesure et la résilience n'y fait pas exception. La démarche d'évaluation du potentiel de résilience proposée tente de se distinguer par :

- la simplicité de mise en œuvre et sa complémentarité avec d'autres méthodes ou démarches ;

- son approche orientée sur la capacité de gérer les conséquences et de s'adapter face à un environnement changeant ;
- son application spécifique à une IE.

L'évaluation se distingue également par une analyse de la cohérence entre les différentes composantes de la démarche. Le but étant de développer des outils d'appréciation dynamique de la résilience, complémentaires à ceux existants.

Cette thèse présente le cadre théorique de la démarche d'évaluation du potentiel de résilience appliqué aux IE. Cette démarche est la continuité des travaux sur la gestion des interdépendances (Robert, Morabito & Cloutier, 2012) entre IE du *Centre risque & performance* (CRP) de l'École Polytechnique de Montréal. De plus, cette thèse bénéficie des évolutions amenées par les travaux sur l'évaluation de la résilience des systèmes essentiels[1] (IE) gouvernementaux (Pinel, 2009 ; Pairet, 2009 ; Catalan, 2011). La démarche propose d'évaluer le potentiel de résilience d'une IE en fournissant des outils d'aide à la décision et à la gestion.

La thèse fait suite à trois articles scientifiques, dont deux ont été publiés et un troisième a été accepté pour publication. Les articles présentent l'évolution du développement des concepts et de la démarche d'évaluation du potentiel de résilience. La thèse se découpe en six chapitres. Le premier présente une brève revue de littérature qui complète celle présentée dans chacun des articles. Cette revue délimite le cadre dans lequel ces travaux de recherche s'inscrivent. Le chapitre 2 présente la problématique de recherche et chacun des articles. Le troisième chapitre présente les concepts qui encadrent la démarche d'évaluation du potentiel de résilience présentée dans cette thèse pour continuer avec le chapitre 4 qui est consacré à la démarche elle-même. Le chapitre 5 présente quelques applications qui ont été faites de la démarche pour terminer avec une discussion générale sur l'apport de ces travaux et les questions qui demeurent en suspens et qui nécessiteront d'autres travaux de recherche.

---

[1] Les termes système essentiel et infrastructure essentielle sont des synonymes. Le terme système essentiel a été choisi et utilisé par le gouvernement du Québec tandis que le terme infrastructure essentielle est celui qui est en usage dans la majorité des pays et que l'on retrouve le plus souvent dans la littérature scientifique. Dans cette thèse, les deux termes réfèrent aux mêmes éléments, mais l'utilisation du terme infrastructure essentielle est privilégiée pour assurée une plus grande diffusion des travaux.

CHAPITRE 1 LA RÉSILIENCE ET LES INFRASTRUCTURES ESSENTIELLES

La résilience et les IE font l'objet de nombreux écrits scientifiques. Il est ardu d'en faire le recensement complet. La revue de littérature présentée dans ce chapitre se veut un complément à celle de l'annexe 1 qui présente un article scientifique publié concernant l'évolution du terme résilience appliqué aux IE, au domaine des mesures d'urgence et à la continuité des opérations. Elle sera donc orientée sur le contexte de recherche ayant mené aux résultats présentés dans cette thèse. Dans un premier temps, l'IE sera définie pour ensuite poursuivre avec les travaux du CRP concernant la gestion des interdépendances entre IE et la résilience des systèmes essentiels du gouvernement du Québec. Cette revue de la littérature se terminera par la présentation des deux principales méthodes d'évaluation de la résilience des IE, c'est-à-dire celle du *Argonne National Laboratory* et celle d'Hollnagel.

Les travaux de recherche exécutés dans le cadre de ce doctorat s'inscrivent dans la continuité des travaux du CRP. Le CRP travaille depuis 2008 sur la notion de résilience des IE et quelques travaux de maîtrise ont été publiés (Pairet, 2009 ; Pinel, 2009 ; Catalan, 2011). Les résultats obtenus fournissent une démarche d'évaluation concrète et opérationnelle du potentiel de résilience des IE.

1.1 Les infrastructures essentielles

Les IE sont définies en termes des ressources qu'elles fournissent, ressources qui sont essentielles au bon fonctionnement de la société (Organisation de la Sécurité Civile du Québec [OSCQ], 2009). Il est important de comprendre les différents rôles des IE dans la société pour évaluer leur potentiel de résilience. Les IE représentent les secteurs stratégiques dans lesquels aucune perturbation prolongée ne peut être tolérée, car ils assurent, entre autres, le bon fonctionnement de cette société et, surtout, la sécurité et le bien-être de la population. Ces secteurs sont composés de plusieurs entreprises œuvrant pour la fourniture d'une ressource essentielle. Par exemple, le secteur des télécommunications, au Québec, est composé entre autres des entreprises Bell Canada, Telus, Rogers, Vidéotron, etc.

Au Québec, elles sont au nombre de quinze et sont regroupées en missions. En voici la liste :

- activités économiques ;
- aide financière ;
- bioalimentaire ;
- communication ;
- eaux, matières dangereuses et résiduelles ;
- électricité ;
- énergie ;
- évacuation massive, réintégration et sécurité ;
- habitation ;
- santé ;
- soutien à l'Organisation de la sécurité civile du Québec (OSCQ) ;
- soutien aux services aux personnes sinistrées ;
- soutien technique aux municipalités ;
- télécommunications ;
- transport.

Chaque gouvernement a sa propre manière de définir les IE et de les regrouper. Brunner & Suter (2008) ont recensé au-delà de trente-deux politiques de protection des IE dans leur rapport. L'objectif ici n'étant pas d'en faire l'énumération, mais bien de comprendre leur importance pour le bon fonctionnement de la société et de cadrer le contexte de recherche.

La principale caractéristique des IE réside dans leur fonctionnement quasi continuel et surtout dans la tolérance quasi nulle pour une communauté d'une défaillance de longue durée ou d'une interruption d'une de ces IE. Cela constitue également la principale raison qui pousse plusieurs gouvernements à évaluer leur résilience et à s'assurer de leur bon fonctionnement. La description des IE, leur importance pour la société et la genèse des travaux de recherche dans ce domaine ont déjà été largement explicitées dans la thèse de Petit (2009) et dans différents articles du CRP

(Robert, Morabito & Quenneville, 2007 ; Robert, Calan & Morabito, 2008 ; Robert & Morabito, 2010a ; Robert, Morabito & Cloutier, 2012).

1.1.1 La gestion des interdépendances entre IE

Le CRP travaille depuis le début des années 2000 sur la problématique des interdépendances entre IE. Une méthodologie d'évaluation des interdépendances entre IE a été développée (Robert, Calan & Morabito, 2008 ; Robert & Morabito, 2009 ; Robert & Morabito, 2010a ; Robert & Morabito, 2010b ; Robert & Morabito, 2011 ; Robert, Morabito & Cloutier, 2012). Elle identifie, sur un territoire, la propagation d'une perturbation d'une ressource essentielle dans le temps et l'espace et les conséquences sur les autres IE présentes sur le territoire. La méthodologie a été appliquée à Montréal avec plus d'une dizaine de partenaires représentant divers secteurs des IE (télécommunications, énergie, transport, eau, sécurité civile).

Les interdépendances sur lesquelles le CRP a principalement travaillé sont les interdépendances fonctionnelles (échange direct de ressources entre les IE) et géographiques (proximité spatiale des infrastructures). Il existe deux autres types d'interdépendances, celles logiques et celles cybernétiques. La gestion des interdépendances entre IE est hautement multidisciplinaire et demande d'avoir une vision globale des différentes problématiques à traiter. Le CRP a développé différentes approches et stratégies pour être en mesure de travailler dans ce contexte. La principale approche a été de respecter l'expertise de chaque IE et de ne pas s'immiscer dans leur gestion. L'approche par conséquences (Robert, Morabito & Quenneville, 2007) a permis d'orienter les travaux vers les conséquences associées aux pannes de ressources et sur la propagation temporelle et géographique de ces conséquences (effets domino). Le constat qui ressort de cette mise en commun d'expertises est qu'une vision globale est nécessaire et que celle-ci peut-être renforcée par la résilience. Pour cela, il est fondamental de respecter et d'intégrer les analyses de risques exécutées par chaque organisation.

1.2 Résilience et infrastructure essentielle

La résilience des IE s'inscrit dans un cadre plus large de résilience des communautés. Ce terme est au cœur du cadre de Hyogo (United Nations, 2005) que l'Organisation des Nations-Unies (ONU) a adopté en 2005. Il a initié divers travaux pour les années 2005-2015 en vue de réduire les risques de catastrophes à travers le monde. La résilience des communautés englobe un large

spectre d'éléments (économiques, humains, sociaux, environnementaux, IE, etc.) et vise à s'assurer que chaque individu vit dans une communauté en mesure de le protéger tant du point de vue de son bien-être, de sa sécurité et de sa santé. Dans ce cadre, l'ONU définit la résilience comme : *The capacity of a system, community or society potentially exposed to hazards to adapt, by resisting or changing in order to reach and maintain an acceptable level of functioning and structure. This is determined by the degree to which the social system is capable of organising itself to increase this capacity for learning from past disasters for better future protection and to improve risk reduction measures* (United Nations, 2005, p. 4). Cette définition a inspiré de nombreuses autres définitions pour les pays membres en l'adaptant à leur contexte et à leurs objectifs (entre autres, pour l'évaluation de la résilience).

Dans cette optique, le Québec définit la résilience des IE comme étant : *l'aptitude d'un système à maintenir ou rétablir un fonctionnement acceptable malgré des perturbations* (OSCQ, 2009). Cette définition implique que les gestionnaires des IE ont caractérisé le fonctionnement acceptable de leur système, qu'ils ont déterminé les aptitudes pour le maintien ou le rétablissement en cas de perturbations et qu'ils acceptent certaines perturbations. La section qui suit présente les travaux du CRP en matière de résilience des systèmes essentiels.

1.3 Travaux sur la résilience du *Centre risque & performance*

Le CRP travaille depuis maintenant plus de quatre ans sur la résilience appliquée aux systèmes essentiels du gouvernement du Québec. Ces travaux de recherche ont fait l'objet de publications en vue de proposer une démarche pour évaluer leur résilience. Les premiers travaux sont de Guichardet (2009) qui a, entre autres, introduit la notion d'ensemble fonctionnel dans l'approche système qui est utilisée par le CRP. Cette approche système consiste à décomposer une IE en différents ensembles fonctionnels auxquels des rôles et des fonctions pour la fourniture d'une ressource sont attribuées. Ces fonctions sont dans les faits des grandes catégories d'activités qui peuvent être remplies par des équipements, des services, des départements, etc. Le tableau 1.1 présente des exemples de fonctions.

Tableau 1.1: Exemple de fonctions (Petit, 2009)

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

Cette approche système aide à mieux comprendre les interactions entre les éléments internes d'une IE pour fournir une ressource. Elle a été utilisée dans les travaux de recherche de Pairet (2009) et Catalan (2011) sur la démarche de résilience des systèmes essentiels du gouvernement du Québec.

Pairet (2009), dans ses travaux, a défini les étapes de la démarche initiale d'évaluation de la résilience. Cette démarche consistait en l'établissement du portrait du système et proposait la manière de décomposer l'IE en ensembles fonctionnels et de caractériser les ressources qu'elle utilise. Par la suite, la démarche prévoyait l'identification des ressources fournies par l'IE et la caractérisation des niveaux de perturbation possibles et des défaillances potentielles suites à ces perturbations.. Pour terminer, la démarche proposait une étude de la gestion des défaillances axée sur les mesures de sécurité. En ce qui concerne l'évaluation de la résilience, le choix portait sur six études, soit :

1. connaissance du système ;
2. capacité à maintenir ses activités ;
3. capacité à rétablir ses activités ;
4. capacité d'anticipation ;
5. capacité d'acceptation ;
6. capacité de planification.

Le résultat de ces études constitue l'état de résilience pour une IE. Ayant été validés uniquement sur une IE fictive (usine d'eau potable), ces travaux ont établi les bases pour entamer la réflexion

et amorcer des applications concrètes sur les différentes IE composant l'OSCQ. Les travaux de Catalan (2011) sur le système essentiel « finance » ont enrichi les premières étapes de la démarche initiale développée par Pairet (2009). Ils ont permis de redéfinir les étapes suivantes et de proposer différentes représentations possibles de l'état de résilience. Ces travaux ont servi également à caractériser une IE et à mieux comprendre ce qu'implique l'application d'une telle démarche pour les gestionnaires. Ils ont fait ressortir l'importance de la connaissance et de l'analyse de la cohérence dans la démarche d'évaluation. Les résultats des travaux de Catalan (2011) sont détaillés dans le chapitre 5.

1.3.1 Méthodologie d'évaluation de la résilience initiale du CRP

Suite aux travaux de Pairet (2009), le CRP a produit un guide méthodologique en 2009 (Robert, B., et al., 2009). Ce guide présente la première méthode d'évaluation de la résilience. Cette méthode est présentée dans le tableau 1.2.

Tableau 1.2: Méthode d'origine d'évaluation de la résilience

Étapes	**Description**
Portrait du système	• Définition du système • Identification et décomposition des principales ressources fournies • Identification des ensembles fonctionnels
Études des ressources fournies et utilisées	• Caractérisation des ressources fournies et de leur mode de dégradation • Caractérisation des ressources utilisées et de leur mode de dégradation • Évaluation des impacts et des délais d'affectation
Gestion des défaillances	• Identification des éléments critiques • Caractérisation des mesures de prévention • Caractérisation des mesures de protection
Évaluation de la résilience	• Connaissance du système • Capacité à maintenir ses activités • Capacité à rétablir ses activités • État de résilience du système

Suite aux travaux de Pairet (2009) et de Catalan (2011), deux constats ressortent des différentes applications de cette méthode. Premièrement, sa linéarité complique l'évaluation qui en résulte, c'est-à-dire que l'on obtient une première évaluation de la résilience qu'à la fin du processus. Or, l'évaluation de la résilience doit intervenir dès le début de la démarche et servir de guide aux gestionnaires tout au long du processus. Deuxièmement, l'établissement du portrait du système

est primordial pour soutenir une éventuelle analyse de cohérence dans le processus. Il s'agit là d'un des principaux constats de Catalan (2011). Cette analyse de cohérence est explicitée dans le chapitre 4 de cette thèse.

Les différentes étapes de la méthode ont été réécrites étant donné l'évolution des concepts et de l'approche pour l'évaluation du potentiel de résilience qui a été adoptée. L'application de la démarche initial qui a été faite par Catalan (2011) a orienté les résultats de recherche présentés dans cette thèse sur le concept d'analyse de la cohérence, la définition des capacités nécessaires pour assurer un potentiel de résilience et l'analyse de la performance de ces capacités.

1.4 L'évaluation de la résilience spécifique aux IE

Il y a principalement deux unités de recherche qui travaillent spécifiquement sur la résilience des IE et pour lesquelles la littérature scientifiques permet une présentation complète des travaux, soit le *Argonne National Laboratory* (Petit, Eaton, Fisher, McAraw & Collins, 2012) et le Centre de recherche sur les Risques et les Crises (Hollnagel, 2011). Plusieurs autres travaux traitent de la résilience organisationnelle prise au sens large (McManus, Seville, Vargo & Brunsdon, 2008 ; Tillement, Cholez & Reverdy, 2009 ; Stephenson, Vargo & Seville, 2010 ; Lee, Vargo & Seville, 2013), mais les IE présentent des caractéristiques spécifiques qui doivent être prises en compte. Ces différentes méthodes sont d'ailleurs abordées par Pairet (2009) et Catalan (2011) dans leur mémoire respectif. Cette section présentera donc les approches du *Argonne National Laboratory* et d'Hollnagel uniquement. Le choix de présenter ces deux méthodes est orienté par la maturité de leurs travaux. La méthode du *Argonne National Laboratory* est la seule méthode complète qui est présentement appliquée à un nombre élevé d'IE ; la méthode d'Hollganel présente une méthode d'évaluation basée sur différentes analyses de capacité et elle est principalement utilisée dans le contexte européen.

1.4.1 Méthode du *Argonne National Laboratory*

L'Infrastructure Assurance Center de *l'Argonne National Laboratory* a développé, en partenariat avec l'U.S. *Department of Homeland Security* (DHS), différents indicateurs caractérisant la protection, la résilience, et de manière plus globale, les risques associés aux IE. Ces indices sont utilisés dans divers programmes du DHS tel que le *Regional Resiliency Assessment Program* (RRAP) qui, comme son nom l'indique, vise à évaluer la résilience d'une région, mais aussi à

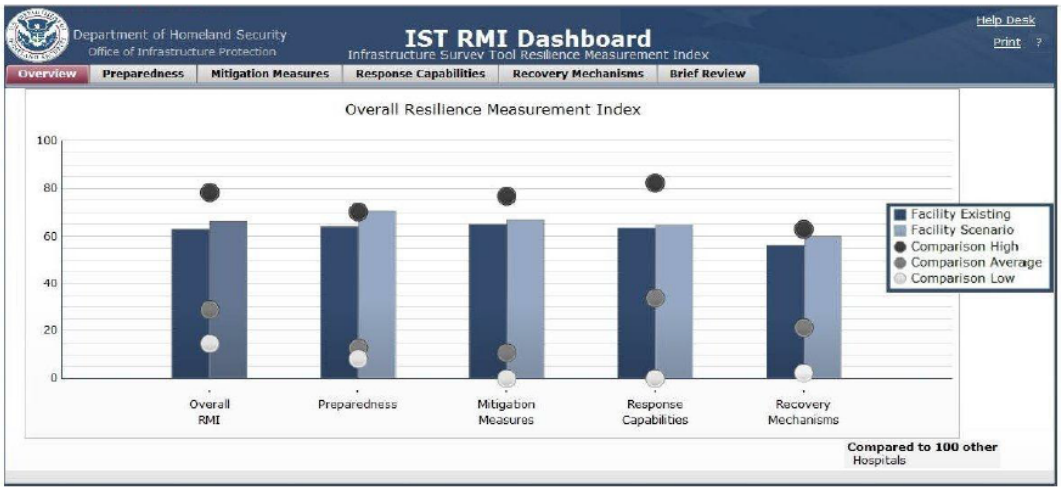
proposer des options pour l'améliorer (Department of Homeland Security [DHS], 2013). Les indices sont développés pour caractériser tous types d'IE et tous types d'aléas (naturels et humains). Le premier de ces indicateurs, développé en 2009, est un indice des mesures de protection des infrastructures, le *Protective Measures Index* (PMI), qui évalue les actions mises en place par une IE pour diminuer sa vulnérabilité (Petit, Buehring, Whitfield, Fisher, Collins, 2011). Cet indice, qui caractérise les éléments les plus faibles d'une IE, est obtenu en utilisant les principes de l'analyse multicritères et de l'aide à la décision. Pour cela, il intègre les informations collectées à l'aide de *l'Infrastructure Survey Tool* (IST), un questionnaire d'environ 1 600 éléments caractérisant le fonctionnement de l'IE étudiée. Cette information est collectée par les « *Protective Security Advisosrs* (PSAs) » du DHS en 4 à 8 heures lors d'une visite des installations avec le propriétaire de l'IE. Le PMI varie de 0 à 100, 100 caractérisant la meilleure protection et 0 la moins bonne. Ceci permet d'effectuer des comparaisons entre les IE de même type. L'évolution de l'approche de la sécurité intérieure aux États-Unis a mené au développement, en 2010, d'un second indice (*Resilience index)* caractérisant la résilience des IE. Cet indice utilise la définition du *National Infrastructure Advisory Council* (NIAC) qui caractérise la résilience d'une IE selon trois critères : la robustesse, le rétablissement et les ressources (National Infrastructure Advisory Council, 2009). L'approche employée pour obtenir cet indice est la même que celle utilisée pour le PMI. Les données collectées avec l'IST sont organisées en quatre niveaux d'information pour définir les niveaux de robustesse, de ressource et de rétablissement de l'IE et son indice de résilience variant de 0 à 100. Le tableau 1.3 présente un exemple de décomposition issue de Petit, Eaton, Fisher, McAraw & Collins (2012).

Tableau 1.3: Décomposition de l'indice de résilience du *Argonne National Laboratory* (traduction libre de Petit, Eaton, Fisher, McAraw & Collins (2012))

Niveau 1	**Niveau 2**	**Niveau 3**	**Niveau 4**
Robustesse	-Redondance -Prévention -Maintien des éléments clés	…	…
Rétablissement	-Restauration -Coordination	…	…
Ressource	-Formation / exercice	-Formation sur les plans de continuité -Formation sur les plans de mesures d'urgence -Formation sur les plans de sécurité -Exercice sur les plans de mesures d'urgence -Exercice sur les plans de sécurité -Test sur le système	…
		-Exercice sur les plans de continuité	-Exercice de table sans répondant externe (o/n) -Exercice de table avec répondant externe (o/n) -Exercice fonctionnel sans répondant externe (o/n) -Exercice fonctionnel avec répondant externe (o/n) -Exercice à déploiement sans répondant externe (o/n) -Exercice à déploiement avec répondant externe (o/n)
	-Surveillance -Mesure de protection -Stock -Réponse -Nouvelles ressources -Site alternatif	…	…

Chaque composante est ainsi divisée pour en arriver au niveau 4 avec des questions de type oui-non (o/n). Pour parvenir à bâtir l'indice, un poids est accordé à chaque composante de chaque niveau par des experts issus du milieu. Le poids caractérise l'importance relative, en termes de résilience, de chaque composante de l'indice en comparaison des autres composantes de même niveau. De la combinaison des réponses et des poids résulte un indice de résilience pour l'IE. Cet indice peut par la suite être comparé à des IE similaires au sein d'un secteur donné. Le résultat est fourni sous forme d'un outil interactif, le *Resilience Index Dashboard*, qui permet aux

gestionnaires de l'IE de simuler des changements dans son IE pour constater les effets sur l'indice de résilience (voir figure 1-1). Après la mise en œuvre de cet indice sur le terrain et l'analyse des premiers résultats, cet indice a été modifié pour refléter les préoccupations des gestionnaires d'IE.



RMI Dashboard for Displaying Results of ECIP/IST Analysis

Figure 1-1: Exemple de tableaux de bord avec le découpage de la résilience (Department of Homeland Security, 2012).

Ce nouvel indice, le *Resilience Measurement Index* (RMI), intègre plus d'éléments caractérisant la continuité opérationnelle et les dépendances physiques des IE et se base sur la définition de résilience proposée par *l'Argonne National Laboratory* :

> *« the ability of an entity — e.g., asset, organization, community, region — to anticipate, resist, absorb, respond to, adapt to, and recover from a disturbance."* (Carlson, L., et al., 2012).

En se basant sur cette nouvelle définition, le RMI est organisé selon quatre composantes : préparation (anticipation), mesures de mitigation (résistance et absorption), capacité de réponse (réponse et adaptation) et mécanismes de rétablissement (Petit, Fisher & Norman, 2012). De plus, ce changement est compatible avec les phases de sécurité civile (ou mesures d'urgence) qui sont traditionnellement utilisées par les gestionnaires des IE.

En se basant sur les mêmes principes d'aide à la décision multicritères, l'*Argonne National Laboratory* a développé d'autres indicateurs, tels que l'*Emergency Services Sector Capabilities*

Index (ESSCI) et le *Public Preparedness Index* (PPI) (Collins, M., et al., 2011*;* Collins & Petit; 2011). Ces deux indices, à la différence du PMI et du RMI, ne se focalisent pas sur les caractéristiques des IE. Ils caractérisent les capacités des services d'urgence et de la population à être résilients.

Ces travaux sont les plus complets concernant l'évaluation de la résilience d'une IE et leur représentation. Ils sont d'ailleurs largement utilisés aux États-Unis, étant donné le contexte dans lequel ils ont été effectués. Le DHS recommande fortement à chaque propriétaire d'une IE d'utiliser ces outils pour rendre plus résiliente la communauté américaine.

1.4.2 Méthode du Centre de recherche sur les Risques et les Crises : la grille d'analyse de la résilience

Hollnagel (2011) présente une méthode d'évaluation de la résilience basée sur le concept d'ingénierie de la résilience. Pour parvenir à l'évaluation, il propose d'analyser quatre capacités essentielles qui sont : la réponse, l'anticipation, la surveillance et l'apprentissage. Par la suite, il propose différents items pour l'analyse de chacune d'elles. Le tableau 1.4 présente un exemple pour la capacité à surveiller.

Tableau 1.4: Exemple d'items d'analyse pour la capacité à surveiller (traduction libre de Hollnagel, 2011).

	Items
Liste d'indicateurs	Comment les indicateurs ont été définis? (Par l'analyse, par la tradition, par consensus de l'industrie, par le gouvernement, selon les normes internationales, etc.)
Pertinence	Quand la liste a-t-elle été créée ? Combien de fois a-t-elle été révisée ? Sur quelle base est-elle révisée ? Est-ce que quelqu'un est responsable de sa mise à jour ?
Stabilité	Est-ce que les effets qui sont mesurés sont transitoires ou permanents ? Comment cela est-il déterminé ?
…	…

Pour représenter la grille d'analyse, la première étape consiste à bien définir le système à l'étude selon les points suivants :

- la structure organisationnelle ;
- les personnes et les ressources impliquées ;
- l'horizon de temps pour les activités normales ;

- etc.

La deuxième étape consiste à déterminer les questions les plus pertinentes pour l'analyse de chaque capacité. L'objectif étant de s'assurer que chaque particularité de l'organisation et le domaine dans lequel elle évolue soient pris en compte. La troisième étape consiste à définir une échelle (p. ex. excellent, satisfaisant, acceptable, pas acceptable, insuffisant, ne sais pas) en vue de l'évaluation. Une fois les réponses obtenues pour chaque question de chaque capacité, une grille d'analyse pour chaque capacité et une grille générale peuvent être construites. La figure 1-2 montre un exemple de grille pour la capacité à surveiller.

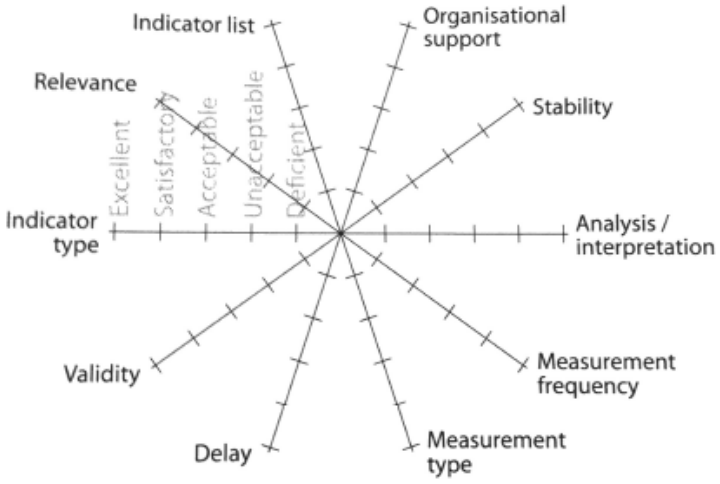


Figure 1-2: Grille d'analyse pour la capacité à surveiller (Hollnagel, 2011)

Par la suite, il est possible de ramener le résultat global de chaque grille sous une grille globale (figure 1-3). Cette représentation peut être obtenue en assignant une notation numérique à chaque niveau et en effectuant, par exemple, une moyenne pour l'ensemble des réponses. Un système de poids assigné à chacune des composantes de la capacité peut également prendre en compte l'importance relative de chacune.

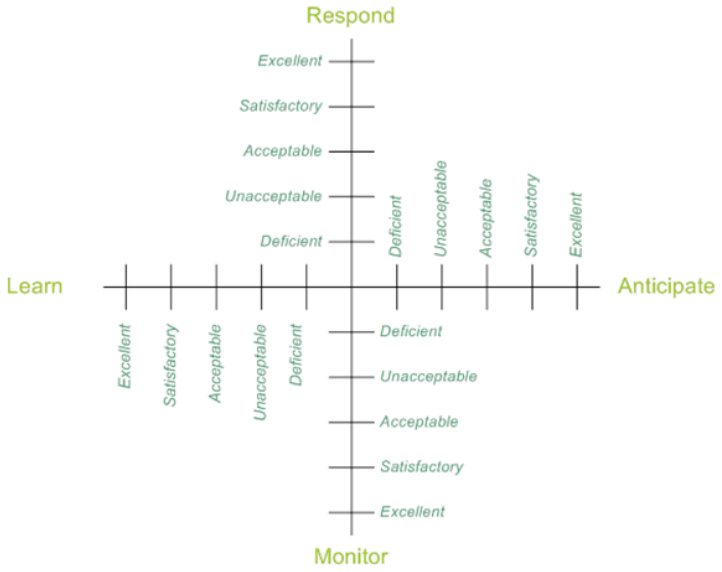


Figure 1-3: Grille d'analyse pour les quatre capacités (Hollnagel, 2011)

Comme le précise Hollnagel, cette représentation n'est pas une mesure de la résilience, mais bien une représentation compacte de l'analyse de chaque item qui compose cette résilience. Il précise qu'il n'y a pas une capacité meilleure qu'une autre, mais qu'une IE pourrait décider d'accorder, par exemple, plus d'importance à la réponse parce que son domaine est orienté sur cette capacité.

Ce chapitre met en contexte les résultats des travaux de recherche présentés dans cette thèse. En présentant les différents travaux menés par le CRP, cela permet d'apprécier l'évolution et le travail qui a été effectué concernant la résilience des IE. Les deux méthodes présentées dans ce chapitre permettent également de constater qu'il est possible d'orienter l'évaluation de la résilience vers différents éléments. Le chapitre suivant présente la problématique de la recherche avec la méthodologie des travaux de recherche présentée.

CHAPITRE 2 PROBLÉMATIQUE ET RECHERCHE

2.1 Contexte de recherche

Les IE évoluent dans un contexte hautement interdépendant. Les interdépendances entre ces IE obligent à adopter une vision globale pour aider les gestionnaires à gérer le bon fonctionnement et la protection de leur IE. Les travaux du CRP dans ce domaine ont démontré l'importance de travailler avec les expertises de chacun et de leur offrir des outils pour gérer cette interdépendance avec une vision globale. L'importance des IE pour la résilience de la communauté amène donc à se questionner sur la manière d'initier les gestionnaires des IE à la résilience et son évaluation. Les méthodes du *Argonne National Laboratory* et de Hollnagel n'adressent pas cette problématique d'interdépendance de manière explicite. La démarche qui sera présentée dans cette thèse vient combler en partie ce vide. L'analyse de la cohérence proposée tient compte de ces interdépendances et de l'importance d'assurer une harmonie dans les différents plans, procédures, mesures, etc. de chaque IE. La complémentarité de la démarche proposée dans cette thèse avec les autres méthodes leur fournira les outils nécessaires pour prendre en compte ces interdépendances.

Pour simplifier la présentation, les interdépendances sont abordées de manière interne entre les différents ensembles fonctionnels d'une IE. Par contre, il sera facilement possible de comprendre la portée de ces travaux dans un contexte d'un groupe d'IE interdépendantes.

2.2 Définition du problème

Les constats issus de la revue de littérature sont :

- qu'il n'y a pas une définition globale et commune de la résilience des IE ;
- qu'il n'existe aucun cadre formel, norme ou méthodologie reconnus d'évaluation du potentiel de résilience ;
- qu'il existe une panoplie d'indicateurs pour évaluer la résilience et aucun consensus ne s'en dégage ;
- que ces indicateurs sont surtout axés sur la présence ou non de différents éléments sans fournir d'information sur la performance de ces éléments ou la cohérence entre ceux-ci ;

- qu'il y a peu de méthodologies permettant d'obtenir des mesures concrètes appliquées à des IE.

Le cadre de Hyogo (United-Nations, 2005) insiste précisément sur l'importance de l'évaluation de la résilience et le développement d'indicateurs pour y parvenir. La diversité des méthodes existantes pour l'évaluation (autant pour les IE que pour les organisations) ainsi que les concepts qui les sous-tendent ne s'inscrivent pas directement dans les approches développées par le CRP dans le cadre de ses travaux sur les interdépendances entre IE (Robert, Morabito et Cloutier, 2012) tel qu'explicité dans le contexte.

En partant de ces différents constats et en intégrant les approches du CRP, voici la question à laquelle cette thèse tentera de répondre : *dans un contexte d'évaluation du potentiel de résilience des IE, est-il possible d'analyser les différentes composantes de la démarche d'évaluation du potentiel de résilience en termes de cohérence et de performance ?*

2.3 But de la recherche

Les résultats de recherche présentés dans cette thèse visent à proposer une démarche d'évaluation du potentiel de résilience d'une IE pour mieux comprendre l'influence de celle-ci sur la capacité d'une IE à maintenir ou rétablir un fonctionnement acceptable malgré des perturbations. La complémentarité de ce qui est proposé avec les autres méthodologies est également importante. Ce qui est visé n'est pas de définir une énième manière indépendante d'évaluer la résilience, mais bien de fournir des outils complémentaires d'analyse pouvant se greffer à d'autres méthodes. Même si les concepts de la démarche proposée peuvent être exécutés de manière indépendante, leurs forces résident dans leur complémentarité avec les autres méthodes d'évaluation ou d'analyse existantes.

2.4 Objectifs de recherche

Les objectifs de cette thèse sont :

1. définir les concepts de résilience d'une IE ;
2. développer une démarche d'évaluation du potentiel de résilience d'une IE. Cette démarche devra inclure les notions suivantes :

- une analyse de la cohérence des différentes composantes de la démarche ;
- une analyse de la performance des capacités.

2.5 Postulats de recherche

Pour appuyer le projet, 2 postulats de recherche sont formulés.

L'approche par conséquences et l'approche système du CRP serviront pour la définition des concepts de résilience nécessaires pour l'évaluation du potentiel de résilience.

Ce postulat sera vérifié à l'aide du premier objectif.

L'évaluation du potentiel de résilience d'une IE peut se faire à l'aide de deux analyses, la performance et la cohérence.

Ce postulat sera vérifié par l'objectif 2. S'il est possible de le vérifier, il constitue également la contribution principale de ces travaux.

2.6 Méthodologie de recherche

Les travaux de recherche menés dans le cadre de ce doctorat ont suivi une approche méthodologique de la recherche basée sur l'intervention (David, Hatchuel et Laufer, 2012). Les auteurs présentent dans leur livre différentes méthodes (action research, action science et science d'aide à la décision) de recherche axées sur l'intervention pour terminer avec leur proposition de méthodologie, la recherche-intervention.

La recherche-intervention, sans définir une série d'étapes chronologique, est présentée selon différents principes méthodologiques. Pour débuter, les auteurs présentent les quatre principes qui sont communs aux démarches orientées sur l'intervention. Ces principes sont :

1. L'objectif est de comprendre en profondeur le fonctionnement du système;

   Cet objectif amène le chercheur a travaillé de l'intérieur du système étudié avec les gestionnaires de celui-ci. La production des connaissances se fait donc de l'intérieur.

2. Les connaissances sont générées en interaction avec les acteurs (le terrain) ;

   Cela implique une faible démarcation entre le lieu de production des connaissances et celui de validation.

3. Différents niveaux théoriques sont explorés par le chercheur-intervenant ;

   De par l'intervention du chercheur, celui-ci se promène entre différents niveaux pour à la fois étudier les théories et les paradigmes et les valider avec le terrain par la confrontation aux faits. Comme mentionné par David, Hatchuel et Laufer (2012), il devient alors difficile de procéder d'une manière plus classique à l'élaboration d'une revue de littérature pertinente, étant donné l'évolution de la problématique des acteurs bénéficiaires de la recherche.

4. L'intervention sur la réalité est justifiée par des principes scientifiques et démocratiques.

   Ce principe permet d'assurer une scientificité du processus tout au long de l'intervention en conservant un esprit critique face aux connaissances produites avec le milieu.

Pour terminer, les auteurs présentent la « boîte à outils » du chercheur-intervenant. Cette boîte à outils permet au chercheur d'assurer un caractère scientifique à la démarche méthodologique qu'il emprunte. Contrairement à une démarche expérimentale ou d'observation classique, le chercheur-intervenant se mêle avec son sujet d'étude et il intervient directement dans son fonctionnement. Cela l'oblige à prendre du recul dans son analyse et de comprendre son influence sur la dynamique créer par son intervention. Pour l'aider dans ce cheminement, la boîte à outils comporte quatre parties :

- Des principes épistémologiques ;
- Des théories, concepts et grille d'analyse ;
- Un dispositif expérimental ;
- Des règles méthodologiques.

2.6.1 Principes épistémologiques

Le premier principe méthodologique est la scientificité, qui permet d'assurer une attitude critique face aux faits et qui oblige le chercheur-intervenant à faire le lien avec les théories et concepts scientifiques en lien avec son sujet d'étude. Le second est l'inachèvement, principe qui empêche de déterminer à l'avance le chemin et les résultats qui seront issus de la recherche. Les connaissances générées sont donc orientées pour faire évoluer le sujet d'étude (p.ex. une organisation). Le troisième est l'isonomie. Ce principe stipule qu'il est primordial de mettre en

place un système d'échange balisé avec le sujet d'étude en vue de respecter les principes de recherche de vérité (scientificité) et de démocratie. Le quatrième est le de rationalité accrue. Ce principe vient baliser la mise en commun des connaissances entre le chercheur-intervenant et le sujet d'étude. Le dernier est le principe des deux niveaux d'interaction. Cela suppose que la relation entre le chercheur-intervenant et le sujet d'étude n'est pas fixée à l'avance et qu'elle se construira tout au long de la recherche.

2.6.2 Théories, concepts et grilles d'analyses

Comme le précisent bien les auteurs, le chercheur-intervenant doit être en mesure de bien comprendre le fonctionnement de chaque activité des différents partenaires. Par un travail collaboratif d'analyse et de développement de connaissances et d'expertises, il est par la suite possible d'assurer un cadre d'échange entre les différents partenaires.

2.6.3 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est la mise en application du principe des deux niveaux d'interaction. C'est-à-dire que l'intervention du chercheur génèrera différentes avenues pour la recherche et guidera le sujet d'étude. De la même manière, cette intervention génèrera des nouvelles connaissances que le chercheur-intervenant doit être en mesure de transposer dans le milieu scientifique. L'objectif étant de faire bénéficier de par et d'autre le déroulement et les résultats de la recherche.

2.6.4 Règles méthodologiques

Les trois règles méthodologiques viennent clore les différents outils de la boîte et permettent de tirer le maximum de la recherche-intervention. La première règle est celle de l'investigation prospective. Cette règle s'apparente, comme le mentionnent les auteurs, à une enquête policière. L'objectif étant de chercher à comprendre les différents phénomènes à l'intérieur du sujet d'étude et non pas de conduire divers entretiens en vue de récolter uniquement des données brutes. La deuxième règle est celle du principe de conception. Ce principe est l'essence même de l'intervention, car le chercheur passe directement au développement d'outil de gestion sur la problématique à l'étude pour le sujet d'étude. La dernière règle est celle du principe de libre circulation entre niveaux théoriques. Cela signifie que le chercheur cherche à faire correspondre

les faits observés à des connaissances (théories) scientifiques. Cela permet d'assurer un caractère scientifique au déroulement des travaux.

2.6.5 Combinaison avec une autre approche

Les travaux de recherche sont également basés sur une autre approche de recherche, l'approche constructive (Kasanen, Lukka & Siitonen, 1993). Cette approche, découpée en six étapes, permet de mettre l'importance sur le côté novateur de la solution (concept) développée, tant pour le domaine de la pratique que pour l'avancement des connaissances. L'ordre d'exécution de ces étapes peut varier. Voici les étapes de la méthodologie :

1. Trouver une problématique pratique et pertinente qui a aussi un potentiel de recherche.
2. Obtenir une compréhension générale et globale du sujet.
3. Innover, c'est-à-dire, développer une nouvelle solution à la problématique.
4. Démontrer que la solution fonctionne.
5. Présenter les liens théoriques et la contribution de la recherche au concept développé (solution).
6. Examiner le champ d'application de la solution.

Cette approche permet d'apprécier le caractère dynamique des travaux de recherche-intervention. En effet, dans ce contexte, il est difficile de trouver une problématique et que celle-ci demeure la même jusqu'à la fin de l'exécution des travaux. La nature dynamique et le travail étroit avec le milieu résultent en une évolution constante de la problématique. Il n'est pas rare, dans le domaine de recherche concerné par ces travaux (IE, interdépendance et résilience) que la problématique soit très différente au début et à la fin du projet. Cela permet d'apprécier le caractère évolutif et le travail collaboratif qui sont à la base de la recherche-intervention. La section qui suit met en contexte les travaux de doctorat en lien avec la méthodologie présentée.

2.6.6 Contexte de recherche du doctorat

La problématique à laquelle ces travaux tentent de répondre s'inscrit directement dans le cadre de la méthodologie présentée. Le domaine de la résilience des IE est en pleine ébullition et de nombreux travaux de recherche ont cours présentement dans différentes universités. De plus, le

CRP exécute maintenant depuis une douzaine d'années des travaux de recherche orientée sur l'intervention. Ces travaux s'inscrivent directement en continuité de ceux-ci et le caractère interventionniste oriente les différentes validations qui ont été exécutées tout au long du doctorat. Le travail avec le milieu par l'établissement de partenariat permet d'assurer une applicabilité des connaissances développées.

L'avantage réside également dans la dynamique de validation mise en place. Au lieu de construire des connaissances et de les valider à la fin du processus de recherche, la validation se fait tout au long des travaux et oriente directement le déroulement des travaux de recherche. La construction des connaissances se fait en partenariat avec le milieu et le chercheur-intervenant participe activement à ce processus. Dans le domaine de recherche de la résilience des IE, cette méthodologie permet d'être toujours à l'avant-garde du sujet et assure un lien entre le milieu scientifique et terrain de par la transmission des connaissances bilatérales.

2.7 Articles scientifiques

Pour ces travaux de recherche, trois articles ont été publiés ou acceptés pour publication. Ces trois articles présentent l'évolution des réflexions et des travaux qui ont été exécutés.

Article 1 (annexe 1) - Hémond, Y., & Robert, B. (2012). Preparedness: the state of the art and future prospects. *Disaster Prevention and Management*, 21(4), 404–417.

Cet article fait un état de l'art sur l'évolution du concept d'état de préparation vers celui de résilience. Il démontre bien comment les domaines des mesures d'urgence et de la gestion des risques ont évolué vers la résilience. Le concept de résilience appliqué aux communautés et aux IE a bénéficié de différents travaux dans le domaine de la résilience socioécologique et dans le domaine de l'ingénierie de la résilience et cet article le démontre bien. Il constitue une partie de l'état de l'art qui est présenté au chapitre 1. Cet article a servi à caractériser le contexte de résilience pour une IE.

Article 2 (annexe 2) - Hémond, Y., & Robert, B. (2012). Evaluation of state of resilience for a critical infrastructure in a context of interdependencies. *International Journal of Critical Infrastructures*, *8*(2/3), 95–106.

Cet article présente le concept d'état de résilience et comment on peut l'évaluer. Les résultats sont issus des travaux sur la résilience des systèmes essentiels du gouvernement du Québec et des

travaux de recherche dans le cadre de ce doctorat. Cet article vient compléter l'étape 4 de la méthodologie originale du CRP (Robert, B., et al., 2009) concernant l'évaluation de la résilience et de son état. Il a ouvert la réflexion sur les capacités que devrait posséder une IE pour se trouver dans un état de résilience et sur les premiers travaux d'évaluation du potentiel de résilience d'une IE.

Article 3 (annexe 3) - Hémond, Y. & Robert, B. (accepté pour publication). Assessment process of the resilience potential of critical infrastructures. *International journal of critical infrastructures*. Accepté pour publication. Février 2013.

Cet article a été soumis en octobre 2012 et a été accepté pour publication en févier 2013. Il culmine les travaux de recherche et présente les résultats finaux du processus de recherche du doctorat. Il présente les concepts et la méthodologie d'évaluation du potentiel de résilience d'une IE qui sont utilisés par le CRP dans ses différents projets de recherche. Il constitue une avancée majeure par la manière dont est évaluée la résilience en terme d'analyse de la cohérence et de la performance. Cet article a bien défini ces deux analyses et la manière dont elles peuvent aider les gestionnaires dans leurs opérations.

Autres contributions (annexe 4)

Ces autres contributions sont réparties comme suit : un article scientifique, deux chapitres de livres, une douzaine de conférences et séminaires, un livre publié par le CRP sur la résilience organisationnelle et des rapports techniques dont trois pour le suivi de la subvention obtenue pour mener une partie de ces travaux de recherche.

Les deux prochains chapitres présentent l'aboutissement des réflexions suite à ces trois articles et ils ouvrent directement vers de futurs travaux d'application opérationnelle auprès de gestionnaires d'IE. Ils reprennent en partie le troisième article, tout en présentant un schéma plus complet du potentiel de résilience.

CHAPITRE 3 CONCEPTS DU POTENTIEL DE RÉSILIENCE D'UNE INFRASTRUCTURE ESSENTIELLE

Ce chapitre présente les concepts soutenant la démarche d'évaluation du potentiel de résilience. Sans y faire référence directement, chaque étape de la démarche s'en inspire. Ils ont guidé les réflexions sur les capacités (présentés dans le prochain chapitre) nécessaires pour une IE en terme de résilience.

3.1 Caractérisation du potentiel de résilience

Avant de présenter les concepts, le potentiel de résilience est caractérisé. Cette caractérisation est nécessaire pour comprendre de quelle résilience il est question et quelle est la période temporelle qui est prise en compte pour l'évaluation. En d'autres mots, répondre à la question *résilient à quoi* et *résilient pourquoi* (Carpenter, Walker, Anderies & Abel, 2001).

3.1.1.1 Quelle résilience

La définition retenue par le Gouvernement du Québec (OSCQ, 2009) et du CRP (Robert, B. et al., 2009) concernant la résilience est la suivante : *aptitude d'un système à maintenir ou rétablir un fonctionnement acceptable malgré des perturbations*. La définition peut être découpée en deux composantes :

1. Aptitude d'un système.

   Le système possède différentes caractéristiques innées et acquises pour fournir des ressources et assurer un fonctionnement acceptable. Dans cette thèse, les notions de l'innée ou de l'acquis ne seront pas abordées directement. Les caractéristiques traitées sont celles de l'IE sans faire la distinction entre celles qui sont innées et celles qui sont acquises.

   Les notions d'innée ou acquise sont surtout étudiées dans le domaine de la résilience psychologique (Manciaux, 2000 ; Fossion & Linkowski, 2007). Des réflexions ont cours présentement au CRP, mais celles-ci ne sont pas assez matures pour les traiter dans cette thèse.

2. Maintenir ou rétablir un fonctionnement acceptable.

> Un fonctionnement acceptable a été défini pour le système et l'objectif est de le maintenir advenant une perturbation ou de le rétablir advenant son non-maintien. Ce fonctionnement acceptable signifie que le système est en mesure d'accepter une perturbation et de ne pas toujours fonctionner en mode optimal.

L'évaluation du potentiel de résilience d'une IE suppose que le résultat puisse indiquer clairement aux gestionnaires leur niveau de résilience. Par contre, il est difficile de statuer qu'une IE est résiliente ou non étant donné le caractère dynamique de l'IE (son système) et de l'environnement dans lequel elle évolue. Dans ce cas-ci, le terme « potentiel de résilience » est plus approprié. Le potentiel de résilience donne une autre vision du résultat de l'évaluation. Cela signifie qu'une IE a certains éléments pour assurer sa résilience, mais que la dynamique du système et de l'environnement fait en sorte que le résultat peut être différent.

Cette distinction est importante, car elle guide tout le processus d'évaluation. L'évaluation du potentiel de résilience vise à vérifier que certains éléments techniques favorisant une certaine résilience sont présents au sein de l'organisation. Le terme élément technique signifie que l'aspect humain et social n'est pas traité par ces travaux. Plusieurs études existent sur chacun de ces autres aspects (Norris, Stevens, Pfefferbaum, Wyche & Pfefferbaum, 2008 ; Pasteur, 2011 ; Lemyre & O'Sullivan, in press) et les travaux dans le cadre de ce doctorat s'inscrivent en complémentarité avec ceux-ci.

3.1.1.2 Quelle période temporelle

La question de la période temporelle de l'étude n'est pas évidente à aborder. En sécurité civile, au Québec, il existe le concept des « 72 heures » (Ministère de la sécurité publique du Québec, 2008). Ce concept stipule que chaque citoyen devrait être en mesure de subvenir à ses besoins pendant 72 heures, le temps que les autorités s'organisent et que les secours interviennent.

Pour les IE du gouvernement du Québec, plusieurs intervalles de temps étaient pris en compte (Catalan, 2011). Il ne semble pas non plus se dégager un consensus au sein de la littérature et la problématique n'est pas simple. Étant donné le caractère essentiel des IE, les autorités gouvernementales feront tout, dans la mesure du possible, pour rétablir la fourniture des ressources (ou services) dans les meilleurs délais. De plus, de nombreux gestionnaires d'IE ont indiqué qu'au-delà d'environ une semaine, plusieurs mesures d'atténuation sont mises en place et qu'il devient difficile de faire des évaluations étant donné ces changements et ceux survenus dans

l'environnement. Aux fins de cette recherche, la période temporelle qui sera utilisée sera du niveau hebdomadaire. Au-delà de cette limite, trop de facteurs de changements, autant du système que de l'environnement, complexifient l'évaluation.

3.1.2 Approches

Deux approches de recherche sont utilisées pour ces travaux, soit l'approche par conséquences (Robert, Morabito & Quenneville, 2007) et l'approche système du CRP (Guichardet, 2009).

3.1.2.1 L'approche par conséquences

L'approche par conséquence a été développée par le CRP (Robert, Morabito & Quenneville, 2007). Elle est à la base des différents travaux concernant les interdépendances (Robert, Morabito & Cloutier, 2012 ; Robert & Morabito, accepté) et la résilience des IE (Pairet, 2009 ; Pinel, 2009 ; Robert, B., et al., 2009 ; Catalan, 2011 ; Catalan & Robert, 2011). Cette approche vise à évaluer la propagation dans le temps et l'espace des conséquences d'une perturbation sans se questionner sur les causes de cette perturbation. Typiquement, la question qui est posée pour une IE est : après combien de temps une perte de ressource (par exemple l'eau potable, l'électricité, les télécommunications, etc.) affecte le fonctionnement de l'IE et quel secteur de la zone géographique est concerné par cette affectation ? Elle oriente la caractérisation de l'IE dans un optique de client/fournisseur de ressources.

Cette approche servira pour l'établissement du portrait du système et des vulnérabilités. Elle orientera l'acquisition de connaissances pour ces deux portraits sur les conséquences et les relations entre utilisateurs et fournisseurs de ressources.

3.1.2.2 L'approche système du CRP

L'approche système a également été développée par le CRP (Robert, Morabito, Quenneville). Cette section reprend les éléments de cette approche qui sont nécessaires pour la démarche d'évaluation présentée au prochain chapitre. Elle intègre autant l'approche initial que les apports effectués par Guichardet (2009) au niveau des ensembles fonctionnels. L'approche système caractérise le système selon trois parties :

1. les ensembles fonctionnels ;
2. les ressources (ou services) utilisées ;

3. les ressources (ou services) fournies.

L'ensemble fonctionnel est un élément de l'IE jugé essentiel au bon fonctionnement de celui-ci. Il est le lien entre la ressource utilisée et la ressource fournie. Un ensemble fonctionnel peut, par exemple, être un poste de distribution d'électricité ou un centre de contrôle d'un réseau.

Les ressources utilisées sont celles qui sont nécessaires à un ensemble fonctionnel pour fournir une ressource. Ces ressources peuvent être :

- des ressources essentielles (électricité, eau, télécommunication, pétrole, etc.) ;
- des services ;
- des matières premières ;
- des ressources humaines ;
- etc.

Les ressources fournies sont en quelque sorte les missions des ensembles fonctionnels. Elles peuvent être utilisées par d'autres ensembles fonctionnels à l'intérieur de l'IE ou par d'autres IE. L'approche par conséquences fait le lien entre les ressources utilisées, les ensembles fonctionnels et les ressources fournies en étudiant les impacts d'un manque de ressources utilisées sur les ressources fournies. Cette approche introduit également la notion de temps, notion essentielle pour la capacité d'adaptation qui sera abordée dans la démarche.

3.2 Concepts du potentiel de résilience

Avant de présenter la démarche d'évaluation de la résilience d'une IE, il est nécessaire de bien comprendre les différents concepts soutenant le potentiel de résilience d'une IE. Ces concepts sont issus des travaux de recherche sur les systèmes essentiels du gouvernement du Québec et présenté dans le guide méthodologique produit par Robert, B., et al. (2009). La figure 3-1 schématise ces composantes.

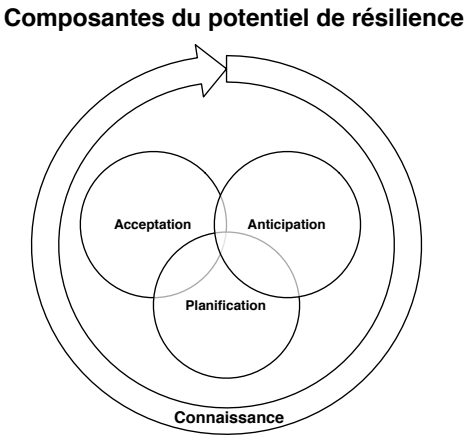


Figure 3-1: Composantes du potentiel de résilience d'une IE

La figure 3-1 présente les trois concepts qui sont chevauchés. Ce chevauchement est volontaire car la frontière entre chaque concept est à la limite des autres et certaines notions à l'intérieur de ces concepts peuvent se recouper. La connaissance est ce qui guide l'ensemble de ces concepts et par extension, la démarche. De manière triviale, une meilleure connaissance de chacun de ces concepts et des étapes de la démarche améliorera le potentiel de résilience d'une IE.

Ces concepts sont importants pour la démarche présentée dans le prochain chapitre. Chaque concept a permis de définir les éléments de chacun des portraits et surtout le choix des capacités (anticipation, réponse et adaptation) soutenant le potentiel de résilience d'une IE. Les sections qui suivent explicitent chaque concept.

3.2.1 Acceptation

L'acceptation réfère à :

- la compréhension de l'environnement dans lequel évolue l'IE ;
- la définition d'un fonctionnement acceptable de l'IE ;
- l'acceptation de certaines perturbations de l'IE.

L'acceptation aide le gestionnaire de l'IE à définir les seuils de fonctionnement acceptable des différentes composantes de son IE. Ces seuils serviront pour l'anticipation des éléments pouvant venir perturber l'IE et la planification des actions nécessaires pour maintenir ce fonctionnement ou pour le rétablir advenant une perturbation.

Cette notion d'acceptation est primordiale pour s'inscrire dans une démarche de résilience et ainsi renforcir les différentes capacités nécessaires pour faire évoluer ce potentiel de résilience.

3.2.2 Anticipation

L'anticipation concerne l'ensemble des mesures mises en place pour mieux anticiper des changements dans l'environnement autant interne qu'externe qui pourraient générer des perturbations pour l'IE. Il est important de bien connaître les différents seuils de fonctionnement acceptable et surtout les différents éléments pouvant amener l'IE à ne plus être en mesure de fonctionner dans cette limite acceptable. L'anticipation doit également fournir une marge de manœuvre suffisante pour intervenir advenant des perturbations.

3.2.3 Planification

La planification englobe les activités de prévention et de préparation pour mieux intervenir lors de perturbations et ultimement, de s'y adapter. Cette planification doit être vue de manière générale et elle ne fait pas exclusivement référence à l'établissement de plans et procédures. Elle se base en grande partie sur les autres concepts. Une meilleure connaissance orientera l'intervention au bon endroit, une acceptation définira ce qu'il faut planifier et une meilleure anticipation déterminera le bon moment pour intervenir. La planification est également un des éléments de la capacité d'adaptation.

Ces approches et concepts du potentiel de résilience viennent supporter la démarche qui est présentée dans le chapitre suivant. Elles constituent des éléments primordiaux pour bien comprendre ce qui est évalué et la manière d'évaluer. Ils orientent l'acquisition de connaissances de l'ensemble de la démarche. L'acceptation est nécessaire pour la définition du fonctionnement acceptable. L'anticipation définie les différents mécanismes pour appréhender des perturbations et dégager une marge de manœuvre suffisante. La planification oriente la réponse pour prévenir ou intervenir advenant une perturbation. Le prochain chapitre présente la démarche résultant des travaux de recherche.

CHAPITRE 4 DÉMARCHE D'ÉVALUATION DU POTENTIEL DE RÉSILIENCE D'UNE INFRASTRUCTURE ESSENTIELLE

Ce chapitre présente la démarche d'évaluation du potentiel de résilience d'une IE. Le choix du terme démarche n'est pas sans fondement. Ce qui est présenté, ce sont différents éléments n'ayant pas la prétention d'être une méthodologie organisée et séquentielle menant à un résultat bien défini. Chaque composante de la démarche est indépendante. Par exemple, une IE pourrait décider de n'effectuer que le portrait de son système. L'important est que cette IE s'engage dans la démarche d'évaluation et que les résultats obtenus viennent améliorer son potentiel de résilience. De plus, chaque IE débute avec la composante de son choix, l'ordre de présentation n'étant pas nécessairement une obligation d'exécution, mais plutôt une suite logique pour arriver à établir un portrait du potentiel de résilience. La figure 4-1 présente les composantes de la démarche. Il y a trois portraits à élaborer : le système, les vulnérabilités et les capacités. Trois analyses sont possibles :

1. une qui concerne l'état des connaissances pour le portrait du système et des vulnérabilités ;
2. une autre pour l'évaluation de la performance de chaque capacité ;
3. et une dernière qui est l'analyse de la cohérence appliquée à l'ensemble des composantes de la démarche.

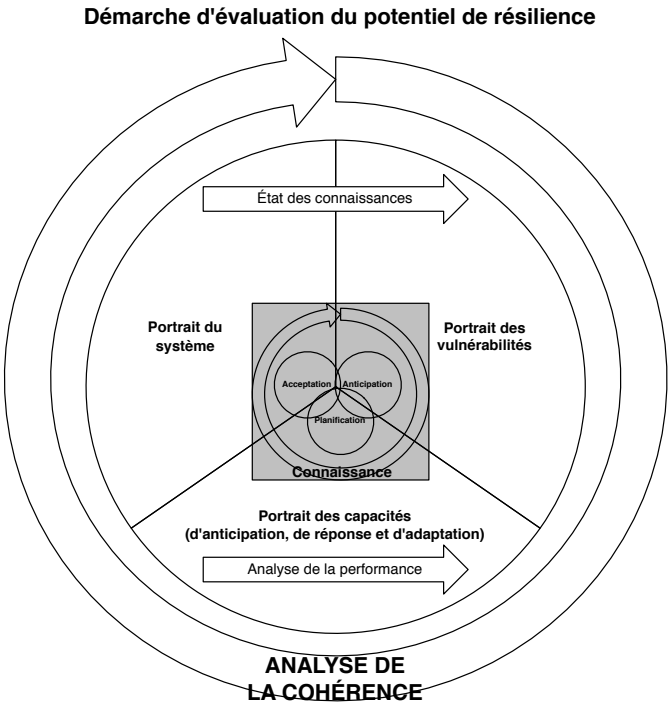


Figure 4-1: Démarche d'évaluation du potentiel de résilience d'une IE

Les sections qui suivent présentent chaque composante de la démarche.

4.1 Portrait du système

Le portrait du système consiste à appliquer l'approche système pour caractériser l'IE. Ce portrait est constitué de la caractérisation des :

- ensembles fonctionnels ;
- ressources utilisées ;
- ressources fournies.

Les ensembles fonctionnels sont des éléments internes de l'IE permettant la fourniture des ressources telles qu'explicitées au chapitre 1.

Les ressources utilisées sont celles nécessaires pour la fourniture des ressources de l'IE. Ces ressources sont dites essentielles dans le sens qu'elles sont nécessaires au bon fonctionnement de l'IE et qu'une perturbation, même momentanée, peut affecter la fourniture de la ressource de l'IE (OSCQ, 2009).

Les ressources fournies sont, en quelque sorte, la mission de l'IE. Par exemple, Hydro-Québec a comme ressource fournie l'électricité avec une qualité définie par les différents utilisateurs. L'identification de ces ressources ainsi que l'établissement de leurs seuils de fonctionnement acceptable est nécessaire en vue de la caractérisation des vulnérabilités et de l'évaluation du potentiel de résilience.

Le niveau de détail du portrait du système dépend des objectifs de l'évaluation. La décomposition peut ne porter que sur un seul ensemble fonctionnel ou sur plusieurs de ces derniers. Il en est de même pour les ressources utilisées et fournies : une IE pourrait décider de se concentrer sur une seule de ses ressources fournies ou sur l'ensemble de celles-ci. Il est à noter que les ressources utilisées et fournies peuvent, dans certains cas, être les mêmes pour plusieurs ensembles fonctionnels. Par exemple, pour une IE produisant de l'électricité, la décomposition du système peut porter uniquement sur un poste de distribution pour en évaluer le potentiel de résilience. Dans ce cas-ci, les ressources utilisées et fournies ne concernent que le poste de distribution lui-même et non les autres ensembles fonctionnels du réseau électrique.

Le résultat de cette composante de la démarche est un tableau comme celui illustré au tableau 4.1. Il offre une première vue d'ensemble aux gestionnaires de l'IE en identifiant, pour chaque ensemble fonctionnel, les ressources utilisées et fournies avec leur seuil de fonctionnement acceptable. Par exemple, une IE peut avoir un centre de contrôle (ensemble fonctionnel) qui utilise de l'électricité et des télécommunications (ressources utilisées) pour contrôler le réseau et les pannes (ressources fournies). Advenant une perturbation d'une des ressources utilisées, le centre de contrôle peut fonctionner un maximum de 30 minutes (seuil de fonctionnement acceptable).

Tableau 4.1: Exemple de tableau pour le portrait du système

Ensemble fonctionnel (description)	**Ressources utilisées**	**Ressources fournies**
Centre de contrôle	Électricité Télécommunications	Contrôle du réseau et des pannes (un maximum de 30 minutes de perturbation possible)
Ensemble fonctionnel X Ensemble fonctionnel X servant dans la production	Ressource utilisée X Ressource utilisée Y	Ressource fournie Z (seuil de fonctionnement acceptable)
Etc.	Etc.	Etc.

4.2 Portrait des vulnérabilités

Le portrait des vulnérabilités offre une image des conséquences d'une perturbation d'un ensemble fonctionnel, d'une ressource utilisée ou d'une mesure alternative sur le fonctionnement de l'IE avec une notion temporelle. La vulnérabilité est définit comme le « potentiel d'un système à être affecté par des aléas internes et/ou externes. » (Petit, 2009, pp. 96). De cette définition, deux types de vulnérabilités peuvent être définis : internes et externes.

4.2.1 Vulnérabilité interne

Les vulnérabilités internes d'une IE sont caractérisées par trois éléments :

- les interdépendances internes ;
- les ressources utilisées ;
- les mesures ou ressources alternatives.

Les interdépendances internes réfèrent aux ensembles fonctionnels et à l'impact d'une perturbation d'un de ces ensembles sur le fonctionnement des autres. Les ressources utilisées sont celles nécessaires pour que l'IE remplisse sa mission (ressource fournie). Dans les deux cas, ce qu'il faut connaître, ce sont les seuils de perturbations en termes d'ampleur et de délais pouvant amener l'IE à ne pas être en mesure de maintenir son fonctionnement acceptable.

Par exemple, si l'IE utilise de l'eau pour fournir sa ressource, elle doit connaître, advenant une perturbation de l'eau :

- le délai avant que la fourniture de sa ressource fournie soit affectée ;

- quelle ampleur de perturbation elle peut tolérer (manque, mauvais débit, mauvaise qualité, etc.)

Dans la caractérisation des vulnérabilités internes, il est également important de déterminer les perturbations possibles (ampleur et délais) des différentes mesures (ressources) alternatives mises en place pour pallier à des perturbations des ressources utilisées ou de certains ensembles fonctionnels. De cette manière, le gestionnaire de l'IE s'assure que des mesures alternatives ne créent pas de nouvelles vulnérabilités qui ne seraient pas prises en compte. Pour parvenir à ces caractérisations, l'approche par conséquences doit être utilisée.

La figure 4-2 présente une problématique avec une infrastructure et ses ensembles fonctionnels (EF). Elle montre la propagation dans le temps d'une perturbation d'une ressource utilisée X. Ces courbes de conséquences ont été définies par Robert, Morabito & Quenneville (2007) et sont largement utilisées dans les travaux du CRP. Cette courbe donne aux gestionnaires le temps disponible avant qu'une propagation à l'intérieur de l'IE et ultimement, vers d'autre IE ou la population (par l'entremise de sa mission ou des ressources fournies) ait lieu.

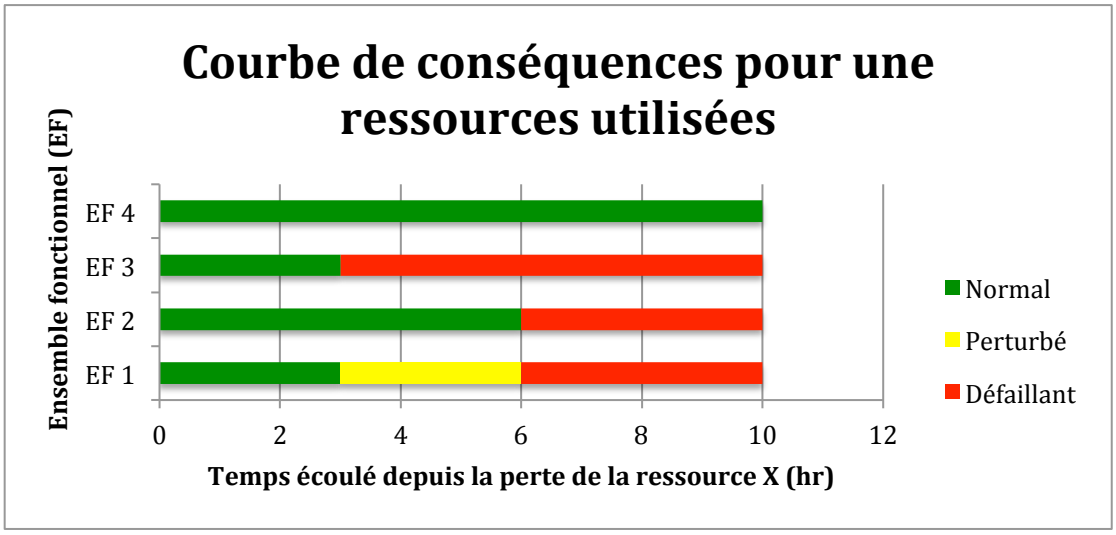


Figure 4-2: Courbe de conséquences pour une ressource utilisée X

Cette figure montre qu'une indisponibilité d'une ressource X (comme l'électricité), entraîne la perturbation (en jaune) de l'EF 1 (comme un centre de contrôle) après 3 heures, la défaillance de l'EF 2 (comme une machine) après 6 heures et la défaillance de l'EF 3 (comme un système informatique) après 3 heures. Cette courbe de conséquences montre également la marge de manœuvre disponible advenant un manque de la ressource X. La zone en jaune « perturbé » est

celle où le gestionnaire met en place différentes alternatives (ressources, plans, procédures, etc.) pour éviter la défaillance des différents ensembles fonctionnels concernés. Les ressources alternatives sont nécessaires pour assurer un maintien du fonctionnement lors de perturbations et ainsi atténuer la possibilité d'une défaillance.

Le tableau 4.2 présente les éléments des vulnérabilités internes. Par exemple, l'utilisation de l'électricité (ressource utilisée) entraîne une perturbation de la fourniture de l'eau (ressource fournie) après 5 heures, une interruption du système de pompage (ensemble fonctionnel 1) immédiatement et aucun effet sur le système de filtration (ensemble fonctionnel 3).

Tableau 4.2: Exemple d'éléments pour les vulnérabilités internes

Ressources utilisées, ensembles fonctionnels ou mesures alternatives	**Conséquences de la perte (ampleur)**	**Intervalle de temps**
Électricité	Eau - perturbé Système de pompage – interruption Système de filtration – aucun effet	5 heures immédiat
Ensemble fonctionnel 1	Ressource fournie 2 – perturbé et perte	2 heures de pert. avant perte
Etc.	Etc.	Etc.

4.2.2 Vulnérabilité externe

Les vulnérabilités externes quant à elles réfèrent aux différents éléments reliés à l'environnement externe de l'IE. Cette caractérisation des vulnérabilités externes est très importante pour la suite de l'évaluation notamment au niveau de la capacité d'adaptation. Les éléments à connaître sont :

- les aléas (naturels, technologiques, anthropiques, naturels-technologique (NATECH), etc) ;
- les changements climatiques.

Le premier élément consiste à caractériser (en termes d'ampleur et de délais) les aléas susceptibles de provoquer des perturbations des ressources utilisées ou des ensembles fonctionnels nécessaires à la fourniture des ressources de l'IE. Le second, les changements climatiques, consiste à s'assurer que les changements climatiques qui peuvent affecter des ensembles fonctionnels ou modifier les aléas naturels sont pris en compte. Les effets des changements climatiques peuvent être caractérisés en termes d'ampleur, de fréquence ou de durée de l'aléa. Ils peuvent également faire survenir de nouveaux aléas qui n'affectaient pas

l'environnement auparavant et venir interagir avec des ensembles fonctionnels non conçus pour être protégés contre ces changements. Le tableau 4.3 présente un exemple des vulnérabilités externes. Par exemple, pour un ouragan, les perturbations possibles sont une baisse de production de la ressource fournie « pétrole » pendant 10 heures et une interruption du centre de contrôle pendant trois jours.

Tableau 4.3: Exemple de tableau pour les vulnérabilités externes

Vulnérabilité externe	**Perturbations possibles**	**Ensembles fonctionnels ou Ressources fournies affectées**	**Marge de manœuvre**
Ouragan	Baisse de production Interruption	Pétrole Centre de contrôle	10 heures 3 jours
Aléas	Quantité insuffisante Qualité insuffisante	Ressource fournie 2 - défaillant Ensemble fonctionnel 1 - perturbé	0 heure 3 heures
Etc.	Etc.	Etc.	Etc.

L'ensemble de ces connaissances aide à mieux comprendre les interactions à l'intérieur de l'IE et ainsi identifier des mécanismes d'anticipation nécessaires pour éviter ou diminuer ces perturbations et pour mieux y répondre et s'y adapter.

4.3 Portrait des capacités

Avant de procéder à la présentation et à la caractérisation de chacune des trois capacités, une définition du terme capacité est présentée pour ensuite expliquer le choix des trois capacités.

4.3.1.1 Définition

Sans la définir de manière précise, la littérature scientifique dans le domaine de la résilience organisationnelle utilise le terme capacité. Ce terme est généralement utilisé pour définir la capacité d'adaptation d'un système (Adger, Brooks, Bentham, Agnew & Eriksenet, 2004 ; Daziell & McManus, 2004 ; Folke, Colding & Berkes, 2003), composante essentielle de la résilience. Aux fins de ces travaux, la définition qui a été retenue est la suivante : la capacité est l'aptitude (disposition innée, naturelle ou acquise) à faire quelque chose (Aptitude, 2013). Dans cette définition, « l'aptitude » est ce qui sera évalué. Cette évaluation se fera selon trois capacités : l'anticipation, la réponse et l'adaptation. L'autre partie de la définition « à faire quelque chose » renvoie à la définition de la résilience, c'est-à-dire à maintenir ou rétablir un fonctionnement acceptable malgré des perturbations. Cette définition implique que les trois

capacités doivent être caractérisés pour comprendre comment chacune peut amener l'IE « à faire quelque chose ».

4.3.1.2 Pourquoi ces trois capacités

Les trois capacités retenues pour ces travaux sont la capacité d'anticipation, la capacité de réponse et la capacité d'adaptation. Elles sont le résultat de la mise en commun des concepts, des objectifs poursuivis par la recherche et du contexte dans lequel les IE évoluent. Les concepts de planification, acceptation et d'anticipation mènent vers ces capacités qui se traduisent par des actions concrètes pour assurer un fonctionnement acceptable de l'IE.

De plus, lorsque des perturbations surviennent, les gestionnaires mobilisés sont ceux affectés aux mesures d'urgence ou à la continuité des opérations. Ces gestionnaires sont déjà familiers avec ces capacités, mais également avec les quatre dimensions de la sécurité civile (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 2008) que sont la prévention, la préparation, l'intervention et le rétablissement. Le *Argonne National Laboratory* a déjà pris en compte cela et utilise un regroupement basé sur ces dimensions (Petit, Eaton, Fisher, McAraw & Collins, 2012). La figure 4-3 fait le lien entre les capacités et les dimensions de la sécurité civile pour aider les gestionnaires des IE à les intégrer dans leurs activités quotidiennes. Une brève description des principales activités pour chaque dimension est également présentée.

Capacité d'anticipation	Capacité de réponse	Capacité d'adaptation
Prévention Préparation	Préparation Intervention	Préparation Intervention Rétablissement
Ressources à surveiller Seuils de fonctionnement Mécanismes de surveillance Mesures d'atténuation/évitement	Planification Réponse	Planification Évolution avec l'environnement Changement organisationnel Marge de manoeuvre

Figure 4-3: Représentation des capacités regroupées par dimensions de sécurité civile

4.3.1.3 Capacité d'anticipation

La capacité d'anticipation se définit par l'identification des différentes situations auxquelles l'IE pourrait être confrontée et la mise en place de mécanismes de surveillance (caméra, senseur,

système SCADA, etc.) pour appréhender ces situations. L'identification des différentes situations se base sur le portrait des vulnérabilités établi auparavant. Cette appréhension des situations doit dégager une marge de manœuvre suffisante pour la mise en place de plans, procédures, etc. en vue de maintenir le fonctionnement acceptable ou de le rétablir et ce, dans un délai acceptable. Le tableau 4.4 présente les deux éléments de la capacité d'anticipation.

Tableau 4.4: Éléments de la capacité d'anticipation

Éléments	**Explications**
Mécanismes de surveillance	Mettre en place des mécanismes de surveillance pour les seuils de fonctionnement acceptable ayant été définis dans le portrait des vulnérabilités.
Marge de manœuvre	Vérifier que la marge de manœuvre que permettent ces mécanismes est suffisante pour répondre aux différentes perturbations.

4.3.1.4 Capacité de réponse

La capacité de réponse se définit par les activités de planification (plans et procédures) et de préparation résultant de la perte d'une ressource utilisée ou d'un ensemble fonctionnel. La capacité de réponse est largement traitée dans la littérature. Les États-Unis en ont fait la base de leur état de préparation avec les *Target capability list* (Department of Homeland Security, 2007) et le *National Incident Management System* (Department of Homeland Security, 2008). Les auteurs Simpson (2008), Stephenson, Vargo & Seville (2010) et Hollnagel (2011), pour ne nommer que ceux-là, traitent également de la réponse dans la résilience.

Les réponses possibles d'une IE face à des perturbations sont diverses. Cela dépend de la nature de la perturbation et de la marge de manœuvre temporelle disponible. La planification vise à identifier les différentes actions possibles pour intervenir lors de perturbations et à déterminer les rôles et les responsabilités de chaque intervenant. Trois types de planification ont été identifiés par le CRP (Robert et al., 2009), soit la planification de la gestion courante, la planification de la continuité des opérations et la planification des mesures d'urgence. La préparation vise à déterminer comment et quand les mesures d'atténuation ou d'évitement seront mises en place en fonction de la marge de manœuvre temporelle disponible. Le tableau 4.5 présente les éléments de la capacité de réponse.

Tableau 4.5: Éléments de la capacité de réponse

Éléments	**Explications**
Planification courante	Établir des plans pour les besoins en ressources essentielles pour la gestion courante et identifier les ensembles fonctionnels nécessaires au bon fonctionnement.
Planification de la continuité des opérations	Établir des plans pour maintenir un fonctionnement acceptable de l'IE lors de perturbations.
Planification des mesures d'urgence	Établir des plans pour rétablir le fonctionnement de l'IE et s'assurer de la sécurité de chaque élément.
Planification particulière pour certaines vulnérabilités	Établir des plans particuliers d'intervention pour certains évènements et certains éléments plus vulnérables.
Préparation	Définir le « comment » et le « quand » de la mise en place des mesures d'atténuation ou d'évitement.

4.3.1.5 Capacité d'adaptation

La capacité d'adaptation est définie par « l'habileté à faire face, à s'adapter et à changer sans compromettre l'avenir » (traduction libre de Folke, Colding & Berkes, 2003). Cette définition implique que l'IE :

1. *est consciente de son environnement* – cela sous-entend qu'elle se familiarise constamment avec son environnement et ses différents changements (anticipation).
2. *modifie son comportement en fonction des changements dans l'environnement* – cela implique une disponibilité de ressources et une flexibilité dans la gestion de l'IE pour changer le système et s'assurer d'un fonctionnement acceptable (réponse).

Selon Dalziell & MacManus (2004), pour s'adapter, un système (IE) peut mettre en place trois stratégies :

1. appliquer une réponse existante à une situation normale ;
2. appliquer une réponse existante dans un nouveau contexte ;
3. appliquer une nouvelle réponse dans un nouveau contexte.

Il est possible d'ajouter une quatrième stratégie, soit appliquer une nouvelle réponse à une situation normale. Cette définition et ces stratégies supposent que le gestionnaire de l'IE surveille l'environnement (veille, renseignement, etc.) et, advenant une perturbation, intervient avec les

moyens adéquats (existants ou nouveaux). Ces stratégies demandent également un apprentissage constant, une disponibilité des ressources nécessaires pour ajuster la réponse, une marge de manœuvre suffisante et une habileté à gérer ou coordonner les impacts d'une perturbation.

L'apprentissage consiste à s'assurer que l'IE a en place différents processus pour s'assurer que les gestionnaires et les intervenants savent ce qu'ils ont à faire et ce qu'ils peuvent faire. Le suivi des exercices et des retours d'expériences les aidera à ne plus se retrouver dans les mêmes situations suite à des perturbations similaires. La connaissance de l'environnement consiste à identifier ce qui peut causer des changements dans les ressources utilisées et dans le fonctionnement des ensembles fonctionnels. Le temps réfère à la marge de manœuvre disponible avant la propagation d'une perturbation. Cette marge est nécessaire pour mettre en place une réponse adaptée à la situation et s'assurer du maintien d'un fonctionnement acceptable. Les ressources sont celles nécessaires pour que l'IE maintienne un fonctionnement acceptable. L'habileté à gérer ou coordonner les impacts demande que le gestionnaire de l'IE soit en mesure d'assurer cette gestion ou coordination et que l'ensemble des éléments nécessaires à cela soit disponible. En d'autres mots, est-ce que l'IE à l'autorité pour gérer les impacts et les perturbations dans le but de maintenir ou de rétablir un fonctionnement acceptable dans un délai acceptable ? Le tableau 4.6 présente les éléments de la capacité d'adaptation.

Tableau 4.6: Éléments de la capacité d'adaptation

Éléments	**Explications**
L'apprentissage (exercices, formation, etc.)	Déterminer si l'IE est dans une position d'apprentissage en faisant des exercices et de la formation concernant les différents aspects de la résilience.
La connaissance de l'environnement	Identifier les changements possibles pour les ressources utilisées et les ensembles fonctionnels.
Le temps	Déterminer si pour chaque vulnérabilité interne et externe, l'IE a le temps pour répondre et s'adapter au changement.
Les ressources	Déterminer si l'IE a les ressources (liquidités, les employés, les autres ressources utilisées, les plans, etc.) pour maintenir un fonctionnement acceptable.
L'habileté	Déterminer si l'IE est en mesure de coordonner ou gérer les impacts d'une perturbation.

Le tableau 4.7 récapitule le portrait du système, des vulnérabilités et des capacités.

Tableau 4.7: Portrait du système, des vulnérabilités et des capacités

Éléments	**Caractéristiques**	**Explications**
Système	Ensembles fonctionnels	Décomposer l'IE sous forme d'ensembles fonctionnels remplissant une fonction dans la fourniture des ressources.
	Ressources utilisées	Identifier les ressources utilisées par les ensembles fonctionnels pour la fourniture de ressources.
	Ressources fournies	Identifier les ressources fournies qui sont essentielles pour le fonctionnement d'autres IE.
Vulnérabilités internes	Interdépendances internes	Identifier les conséquences d'une perturbation d'un ensemble fonctionnel sur les autres ensembles fonctionnels.
	Les ressources utilisées	Identifier les conséquences de la perturbation d'une ressource utilisée sur le fonctionnement de l'IE.
	Mesures alternatives	Identifier les mesures alternatives et des conséquences de leurs perturbations sur le fonctionnement de l'IE.
Vulnérabilités externes	Aléas	Identifier les aléas pouvant affecter le fonctionnement de l'IE.
	Changements climatiques	Identifier les effets des changements climatiques pouvant affecter le fonctionnement de l'IE.
Capacité d'anticipation	Mécanisme de surveillance	Mettre en place des mécanismes de surveillance pour les seuils de fonctionnement acceptable ayant été définis dans le portrait des vulnérabilités.
	Marge de manœuvre	Vérifier que la marge de manœuvre que permettent ces mécanismes est suffisante pour répondre aux différentes perturbations.
Capacité de réponse	Planification courante	Établir des plans pour les besoins en ressources essentielles pour la gestion courante et identifier les ensembles fonctionnels nécessaires au bon fonctionnement.
	Planification de la continuité des opérations	Établir des plans pour maintenir un fonctionnement acceptable de l'IE lors de perturbations.
	Planification des mesures d'urgence	Établir des plans pour rétablir le fonctionnement de l'IE et s'assurer de la sécurité de chaque élément.
	Planification particulière	Établir des plans particuliers d'intervention pour certains évènements et certains éléments plus vulnérables.
	Préparation	Définir le « comment » et le « quand » de la mise en place des mesures d'atténuation ou d'évitement.

Tableau 4.7 : Portrait du système, des vulnérabilités et des capacités (suite et fin)

Éléments	**Caractéristiques**	**Explications**
Capacité d'adaptation	L'apprentissage (exercices, formation, etc.)	Déterminer si l'IE est dans une position d'apprentissage en faisant des exercices et de la formation concernant les différents aspects de la résilience.
	La connaissance de l'environnement	Identifier les changements possibles pour les ressources utilisées et les ensembles fonctionnels.
	Le temps	Déterminer si pour chaque vulnérabilité interne et externe, l'IE a le temps pour répondre et s'adapter au changement.
	Les ressources	Déterminer si l'IE a les ressources (liquidités, les employés, les autres ressources utilisées, les plans, etc.) pour maintenir un fonctionnement acceptable.
	L'habileté	Déterminer si l'IE est en mesure de coordonner ou gérer les impacts d'une perturbation.

4.4 Évaluation du potentiel de résilience

Une fois les trois portraits établis (système, vulnérabilités et capacités), l'évaluation du potentiel de résilience fournira aux gestionnaires différents outils pour les aider dans leurs prises de décisions et les guider dans la démarche de résilience en vue d'en améliorer le potentiel. Cette évaluation comporte trois étapes :

1. état des connaissances du portrait du système et des vulnérabilités ;
2. analyse de la cohérence ;
3. analyse de la performance.

L'étape 1 réfère à la progression de l'acquisition de connaissances concernant le portrait du système et des vulnérabilités. L'étape 2 réfère à la cohérence de l'ensemble des composantes du potentiel de résilience et l'étape 3 réfère à l'analyse de la performance pour chacune des capacités. La figure 4-4 met en perspective (grisé) ces trois étapes.

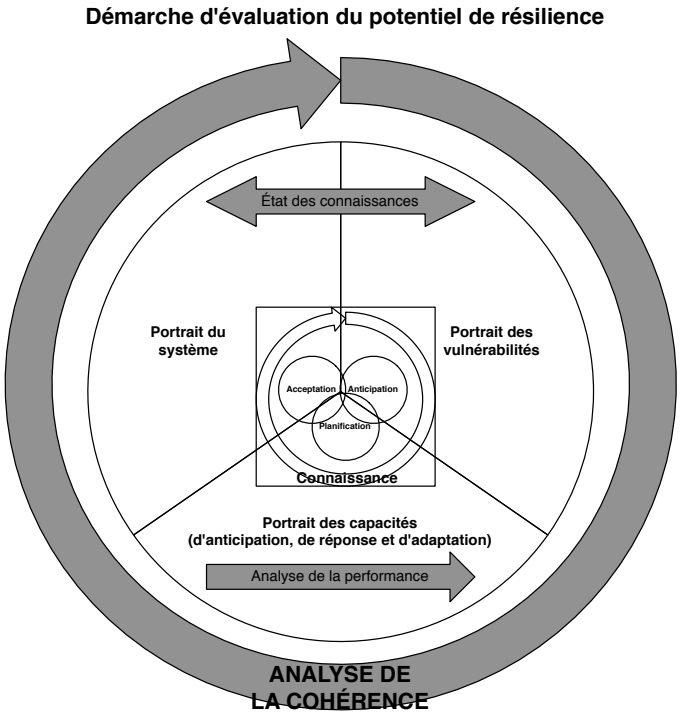


Figure 4-4: Mise en perspective des trois étapes de l'évaluation dans le portrait global de la démarche

Cette manière de procéder pour l'évaluation du potentiel de la résilience est orientée sur des aspects techniques et se veut complémentaire à d'autres méthodes ou modèles (Simpson, 2008 ; Stephenson, Varogo & Seville, 2010 ; Hollnagel ; 2011 ; Petit, Eaton, Fisher, McAraw & Collins, 2012) qui pourraient prendre en compte d'autres types de résilience (économique, humaine, sociale, etc.). Cette caractérisation a été conçue pour les gestionnaires (mesures d'urgence, continuité opérationnelle ou sécurité civile) des IE pour mieux comprendre leur organisation. L'évaluation du potentiel de résilience peut se faire dès le départ et tout au long du processus. Les différentes applications de la démarche ont démontré l'importance de l'évaluation dès le début de la démarche pour aider les gestionnaires dans le processus.

4.4.1 État des connaissances : portrait du système et des vulnérabilités

Cette étape de l'évaluation vise à valider l'état des connaissances pour le portrait du système et des vulnérabilités de l'IE. Ce portrait donne un aperçu de l'avancement du processus d'acquisition de connaissances et identifie les éléments pour lesquels l'IE doit obtenir de l'information. Ce portrait consiste en un questionnaire sur chaque élément de la connaissance

avec des réponses possibles de style oui/non/à déterminer. Le tableau 4.8 présente l'information pour l'état des connaissances de chacun des portraits.

Tableau 4.8: État des connaissances pour chacun des portraits

Éléments	**Caractéristiques**	**Explications**	**Réponses**
Système	Ensembles fonctionnels	Tous les ensembles fonctionnels (EF) ont-ils été identifiés ?	Oui / Non / À déterminer
	Ressources utilisées	Pour chaque EF, toutes les ressources utilisées ont-elles été identifiées ?	Oui / Non / À déterminer
	Ressources fournies	Pour chaque EF, toutes les ressources fournies ont-elles été identifiées ?	Oui / Non / À déterminer
Vulnérabilités internes	Interdépendances internes	Les conséquences d'une perturbation d'un ensemble fonctionnel sur les autres ont-elles été identifiées ?	Oui / Non / À déterminer
	Ressources utilisées	Pour chaque ressource utilisée, les conséquences sur le fonctionnement de l'IE ont-elles été identifiées ?	Oui / Non / À déterminer
	Mesures alternatives	Pour chaque ressource utilisée, une mesure alternative a-t-elle été identifiée ? Les conséquences d'une perturbation de chaque mesure alternative sur le fonctionnement de l'IE ont-elles été identifiées ?	Oui / Non / À déterminer Oui / Non / À déterminer
Vulnérabilités externes	Aléas	Les aléas pouvant perturber le fonctionnement de l'IE ont-ils été identifiés ?	Oui / Non / À déterminer
	Changements climatiques	Les effets des changements climatiques pouvant perturber le fonctionnement de l'IE ont-ils été identifiés ?	Oui / Non / À déterminer

Ce tableau doit être raffiné en incluant l'énumération de chaque caractéristique pour avoir un portrait global. L'objectif est de s'assurer que chaque réponse est validée et que les réponses « à déterminer » seront traitées si possible. Ce tableau est essentiel pour l'analyse de cohérence qui est présentée plus loin. Les différents recoupements entre les éléments et les caractéristiques peuvent faire ressortir des problématiques advenant une perturbation. Cela aide les gestionnaires à prioriser les caractéristiques pour lesquelles ils désirent obtenir les informations nécessaires.

Ce portrait sensibilise les gestionnaires à la mesure du potentiel de résilience, car la connaissance en est une partie importante. Cela ouvre directement la voie vers des analyses de cohérence lorsque des disparités apparaissent dans certaines parties du portrait.

4.4.2 Analyse de la performance

L'étape de l'analyse de la performance consiste à analyser chacune des capacités en profondeur pour déterminer un niveau qualitatif de performance. Pour l'instant, l'état des travaux ne permet pas une évaluation proprement dite de la performance par l'entremise d'indicateurs. L'analyse permet par contre de guider les gestionnaires des IE sur des éléments à améliorer dans chacune des capacités (anticipation, réponse et adaptation).

Pour procéder à l'analyse de la performance, un état optimal (objectif) doit être défini pour chaque élément des capacités. Cette étape revient à définir un fonctionnement optimal en vue d'assurer un potentiel de résilience advenant des perturbations. L'analyse est principalement qualitative, mais les IE qui possèdent déjà certains indicateurs (état de préparation, gestion des risques ou continuité) peuvent s'en servir pour en améliorer l'analyse. De futurs travaux en ce sens devront s'attarder soit à intégrer des indicateurs existants, par exemple ceux du *Argonne National Laboratory* ou d'autres travaux de recherche (Simpson, 2008 ; Stephenson, Vargo & Seville, 2010 ; Lee, Vargo & Seville, 2013), soit à développer des indicateurs autant pour l'analyse de la cohérence que pour la performance.

L'analyse de la performance peut se définir, pour l'instant, selon deux critères : la période temporelle et la qualité. Lorsque des indicateurs seront développés, il sera possible d'introduire une notion de performance en terme numérique (par exemple 80% de réalisation des plans). La période temporelle dans le cas des IE correspond à celle définie précédemment qui est de l'ordre d'une semaine. Cette période temporelle est globale et une période temporelle plus courte peut être définie en fonction de chacune des capacités. La qualité réfère à l'atteinte de standards élevés pour les éléments concernés. Par exemple, un plan doit être le plus complet possible pour assurer une gestion efficace des conséquences. Les sous-sections qui suivent présentent des exemples d'analyses possibles pour chacune des capacités.

4.4.2.1 Capacité d'anticipation

La capacité d'anticipation comporte deux éléments :

1. Les mécanismes de surveillance ;
2. La marge de manœuvre.

L'analyse de la performance s'assure que l'anticipation dégage la marge de manœuvre nécessaire pour mettre en place les différents éléments de la capacité de réponse en vue d'assurer un fonctionnement acceptable. L'analyse doit identifier, entre autres, que :

- chaque ressource utilisée est surveillée à l'aide d'un mécanisme de surveillance ;
- les éléments de l'environnement susceptibles de venir perturber le fonctionnement de l'IE (ou un de ses ensembles fonctionnels) sont surveillés ;
- les seuils de fonctionnement acceptable qui ont été définis offrent une marge de manœuvre suffisante advenant une perturbation.

4.4.2.2 Capacité de réponse

La capacité de réponse fait référence à ce que l'IE peut faire pour maintenir ou rétablir son fonctionnement acceptable. La capacité comprend :

- la planification prise au sens large et couvrant l'ensemble des activités ;
- la préparation.

Ces deux éléments guident la mise en place de différentes mesures pour assurer un potentiel de résilience. La capacité de réponse est celle dont la littérature scientifique (Simpson, 2008 ; Stephenson, Vargo & Seville, 2010 ; Hollnagel, 2011 ; Petit, Eaton, Fisher, McAraw & Collins, 2012) est la plus explicite et pour laquelle elle fournie une panoplie d'indicateurs. Donc, l'analyse qui est présentée viendra compléter ce qui est déjà existant.

L'analyse de la performance consiste à déterminer si l'IE est capable de déployer ses ressources et mesures afin de maintenir un fonctionnement acceptable ou de le rétablir en deçà d'une semaine. Elle doit identifier, entre autres :

- que l'IE est capable de passer rapidement d'un mode de gestion normale à un mode de gestion pour répondre à une perturbation (adapté et en traduction libre de Stephenson, 2010) ;
- que l'IE possède une structure de réponse adéquate conduisant à l'atteinte des objectifs de maintien de fonctionnement acceptable ou de rétablissement.

4.4.2.3 Capacité d'adaptation

La capacité d'adaptation peut se résumer par la capacité pour une IE d'avoir le temps, les ressources et l'habileté pour faire face à des perturbations et maintenir un fonctionnement acceptable, le tout dans un contexte dynamique d'apprentissage. Ce qui revient pour paraphraser Lagadec (2012) « à se préparer à être surpris ». L'analyse de la performance détermine les moyens à la disposition de l'IE pour assurer un certain potentiel de résilience. L'analyse concerne les points suivants :

- le processus d'apprentissage de l'IE face à différents évènements est-il adéquat ?
- la marge de manœuvre (temporelle et ressource) permet t-elle de maintenir un fonctionnement acceptable ?
- l'IE a-t-elle le temps et les ressources pour rétablir un fonctionnement acceptable dans les délais (dans le ce cas-ci, une semaine) ?
- l'IE gère-t-elle ou coordonne les activités en vue de maintenir ou de rétablir un fonctionnement acceptable et comment cela peut influencer le potentiel de résilience ?

Le premier résultat de cette analyse de performance est une appréciation des capacités de l'IE à maintenir ou à rétablir un fonctionnement acceptable et ainsi avoir un certain potentiel de résilience. L'état des travaux de recherche ne permet pas pour le moment de procéder à une évaluation de cette performance sous forme d'indicateurs qui ouvrirait la voie vers la création d'un indice. Par contre, autant l'analyse de la performance que celle de la cohérence, qui est présentée dans la prochaine section, dressent un portrait de la situation et offrent des pistes d'amélioration concrètes aux gestionnaires des IE pour travailler sur leur potentiel de résilience.

4.4.3 Analyse de la cohérence

L'analyse de cohérence vise à vérifier la consistance entre les différentes composantes de l'IE et à assurer une harmonie dans les différents éléments de chacune des capacités. Elle assure, autant pour une IE que pour plusieurs IE interdépendantes, une cohésion entre les seuils de fonctionnement acceptable, les mécanismes de surveillance, la mise en œuvre de la planification et les mesures d'adaptation. Elle est destinée aux gestionnaires et leur donne une vue d'ensemble de l'IE. L'analyse de cohérence leur fournira les informations nécessaires pour s'assurer d'une

uniformité et d'une cohésion dans les différentes actions et mesures mises en place en vue d'assurer un potentiel de résilience. Ce qui doit être évité, ce sont des actions contradictoires ou déphasées lors de la mise en œuvre des plans. Pour l'instant, cette analyse est qualitative et doit être exécutée par quelqu'un ayant une vue d'ensemble et qui est concerné par l'ensemble des activités de l'IE. Pour procéder à cette analyse, deux critères ont été élaborés, la compréhension et l'interdépendance.

Le critère sur la compréhension concerne la composante « portrait des connaissances et des vulnérabilités » du potentiel de résilience. Ce critère s'assure que les résultats obtenus sont probants. L'analyse vise à s'assurer que chaque personne qui procède à l'établissement du portrait des connaissances et des vulnérabilités a la même compréhension de ce qu'il récolte comme information, surtout au niveau de l'acceptabilité du fonctionnement et de l'identification des vulnérabilités. L'analyse de la cohérence ne cherche pas à identifier des erreurs dans les connaissances, mais bien à identifier des disparités et de confirmer ou infirmer celles-ci.

Par exemple, un gestionnaire d'un ensemble fonctionnel peut définir qu'aucune perturbation n'est acceptable dans son fonctionnement alors qu'un autre gestionnaire d'une autre IE (avec une ressource fournie similaire) peut définir que son fonctionnement acceptable n'est affecté par aucune perturbation. Les deux définitions sont acceptables en elles-mêmes. Une analyse de cohérence s'assure que cela ne génère pas de disparités dans les mécanismes de surveillance mis en place et dans la mise en œuvre de la réponse.

Le deuxième critère est l'interdépendance. L'analyse de la cohérence sous cet angle permet d'analyser les différents portraits entre eux. Voici deux exemples :

1. Ce critère peut servir à vérifier si une ressource à surveiller :
    - est surveillée ;
    - a un seuil de fonctionnement défini ;
    - a un mécanisme de surveillance en place ;
    - est prise en compte pour la capacité de réponse ;
    - etc.

2. Ce critère peut servir aussi à vérifier si des disparités dans les seuils de fonctionnement acceptable de tous les ensembles fonctionnels de l'IE sont observées. Ainsi, sur la figure 4-2, l'ensemble fonctionnel 3 devient défaillant après 3 heures alors que les autres ensembles fonctionnels (1 et 2) deviennent défaillants après 6 heures[2]. Cette analyse détermine donc que globalement, la marge de manœuvre de l'IE est de 3 heures. Il s'agit de vérifier si cela est conforme avec ses politiques et ses missions.

Cette analyse de cohérence entre les ensembles fonctionnels devrait identifier celui qui peut amplifier ou propager une perturbation. Elle se fait de manière qualitative et doit être exécutée en parallèle du reste des étapes de la démarche. La cohérence aborde la résilience sous un nouvel angle et de récentes applications ont permis de constater que pour les gestionnaires, cette analyse améliore la compréhension de la démarche et mène vers une meilleure appréciation du potentiel de résilience.

Comme mentionnés auparavant, d'autres critères pourront s'ajouter à l'analyse de cohérence, par exemple, une analyse plus approfondie au niveau des indicateurs des capacités ou à des analyses globales entre IE de même nature dans un environnement donné. Cela sera abordé dans la discussion générale.

4.5 Vers une représentation du potentiel de résilience

Il est possible de définir le potentiel de résilience sous l'appellation « d'état de résilience », état pouvant se définir comme « état dans lequel un système a l'habileté de continuer ses opérations en s'adaptant à un environnement changeant » (Hémond et Robert, 2012b). Il peut être représenté sous forme de tableau de bord (voir l'exemple de la figure 4-5) et il peut servir pour les différents gestionnaires. L'objectif ici n'est pas d'ajouter une énième représentation, mais bien de s'assurer qu'une future représentation du potentiel de résilience comprenne certaines caractéristiques importantes pour la prise de décision.

---

[2] En supposant qu'ils sont tous de même nature dans la fourniture de la ressource.

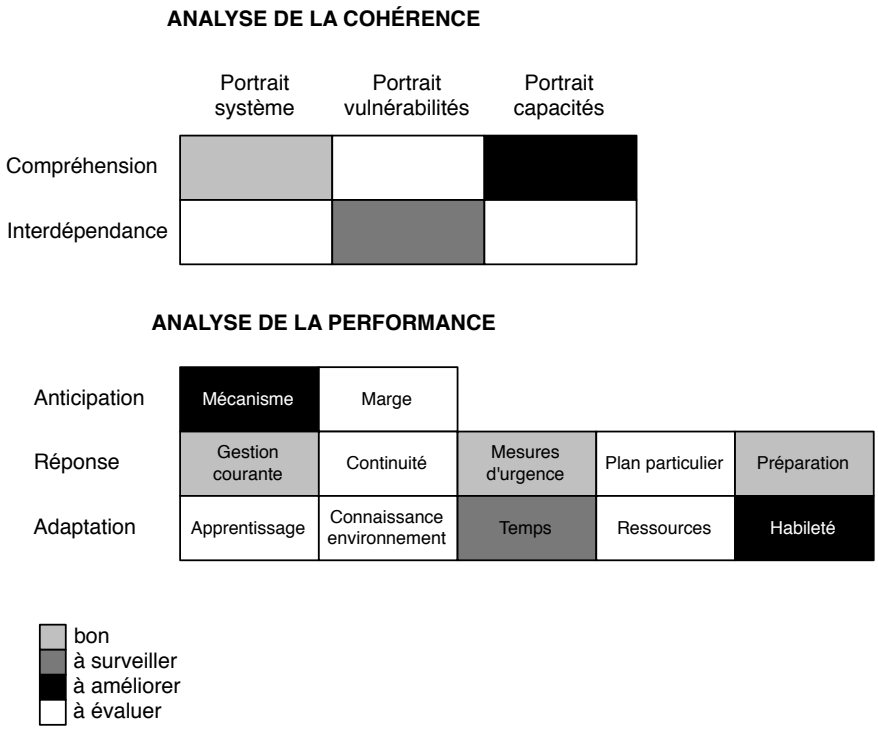


Figure 4-5: Exemple de tableau de bord représentant l'état de potentiel de résilience d'une IE

L'exemple représenté à la figure 4-5 reprend les différents éléments de la démarche d'évaluation du potentiel de résilience. Les résultats des analyses de cohérence entre chacune des composantes de l'IE seront représentés dans la partie supérieure du tableau de bord et l'évaluation de la performance sera représentée dans la partie inférieure. Dans le cadre d'un tableau de bord, une représentation des résultats en couleurs est donc souhaitable. Pour ce faire, une échelle qualitative associée à des codes de couleur pourrait être définie pour représenter ces résultats d'analyse et d'évaluation (gris pâle = bon, gris foncé = à surveiller, noir = à améliorer, blanc = à déterminer). Les deux critères d'analyse de la cohérence (compréhension et interdépendance) peuvent être évalués selon cette même échelle.

Par exemple, dans la figure 4-5, le résultat de l'analyse de cohérence conclut que la compréhension du portrait du système est cohérente, que les interdépendances analysées dans le portrait des vulnérabilités sont à surveiller et que la compréhension dans le portrait des capacités est à améliorer. De la même manière, les résultats d'analyse de la performance doivent être représentés. Par exemple, dans la figure 4-5, la performance pour les mécanismes dans la capacité d'anticipation et l'habileté dans la capacité d'adaptation sont à améliorer.

L'exemple de tableaux de bord illustré par la figure 4-5 peut aider un gestionnaire dans la prise de décision. Cette manière de représenter les résultats des trois évaluations identifie rapidement les points à améliorer et à surveiller. De plus, les cases laissées en blanc indiquent aux gestionnaires le travail qui reste à accomplir pour compléter les étapes d'évaluation. Cela peut aider dans la priorisation des actions correctives. Une fois l'ensemble des cases colorées, il revient aux gestionnaires de s'assurer d'une mise à jour de celles-ci pour être le plus près de la réalité. Cette représentation illustre bien le caractère global et dynamique de l'évaluation. L'objectif est que chaque case soit gris pâle, c'est-à-dire au plein potentiel de résilience pour l'IE. Par la suite, on s'assure de maintenir ce potentiel de résilience par des évaluations périodiques.

Ce tableau de bord peut être global et, à la manière d'un système de forage de données, il peut être raffiné case par case pour identifier de manière plus précise où les problèmes se situent (ensemble fonctionnel ou précision sur les portraits ou les capacités). Pour le moment, cette représentation en est à sa première étape, de futurs travaux pourront éventuellement développer un prototype réel.

La démarche d'évaluation présentée vise à fournir de l'information aux gestionnaires d'une IE pour les guider dans la prise de décision concernant leur potentiel de résilience. Le prochain chapitre présentera différentes validations qui ont été faites pour ces travaux de doctorat.

CHAPITRE 5 VALIDATION DES CONCEPTS DE LA DÉMARCHE

Ce chapitre présente trois validations de différents concepts de la démarche. En lien direct avec la méthodologie de recherche présentée au chapitre 2, ces validations ont eu lieu tout au long du déroulement des travaux de doctorat.

5.1 Portrait du système pour le système essentiel « finance »

Des travaux de validation concernant les premières étapes de la méthode initiale du CRP ont été exécuté au début des travaux présentés dans cette thèse. Cette validation a permis de confirmer l'importance du portrait du système et une réorientation de l'étude des intrants et des extrants vers l'établissement du portrait des vulnérabilités présentés au chapitre 4. Cette validation s'est faite par Catalan (2011) avec le ministère responsable du système essentiel « finance », soit le ministère des Finances du Québec.

Ces travaux sur le portrait du système ont démontré son utilité et ils ont amélioré la compréhension du fonctionnement de ce système essentiel. Par contre, ces travaux ont également démontré que d'établir un portrait du système aussi complexe demande un travail constant d'acquisition de connaissances et de validation qui peut s'étendre facilement sur une année.

De ce premier constat, un nouveau portrait du système a été défini et présenté au chapitre 4. L'objectif étant de simplifier l'acquisition de connaissance. De plus, le portrait des vulnérabilités défini dans ces travaux de doctorat vise également à simplifier l'étude des ressources utilisées (intrants) et des ressources fournies (extrants). Ces travaux ont permis de se questionner sur la complexité de la démarche ainsi que sur les diverses représentations possibles des résultats. Comme l'ont démontré ces travaux de doctorat, la notion de caractérisation demande d'aborder son organisation sous un angle inhabituel. Le tableau 5.1 présente l'évolution de la démarche qui a résulté de cette première validation et des réflexions qui ont suivies.

Tableau 5.1: Évolution de la démarche initiale d'évaluation de la résilience

Démarche initiale	Démarche proposée
Portrait du système • Définition du système • Identification et décomposition des principales ressources fournies • Identification des ensembles fonctionnels	Portrait du système • Ressources utilisées • Ensemble fonctionnel • Ressources fournies

Études des ressources fournies et utilisées
• Caractérisation des ressources fournies et de leur mode de dégradation
• Caractérisation des ressources utilisées et de leur mode de dégradation
• Évaluation des impacts et des délais d'affectation
	Portrait des vulnérabilités
	• Internes
	  o Interdépendances
	  o Ressources utilisées
	  o Mesures alternatives
	• Externes
	  o Aléas
	  o Changements climatiques
	
	Portrait des capacités
	• Capacité de réponse

Gestion des défaillances • Identification des éléments critiques • Caractérisation des mesures de prévention • Caractérisation des mesures de protection	
Évaluation de la résilience • Connaissance du système • Capacité à maintenir ses activités • Capacité à rétablir ses activités • État de résilience du système	Portrait des capacités • Capacité de réponse Évaluation du potentiel de résilience • État des connaissances (système et vulnérabilités)
Composantes non présentes dans la démarche initiale	Portrait des capacités • Capacité d'anticipation • Capacité d'adaptation Évaluation du potentiel de résilience • Analyse de la cohérence • Analyse de la performance

Dans ce tableau, on peut constater que chaque portrait a été simplifier pour se limiter à ce qui est essentiel pour procéder aux différentes évaluations. De plus, la dernière ligne démontre l'apport des travaux de doctorat dans l'évolution de la démarche initiale. Les deux prochaines validations présentées concernent l'analyse de la cohérence. Ces validations ont permis de mieux caractériser cette analyse et de comprendre toute la portée qu'elle offre dans une perspective d'évaluation de potentiel de résilience.

5.2 Validation de la notion de cohérence et des concepts de résilience

Un exercice de table regroupant plus d'une centaine d'intervenant de sécurité civile œuvrant dans des municipalités et des IE a permis de valider la notion de cohérence et les trois concepts de

résilience, soit l'anticipation, l'acceptation et la planification. Cet exercice s'est déroulé dans le cadre du Colloque annuel 2012 de la sécurité civile du Québec. Cet exercice avait pour objectif de faire réfléchir les participants sur la notion de cohérence présentée dans cette thèse. Cela a été très révélateur et a servi à raffiner les critères d'analyse (compréhension et interdépendance) présentés au chapitre 4. De plus, le caractère complémentaire et global donné à cette démarche a pu être confirmé par les participants.

Le déroulement de l'exercice consistait à présenter diverses informations aux participants pour que ceux-ci réfléchissent sur des points précis. Dans un premier temps, un portrait d'une région leur a été présenté pour qu'ils identifient si ce portrait était complet et si non, ce qu'il manquait. Par la suite, il leur a été présenté divers points d'analyse de la vulnérabilité (dépendance et sensibilité à des aléas) pour qu'ils se questionnent sur ce qui pourrait compléter ce portrait. Pour terminer, une évaluation des activités de planification leur a été fournie. Une première analyse de la cohérence entre la planification et les deux autres éléments a été présentée par la suite. Le constat qui ressort de cet exercice est que la cohérence est primordiale lorsqu'il est question de résilience. Les participants ont manifesté leur intérêt face à ce type d'analyse et ils ont confirmé que cette cohérence entre la planification et les autres éléments du système n'est pas analysée présentement. Autre constat, la nécessité de systématiser et de définir des critères d'analyse pour mieux orientés le gestionnaire. Ce constat est à l'origine de la réflexion et des travaux de doctorat ayant permis de débuter la systématisation de l'analyse et la proposition des deux critères d'analyse de la cohérence, soit la compréhension et l'interdépendance.

5.3 Analyse de cohérence a posteriori

Une validation s'est effectuée sur les données recueillies lors de la démarche de résilience gouvernementale des systèmes essentiels du gouvernement du Québec. Plusieurs types de disparités ont été identifiés, voici les deux principales :

- une formulation floue des termes clés de la démarche (ressources fournies, rôles, fonctions, responsabilités, etc.) ;
- une compréhension non uniforme des conséquences sur la population, les activités économiques et sur la gouvernance ;

Les recommandations qui en découlent vont donc en ce sens. Une de ces recommandations est de clarifier les différents termes et de s'assurer d'une compréhension mutuelle adéquate. Le point concernant la compréhension non uniforme des conséquences valide la nécessité d'analyser la cohérence. Des disparités dans l'identification des conséquences pour des systèmes essentiels similaires ont été identifiées suite à cette analyse. Ils ont par la suite été utilisés pour questionner les responsables de ces systèmes. Le résultat de ce questionnement est qu'effectivement, il y avait une compréhension différente dans l'identification des conséquences.

Cette simple validation laisse entrevoir un potentiel énorme pour les analyses de cohérence. Il est important de comprendre que cette disparité identifiée se reflètera tout au long du processus (établissement de mesures de surveillance, définition du fonctionnement acceptable, mise en œuvre des plans). Donc, il peut en résulter une réponse inadéquate et pouvant même être contradictoire dans certaines situations.

Cette validation est venue confirmer deux éléments. Premièrement, il est nécessaire de développer des critères d'analyse de la cohérence pour mieux l'orienter. Deuxièmement, cette analyse peut se faire dès le début du processus, d'où la notion non linéaire de cette démarche. En effet, de valider l'analyse de cohérence sur un rapport d'exercice a permis de constater toute la porté que peut avoir ce type d'analyse. En plus, cela constitue un argument en vue de convaincre des gestionnaires de s'inscrire dans une démarche d'évaluation du potentiel de résilience. En ayant identifié des disparités dès le départ, cela rend plus concret ce type de démarche.

Ces validations démontrent bien toute l'importance d'une démarche d'évaluation du potentiel de résilience pour des IE, mais également pour tout type d'organisation. Il sera impératif dans de prochains travaux de se questionner sur l'utilisation plus complète et systématique de cette analyse de cohérence, car son plein potentiel n'est qu'entrevu et pourra certainement mener à un renforcement plus complet du potentiel de résilience. La discussion générale qui suit portera, entre autres, sur les forces et les limites des résultats présentés.

CHAPITRE 6 DISCUSSION GÉNÉRALE

Ce chapitre présente la portée de ces travaux de recherche ainsi que les limites de la recherche et les développements futurs possibles.

6.1 Originalité des travaux

La principale innovation de ces travaux réside dans l'analyse de la cohérence qui est proposée dans cette démarche d'évaluation du potentiel de résilience pour une IE. Cette analyse de la cohérence n'est proposée, de manière explicite et centrale, par aucune autre approche méthodologique étudiée. Elle constitue une avancée majeure en termes de potentiel de résilience puisqu'elle fait le lien entre les différentes composantes de cette résilience et s'assure que les mesures prennent en compte l'ensemble des paramètres requis. L'innovation secondaire découlant de ces travaux concerne la complémentarité de l'évaluation. Cette évaluation peut être intégrée dans toute autre méthode d'évaluation de la résilience que ce soit pour des IE ou pour une communauté. Présentement, les divers travaux de recherche proposant des méthodes d'évaluation de la résilience ne recherchent pas cette complémentarité et chacun redéfinit la manière d'effectuer la mesure ainsi que les objets de cette mesure.

Une autre innovation secondaire réside dans le choix de la méthodologie de recherche. En choisissant une approche axée sur l'intervention, cela confirme le caractère dynamique du domaine de recherche et permet d'apprécier les résultats obtenus, étant donné la construction de ceux-ci directement avec le milieu.

6.2 Retour sur les objectifs et les postulats

Le premier objectif de ces travaux de recherche était de *définir les concepts de résilience d'une IE*. Les concepts développés dans le cadre de ces travaux de recherche caractérisent bien le potentiel de résilience et ce qu'il requiert pour être atteint. Ces concepts sont : la connaissance, l'acceptation, l'anticipation et la planification. Cela revient à caractériser la résilience comme étant l'acceptation de certaines perturbations, l'anticipation (en temps) de leur survenue et la planification des mesures pour leur faire face. Tout cela est appuyé sur une connaissance approfondie du sujet d'évaluation et de son contexte. Ces concepts sont à la base de la démarche

qui est proposée. Ils soutiennent la définition de chacun des trois portraits (système, vulnérabilités et capacités).

Le deuxième objectif de ces travaux de recherche était de d*évelopper une démarche d'évaluation du potentiel de résilience d'une IE.* Le chapitre 4 présente la démarche proposée pour parvenir à une évaluation du potentiel de résilience d'une IE. Ce qui est proposé n'a pas la prétention d'être la seule manière pour parvenir à une évaluation, mais elle en offre une différente pour comprendre et évaluer le potentiel de résilience. La complémentarité de cette démarche en est sa principale force. Les différentes validations effectuées en regard de la démarche et de ses déclinaisons passées ouvrent la voie vers une meilleure application et l'établissement d'outils d'aide à la décision encore plus concrets pour les gestionnaires.

Les sous-objectifs reliés au développement de la démarche d'évaluation du potentiel de résilience d'une IE étaient de *définir les critères de performance et de cohérence dans une optique d'évaluation.* Ils sont pleinement atteints et des bénéfices complémentaires aux évaluations actuelles pour les IE peuvent être entrevus. Il est certain que d'autres travaux viendront enrichir les analyses proposées dans cette thèse, mais ce qui est présenté constitue une avancée majeure pour mieux cerner le potentiel de résilience. S'assurer d'une cohérence dans l'ensemble du processus offre un outil aux gestionnaires qui mesurent directement le potentiel de résilience. Il est important de rappeler que l'objectif de la cohérence est d'harmoniser la connaissance et les différentes mesures et que si des disparités existent et persistent, que celles-ci soient connues et voulues.

Le but de ces travaux de recherche était de s'assurer d'une complémentarité avec les autres méthodes existantes pour évaluer le potentiel de résilience d'une IE. Ce qui est présenté dans le chapitre 4 est assez global pour permettre l'intégration de ces évaluations à l'intérieur d'autres méthodes ou démarche. L'analyse de cohérence peut se faire à l'intérieur de n'importe quelle méthode et c'est en partie pour cette raison qu'elle constitue une avancée dans le domaine. Il en est de même pour l'analyse de la performance. Cette analyse amène les gestionnaires d'IE à se questionner sur un idéal à atteindre et de mettre tout en œuvre pour y parvenir. La section qui suit traite de cette complémentarité.

6.3 Complémentarité de la démarche avec les autres méthodes

Un des buts de ces travaux de recherche était de s'assurer d'une complémentarité de la démarche avec les méthodes existantes. Ce but est totalement atteint avec les deux analyses (cohérence et performance) qui sont présentées pour l'évaluation du potentiel de résilience. À ce stade-ci des travaux, ce choix s'avère fondamental compte tenu de l'état des connaissances dans le domaine. La complémentarité concerne également celle face aux méthodes d'évaluations déjà utilisées dans les IE. Les deux analyses proposées ajoutent une nouvelle vision à ces évaluations existantes. En adaptant l'analyse de la cohérence pour y inclure ce qui est déjà évalué et s'assurer justement d'une cohérence dans cette évaluation, le résultat qui en découle n'en est que plus probant. L'analyse de la performance définit un état optimal et évalue les différences entre cet état et celui dans lequel l'IE se trouve réellement. Par exemple, si l'IE possède déjà des indicateurs, l'analyse de la performance peut définir des cibles pour chacun de ces indicateurs et le résultat de l'analyse pourra servir à prioriser les améliorations nécessaires pour assurer un meilleur potentiel de résilience.

Cette complémentarité est renforcée par le contexte des interdépendances et de la multidisciplinarité de la démarche. Cela amène à prendre en considération des domaines d'activités variées et différents acteurs, ce qui oblige à assurer une cohésion dans les différentes actions et surtout, une complémentarité avec ce qui existe.

En comparaison avec les deux méthodes présentées dans le chapitre 1, il est facile de constater la complémentarité de ce qui est présenté. La méthode du *Argonne National Laboratory* oriente son évaluation sur une série d'indicateurs permettant d'apprécier un niveau de résilience. L'analyse de cohérence développée dans ces travaux de doctorat peut par la suite servir dans un contexte régional. En effet, une fois plusieurs IE évaluées, il devient possible d'un point de vue régional d'identifier des disparités qui pourraient à terme, diminuer la résilience de la région. Idem pour la méthode du Centre de recherche sur les risques et les crises, l'évaluation qui en résulte permet d'utiliser l'analyse de cohérence autant à l'interne qu'au niveau inter-organisationnel.

Les développements concernant la démarche d'évaluation du potentiel de résilience devraient conserver ce but afin de mieux s'insérer dans les activités des différentes IE. À des niveaux très différents, la plupart des IE et des organisations en générales procèdent à une certaine évaluation de leur résilience, parfois sous un autre vocable (viabilité, état de préparation, continuité, etc.). Il

est donc primordial de s'assurer de cette complémentarité pour l'application de cette recherche et une adoption par l'ensemble des IE de cette démarche. La prochaine section présente les limites de la recherche et les réflexions qui n'ont pas encore abouti à des solutions durables.

6.4 Limites de la recherche

Ces travaux de recherche ont entamé un processus de validation qui n'a pu être complété. La démarche a été appliquée en partie dans le cadre des travaux sur le système essentiel « finance » par Catalan (2011), lors de l'exercice sur la résilience régionale et dans l'analyse des disparités.

La représentation du potentiel de résilience qui est présentée dans le chapitre 4 devra se confronter à la réalité pour constater si elle répond à un besoin. Il se peut qu'une représentation sous la forme des quatre dimensions de la sécurité civile, comme le *Argonne National Laboratory*, soit plus appropriée pour les gestionnaires des IE (voir figure 1-1).

Différents éléments de la démarche doivent par ailleurs être raffinés. Le premier est l'analyse de la cohérence. Deux critères ont été proposés dans cette thèse, soit la compréhension et l'interdépendance. Ils sont issus de l'exercice sur la résilience régionale et de l'analyse de cohérence a posteriori. D'autres critères devront être développés pour venir compléter l'analyse qui est faite. La cohérence est un élément primordial de la résilience et de son évaluation. Des travaux en ce sens viendront l'enrichir et le potentiel de résilience ne pourra qu'en être meilleur.

Le deuxième élément concerne la caractérisation des rôles et fonctions pour une IE. Cet élément de l'approche système défini de manière plus précise ce que chaque ensemble fonctionnel accomplit pour la fourniture d'une ressource. Plus nombreuses seront les applications de la démarche, mieux il sera possible de définir ces rôles et fonctions. Il sera également possible de mieux comprendre leurs apports à la fourniture de ressources. Ces deux points seront très utiles pour l'analyse de la cohérence et contribueront au développement de nouveaux critères d'analyse.

Le troisième élément concerne le cadre d'application de cette démarche, soit les IE. La démarche développée l'a été dans le contexte dans lequel les IE évoluent. Ce contexte particulier, défini précédemment, oriente l'analyse sur des éléments qui peuvent assurer un potentiel de résilience tout en sachant que des efforts considérables seront déployés advenant que l'IE ne soit pas en mesure d'assurer son fonctionnement. Des applications de la démarche dans d'autres domaines

que celui des IE viendront enrichir les notions de capacité et d'analyse. Ces domaines pourraient être (non exhaustif) :

- une municipalité dans une perspective de sécurité civile ;
- une région (municipalité régionale de comté ou une région administrative) ;
- un ensemble de systèmes essentiels d'un gouvernement ;
- une entreprise, organisation, compagnie, etc.

Chaque composante de la démarche pourrait être adaptée et enrichie par ces nouvelles applications, de même que les analyses et la représentation. Les limites de la recherche illustrent bien l'effervescence de ce domaine de recherche. De nombreux autres travaux de recherche seront mis en branle dans les années à venir afin d'améliorer constamment les différentes approches, analyses et évaluations reliées à la résilience.

Une application complète de la démarche doit également être effectuée pour qu'elle puisse évoluer avec les besoins du milieu. Le dynamisme du domaine de recherche et la recherche constante par le milieu de solutions innovatrices amènent ces concepts et cette démarche à constamment évoluer. Ce qui est présenté dans cette thèse constitue une photo à un moment précis. La démarche, si elle était validée ou appliquée aujourd'hui, serait déjà différente de ce qui est présenté.

D'un point de vue méthodologique, l'approche de recherche adoptée par ces travaux rend difficile le principe de reproductibilité des résultats. En effet, il sera difficile pour un chercheur de se remettre exactement dans le même contexte de recherche qui prévaut dans ces travaux de doctorat. Par contre, par l'entremise de validation de la démarche et des concepts, cela permettra de venir confirmer ou infirmer la pertinence de chaque composante de la démarche.

6.5 Quelques pistes pour de futurs travaux de recherche

Dans cette section, il sera présenté quatre pistes d'améliorations possibles des travaux présentés. Il ne constitue pas une fin en soi dans le sens que d'autres améliorations sont également possibles, mais ces points devraient être traités de manière prioritaire face à d'autres pour s'assurer de renforcir l'existant.

6.5.1 Raffinement de l'analyse de cohérence

Comme il a déjà été mentionné auparavant, l'analyse de cohérence se doit d'être raffinée pour y inclure d'autres critères. Elle constitue un avancement majeur dans l'évaluation de la résilience et son plein potentiel n'est pas encore atteint. Pour commencer, les deux critères proposés (compréhension et interdépendance) devraient être retravaillés suite à diverses applications dans des cas concrets afin de s'assurer qu'ils couvrent l'ensemble de ce qu'ils doivent couvrir. De plus, suite à ces diverses applications, il sera également possible de mieux systématiser cette analyse et de mieux orienter celui qui y procède.

D'autres travaux devront également explorer la possibilité de développer des indicateurs précis pour l'analyse, et de manière globale, pour l'évaluation du potentiel de résilience d'une IE. Ces indicateurs viendraient supporter l'analyse pour fournir une image plus complète de la cohérence. Ils pourraient être mesurés par les gestionnaires des IE et cerner les correctifs nécessaires tout en effectuant une analyse en profondeur.

6.5.2 Raffinement du portrait du système

L'approche système proposée par le CRP est maintenant utilisée depuis quatre ans. Cette approche caractérise un système par :

- des ensembles fonctionnels ;
- des rôles et fonctions ;
- des ressources fournies ;
- des ressources utilisées.

Dans la démarche proposée, il a été question des rôles et des fonctions. Par contre, ils n'ont pas été explicités en détail et leur influence sur le reste des étapes de la démarche n'ont pas été étudiées. Il est évident qu'une intégration complète de ces rôles et de ces fonctions dans la caractérisation du système aura des répercussions sur les analyses effectuées et également sur les deux autres portraits (vulnérabilités et capacités). Une meilleure connaissance du système raffinera le portrait pour les vulnérabilités auxquelles est soumise l'IE. Il en sera de même pour les capacités, une meilleure connaissance résultera d'une meilleure compréhension de l'anticipation, la réponse, mais surtout l'adaptation.

6.5.3 Exploration de la notion d'adaptation

Pour les organisations, le concept d'adaptation est fondamental pour assurer une survie dans un milieu hautement compétitif. Plusieurs écrits traitent de ce concept et il pourrait faire l'objet de nombreux travaux de recherche. La manière d'aborder l'adaptation dans ces travaux de recherche consiste à se demander si l'IE a le temps, les ressources et l'habileté pour s'adapter. Des travaux sur l'adaptation pourraient fournir des outils aux gestionnaires des IE pour justement avoir ce temps, ces ressources et cette habileté pour s'adapter. Comme il a déjà été mentionné, cela revient à se préparer à être surpris, ce qui demande une solide connaissance de son système, de son environnement et de ses capacités pour naviguer à travers cette incertitude.

6.5.4 Analyse de la performance

Concernant l'analyse de la performance, des indicateurs devront être développés pour les gestionnaires des IE. L'approche empruntée par le *Argonne National Laboratory* pour développer ses indicateurs semble être une avenue intéressante. En questionnant les experts du milieu, il sera possible de définir des indicateurs et des poids pour chacun d'eux. Un indice de performance pourra être obtenu et il offrira la possibilité pour des IE de se comparer. Présentement, un groupe d'experts a entamé des travaux au Québec en ce sens (Hémond, Chabot, Primeau, Robert & Morin, 2013). Ce groupe en est à ses débuts, mais déjà quatre indicateurs ont été identifiés par des professionnels du milieu pour constituer une première évaluation du potentiel de résilience d'une organisation. Ces indicateurs sont :

1. le pourcentage des recommandations réalisées dans les délais suite aux rapports d'évènements et d'exercices ;
2. la capacité de prise en charge d'un évènement ;
3. l'évaluation du degré d'état d'avancement des analyses de risques (en %) ;
4. le degré de conformité entre des mécanismes de surveillance dans l'organisation et des seuils de fonctionnement acceptables.

Diverses avenues sont à l'étude pour procéder à une première mesure au cours de l'année 2013. Une approche de type modèle de maturité permettrait de bien situer les organisations dans leur

évolution vers un potentiel de résilience optimal. Les résultats de cette mesure pourront éventuellement guider les réflexions dans le cadre de travaux de recherche.

6.6 Applications possibles

La démarche présentée dans cette thèse peut servir dans différents domaines ou comme outil pour valider certaines mesures existantes dans les organisations. La présentation de deux applications possibles est pour démontrer la portée potentielle des résultats et une certaine utilisation dans diverses situations.

Pour débuter, la démarche proposée peut servir à évaluer des plans et procédures existants dans une organisation. Ces plans et procédures doivent tenir compte du contexte dans lequel l'organisation évolue. Le portrait du système et des vulnérabilités peut servir à s'assurer que ce contexte a bien été défini et pris en compte dans les plans. L'analyse de la cohérence peut également être faite sur les plans. De cette manière, une uniformité dans la compréhension du contexte est analysée, surtout dans le cas où chaque département établit son plan de manière indépendante. Par la suite, l'analyse de la cohérence peut s'assurer que de nouvelles vulnérabilités n'émergent pas de ces plans, une fois qu'ils sont mis en commun.

Une autre application possible consiste à procéder uniquement à une des composantes de la démarche. Comme il a déjà été mentionné, une IE ou une organisation pourrait simplement tenter de dresser les différents portraits (système et vulnérabilités) pour connaitre l'état de ses connaissances. De plus, elle pourrait procéder à une des deux analyses proposées dans la démarche.

Ce chapitre démontre bien que le concept de résilience appliqué à des IE constitue un domaine en constante évolution. Plusieurs travaux ont été exécutés, mais beaucoup d'autres doivent être réalisés pour comprendre totalement la portée de ce domaine. La résilience est un concept à la fois complexe et intégrateur. Elle demande une connaissance approfondie du système et de son l'environnement pour parvenir à bien saisir leurs interactions et ainsi assurer un fonctionnement acceptable en tout temps de l'ensemble de l'organisation.

CONCLUSION

La résilience est un terme qui est de plus en plus présent dans le vocabulaire des autorités gouvernementales et dans le milieu organisationnel. Le cadre de Hyogo a sensibilisé les gouvernements et par extension, l'ensemble de la communauté aux différents concepts de la résilience. La diversité des définitions et des approches dans ce domaine permet d'innover et d'explorer différentes manières d'évaluer cette résilience. Les IE sont parties prenantes de cette communauté et leur bon fonctionnement a des répercussions sur l'ensemble des autres composantes de la communauté (sociale, économique, environnementale, etc.).

Les travaux de recherche sur la protection et la résilience des IE ont évolué au cours des quinze dernières années. Suite aux évènements du 11 septembre 2001, le bon fonctionnement des IE a été orienté sur leur protection physique. Depuis quelques années, cette protection a évolué vers la résilience de ces IE pour inclure autant la protection que leur capacité à assurer un fonctionnement acceptable advenant des perturbations diverses ; pas seulement de nature terroriste, mais également reliées à des phénomènes naturels ou anthropiques. L'étude des interdépendances entre IE a également aidé à ce glissement de la protection vers la résilience. Les interdépendances ont révélé l'extrême interconnexion de ces IE et leur dépendance à des ressources essentielles.

Ce contexte interdépendant des IE a guidé les bases du développement de la démarche d'évaluation du potentiel de résilience proposée. L'établissement des portraits offre une meilleure compréhension des interactions entre les ensembles fonctionnels et les ressources à l'intérieur de l'IE, mais également entre des IE interdépendantes. Les analyses proposées identifient des actions concrètes pour améliorer la disponibilité des ressources que fournissent ces IE.

L'analyse de cohérence qui est présentée constitue une des avancées majeures pour l'évaluation du potentiel de résilience. Elle peut être appliquée à différents niveaux dans l'IE et harmonise les composantes du potentiel de résilience. Cette cohérence, comme il a été démontré, s'assure que les éléments nécessaires pour assurer un fonctionnement acceptable sont compatibles entre eux et qu'une incohérence n'entraine pas des problèmes, par exemple lors de la mise en œuvre des plans de continuité ou de mesures d'urgence.

La complémentarité de la démarche avec les autres méthodes d'évaluation de la résilience est un autre point majeur. La démarche proposée permet à une organisation d'ajouter des analyses au système d'évaluation déjà en place dans l'IE. Cette complémentarité fournit des outils encore plus complets aux gestionnaires. De plus, cette démarche est également complémentaire aux autres méthodes proposées dans la littérature. L'objectif était de ne pas redéfinir un nouveau cadre d'évaluation, mais bien de compléter ceux existants.

Les prochains travaux sur la démarche devront s'attarder à parfaire l'analyse de cohérence. Déjà, avec les deux critères proposés et les trois applications qui ont été faites, il est possible de constater la valeur de cette analyse. D'autres critères élargiront le champ d'application de cette cohérence et éventuellement le développement d'indicateurs. La cohérence constitue le point central du potentiel de résilience autant pour une IE que pour une organisation. Elle prend également tout son sens dans un contexte d'interdépendance, contexte qui amène différents acteurs à intervenir sur des problématiques parfois de manière différente. La cohérence dans ce cas vise à harmoniser la réponse et de s'assurer d'une cohésion dans les différentes actions mises en place pour traiter cette problématique.

Dans les années à venir, d'autres applications de la démarche dans des domaines organisationnels différents de celui des IE pourraient être envisagées. Des organisations ayant des interdépendances internes élevées résultant de leur taille ou de leurs activités pourraient bénéficier de ces travaux. Par exemple, des immeubles à vocation multi-usages (Place Ville-Marie) présentant une grande diversité d'occupants interdépendants pourraient bénéficier d'une évaluation du potentiel de résilience et des analyses sous-jacentes. Le gestionnaire de l'immeuble serait en mesure d'assurer une continuité de service auprès des occupants.

Pour l'évaluation du potentiel de résilience, plusieurs autres travaux de recherche pourront également servir à la bonifier. Des modèles axés sur la maturité des organisations, par exemple, pourraient être utilisés pour orienter les gestionnaires sur différents niveaux de potentiel de résilience désiré. Ce qui est clair, c'est que le dynamisme du domaine d'application entraine différents chercheurs à améliorer les méthodes ou à en développer de nouvelles, ce qui ultimement renforcera la résilience des IE. Cette amélioration aura un effet direct sur la résilience des communautés et permettra à celles-ci de s'adapter aux différents changements environnementaux qui sont de plus en plus fréquents.

RÉFÉRENCES

Adger, W. N., Brooks, N., Bentham, G., Agnew, M., & Eriksen, S. (2004). *New indicators of vulnerability and adaptive capacity.* Norwich, United Kingdom : Tyndall Centre for climate change research.

Aptitude (2013). In *Antidote 8*. Montréal : Druide informatiques inc.

Australian Government. (2010). *Critical infrastructure resilience strategy*. Australian.

Brunner, E. M., & Suter, M. (2008). *International CIIP Handbook 2008/2009*. International CIIP Handbook. ETH Zurich : Center for security studies.

Carlson, L., Basset, G., Buehring, B., Collins, M., Folga, S., Haffenden, B., Phillips, J., Petit, F., Verner, D. & Whitfield, R. (2012). *Resilience Theory and Applications*, 80th Military Operations Research Society Symposium, June 13, United States Air Force Academy, Colorado Springs, CO, USA.

Carpenter, S., Walker, B. H., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, 4(8), pp. 765–781.

Catalan, C. (2011). *Approche méthodologique de l'évaluation de la résilience des systèmes essentiels du Québec*. M.Sc.A. École Polytechnique de Montréal, Qc.,Canada.

Catalan, C. & Robert, B. (2011). Evaluation of organizational resilience: Application in Quebec. *Proceedings of the fourth resilience enginnering symposium,* (pp. 50-58). France : Presses Des Mines.

Collins, M., & Petit, F. (2011). Measuring a Community's Ability to Withstand – Creating a Community Resilience Assessment Methodology, *2nd Annual West Point Critical Infrastructure Symposium, Integrating policy, practice, and education for infrastructure resiliency,* April 29-30, West Point, NY, USA.

Collins, M. J., Eaton, L., Shoemaker, Z., Fisher, R., Veselka, S., Wallace, K. & Petit, F. (2011). *Developing an Operational Capabilities Index of the Emergency Services Sector (*ANL/DIS-11-9). Chigago: Argonne National Laboratory, Decision and Information Sciences Division,

Dalziell, E.P. & McManus, S.T. (2004). Resilience, Vulnerability, and Adaptive Capacity: Implications for System Performance. paper presented at the *1st International Forum for Engineering Decision Making (IFED)*, 5-8 Dec 2004, Stoos, Switzerland, available at: http://hdl.handle.net/10092/2809

Department of Homeland Security (DHS). (2007). *Target Capabilities List*. Washington, DC : DHS.

Department of Homeland Security (DHS). (2008). *National Incident Management System*. Washington, DC: DHS.

Department of Homeland Security (DHS). (2012). *Resilience measurement index*. Washington, DC : DHS.

Department of Homeland Security. *Regional resiliency assessment program | Homeland Security*. Consulté le 1 mars 2013, Tiré de http://www.dhs.gov/regional-resiliency-assessment-program

Di Mauro, C., Bouchon, S., Logtmeijer, C., Pride, R.D., Hartung, T. & Nordvik, J.P. (2010). A structured approach to identifying European critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*, 6(3), pp. 277–292.

Folke, C., Colding, J., & Berkes, F. (2003). Synthesis: Building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. (F. Berkes, Ed.), *Navigating social-ecological systems Building resilience for complexity and change*, Cambridge University Press, New York, NY, pp. 352–387.

Fossion, P., & Linkowski, P. (2007). La pertinence du concept de résilience en psychiatrie. *Revue médicale de Bruxelles*, 28(1), pp. 33-39.

Gibson, C. A., & Tarrant, M. (2010). A conceptual models approach to organisational resilience. *The Australian Journal of Emergency Management*, 25(2), pp. 6-12.

Guichardet, G. (2009). *Structuration et modélisation des connaissances nécessaires à l'évaluation des interdépendances entre les réseaux de support à la vie.* M.Sc.A. École Polytechnique de Montréal, Qc., Canada.

David, A., Hatchuel, A., & Laufer, R. (2012). *Les nouvelles fondations des sciences de gestion* (3 éd.).Paris : Presses des MINES.

Hémond, Y., & Robert, B. (2012a). Preparedness: the state of the art and future prospects. *Disaster Prevention and Management*, 21(4), pp. 404–417.

Hémond, Y., & Robert, B. (2012b). Evaluation of state of resilience for a critical infrastructure in a context of interdependencies. *International Journal of Critical Infrastructures*, 8(2/3), pp. 95–106.

Hémond, Y., Chabot, R., Primeau, I., Robert, B. & Morin, S. (2013). Comment une organisation peut-elle évaluer sa capacité de rétablissement ? *Colloque annuel de la sécurité civile et incendie 2013*. 19 février, Laval, Canada.

Hémond, Y. & Robert, B. (accepté pour publication). Assessment process of the resilience potential of critical infrastructures. *International journal of critical infrastructures*. Accepté pour publication. Février 2013.

Hollnagel, E. (2011). Epilogue: RAG - The resilience analysis grid. In *Resilience engineering in practice - A guidebook*. Farnham, UK : Ashgate.

Kasanen, E. Lukka, K. & Siitonen A. (1993). The constructive approach in management accounting. *Journal of Management Accounting Research*, (5), pp. 243-264.

Lagadec, P. (2012). Gestion de crise: nouvelle donne. *Sécurité & Stratégie*, (10), pp. 1–3.

Lee, A. V., Vargo, J., & Seville, E. (2013). Developing a Tool to Measure and Compare Organizations Resilience. *Natural Hazards Review*, 14(1), pp. 29–41.

Lemyre, L., & O'Sullivan, T. (in press). Enhancing Community Resilience: A Matter of Multi-level Framework, Mixed Methods and Multi-sectoral Tools. in N. Kapucu (dir). *Disaster Resiliency and Sustainability: Interdisciplinary Perspectives*. Routledge.

Manciaux, M. (2000). L'enfant et la résilience. *Schweiz Ärztezeitung*, 81(24), pp. 1319-1322.

McManus, S., Seville, E., Vargo, J., & Brunsdon, D. (2008). Facilitated Process for Improving Organizational Resilience. *Natural Hazards Review*, 9(2), pp. 81-90

Ministère de la Sécurité publique du Québec. (2008). *Approche et principes en sécurité civile.*, Québec : Ministère de la Sécurité publique du Québec.

National Infrastructure Advisory Council (2009). *Critical Infrastructure Resilience, Final Report and Recommendations*. Tiré de Department of Homeland Security http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/niac/niac_critical_infrastructure_resilience.pdf.

Norris, F. H., Stevens, S. P., Pfefferbaum, B., Wyche, K. F., & Pfefferbaum, R. L. (2008). Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. *American Journal of Community Psychology*, 41(1-2), pp. 127–150.

Organisation de la Sécurité Civile du Québec [OSCQ] (2009) *Cadre de référence de la démarche gouvernementale visant à accroître la résilience des systèmes essentiels au Québec.* Québec : Ministère de la Sécurité publique du Québec.

Pairet, J.-Y. (2009). *Méthodologie d'évaluation de la résilience*. M.Sc.A. École Polutechnique de Montréal, Qc., Canada.

Pasteur, K. (2011). *From vulnerability to resilience - a framework for analysis and action to build community resilience*. United Kingdom : Pratical Action Publishing Ltd.

Pinel, W. (2009). *La résilience organisationelle : concepts et activités de formation*. M.Sc.A. École Polytechnique de Montréal, Qc., Canada.

Petit, F. (2009). *Concept d'analyse de la vulnérabilité des infrastructures essentielles - prise en compte de la cybernétique.* Ph.D. École Polytechnique de Montréal, Qc., Canada.

Petit, F., Buehring, W. A., Whitfield, R., Fisher, R. E., & Collins, M. J. (2011). Protective measures and vulnerability indices for Enhanced critical infrastructure protection programme. *International Journal of Critical Infrastructures*, 7(3), pp. 1–20.

Petit, F., Eaton, L., Fisher, R.E., McAraw, S.F., & Collins, M.J. (2012). Developing an index to assess the resilience of critical infrastructure. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 16(1/2/3), pp. 28–47.

Petit, F., Fisher, R., & Norman, M. (2012). Risk Performance Indicators for Increasing the protection and Resilience of Critical Infrastructure. *Society for Risk Analysis Annual Meeting 2012 — Resilience Evaluation Approaches for the Analysis of Complex Systems (M4-I)*, San Francisco, USA, December 10, 2012

Public Safety Canada. (2009). *National Strategy for Critical Infrastructure*. Ottawa, ON: Public Safety Canada.

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

Robert, B., Calan, R. de, & Morabito, L. (2008). Modelling interdependencies among critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*, 4(4), pp. 392–408.

Robert, B., Pinel, W., Pairet, J.-Y., Rey, B. Coeugnard, C. & Hémond, Y. (2009). *Résilience organisationel – Concepts et méthode d'évaluation*. Montréal : Presses Internationales Polytechnique.

Robert, B. & Morabito, L. (2009). *Réduire la vulnérabilité des infrastuctures essentielles.* Paris: Tec&Doc.

Robert, B., & Morabito, L. (2010a). An approach to identifying geographic interdependencies among critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*, 6(1), pp. 17-30

Robert, B. & Morabito, L., (2010b) Dependency on electricity and telecommunications. In Lukszo, Z. Deconinck, G. & Weijnen, M. (dir). *Securing electricity supply in the cyber age: Exploring the risks of information and communication technology in tomorrow's electricity infrastructure*. (1st edition, Chapter 3). Springer: New-York.

Robert, B. & Morabito, L. (2011). *Reducing the Vulnerability of Critical Infrastructures - Methodological Manual.* Montréal: Presse International Polytechnique.

Robert, B. & Grangeat, A. (2012). *Constat des disparités – démarche gouvernementale d'évaluation de la résilience des systèmes essentiels*. (rapport interne). Montréal : *Centre risque & performance.*

Robert, B., Morabito, L., & Cloutier, I. (2012). Modeling and coordonating interdependent critical infrastructures in Montreal. *CII Review*, pp. 1–11.

Robert, B. & Morabito, L. (accepté). Simulation and Anticipation of Domino Effects among Critical Infrastructures. *International journal of critical infrastructures*. Accepté pour publication, 2012.

Simpson, D. M. (2008). Disaster preparedness measures: a test case development and application. *Disaster Prevention and Management*, 17(5), pp. 645–661.

Stephenson, A. V. (2010). *Benchmarking the resilience of organisations*. Ph.D. University of Canterbury, Christchurch, Nouvelle-Zélande.

Stephenson, A. V., Vargo, J., & Seville, E. (2010). Measuring and comparing organisational resilience in Auckland. *The Australian journal of emergency management*, 25(2), pp. 27–32.

Tillement, S., Cholez, C., & Reverdy, T. (2009). Assessing organizational resilience - an interactionist approach. *Management*, 12(4), pp. 230–265.

Therrien, M.-C. (2010). Stratégies de résilience et infrastructures essentielles. *Telescope*, 16(2), pp. 154–171.

The White House, 2011, Presidential Policy Directive/PPD-8: National Preparedness, March 30, Washington, D.C.

United Nations. (2005). *Report of the World Conference on Disaster Reduction*. World Conference on Disaster Reduction. Kobe, Hyogo, Japan, 18-22 January 2005.

ANNEXE 1 – PREPAREDNESS : THE STATE OF THE ART AND FUTURE PROSPECTS

Annexe 1 - Hémond, Y., & Robert, B. (2012). Preparedness : the state of the art and future prospects. *Disaster Prevention and Management*, 21(4), 404–417.

Abstract

Purpose (mandatory)

This aim of this paper is to show the evolution of the concept "state of preparedness" into "state of resilience" in the context of emergency management, and the implications raised by this new concept.

Design/methodology/approach (mandatory)

This paper is a literature review (scientific and governmental) of the most important articles in the field of state of preparedness evaluation.

Findings (mandatory)

This article presents two trends in the state of preparedness evaluation: 1) response capability and 2) preparation management. These two trends contribute to the evolution of the concept "state of preparedness" into "state of resilience", a state that is defined as the ability of a system to maintain or restore an acceptable level of functioning despite disruptions and failures.

Originality/value (mandatory).

This literature review helps define the concept of "state of preparedness" (in terms of both management and response capability) as the new trend of resilience.

Keywords (up to 6): resilience, state of preparedness, emergency planning, business continuity, resilience engineering

Classifications: literature review

1. Introduction

Since the start of the 21st century, events described as disasters have strengthened our attention towards communities' state of preparedness. Whether considering the terrorist attacks of September 11, 2001, the 2004 tsunami, Hurricane Katrina or the Haitian earthquake, to name just a few, these events have raised concerns about communities' response capacities and, more generally, our state of preparedness. At its Hyogo Conference, the United Nations (UN) formulated a strategy to make our communities more resilient.

This framework, combined with the many studies of preparedness (in the broadest sense) undertaken by different countries, leads us to examine the development of the concept and the new perspectives that resilience has introduced into the field of disaster management. In recent years, the trend seems to be to approach the concept of preparedness in two very different, but complementary, directions. The first sees preparedness from the perspective of response capability. The second integrates management measures designed to maintain operational continuity.

This article presents the changes in the concept of preparedness in the context of emergency measures and describes the new needs that have appeared in recent years. Preparedness should no longer be seen as just the capacity to respond to an event but as anticipating the different possible ways of addressing the event with a resilient perspective. First, several definitions of preparedness will be presented, followed by a discussion of the two different approaches to emergency preparedness that were mentioned earlier in this paper. Finally, the concept of resilience engineering will be discussed. The concepts presented in this article are part of an all-hazards approach focused on consequence management (Robert, Morabito & Queneville, 2007). This is directly related to the work of the authorities responsible for emergency measures management that need to control the consequences of various events, mainly impact on population.

2. Preparedness: Changing definitions

2.1 Brief background

Long associated with military operations (following World War II and the Cold War), preparedness was first applied to civilian affairs in the 1970s (Ministère de la sécurité publique du Québec [MSP], 2010). The initial applications referred to peacetime preparedness and dealing with disasters that affected the community. Enrico Quarantelli began his work in the field at the end of the 70s, preparing a series of working papers on disaster planning that show how planning within local communities was becoming better and more organized every year (e.g., Quarantelli & Tierney, 1979). Table 1 shows the various actions needed, based on the range of natural and human-generated agents considered (scope) and the participation of one or more organizations that plan for such disasters (extensiveness).

Scope and extensiveness of disaster planning within the local community

		Extensiveness	
		Single organization	Multiple organization
Scope	Single agent	(I) Specific plan: e.g., police civil disturbance plan	(III) Inclusive plan for specific agent: nuclear civil defence plan
	Multiple agent	(II) Extended plans: police plans for natural disaster & civil disturbance	(IV) Comprehensive plan: multiple agent & organization

Table 1 – Diagram of disaster planning in local communities (Quarantelli & Tierney, 1979)

The needs they identified that justify a better planning are still quoted today. Either because of an increase in the number of events (frequency) or a greater exposure of the population to disasters, communities must plan better, and by extension, prepare better.

There is little difference in how the issue is addressed today. Communities are increasingly exposed to different kinds of disasters, and such events seem to be becoming more and more frequent. During the late 1970s-early 1980s period, governments started creating a legislative framework and became increasingly involved. In the USA, the Federal Emergency Management Agency (FEMA) was created in 1979 (FEMA, 2010). In Canada, the first laws were passed in the

1960s, while the first provincial ministries were set up in the 1980s (MSP, 2010). Back then, the term *public safety* was first used. Now it is considered to be important to ensure people's safety both in wartime (real or apprehended, as in the case of the Cold War) and when natural disasters strike (floods, earthquakes, etc.).

2.2 Definition

In the context of civil security (disaster management or emergency measures), preparedness is part of a continuous process to improve interventions and ensure recovery when events affect public safety. It is now acknowledged that, in most cases, emergency management includes four phases: prevention, preparedness, intervention and recovery (Canadian Standards Association [CSA], 2008; National Fire Protection Association [NFPA], 2010). Preparedness involves putting a variety of means in place so first responders can intervene better, as a function of the issues identified during planning

As Simpson and Covington (2006) and McEntire and Myers (2004) point out, there is no universally accepted definition of the term. McEntire and Myers (2004) report close to a dozen different definitions of preparation. However, the literature does generally agree on the need for preparation, in the context of emergency measures, to identify and implement a variety of methods so as to be better able to intervene (CSA, 2008; NFPA, 2010). These methods generally focus on responding to a hazard in the context of a disaster, that is, a situation in which the population and its activities are severely disrupted.

Since, in a civil security context, preparation is the aim of all pre-event activities, it can be defined as follows: *the actions and measures of all kinds executed before the event that make it possible to put tools in place to better guide intervention and recovery.* This definition assumes that the event will occur, which is a characteristic of preparation (McEntire & Myers, 2004).

2.3 Evolution of the concept of preparedness

In the 1970s, preparedness, which had long been applied in the military field, began to be implemented in the civil security context. It became clear that the concept of preparation needed to be adapted, and several researchers contributed to that task. In his numerous preliminary papers, Quarantelli added the dimension of management to the concept (Quarantelli, 1986a, 1986b, 1988, 1998; Quarantelli & Tierney, 1979). The development of tools designed to better

manage emergencies and to help the various political authorities introduced a less military focus to the concept. The 20 criteria that Quarantelli (1998) developed and circulated are still used as references today (table 2). He proposed 10 criteria indicating that a community is planning appropriately for disasters (see table 2). These criteria take the form of advice and procedures. In the same format, he also proposes 10 criteria for properly managing disasters (see table 2).

Disaster planning	**Disaster managing**
Focus on the planning process rather than the production of a written document.	Recognize correctly the difference between agent and response generated needs and demands.
Recognize that disasters are both quantitatively and qualitatively different from minor emergencies and everyday crises.	Carry out generic functions in an adequate way.
Be generic rather than agent specific.	Mobilize personnel and resources in an effective manner.
Be based upon an emergent resource coordination and not a command and control model.	Involve proper task delegation and division of labor.
Focus on general principles and not specific details.	Allow the adequate processing of information.
Be based on what is likely to happen.	Permit the proper exercise of decision making.
Be vertically and horizontally integrated.	Focus on the development of overall coordination.
Strive to evoke appropriate actions by anticipating likely problems and possible solutions or options.	Blend emergent aspects with established ones.
Use the best social science knowledge possible and not myths and misconceptions.	Provide the mass communication system with appropriate information.
Recognize that crisis time disaster planning and disaster managing are separate processes.	Have a well functioning emergency operations center (EOC).

Table 2 – 20 criteria for disaster planning and management (Quarantelli, 1998)

This need for management allowed two different, but complementary, research streams to develop. The first one focuses on response capability, following from the military application of

preparedness, while the second focuses on operational continuity, which results from a more management-oriented approach to preparedness. It should be mentioned that the need for management became particularly clear in the 1990s, with the remarkable growth in information technologies and organizations' ever-increasing dependency on technology (IT and telecommunications).

2.4 Preparedness as response capability

This term, which comes from the military world, is used in government preparedness activities related to terrorism and the CBRNE (Chemical, Biological, Radiological, Nuclear and Explosives) context. In the United States, all policies related to preparation and intervention in case of emergency are focused on response capability. The most tangible result of this concept is the Target Capability List (Department of Homeland Security [DHS], 2007). This list of 37 capabilities includes all related activities on an emergency measures site. From capability "risk assessment" to capability "fatality management", a list of tasks, activities and metrics is presented for each capability so that the nation will be ready to handle 15 different scenarios (DHS, 2006). Abrief explanation of the context is given in section 3.1.

Response capability brings first responders' security and operational sides together. This way of assessing preparedness allows one to target interventions on the ground in direct relation to pre-established scenarios. However, there are few scientific studies of the concept.

2.5 Preparedness as a tool for emergency measures management

Quarantelli was one of the first researchers to combine management and preparedness. Other authors then followed suit (McEntire & Myers, 2004; O'Leary, 2004; Simpson, 2008; Sutton & Tierney, 2006). These authors, cited in this paper because of their important contributions, take the principles stated by Quarantelli and develop different evaluation methodologies, which will be presented below.

As mentioned in Section 2.3, Quarantelli give 20 criteria to evaluate planning and disaster management for a community. Because of his many publications, Quarantelli is always a reference point in the field of disaster preparation and management. He approaches the issue more from a social than from a technical standpoint. The criteria he lists (see table 2) allow one to address disaster planning and preparation from an emergency measures management perspective. This perspective has opened a research field that is still relevant today. Recent events in Japan

have demonstrated the need for social perspective in emergency measures management and the criteria it has developed apply very well to this situation. These social approach of emergency is probably what has broadened the scope of indicators towards management.

The integration of management into the concept of preparedness made managers and civil authorities more aware of the need to prepare and to develop management tools so they will be better able to anticipate the consequences of disasters and to manage such situations. This management-focused approach also brings in the notion of operational continuity. Operational continuity presupposes a preparation step that leads to the identification of those operations that must be maintained. The alignment of the two concepts (preparedness and operational continuity) is presented in the following section.

2.6 Toward the integration of operational continuity

This way of presenting emergency measures and business continuity is quite similar to existing North American standards. The latest versions of CSA-Z1600-08 and NFPA 1600 integrate emergency measures and business continuity (CSA, 2008; NFPA, 2010). These standards attempt to integrate the process of managing emergency measures into a broader context within companies. Integration favours both domains (i.e., business continuity and emergency measures management) because business continuity has often been associated only with IT issues. They can now be combined in a more general process so that companies can ensure overall continuity for their operations.

On the other hand, not all of the countries that issue standards agree with this integration. In the UK, the British Standards Institution (BSI) issued BS 25999:2006 concerning business continuity (BSI, 2006). This standard clearly distinguishes between business continuity for a company and what it calls “Civil emergency management.” In the BSI’s view, business continuity allows a company to become more resilient by identifying critical activities, whereas emergency measures management is a matter for the competent government authorities. The Business Continuity Institute, in its Good Practice Guidelines (Business Continuity Institute, 2010), includes preparedness in a context of emergency measures within a broader process of business continuity management. As with BSI, the process objective is to improve the resilience of the organization.

The International Organization for Standardization (ISO) also organized a seminar on preparedness and operational continuity in 2006. This seminar was based on the premise that

there is no international standard for preparedness in a disaster (ISO, 2006). Among other things, participants recommended that Technical Committee ISO/TC 223 Societal Security study the feasibility of developing a standard on this matter. As well, the report listed a series of disaster preparation activities that arise from the standard on societal security, ISO/PAS 22399, which is presented in the form of a guide to help prepare for incidents and ensure business continuity (ISO, 2007).

The concept of preparedness has branched off in two directions. The first concerns response capability, a concept that emerged from the military world and that is still used today in preparation for CBRNE incidents, among other things. The second is the one that has been widely used by governments in preparing for disasters and, as presented in the following section, leads to work on the resilience of communities. This branch made it possible to add the concept of management in preparation for disasters and has been applied in civilian environments. The next section will address the evaluation of preparedness.

3. Method for evaluating preparedness[3]

Stakeholders have been evaluating preparedness for some years now. The first evaluations were done by means of exercises and simulations, as well as operating experience feedback. This methodology, which came from the military, is still widely used today (Conseil pour la réduction des accidents industriels majeurs [CRAIM], 2007). Simulations (or exercises) allow stakeholders to be immersed in a hypothetical situation (but one that is as close as possible to reality), so their reactions and the outcomes of the various actions that are taken can be analyzed. This procedure gives users an operational vision of preparation, but it does not provide any indicators enabling managers to regularly evaluate the preparedness of their companies. As well, since preparedness does not depend on operating staff alone, indicators that allow one to combine all functions present in a company have become necessary to expand the concept.

---

[3] The most important works are presented in this section. There are many others that use different statistical approaches to construct an index and evaluate preparedness.

Thereafter, the various scientific studies presented above made it possible to integrate the concept of management of preparedness into the evaluation of that state. With his criteria for disaster planning and management, Quarantelli (1998) opened the door to numerous studies, including those by David Simpson.

The scientific literature contains numerous indicators (see table 3 for some examples) that measure various aspects of preparedness, as well as methodologies for accumulating everything into an index. These indicators focus both on intervention and on planning. Nevertheless, there do not seem to be any universally accepted indicators or methodologies that would discriminate among indicators and allow the most appropriate ones to be chosen. Each country and organization wanting to measure its state of preparedness adapt the different indicators and methodologies available to their context. Nothing suggests that a method and universal indicators are desirable. The adaptation that an organization can undergo allows a better integration of the concept. The context also assumes that the environment in which the state of preparedness is measured is not the same for all (different vulnerabilities and different contingencies). Despite this, we can generalize a common indicator and, subsequently, a specific indicator, for certain hazards or certain type of consequences.

Moreover, such indicators are no guarantee of the success of an intervention. A process of reflection must be initiated to find so-called performance indicators that will actually allow causes to be linked to effects.

Category	**Indicator**
Fire protection	Average response time
	Number of fire stations
Emergency medical services	Average response times
	Number of medical personnel (per thousand people)
Other emergency functions	Established emergency operations center
	Drills and exercises
Frequency of risk evaluation	

Who participates in the risk evaluation process?
Do you have a early warning system?
Etc.

Table 3 – Sample indicators (Simpson, 2008; Standing Senate Committee on National Security and Defence [SCONSAD], 2008)

Simpson (2004) proposes a methodology for evaluating a municipality's (local administration) preparedness for disasters. This methodology includes an extremely exhaustive set of indicators that measure the preparatory means that have been put in place (see table 3 for some indicators example). The methodology is then refined in his Working Paper 06-03 (Simpson, 2006), leading to the creation of a disaster preparedness index. Simpson eventually published an article that presents his work as a whole and enables his methodology to be implemented (Simpson, 2008). This research was conducted for two communities in the United States (Sikeston, Missouri and Carbondale, Illinois). These indicators were developed to assist decision makers in assessing their state of preparedness.

O'Leary (2004) presents a practical guide for developing indicators to measure disaster preparation. This guide first explains how communities prepare for disasters, then sets out a technical framework for indicators and performance measurement. The guide follows in Simpson's footsteps, in the sense that it proposes a statistical approach to combine a set of indicators into an index. The theoretical framework presented in this work may be applicable in other fields since it is focused on indicators in general.

McEntire and Myers (2004) approach preparedness from the angle of a process. They define 10 steps needed to achieve a state of maximum preparedness. Their approach is similar to that of Quarantelli (1998) because they propose not a direct measure but a work methodology intended to foster enhanced preparedness. It is meant to fit into a broader preparation program, necessitating leadership, professionalism, effective public communications, and interagency links, all of which depend on modern technologies (McEntire & Myers, 2004).

In their report, Sutton and Tierney (2006) present the concepts underlying disaster preparedness. They have separated preparedness, and its measurement, into three units of analysis: household preparedness, business preparedness and public sector/government agency preparedness. For each unit, different research instruments are presented. There are also common metrics that can

be used in the questionnaires they present, culminating in common measures to guide preparation. The metrics presented in this report are generic, that is, they provide general questions to ask with a view to being better prepared, without specifying any concrete indicators. For example, Sutton and Tierney mention that a business needs indicators concerning knowledge of risks, but they do not propose any concrete measure. Their report follows along the same lines as those discussed above (McEntire & Myers, 2004; Quarantelli, 1998) in that it suggests business practices that should lead to better preparation and proposes avenues that should be explored for this purpose.

3.1 North American government policies

As mentioned, the Hyogo Framework for Action sets out guidelines to improve the resilience of nations and communities. To ensure that this framework was followed, the UN mandated the International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) to produce, in accordance with its structure, a guide to assist nations and communities in measuring the results of the Hyogo Framework (ISDR, 2008). The guide proposes general indicators for nations and communities to ensure that the various Framework actions are completed (table 4). These indicators may resemble so-called preparedness indicators in the sense that they verify the implementation of means to be more resilient. However, they are intended for the executive branch of government and are very general, given that they must satisfy the majority of, if not all, members of the UN.

Strategic goal	**Recommended indicators**
1: the integration of disaster risk reduction into sustainable development policies and practices	i. National development plans include elements which address disaster risk reduction. ii. All international plans and programmes such as; a. poverty reduction strategies, b. common programming tools of the UN and international agencies, c. climate change adaptation plans and strategies, d. and donor supported country development assistance programmes include elements which address disaster risk reduction.
2: development and strengthening of institutions,	i. a national policy framework for disaster risk reduction exits, that includes policies, plans and activities for national to local administrative levels

mechanisms and capacities to build resilience to hazards	ii. a national multi-sectoral platform for disaster risk reduction is functioning iii. dedicated and sufficient resources are available for planned activities to reduce disaster risks.

Table 4 – Sample indicators in the context of Hyogo framework (ISDR, 2008)

The context of evaluating preparedness from the government perspective in the USA has been very different since the events of September 2001. A DHS directive (DHS, 2010) set out an entire incident management system, based on the concept of response capability. Thus, preparedness is evaluated based on not the implementation of different methods but the ability to respond to events. This response capability is broken down into a series of activities and tasks with a standard time for each one (time to deploy human resources, technologies, etc.). They are grouped into 37 capabilities, such as "Fatality management," in the Target Capabilities List (TCL) (DHS, 2007). The system also includes other entities such as the National Incident Command System (NIMS) (DHS, 2008) and the National Response Framework (NRF) (DHS, 2008b). Everything is planned in light of 15 scenarios that represent the events most likely to happen on US territory. To support this process, FEMA was mandated to issue an annual report on preparedness in the USA (FEMA, 2009).

In Canada, work to assess preparedness is still in its infancy. Several studies have been published in recent years. In 2008, the Standing Senate Committee on National Security and Defence (SCONSAD) published a report describing the preparedness of municipalities and government departments to handle emergencies (SCONSAD, 2008). However, this report does not reveal what all the indicators measured are based on or even what the optimal state of preparedness should be.

All of these articles, government policies and standards fail to fully reflect the new wave of resilience that appears to be spreading farther and farther, set in motion by the Hyogo Framework for Action. The will to include business continuity and emergency measures is a major step in this direction, but a lot of work still needs to be done to change mentalities. In the remainder of this paper, a brief discussion on resilience and the avenues for research that it opens up will be presented. The emergence of this concept, as applied to emergency measures management, will enable us to address preparedness from a more general point of view.

4. Resilience: The emergence of a new concept

In light of the various disasters (both natural and anthropic) that have affected communities around the world, the notions of adaptability and maintenance of activities have become more important. In this regard, the Hyogo Conference laid the foundations for expanding the concept of emergency measures management to include community resilience. This resilience is reflected in "the capacity of a system, community or society potentially exposed to hazards to adapt, by resisting or changing in order to reach and maintain an acceptable level of functioning and structure. This is determined by the degree to which the social system is capable of organizing itself to increase this capacity for learning from past disasters for better future protection and to improve risk reduction measures" (UN, 2005, p. 9).

4.1 Resilience: Definition and context

Resilience is a concept that has existed for many years. This concept first appeared in physics in the early twentieth century, with the Charpy impact test, which measures the impact resistance of a material that has a notch (V-or U), depending on its geometry. Later, Holling (1973) defines resilience by a property of a system. From this principle, two broad categories of resilience have emerged. The first, socio-ecological resilience, has benefited from numerous papers and is based on a system approach operating in a changing environment (Adger, 2000; Folke, Colding & Berkes, 2003; Holling, 1973;Klein, Nicholls & Thomalla, 2003). The second, engineering of resilience (Hollnagel, Nemeth and Dekker, 2008), the natural evolution of the concept of preparedness, applies to organizations. Dalziel & McManus (2004) differenciate between these two types of resilience by explaining that the engineering of resilience concerns the system's performance and its ability to return to or maintain an acceptable operating system. While socio-ecological resilience concerns the implementation of a system capable of providing an acceptable functioning without being necessarily efficient.

As for socio-ecological resilience, Holling (1986) gives a broad definition: "the capacity to lead a continued existence by incorporating change". This definition introduces resilience key concept: adaptation. An adaptation that can be of three levels (Dalziel & Mcmanus, 2004):

1. Apply an existing and available response to solve the problem;
2. Apply an existing response in a new context;
3. Apply a new response in a new context.

Adaptation is an important concept in the field of socio-ecological resilience. Folke, Colding & Berkes (2003) describe four critical factors for adaptation, a capacity that is also quoted by Klein, Nicholls & Thomalla (2003) as a system property. Adapting the system to its environment is what distinguishes preparedness from the state of resilience. An organization that follows preparedness, takes into account plans, procedures and measures to better respond and recover, without changing its organizational structure. In the case of resilience, the same organization will try to adapt to environmental changes (disasters or others) and to change its system to maintain an acceptable functioning.

4.2 Resilience engineering and state of resilience.

With the most recent studies concerning resilience engineering (Hollnagel, Nemeth, & Dekker, 2008; Hollnagel, Woods, & Leveson, 2006; Nemeth, Hollnagel, & Dekker, 2009), as well as the resilience projects launched by different governments (ISDR, 2009; National Infrastructure Advisory Council, 2009; Organisation de la sécurité civile du Québec [OSCQ], 2009; Public Safety Canada, 2009), the concept of preparedness seems to be evolving towards a concept of resilience. This new concept expands on the concept of preparedness and covers a range of elements that had not been taken into consideration before. By defining resilience as "a system's capacity to maintain or restore an acceptable level of functioning despite perturbations or failures" (Pinel, 2009; our translation), the concept of preparedness can be broaden to integrate not merely an ability to intervene in the event of emergency or disaster, but the concept of anticipation, maintenance and adaptation of activities, regardless of what may happen (small-, medium- or large-scale events). This definition is similar in the declaration by the Prime Minister of Canada and the President of the United States of America (Harper & Obama, 2011). Indeed, the definition given by them is "our ability to mitigate, respond to, and recover from disruptions" (Harper & Obama, 2011).

The evaluation of resilience and its state implies the need to explain this concept in further details. Resilience is based on:

- concepts of systems,
- the ability to adapt,
- the acceptability of different kinds of disruptions and failures (Robert, Hémond, & Yan, 2010).

The state of resilience requires us to define what characterizes it and how an organization can be in this state. The works by Hollnagel et al. (2006, 2008) focus this debate on an organization's (or system's) adaptability in the face of a changing environment. The adaptability of an organization or group of organizations and the way in which it should be evaluated constitute the first major challenges for the emerging field of resilience engineering applied to organizations. Indeed, measuring how a complex system that is interrelated with other systems can adapt to different situations represents a significant scientific problem.

The evolution of preparedness toward resilience raises numerous other, equally major, challenges. First of all, in-depth knowledge of the system is necessary, as it allows one to better define the characteristics related to resilience and anticipation. Knowing what information is needed and what is not is an interesting research problem. Information concern the composition of the system and that enters directly into the resilience, for example, system vulnerabilities, the key resources used, etc. As well, as mentioned above, this knowledge must allow us to analyze and evaluate an organization's or group of organizations' adaptability. Adaptability leads to a measure of resilience. This kind of measurement must be ongoing and needs to integrate the temporal nature of the state, since the environment and the system are constantly changing. To conclude, all of these concepts must culminate in the elements of acceptability and the definition of an acceptable level of functioning. Acceptability presupposes that the elements making up an organization that could end in failure are known and accepted by all stakeholders. This may appear trivial, but accepting failures is no simple matter.

These numerous challenges will stimulate future studies of organizational resilience and how it should be evaluated. This kind of work should prove fruitful and lead to a complete redefinition of emergency and disaster measures management.

5. Conclusion

Ever since the Hyogo Conference in 2005, the resilience of communities and, by extension, of organizations has increasingly come to replace the concept of disaster preparedness. Many governments have initiated work in this regard; researchers too have been working to understand and develop the concept and provide tools that will help organizations be more resilient.

The evolution of the concept of preparedness to the state of resilience in the context of engineering resilience will help organizations better understand their operation and the

environment in which they operate. Preparing emergency measures in an all hazard approach assumes all risk is best represented by the study of the consequences that must be managed. The organization must learn to adapt to a changing environment that generates impacts at different levels, both positive and negative.

Recent research in this field is also studying cooperation and the interrelation of different organizations in order to be more resilient. The interdependency of our critical infrastructures and of different government agencies is now well known. The resilience approach, combined with adaptability, should be applied on the ground by the organizations that manage emergency measures for the population, in other words, municipalities working together with the owners of critical infrastructures.

Three key challenges were presented in the previous section:

1. Evaluating an organization's adaptability,
2. Gaining in-depth knowledge of a system and choosing the right information,
3. Continuously measuring resilience.

By addressing these challenges, it should be possible to develop resilience indicators that will enable communities to better handle the various disruptive events that may arise and thus to better protect the people exposed to such events.

6. References

Adger, W. N. (2000). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography*, Vol. 24, No. 3, pp. 347-364.

Business Continuity Institute (BCI). (2010). *Good practice guidelines 2010 – Global edition*. Caversham:United Kingdom.

British Standards Institution (BSI). (2006). *Business Continuity Management – Part 1: Code of Practice,* BS25999-1:2006. Reston, VA: BSI Management Systems America Inc.

Canadian Standards Association (CSA). (2008). *Programmes de gestion des mesures d'urgence et de continuité des activités,* Z1600-08. Mississauga, ON: CSA.

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*. Montreal, QC: CRAIM.

Dalziell, E.P., McManus, S.T. (2004) Resilience, Vulnerability, and Adaptive Capacity: Implications for System Performance. Stoos, Switzerland: 1st International Forum for Engineering Decision Making (IFED), 5-8 Dec 2004. 17 pp.

Department of Homeland Security (DHS). (2006). *National Planning Scenario*. Washington, DC: DHS.

Department of Homeland Security (DHS). (2007). *Target Capabilities List – A Companion to the National Preparedness Guidelines*. Washington, DC: DHS.

Department of Homeland Security (DHS). (2008). *National Incident Management System*. Washington, DC: DHS.

Department of Homeland Security (DHS). (2008b). *National Response Framework.* Washington, DC: DHS.

Department of Homeland Security (DHS). (2010*). DHS | Homeland Security Presidential Directive 5: Management of Domestic Incidents*. Available at: http://www.dhs.gov/xabout/laws/gc_1214592333605.shtm#1 (accessed November 1, 2010).

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2009). *The Federal Preparedness Report*. Washington, DC: DHS.

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2010). *FEMA: FEMA History.* Available at: http://www.fema.gov/about/history.shtm (accessed November 1, 2010).

Folke, C., Colding, J., & Berkes, F. (2003). Synthesis: Building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. In F. Berkes (Ed.), Navigating social-ecological systems Building resilience for complexity and change (pp. 352-387). New-York. Cambridge University Press.

Harper, S. & Obama, B. (2011). *Beyond the Border: a shared vision for perimeter security and economic competitiveness*. A declaration by the Prime Minister of Canada and the President

of the United States of America. http://www.pm.gc.ca/eng/media.asp?id=3938 (accessed February 22, 2011).

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of cology and systemics*, Vol. 4, pp. 1-23.

Holling, C. S. 1986: The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change. In Clark, W.C. and Munn, R.E., editors, Sustainable development of the biosphere, Cambridge: Cambridge University Press, 292–317.

Hollnagel, E., Nemeth, C. P. and Dekker, S. (2008). *Resilience Engineering Perspectives, Volume 1: Remaining Sensitive to the Possibility of Failure.* Farnham, UK: Ashgate.

Hollnagel, E., Woods, D. D. & Leveson, N. (2006). *Resilience Engineering: Concepts and Precepts.* Farnham, UK: Ashgate.

International Organization for Standardization (ISO). (2006). *Emergency Preparedness – État de préparation en cas de catastrophes* (IWA 5). Geneva: ISO.

International Organization for Standardization (ISO). (2007). *Societal security – Guideline for Incident Preparedness and Operational Continuity Management,* ISO/PAS 22399. Geneva: ISO.

International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). (2008). *Indicators of Progress: Guidance on Measuring the Reduction of Disaster Risks and the Implementation of the Hyogo Framework for Action.* Geneva: United Nations.

International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). (2009). *Implementing the Hyogo Framework for Action in Europe – Advances and Challenges*. Geneva: United Nations.

Klein, R. J. T., Nicholls, R. J., & Thomalla, F. (2003). Resilience to natural hazards: how useful is this concept? *Global Environmental Change Part B Environmental Hazards*, Vol. 5, No. 1-2, pp. 35-45.

McEntire, D. A. & Myers, A. (2004). Preparing communities for disaster: Issues and processes for government readiness. *Disaster Prevention and Management,* Vol. 13, No. 2, pp. 140-152.

Ministère de la sécurité publique du Québec (MSP). (2010). *Historique de la sécurité civile au Québec*. Available at: http://securitepublique.gouv.qc.ca/index.php?id=503 (accessed November 1, 2010).

National Fire Protection Association (NFPA). (2010). *Standard on Disaster/Emergency Management and Business Continuity Programs,* 1600 – 2010 edition. Quincy, MA: NFPA.

National Infrastructure Advisory Council. (2009). *Critical Infrastructure Resilience, Final Report and Recommendations*. Washington, DC: DHS.

Nemeth, C. P., Hollnagel, E. & Dekker, S. (2009). *Resilience Engineering Perspectives, Volume 2: Preparation and Restoration.* Farnham, UK: Ashgate.

O'Leary, M. (2004). *Measuring Disaster Preparedness*. Lincoln, NE: iUniverse, Inc.

Organisation de la sécurité civile du Québec (OSCQ). (2009). *Cadre de référence de la démarche gouvernementale de résilience des systèmes essentiels au Québec*. Quebec, QC: OSCQ.

Pinel, W. (2009). *La résilience organisationnelle: concepts et activités de formation.* Unpublished M.Sc.A. thesis, École Polytechnique de Montréal.

Public Safety Canada. (2009). *National Strategy for Critical Infrastructure*. Ottawa, ON: Public Safety Canada.

Quarantelli, E. L. (1986a). *Problems in Disaster Preparedness and Response.* Newark, DE: Disaster Research Center, University of Delaware, Preliminary paper # 106.

Quarantelli, E. L. (1986b). *Disaster Crisis Management.* Newark, DE: Disaster Research Center, University of Delaware, Preliminary paper # 113.

Quarantelli, E. L. (1988). *Criteria for Evaluating Disaster Planning in an Urban Setting.* Newark, DE: Disaster Research Center, University of Delaware, Preliminary paper # 132.

Quarantelli, E. L. (1998). *Major Criteria for Judging Disaster Planning and Managing Their Applicability in Developing Societies.* Newark, DE: Disaster Research Center, University of Delaware, Preliminary paper # 268.

Quarantelli, E. L. & Tierney, K. (1979). *Disaster Preparation Planning.* Newark, DE: Disaster Research Center, University of Delaware, Preliminary paper #59.

Robert, B., Hémond, Y. & Yan, G. (2010). L'évaluation de la résilience organisationnelle. *Télescope*, Vol. 16, No. 2, pp. 131-153.

Robert, B., Morabito, L. & Quenneville, O. (2007) The preventive approach to risks related to interdependent infrastructures. *International journal of emergency management*. Vol. 4, No. 2, pp.166–182.

Simpson, D. M. (2004). Disaster preparedness measures: Test case development and application. Preliminary version submitted for publication.

Simpson, D. M. (2006). *Indicator Issues and Proposed Framework for a Disaster Preparedness Index (DPi)*. Louisville, KY: Center for Hazards Research and Policy Development, University of Louisville, Working paper 06-03.

Simpson, D. M. (2008). Disaster preparedness measures: A test case development and application. *Disaster Prevention and Management,* Vol. 17, No. 5, pp. 645-661.

Simpson, D. M. & Covington, J. (2006). *An Overview of Disaster Preparedness Literature: Building Blocks for an Applied Bay Area Template*. Louisville, KY: Center for Hazards Research and Policy Development, University of Louisville, Working paper 06-02.

Standing Senate Committee on National Security and Defence (SCONSAD). (2008). *La protection civile au Canada – comment le bel art de la langue de bois et de la procrastination entrave les gens qui voudront vous aider quand le pire surviendra*. Ottawa, ON: Senate of Canada.

Sutton, J. & Tierney, K. (2006). *Disaster Preparedness: Concepts, Guidance, and Research*. Report prepared for the Fritz Institute Assessing Disaster Preparedness Conference, Sebastopol, CA, November 3 and 4.

United Nations. (2005). *Report of the World Conference on Disaster Reduction*. World Conference on Disaster Reduction. Kobe, Hyogo, Japan, 18-22 January 2005.

ANNEXE 2 – EVALUATION OF STATE OF RESILIENCE FOR A CRITICAL INFRASTRUCTURE IN A CONTEXT OF INTERDEPENDENCIES

Annexe 2 - Hémond, Y., & Robert, B. (2012). Evaluation of state of resilience for a critical infrastructure in a context of interdependencies. *International Journal of Critical Infrastructures*, *8*(2/3), 95–106.

Abstract— The concept of resilience was put forward by the Hyogo Framework in 2005. It introduced a new approach to protecting critical infrastructures and understanding their interdependencies. Resilience, particularly organizational resilience, is defined as "a system's capacity to maintain or restore an acceptable level of functioning despite perturbations or failures" [2]. When an organization engages in a resilience process, it becomes necessary to evaluate and measure a state of resilience, a state that will lead to know the strengths and weaknesses on which the organization can act.

The methodology to evaluate a state of resilience is based on three important concepts: what to anticipate (monitoring), what to plan, and what to maintain. Two elements are filigree implied: knowledge and adaptation. Knowledge is the keystone for a better state of resilience and is provided by the developed methodology. Adaptation gives meaning to resilience in terms of time. In fact, an organization must be able to adapt its internal environment to cope with the external environment which is constantly changing.

The collaboration with 17 Departments and Partner Agencies of The Ministry of Public Security (MPS) in Quebec, that represent different sectors of critical infrastructure, have made possible an initial portrait of each sector and the essential resources they provide. This portrait provides an initial assessment of the state of resilience.

INTRODUCTION

IN 2005, the United Nations (UN) adopted the Hyogo Framework for Action [1], which has launched a series of government actions to improve community resilience. These actions have

enabled several researchers from around the world to put research into practice, a work that for some began already a few years ago.

During the same period, certain events have highlighted the importance of working on critical infrastructure protection, including 9/11, the blackout of the Eastern United States and Ontario in 2003 or Katrina in 2005. These events demonstrated the need to ensure satisfactory critical infrastructures (CIs).

These CIs, especially the interdependence between them, imply a complex system that should be acted upon. Resilience, and more specifically organizational resilience, allow to foresee concrete results in this direction [2]. The first results of the works implemented on the group of essential systems of Québec allowed to establish its full potential. These systems, equivalent to CIs, interact in an interdependent world in constant change.

The aim of this paper is to present the last step of the methodology used by the Government of Québec: the assessment and measurement of the state of resilience. This assessment follows the global trend of improving the resilience of our societies and, more particularly, that of CIs.

Resilience, as discussed in this article, implies the engineering of resilience versus ecological resilience [3]. This distinction is necessary to understand that the state of resilience presented comes within an organizational context and is orienting towards decision support. The objective was to study the organizational system to ensure acceptable performance at all times.

Before presenting the results, a review of definitions and concepts of organizational resilience will be exposed. Subsequently, the concept of resilience evaluation and its state will be presented to end with the first theoretical results of this evaluation and the measurement of the state of resilience.

DEFINITION AND CONCEPTS

Definition

Resilience as defined by the UN is “the capacity of a system, community or society potentially exposed to hazards to adapt, by resisting or changing in order to reach and maintain an acceptable level of functioning and structure. This is determined by the degree to which the social system is capable of organizing itself to increase this capacity for learning from past disasters for better

future protection and to improve risk reduction measures." [1] It implies a good knowledge of the system and planning at all levels.

Several definitions of resilience are presented in the literature. Resilience can be seen as the ability to anticipate disturbances, resist and adapt, and recover as much as possible the state prior to the disturbance [4]. Reference [5] defines resilience as the ability of a system to recover after an emergency. He also adds four definitions from a couple of authors. Similarly, reference [6] gives a few different definitions of resilience. The variety of definitions, and especially of views, on resilience clearly shows the emergence of the application of the concept to organizations.

Despite differing definitions, some concepts are common to almost every author:

- Anticipation;
- Planning;
- Maintaining and return to normal.

In Quebec, the government has decided to keep the following definition of resilience: *"a system's capacity to maintain or restore an acceptable level of functioning despite perturbations or failure*" [2]. By combining the concepts it is possible to envisage a method for evaluating resilience and also a measuring the state of resilience, whether for a CI or a group of CIs in an interdependent world.

Concepts

Before presenting an evaluation and measurement of the state of resilience, the concept of resilience, especially organizational resilience, will be discussed. With the definition of the UN, the following concepts have emerged:

- Adaptation;
- Business Continuity;
- Learning.

The definition of the Québec government implies the following concepts:

- Plan;
- Anticipate;

- Accept.

These concepts have allowed the development of a methodology for evaluating resilience that is currently applied in 17 departments/agencies [7].

Two additional important elements of the concept are in filigree: knowledge and adaptation. Knowledge is the basis for resilience and applies equally to both the system and its environment. Better knowledge will guide actions towards the right objectives and allow for better acceptance of the portrait of resilience that results from the evaluation [7]. Adaptation is the result of the resilience evaluation and, so to speak, the optimal state of resilience of a system. A system that is able to cope with changes and adapt is able to ensure its performance, regardless of disruption or failure situations. These concepts will be discussed in the sections to follow.

STATE OF RESILIENCE

Definitions

By combining the two sets of concept, it is possible to define the state of resilience as a state that can resemble an improvement of the term "readiness", well known among emergency measures "to be published" [8]. In this sense, it is "*a state in which a system has the ability to continue operations while adapting to environmental changes.*" Continuity of operations can be done in any situation, both in normal operation and in emergencies.

Consequence-based approach

Evaluating and measuring the state of resilience for a CI operating in a context of interdependence is part of a consequence-based approach [9]. This approach guides the evaluation from the client-supplier's perspective on essential resources. The last application of this approach is the government's evaluation process towards resilience [2]. Instead of orienting the evaluation towards scenarios (pandemic, earthquake, etc..), it is oriented towards the use and supply of essential resources and the impact that the non-availability of a resource brings to the functioning of a system. This involves knowing the system and its operation, which is the first step of the resilience evaluation methodology developed by the Government of Quebec [7].

Characterization of the state of resilience

With the above mentioned definition of resilience and its concepts, it is possible to characterize its state. The actions that serve the characterization will be presented to provide a method to

evaluate the state of resilience. These actions, but especially the assessment and measurement, will allow an organization (CI) to ensure its existence.

First action: “what to anticipate (monitor)”. To ensure optimum performance, it is imperative to anticipate any changes that might occur in the environment, both internal and external. This implies to know the system, the resources it uses and how they can provide resources to other systems (or perform their mission). Anticipation is the first phase to adapt, and the choice of parameters to be monitored will guide actions for planning.

Second action: “what to maintain”. This action refers to the resources provided by the system, and more particularly those that are essential (as part of the definition of CI). Through “what to maintain”, it is important to identify the system components that intervene in the resource supply. The methodology developed by the *Centre risque & performance* allows for the decomposition of the system into functional units [7]. These units will allow for the identification of the key elements that must be maintained and combined with “what to anticipate” The whole will complete the last action: “what to plan”.

Having identified the various internal and external parameters to monitor and maintain the elements, it is possible to begin the “what to plan” action.

This action refers to the different elements that must be implemented to ensure an acceptable system operation (CI). These elements can be defined by concrete elements such as developing and implementing plans and procedures, establishing alternative resources, defining roles and responsibilities of different stakeholders, etc. This action also concerns human resources, who must, among other things, be well trained to perform the action. Same applies to financial resources that must be available when needed.

That completes the characterization of the state of resilience. The aim is to bring the system to being able to adapt to changes, anticipated or not, through a series of actions. The environment in which a system operates is constantly changing and resilience must bring it to ensure its existence in a term of operational continuity in this same environment.

EVALUATION AND MEASURE

Evaluation of resilience

Evaluating resilience demands to be involved in a process gathering all stakeholders. The process consists of 4 steps [7] which are presented in Table 1.

TABLE 1
STEPS OF RESILIENCE EVALUATION METHODOLOGY

Identification of steps	Description of activities
Step 1 Portrait of the system	• Definition of system • Identification and breakdown of main outputs • Identification of functional units
Step 2 Study of outputs and inputs	• Characterization of outputs • Characterization of inputs • Evaluation of consequences and response times
Step 3 Management of failures	• Identification of critical elements • Characterization of management modes • Characterization of alternative resources
Step 4 Evaluation of resilience	• Knowledge of system • Capacity to maintain its activities • Capacity to restore its activities • State of resilience of system

This method of resilience evaluation is currently used by the Government of Quebec [2]. Evaluating the state of resilience is the last action that is posed in this methodology; it is the step that determines the method and provides an overall qualitative resilience assessment.

Evaluation of the state of resilience

The evaluation of the state of resilience is completed with the three actions previously identified. Various parameters are determined or developed for each action and will be used to evaluate a certain level of system performance. Finally, each action makes known the different parameters present in the system (in this case a CI). These parameters will be evaluated using indicators.

This portrait is not an end in itself, as it is impossible to say that the organization is resilient, but only that the parameters needed in a state of resilience are present or absent. It is important to understand that a diagnosis on the resilience of a system is difficult to confirm because both the system and its environment are constantly changing. In a way, it can be stated that we build resilience.

The evaluation of the state of resilience is complementary to a methodology or an approach to build resilience. It cannot be done alone; it is somehow the result of the construction of resilience over time. The state of resilience allows to track the portrait of resilience and to include it in the ongoing management of an organization (CI).

Parameters of the state of resilience

A parameter is defined as *"a numerical or other measurable factor forming one of a set that defines a system or sets the conditions of its operation"* [10]. In this sense, a parameter of the state of resilience is an important point of the system under consideration (CI), whose knowledge makes known better its resilience.

To evaluate the state of resilience, the parameters are evaluated according to the actions presented above, these being: what to anticipate, what to plan and what to maintain. A parameter can be used to execute one or more actions (see Table 2 for an overall picture).

The first parameter, resources, is referred to by several authors in the literature, including reference [11], as one component of resilience. Resources include those that are used by the CI to provide its own resource(s):

1. Material;
2. Financial;
3. Human.

For example, a telecommunications infrastructure uses electricity and water (cooling) to function. For this parameter, we must evaluate the degree of dependence of the infrastructure. Are there any alternative resources in the event of unavailable resources? How long can the infrastructure function without these resources? Are these resources provided by a single supplier? These sample questions are only a few of those used to evaluate the resource. The more a CI is dependent in terms of resources used (either by a lack of diversity or a lack of alternative resources), the more the resilience portrait will be affected negatively.

The second parameter is the monitoring of components that can affect the CI operation. The components to check come from the methodology for evaluating resilience and are used in the state of resilience as the capacity of the CI to monitor them. The more the anticipation is efficient, the more the CI will have time to adapt to a change in the environment. Monitoring also implies

the definition of thresholds (the notion of acceptability) and the presence of monitoring mechanisms. These two elements are to be adapted to the concept of resilience and are the result of research on early warning systems in the management of interdependencies between CIs [12]. The communication element is also important. Communication mean between each stakeholder and communication of the results. This point need to be studied for a better integration.

The third parameter, learning, is divided into two parts: learning from past experiences and learning from elements specific to the system (in other words, knowledge about the system itself). To ensure an acceptable state of resilience, it is important that the CI learns from its experiences. These experiences can be both positive and negative. Following disruptions or failures, feedback mechanisms are important to correct the functioning of the system. The same applies to the exercises that test the various plans of the CI. Exercises also ensure that the correct items have been learned. Learning will enable better planning by identifying the various areas for improvement. The system must be able to learn at any time.

The last parameter is the level of dependence and, by extension, the level of interdependence between different actors. Directly related to the parameter "resource", the level of dependence on a resource depends heavily on supplier diversity for the mentioned resource, but also on its importance in the context of use. In this sense, the works of reference [13] and reference [14] directly influence this parameter. Works on the modeling of interdependencies have highlighted, *inter alia*, the importance of evaluation in a cooperation space that includes all CIs present in a territory. Moreover, it has been found that the act of planning alternative resources or resource stocks is no guarantee of resource availability at the time of supply. In a normal or slightly disturbed situation, resources should actually be available for those who have needs, but this change when the situation is more serious and a priority system is established. It may be that the predicted resource (current or alternative) is not available on time. In this context, the fact of being in dependence or functional interdependence increases the vulnerability of the CI and reduces its resilience.

In a context of interdependence, it becomes important to assess the strength of the links between the CIs (level of dependence) as we must not fall into the trap of thinking that the resilience of a set of interconnected CIs is the sum of each CI's resilience: the theory of systems has already clearly explained the whole [15].

Table 2 presents a summary of actions and parameters of the state of resilience.

TABLE 2
ACTIONS AND PARAMETERS OF THE STATE OF RESILIENCE

Actions	Parameters
What to anticipate	Monitoring
What to maintain	Ressources Dependence and interdependence level Learning
What to plan	All parameters are concerned by this action

Adaptation – key concept of the state of resilience

Adaptation is the key concept of the state of resilience. Whether in the context of ecological resilience [3]-[16]-[17] or engineering resilience [6]-[16]-[18]-[19] most authors agree on the fact that adaptation to the highly dynamic environment in which a system operates is the key concept. However, adaptation is difficult to measure *a priori*. Often, the finding that a system was well adapted to its environment is proven after the event. Reference [16] mentioned that there are three types of adaptation:

1. Applying an existing response to a normal situation;
2. Applying an existing response in a new context;
3. Applying a new response in a new context.

These adaptations are related to the three previous actions (table 2). It is important to understand that adaptation is the time dimension of resilience. Indeed, adaptation requests to change the internal system, broadly defined, by facing a changing external environment.

Adaptation is measured in terms of organizational flexibility and manifests itself as flexible internal procedures and plans that can provide flexibility to the manager of a CI when facing an event. This flexibility is also reflected in material and financial resources; the more an organization has access to liquid assets, the more it is able to develop an adequate response. As it is important not to jeopardize the long-term survival of the organization, various parameters should be developed to measure adaptation. This work constitutes the culmination of the resilience process.

The human being, only unknown variable of resilience

The description of a CI's state of resilience in an interdependent environment gives a structural portrait of the resilience of its system. However, this portrait depends on a great unknown: human beings. Indeed, all these organizational arrangements (resources, monitoring mechanism, planning and learning) can only provide tools to employees. They will be the ones that make the CI be really resilient in a particular context. Note that the elements presented in this article don't take this into account despite its importance. Further work on human interaction within the organization is carried out by research groups addressing this issue [21]. Collaboration between the *Centre risque & performance* and Gap-Sante (University of Ottawa) has notably been started on this subject.

PORTRAIT OF THE STATE OF RESILIENCE

All these elements come together to build a portrait of the state of resilience able to qualitatively assess the CI resilience. This portrait also helps to target actions needed to improve resilience. It can be represented in the form of a table (see example). The assessment is conducted using a qualitative grading scale. For the example of Table 3, the following scale was used:

A. None

B. Little

C. Moderate

D. Substantial

E. Complete

This rating scale can be adapted to each situation and each parameter; the simplification we present is for ease of understanding.

TABLE 3
EXAMPLE OF PORTRAIT OF THE STATE OF RESILIENCE

Parameters	**Appreciation (A to E)**
Used resources	
Material	B
Financial	C
Human	D
Monitoring	
Identifying what to monitor	D
Implementation	C
Thresholds	D

Monitoring mechanisms	C
Correcting process	B
Learning	
Lessons learned	E
Exercise	C
Systemic mechanism	B
Interdependence	
Impact knowledge of unavailability of resources used	A
Impact knowledge of unavailability of resources supplied	C
Process of identification with space of cooperation	B

This portrait of resilience is an output example. The various indicators presented in the parameters must be detailed to be refined. Those presented here are mere examples.

Whatever the chosen representation, it must allow the manager to take steps (actions) in reaction to the portrait to improve its resilience. These actions are directed towards the parameters and can be of different natures. For the time being, assessing the state of resilience does not identify specific actions, leaving it to managers to better orient them and to adapt them to their specificities, an adaptation that is the key to greater resilience.

The portrait derived from the evaluation lacks value unless it evolves over time. In this sense, the evaluation must be done dynamically. With this tool for decision support and the concept of system adaptation, comparing portraits of resilience over time will allow the manager to engage in a process of resilience construction [20], that evolves as much with system changes as with environment changes.

PROSPECTS, CHALLENGES AND CONCLUSION

The evaluation of resilience and of its state allows managers to better understand their system and to adjust their decisions towards business continuity objectives. Whatever the methodology, organizational resilience strengthens our communities, as shown by the Hyogo Framework [1]. However, as much as resilience constantly requests to adapt and to ensure that systems evolve, the tools developed must follow the same process.

The parameters of the state of resilience must initially face reality in different sectors of activity. These applications will help refine the measurement of the state of resilience (indicator) and improve the matching rating scale. They will also better determine the impact of interdependencies in the context of resilience. This testing will finally be an opportunity to improve the portrait and its various representations.

The next step is to develop organizational indicators to represent a continuous portrait of the state of resilience. These indicators will be important elements that contribute to directly improve resilience. They will help identify to whom should be addressed the measure of the state of resilience. In its present context, this portrait is for senior management, but the development of indicators will also apply to middle managers. They will find what is important to them and perhaps develop new indicators. Developing these indicators will facilitate the inclusion of different resilience activities in the day to day management.

All this information and these measures suggest a possible mismatch in the results. By mismatch, we mean different results for different CIs operating in the same industry. These discrepancies are caused by a different understanding of the concepts, parameters and, eventually, of the indicators. A study of the consistency or coherence is currently under study by the *Centre risque & performance*, and it will be interesting to see how these results could influence the assessment and measurement of the state of resilience.

Another major point in the evaluation and measurement, is that they are only valid if the organization has time to adapt when changes occur. It is therefore, important to ensure that this time will actually be available. The action “what to plan” will extend this period of time.

Despite all these elements, the evaluation and measurement of resilience and its state start to show their full potential through various practical applications [7]-[18]-[19]-[20]. It is now more than 30 years since the first works on resilience conceptualization and definition were started, and they must imperatively be applied if we want to improve our communities. Recent events require CIs and communities to be better prepared and resilience seems to be a good approach.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported in part by the Next Generation Infrastructure foundation (http://www.nextgenerationinfrastructures.eu/).

REFERENCES

[1] United-Nation, "Report of the World conference on the disaster prevention", Kobe (Hyogo, Japon), 18-22 janvier 2005.

[2] Organisation de la sécurité civile du Québec, "Cadre de référence de la démarche gouvernementale visant à accroître la résilience des systèmes essentiels au Québec", Sous-comité de l'OSCQ sur la résilience des systèmes essentiels, Québec, 2009.

[3] L. H. Gunderson et L. Jr. Pritchard, *Resilience and the Behaviour of Large-Scale Systems.* SCOPE Series Volume 60. Washington DC: Island Press, 2002.

[4] A.M. Madni, "Designing for Resilience", ISTI Lectures Notes on Advanced Topics in Systems Engineering, 2007

[5] Y.Y. Haimes,. *Risk modeling, assessment, and management,* États-Unis: Wiley, 2009.

[6] E. Hollnagel, D.D. Woods et N. Leveson. *Resilience engineering – Concepts and precept*,. États-Unis: Ashgate, 2006.

[7] B. Robert et al, *Organizational resilience – concepts and evaluation methods*, Montréal: Presses internationalles Polytechnique, 2009.

[8] Y. Hémond et B. Robert, "Preparedness: The State of the Art and Future Prospects", *Disaster prevention management*, to be published.

[9] B. Robert, L. Morabito and O. Quenneville "The preventive approach to risks related to interdependent infrastructures", *International journal of emergency management*, Vol. 4, No. 2, pp.166–182, 2007.

[10] Oxford Dictionaries, *Definition of "parameter"*. Oxford University Press. http://oxforddictionaries.com/definition/parameter (accessed June 13, 2011).

[11] R.E. Fisher and al, "Constructing a resilience index for the Enhanced critical infrastructure protection program", Argonne National Laboratory, Chigago, IL., United-States, Report, 2010.

[12] C. De Bernard and B. Robert. "Failures within Interdependent Systems: Challenges Related to Implementing an Early Warning System", *Journal of homeland security and emergency management*, submitted, 2011.

[13] B. Robert and L. Morabito, "The operational tools for managing physical interdependencies among critical infrastructures", *International journal of Critical Infrastructures*, Vol. 4, No. 4, pp.353–367, 2008.

[14] B. Robert and L. Morabito "An approach to identifying geographic interdependencies among critical infrastructures", *International journal critical infrastructures*, Vol. 6, No. 1, pp.17–30, 2010.

[15] L. von Bertalanffy, *Théorie générale des systèmes*, Dunod., 1993.

[16] E.P. Dalziell, and S.T. Mcmanus, "Resilience, Vulnerability, and Adaptive Capacity - Implications for System Performance", *International forum for engineering decision making.*

[17] C.S. Holling, "Resilience and stability of ecological systems", Annual *Review of Ecology and Systematic,* vol. 4, pp. 1-23, 1973.

[18] E. Hollnagel, C.P. Nemeth et S. Dekker S. *Resilience engineering perspectives, Volume 1 – Remaining sensitive to the possibility of failure*.United-States:Ashgate, 2008.

[19] E. Hollnagel, J. Pariès, D.D. Woods and J. Wreathall, *Resilience engineering in practice – a guidebook*, United-States: Ashgate, 2011.

[20] C. Catalan and B. Robert, "Evaluation of organizational resilience: application in Quebec", *4th symposium off Resilience Engineering*. Sophia-Antipolis (France), June 8th 2011, Procedings, pp.50-56

[21] S. Blust, C. Lemus and L. Lemyre. "Résilience inter-organisationnelle - analyse différentielle de la coordination, coopération et collaboration", *Entretiens Jacques-Cartier 2010*. [Online], whttp://www.pacte.cnrs.fr/spip.php?article2325 [view May 24th].

ANNEXE 3 – ASSESSMENT PROCESS OF THE RESILIENCE POTENTIAL OF CRITICAL INFRASTRUCTURES.

Annexe 3 - Hémond, Y. & Robert, B. (accepté pour publication). Assessment process of the resilience potential of critical infrastructures. *International journal of critical infrastructures*. Accepté pour publication. Février 2013.

ABSTRACT

The research results presented aim to define a framework for evaluating the potential of resilience for critical infrastructure (CI). CI are an integral part of the community and a better knowledge of their potential for resilience will help to reduce the risk of disasters and provide tools to manage them. The framework helped to define a method to evaluate the potential for resilience CI based on the concept of performance and coherence. This work has been validated and applied to existing cases and the results show that it is possible to identify actions to improve resilience and reduce disaster risks and manage them better. This has allowed, among other things, a better definition of acceptable performance for CI and understanding how disruption of a CI can affect the community (which includes other CI). The analysis of coherence can also better align the components of their system and their capacity to maintain an acceptable level of functioning despite some disruptions.

KEYWORDS

resilience, critical infrastructures, evaluation, state of resilience

The Hyogo Framework (United Nations, 2005) paved the way for multiple governmental policies and strategies around the world. Whether in Australia (Australian Government, 2010), England (Adger et al., 2004), United States (The White House, 2011) or Canada (Public Safety Canada, 2009), governments have opted for strengthening the resilience of CIs in their own countries in order to protect their population. In addition, standardization bodies have followed suit and several standards have been developed with this in mind (ISO 31000, CSA Z-1600, NFPA 1600, BS 25999, ISO 22301).

The work of recent years on CI protection and management of their interdependency (Di Mauro et al., 2010, Robert et al., 2009; Therrien, 2010; Petit et al., 2011) has evolved towards resilience assessment. Various researches, including those of Argonne National Laboratory (Carlson et al., 2012) and Hollnagel (2011) permitted the exploration of different methods and processes. As with operational continuity, risk management and emergency management, resilience must be part of a dynamic assessment process which will allow actual structural changes within the CI. The assessment process should not be seen as an end in itself, but rather as a cycle within which each step leads to a new assessment. The assessment process proposed in this paper differs because of the simplicity of its implementation, its approach oriented towards one's capacity to manage consequences and adapt to a changing environment with the aim of protecting the population, as well as its specific application to CI.

This article will introduce the theoretical framework for an assessment of the resilience potential. It is derived, among other things, from the combination of works on functional CI interdependencies management and the assessment of the resilience of essential governmental systems. The proposed process will allow an CI to dynamically evaluate its resilience potential. In addition, this assessment may serve as a decision tool for CI managers.

RESILIENCE: DEFINITION AND APPROACHES

Resilience can be defined as *the capacity of a system (CI) to maintain and/or recover its functional performance following a disruption* (Pinel, 2009). Continued performance implies both adaptation, when necessary, and return to normal. This definition derives from works on resilience of essentials governmental systems (*Organisation de la sécurité civile du Québec*, 2009). These works are based on a systemic approach for knowledge acquisition (Guichardet, 2009) and a consequences-based approach (Robert et al., 2007). These two approaches have demonstrated the importance of understanding interactions within systems, consequences generated during disruptions and anticipation mechanisms (thresholds). Resilience adds the concept of business continuity and adaptation, which require planning actions to ensure acceptable performance. This can be summarized by Figure 1.

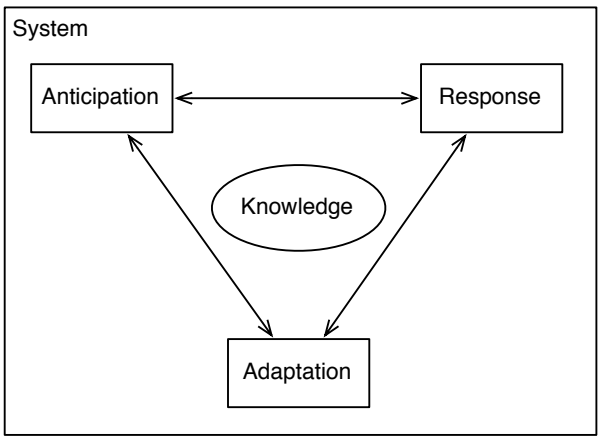


Figure 1 –Construction of the resilience potential

Figure 1 illustrates all the components of the resilience of a system. Knowledge is the central point of each capacity shown in the figure. These capacities are essential to ensure optimal resilience potential. These capabilities are based on the results of Robert et al. (2009) and were part of Quebec's government process of resilience (*Organisation de la sécurité civile du Québec*, 2009). They are defined by an ability to perform a task or set of tasks to achieve a goal. They are also the basis of the assessment, being each indicator regrouped under one of them.

The construction of the resilience potential can be seen as a continuous process (International Organization for Standardization, 2009) of knowledge acquisition, disruption anticipation, and responses, with the objective to adapt to the environment in which the CI operates. These components will be at the centre of the assessment. Therefore, evaluating the resilience potential allows CI managers to better understand their interactions and obtain tools for assessing the various implemented actions in order to improve their potential. The following section presents the assessment process of the resilience potential.

ASSESSMENT PROCESS OF THE RESILIENCE POTENTIAL OF CI

Prior to proceed to an assessment, it is important to understand the purpose of the assessment, that is, to answer the question *resilient to what and why* (Carpenter et al. 2001). The assessment allows an CI to know its resilience potential in face of the disruptions that it can affront in its activities (*to what*). The objective being to ensure optimum availability of the resource or resources it provides (*why*).

It is important to understand the role of CI in society to evaluate their resilience potential. CI represent the strategic areas in which no prolonged disruption can be tolerated in order to ensure, *inter alia*, the proper functioning of society and, especially, the safety and well being of the population. These CI also evolve in a context of interdependency between them, and many other infrastructures and organizations depend on their proper functioning (Robert et al., 2012).

Therefore, the evaluation of their potential for resilience provides managers with decision making tools to maintain a minimal operational functioning and target possible actions to improve their resilience. The proposed method provides a simple and practical way to do so. It does not present itself as a recipe to follow, but rather as a process to be part of a dynamic assessment. The various components of this process are based on the work of Robert et al. (2009) and Catalan and Robert (2011) along with key managers of CIs in Quebec. They have been adapted to provide, as mentioned above, elements to support managers in their decision-making mechanisms. Table 1 illustrates the various components of the process.

Components	**Elements**
Knowledge	System
	Consequences
	Disruptions
Capacity	Capacity to anticipate (anticipation)
	Capacity to respond (response)
	Capacity to adapt (adaptability)
Evaluation	Identification
	Performance
	Coherence analysis

Table 1 - Components of the assessment process of the resilience potential of CI

1. Knowledge

Knowledge is the first component of the process and the fundamental concept of resilience. It is important to focus the whole assessment on a dynamic acquisition of knowledge. Elements of knowledge include understanding the system, the possible consequences resulting from the loss of resources, and any disruption to which the CI is sensitive (vulnerabilities).

1.1 System

The system approach, developed by the *Centre risque & performance* in the context of its approach for resilience of the Quebec's government CIs (Robert et al., 2009), allows us to characterize the system in three parts:

1. Functional units (FU)
2. Used resources (or services)
3. Resources provided

The functional unit is a part of the system considered essential to its functioning. It allows, by using resources, to provide a resource to other functional units or CI. These functional units can be, for example, a power supply unit or a network control center.

The used resources are those necessary for the proper functioning of the functional unit. They can be essential resources (electricity, gas, water, etc.) or more specific resources (essential resources not provide by another CI). The identification of these resources will determine various elements for the different capacities needed for the assessment.

The resources provided are in a way the fundamental missions of the CI. They are also used by other CI for their proper functioning. The consequences-based approach allows linking the used resources, the functional units and the resources provided by studying the impacts of a lack of used resources on the resources provided and introducing the notion of time, a key concept for adaptability.

1.2 Consequences

The relationship between users and providers of essential resources and the consequences of their outage are the basis of the consequences-based approach (Robert et al., 2007). In addition to the usual analysis of causes in the field of risk management, this approach simplifies the problem by questioning the consequences of a lack of used resources on the resources provided, taking into account the duration of the resource outage. This notion of time is necessary for managers because it allows them to anticipate the propagation of disruption, thus giving the time to react and implement measures to restore the system.

Figure 2 illustrates a problem with an infrastructure and its functional units. It shows the propagation in time of the disruption of a used resource ''x''. This curve allows managers to

know the time available before propagation within the CI and, ultimately, to other CI or the population (through its mission or the resources that provides).

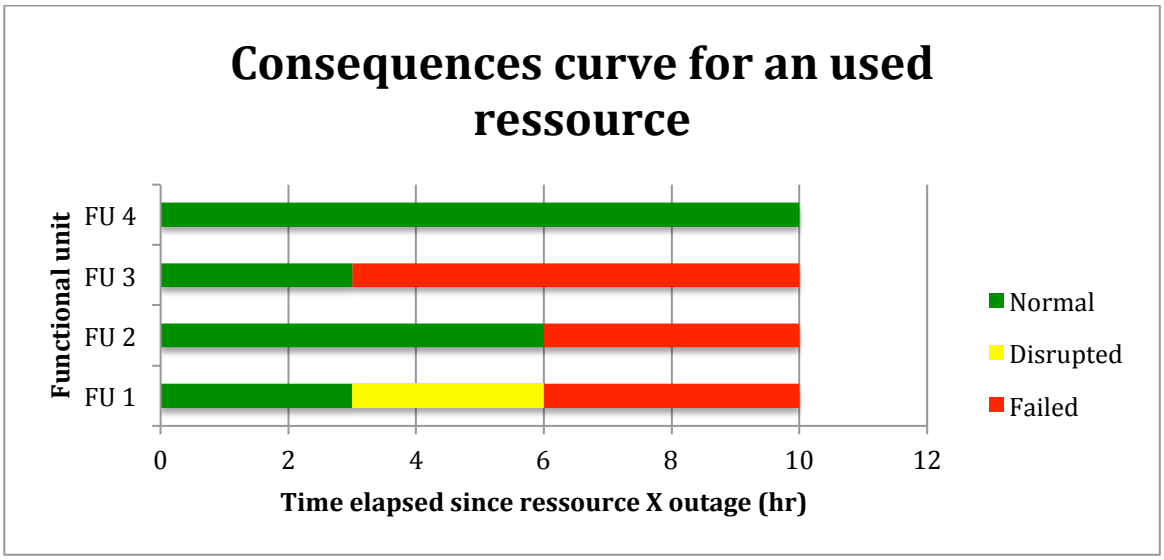


Figure 2 - Consequences curve for a used resource ‘‘x’’

For instance, Figure 2 illustrates that unavailability of a resource ‘‘x’’ (electricity), causes disruption (yellow) of FU 1 (control center) after 3 hours, failure of FU 2 (a machine) after 6 hours and failure of FU 3 (a computer system) after 3 hours. This consequences curve allows to appreciate the available room to manoeuvre in the event of a lack of a resource ‘‘x’’. The yellow area "disrupted" is where the manager implements alternatives (resources, plans, procedures, etc.) to prevent the failure of the concerned functional units. Alternative resources are needed to ensure continued functioning during disruptions and thus reduce the possibility of failure.

1.3 Disruptions

The acquisition of knowledge within the domain of disruption takes place at several levels. First, possible disruptions of essential used resources must be identified. This knowledge takes the form of the amount of time available before the lack of a given resource affects a functional unit and propagation begins. Second, possible disruptions for each functional unit within the CI (timing and impact on the overall functioning of the CI) must be identified. Finally, possible disruptions of the resources provided by the CI must be identified.

This information will help better understand interactions within the CI and thus to establish mechanisms to anticipate disruptions and plans to better respond and adapt. The knowledge of

the disturbance and the consequences can also be seen as a process for identifying vulnerabilities, but directed to specific points in the process that are necessary for the assessment of the potential of resilience. Table 2 illustrates the knowledge acquisition stage in its entirety.

Elements	**Characteristics**	**Analysis**
Systems	Functional units	Breakdown the CI in functional units that fulfill a function in the supply of resources
	Used resources	Identify the resources used by the functional units for the provision of resources
	Resources provided	Identify the resources provided that are essential for the functioning of other CI
Consequences	Functional units	Determine for each used resource, what are the consequences of insufficiency on the functioning of functional units and in which time frame
	Resources provided	Determine for each functional unit and used resource, what are the consequences of disruption or insufficiency of resources provided and in which time frame
Disruptions	Functional units	Identify possible disruptions of the used resources (timing)
	Used resources	Identify possible disruptions of the functional units (timing)
	Resources provided	Identify possible disruptions of the resources provided (timing)

Table 2 - Explanation of the elements of the knowledge acquisition stage

2. Capacities

Capabilities can be defined as an ability to perform a task or a set of tasks to achieve a goal. This goal can be to minimize or manage the consequences of a failure, including potential domino effects generated by interdependencies. From this perspective, these capabilities, can provide concrete tools to respond appropriately and take action on different aspects of CIs and improve their potential for resilience. The choice of these capabilities is the result of work conducted with different managers and operators of CIs in recent years (Robert et al., 2009; Catalan and Robert, 2011; Hémond and Robert, 2012, Robert et al., 2012). The evaluation of these capabilities is oriented on the structural side of CIs and can quickly identify the elements on which managers

should focus their efforts to improve their potential for resilience. This is the second component of the assessment. Capacities are fields of action where CIs should focus to ensure resilience potential. These capacities are anticipation, response and adaptability.

2.1 Capacity to anticipate

Anticipation is defined by:

- identification of different situations that CI may be confronting;
- the establishment of a monitoring mechanism to capture these situations.

The identification of situations based on the consequences-based approach is to determine the resources used by CIs whose disturbance is likely to affect the resources provided by other CIs. Thereafter, each functional unit identified must determine the thresholds of acceptable performance (time and quantity). These thresholds will be used for the implementation of monitoring tools. Finally, if it is possible to implement mitigation or avoidance measures (other than alternative resources), these must be identified and planned.

The combination of these elements allows managers of CIs to know their room of maneuver to respond. In addition, it implies an acceptance of possible disturbances that have been identified and for which monitoring mechanisms have been put in place.

Another element of the capacity to anticipate is to identify alternate resources that can change the future room for maneuver and direct response. It should be noted that not all resources used will have an alternative, but when it is possible to have one, it will be subject to the same characterization than the one for the resources used, i.e., the determination of a threshold of operation and monitoring system.

Table 3 illustrates the different elements of the capacity to anticipate.

Elements	**Actions / tasks**
Thresholds establishment	Determine the limit beyond which insufficiency of used resources causes a disruption of the resources provided. Examples: 8 hours after power disruption, an infrastructure fails; lack of water causes shutdown of equipment after 2 hours due to cooling insufficiency, etc.

Monitoring mechanisms	Identify mechanisms to monitor thresholds. Examples: camera, human resources, detector, etc.
Room to manoeuvre	Know the time available to intervene and implement alternative measures
Alternative resources	Identify alternative resources necessary to alleviate shortage of primary used resources. Example: generator, other vendors, bottled water, etc.
Mitigation / avoidance	Identify measures (administrative or other) to mitigate or avoid impact

Table 3 - Elements of the capacity to anticipate

2.2 Capacity to respond (response)

The capacity to respond is defined by the planning (plans and procedures) and preparation resulting from the loss of a resource used or a functional unit. It should also identify the resources available to ensure an adequate response at the right time and the right place. Response is widely discussed in the literature. The United States made it the basis of their state of preparation with the *Target capability list* (Department of Homeland Security, 2007) and the *National Incident Management System* (Department of Homeland Security, 2008). Simpson (2008), Stephenson et al. (2010), Hollnagel (2011), to name only a few, also address in their works the capacity to respond to resilience.

The possible responses of a CI in the face of disruption are diverse. They depend on the nature of the disruption and are characterized by plans, procedures, as well as available resources and time. To assess the capacity to respond, only planning is evaluated. This choice is justified by the very nature of planning, which is to define how the CI will react to a disaster emergency and how it will respond (resources, actions, etc.). In addition, the consequences-based approach requires considering these consequences and how to manage them.

Planning is necessary in an assessment in order to identify possible interventions when facing disruption. It also allows everyone to know their roles and responsibilities. Planning serves, as much, to daily management, business continuity or emergency measures. It is used to determine what to maintain as a functional unit, which resources require an alternative, and, if necessary, adaptation strategies. In planning, the process of developing the plan is as important, if not more,

as the purpose for which it is written. It is in this context, that updating the plan is essential to never put an end to the development process. The assessment will consider this through a regular update of the planning elements. In addition, necessary human resources to ensure response are important. Table 4 illustrates the elements of the capacity to respond.

Elements	**Actions / tasks**
Normal planning	Planning preparation for essential resources needs of ongoing management and identification of functional units required for proper functioning
Disruptions planning	Identification of possible disruptions and planning development to anticipate and mitigate the consequences of these disruptions
Emergency measures planning	Identification of possible failures and measures to put in place to restore the functioning of the CI and ensure the safety of each element
Specific planning for certain vulnerabilities	Emergency planning for certain events and elements more vulnerable
Human resources	Identification of human resources required for each element

Table 4 – Elements of the capacity to respond

2.3 Capacity to adapt (adaptability)

Adaptability can be defined as: *the capacity to cope with, adapt to, and shape change without losing options for future adaptability* (Folke et al., 2003). This definition implies that the system (CI):

1. *Is aware of its environment* - this implies the company is constantly familiar with the environment and its changes (anticipation).
2. *Modifies its behaviour in response to environmental changes* - this implies flexibility in the management of the organization to adapt the system and ensure acceptable functioning.

To adapt, a system (CI) can implement three strategies (Dalziell and MacManus, 2004):

1. Apply an existing response to a normal situation;
2. Apply an existing response to a new context;

3. Apply a new response to a new context.

This definition and these strategies require the CI manager to monitor the environment and respond with adequate resources (existing or new). This also requires an CI that is constantly learning and possesses the necessary resources to adjust the response.

Therefore, adaptability is to develop an adequate response to an environmental change. In addition, the CI must have the organizational structure and administrative policies that allow managers to take the necessary decisions on how best to adapt. Different elements are necessary for the system (CI) to achieve this. Table 5 illustrates these elements.

Elements	**Actions / tasks**
Learning (exercises, training, etc.).	Determine whether the CI is in a learning position by doing exercises and training on the various aspects of the resilience assessment process
Background	Determine the history of disruptive events the CI has faced
Knowledge of the environment	Determine the CI environmental knowledge. Interdependencies between CI and resource dependencies
Organizational structure and administrative policy	Do these elements allow managers to take decisions with the support of all stakeholders of the organization in a context of disruption?
Time	Does the CI have time to respond to disruptions?
Resources	Does the CI have liquidity, employees and other tangible (used resources) and intangible (procedure, etc.) resources to maintain acceptable functioning?
Skills	Can the CI coordinate or manage the impacts of disruption? Does it have an implementation process for the recommendations derived from event reports?

Table 5 – Elements of the capacity to adapt

3. ASSESSMENT OF THE RESILIENCE POTENTIAL OF AN CI

The first two components of the assessment process allow acquiring a set of knowledge on the system and its interactions with the environment. The final component is an evaluation of the resilience potential in three stages. First, define a portrait of the state of knowledge of the CI. Second, an evaluation of the performance, based on its capacities. Third, an analysis of the coherence of the entire assessment process. This step is a major premise that allows upon implementation of the procedure to assess the resilience potential.

The objective of the assessment is to ensure that disruption does not spread to the entire organization through one or more functional units. This propagation of disruption can vary in time and organizational space according to the readiness of each functional unit. Thus, the resilience potential of an CI assesses whether all capacities are consistent with each other, the performance of the organization being based on both the capacities of each functional unit and the CI in its entirety.

The proposed method being inclusive, it allows to integrate assessments processes already in place within the CI and to provide additional information to assist with decision making.

Identification

The first step of the assessment is the Portrait of the state of knowledge of the CI. This identification determines whether all the information needed to address a portrait of the CI was collected. It could consist of a survey on each element of knowledge, with possible answers of the style ‘‘yes/no/to be determined’’. This survey is based on Table 2, which illustrates each element and characteristic of knowledge acquisition. An identification column to learn if the element is known could be added (see Table 6).

Elements	**Characteristics**	**Arguments**	**Identification**
Systems	Functional units	Were all the functional units (FU) identified?	‘‘yes/no/to be determined’’
	Used resources	For each FU, were all the used resources identified?	‘‘yes/no/to be determined’’
	Resources provided	For each FU, were all the resources provided identified?	‘‘yes/no/to be determined’’
Consequences	Functional units	For each used resource, were the consequences (time/space) of its insufficiency on the functioning of each FU	‘‘yes/no/to be determined’’

		identified?	
	Resources provided	For each pair composed of a FU and a used resource, were the consequences (time/space) of their disruption or insufficiency of resources provided identified?	‘‘yes/no/to be determined’’
Disruptions	Used resources	Were the possible disruptions of the used resources (time) identified?	‘‘yes/no/to be determined’’
	Functional units	Were the possible disruptions of the functional units (time) identified?	‘‘yes/no/to be determined’’
	Resources provided	Were the possible disruptions of the resources provided (time) identified?	‘‘yes/no/to be determined’’

Table 6 - Portrait of the state of knowledge of the CI

This identification allows drawing a picture of the state of knowledge that the manager of the CI has of its system and helps identify data to be gathered. The more there is information to gather, the lesser initial observation of the resilience potential will be reliable at this point.

This stage of the assessment has already been implemented (Catalan, 2011). It was possible to establish that the portrait of the system is crucial and allows starting the process. It increases awareness of managers about resilience and opens the way for coherence analysis when disparity appears.

The next two stages have been conceptualized but not implemented at the practical level yet. On the other hand, validations on case studies and preliminary data show interesting preliminary results and provide insights on the next steps of the assessment process of the resilience potential.

Performance

The performance assessment consists of an assessment of the current state of an indicator compared to an optimal state. In this context, different methods to evaluate the indicators (by group, by questionnaire to all employees, etc.) can be considered to ensure a degree of objectivity insofar. This performance is needed in the concept of resilience presented in this paper because it allows defining an optimal condition to ensure acceptable performance or effective recovery if necessary. The evaluation of the indicators of performance also provides an operational point of view. Therefore, this assessment will guide the decisions of CIs managers.

The notion of performance is important in the context of the proposed assessment. It requires to define optimal state and, subsequently, to assess the current situation. In addition, such an assessment leads to the consultation of several actors within the CI to ensure a more comprehensive assessment.

Table 7 illustrates examples of indicators and their assessment of some elements of the capacity to anticipate. This assessment is done for each functional unit.

Indicators	**Assessment**
Monitoring mechanisms	Are they in line with the acceptable operating thresholds?
Alternative resources	- Are they available in sufficient quantities? - Are they accessible?

Table 7 - Example of evaluation performance indicators for the capacity to anticipate

The assessment of these indicators can also integrate different perspectives. For instance:

- The use and assessment of indicators specific to the environment in which the CI operates, in line with different legislation (laws, regulations, standards).
- The use and assessment of performance indicators specific to the CI. For example, an CI can define that the monitoring mechanisms in place should detect unacceptable functioning within an hour.

Coherence analysis

The coherence analysis provides all its meaning to the assessment process of the resilience potential. It verifies the consistency of the different components of the process and ensures the harmony of the various measures put in place. The coherence analysis can be executed from the earliest stages of the implementation and can be seen as a construction of the coherence that will be enhanced throughout the assessment. For the time being, two criteria have been developed: comprehension and interdependency. Other criteria may be developed in future researches to refine the coherence analysis.

The first criterion (comprehension) ensures that each functional unit undertook knowledge acquisition with the same objective in mind and that the results obtained may be used in the same way. For example, the manager of a functional unit may define that no disruption is acceptable in

its functioning while another manager may define that his/her continuity plans allow him/her to manage many disruptions. Both definitions are acceptable *per se*. A coherence analysis ensures that no disparities are created in the monitoring mechanisms in place and that monitoring is consistent with the policies specific to the CI.

The second criterion is interdependency. From this perspective, the coherence analysis allows an assessment of the various components between themselves. For example, have differences in the thresholds of acceptable functioning being identified for all functional units of the CI? In Figure 2, functional unit 3 fails after 3 hours, while the other functional units (1 and 2) fail after 6 hours. This analysis helps determine the overall room to manoeuvre of the CI is 3 hours. The next step is to verify whether it is consistent with the policies and missions of the CI. This interdependency principle must be applied to all the indicators defined above. Similarly, more comprehensive interdependency analyses could be carried out among the different capacities. These coherence analyses between the functional units should identify those that can amplify or propagate disruption.

The coherence analysis is qualitative and should be performed in parallel with the remaining stages of the assessment process. Coherence allows addressing resilience from a new perspective and recent applications (Catalan & Robert, 2011) show that managers better understand the procedure and lean towards a better appreciation of the resilience potential with this analysis. As mentioned before, other criteria may be added to the coherence analysis. One can think of a more thorough analysis of the capacity indicators or of global analyses between CI of the same nature in a given environment.

An overview of all the components of resilience assessment of potential is shown in table 8.

Components	**Elements**	**Characteristics**
Knowledge	Systems	Functional units
		Used resources
		Resources provided
	Consequences	Functional units
		Resources provided
	Disruptions	Functional units
		Used resources
		Resources provided
Capacity	anticipate	Thresholds establishment
		Monitoring mechanisms
		Room to manoeuvre

		Alternative resources
		Mitigation / avoidance
	respond	Normal planning
		Disruptions planning
		Emergency measures planning
		Specific planning for certain vulnerabilities
		Human resources
	Adapt	Learning (exercises, training, etc.).
		Background
		Knowledge of the environment
		Organizational structure and administrative policy
		Time
		Resources
		Skills
Evaluation	Knowledge	In term of performance and coherence
	Anticipate	
	Respond	
	Adapt	

Table 8 – Overview of all components of the assessment

REPRESENTATION OF THE RESILIENCE POTENTIAL

The different elements of the assessment represent the resilience potential of a CI. This resilience potential is akin to a state of resilience, which can be defined as *a state in which a system has the capacity to continue its functioning (routine and emergencies) adapting to a changing environment* (Hemond and Robert, 2012). This potential can be represented as a matrix (see Figure 3) and serve as a dashboard for the different managers.

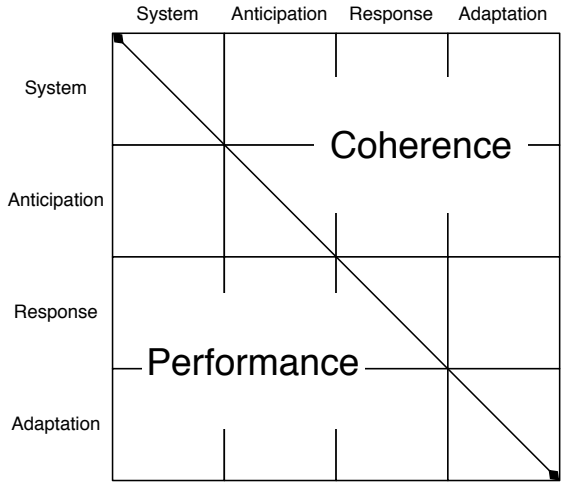


Figure 3 - Representation of the resilience potential of the CI

The matrix of Figure 3 illustrates the four components of resilience shown in Figure 1. The results of the coherence analyses between each of its components are represented in the upper half of the matrix and the performance assessment is represented in the lower half of the matrix. This synthesis of the results in a single matrix opens directly the way for the construction of a dashboard.

A color representation of the results is advised. To achieve this, qualitative scales should be associated with color codes (green = good, yellow = to monitor, red = needs improvement). The two criteria of the coherence analysis (comprehension and interdependency) can be evaluated using this common scale. Similarly, the results of the performance assessment should be represented. To do this, the indicators related to each component of the matrix will be counted and categorized according to the scale. Figure 4 provides an example of a visual representation of these results.

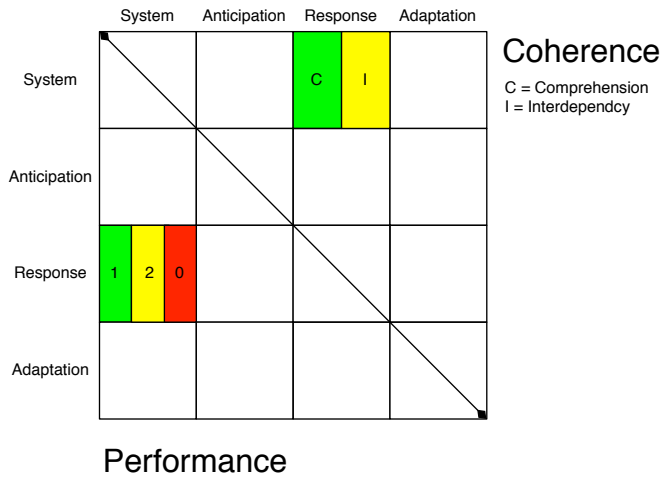


Figure 4 - Example of a visual representation of the results of the assessment process of the resilience potential

Figure 4 presents an example of dashboard that can help a manager in the decision making. This figure shows the resilience potential of an CI. Each box in the "coherence" axis of the matrix represents the two criteria of the coherence analysis (comprehension (C) and interdependency (I)). In the example provided, the managers involved in the responsiveness of the CI show an acceptable comprehension of the system. On the other side, the planned measures present certain disparities that should be monitored as "performance", three indicators are reported, two of which are to be monitored. Managers can decide either to act on the components to be monitored or to continue the assessment of the other components. This representation allows us to appreciate the

comprehensive and dynamic nature of the assessment. The objective is to get all boxes to be green, which represents an optimal potential for resilience. By cons, it does not mean that managers of CI should not continue the process. Resilience is a dynamic process, it requires to linger at every moment. By contrast, too many red boxes may represent problem in a context of disruption. This is a low potential for resilience.

VALIDATION AND OTHER WORKS

The framework for assessing the potential of resilience of specific CIs that is presented in this paper differs from existing ones (Hollnagel, 2011; Petit et al., 2012, Stephenson et al., 2010) because it includes a component regarding the evaluation of the coherence. Indeed, the evaluation of the potential for resilience presented allows classifying the coherence and the level of knowledge regarding different capacities to be measured. The objective is to ensure harmony in the functioning of the CI to maintain acceptable operating or recovery. The purpose of this framework is not in opposition to various studies on the assessment of the resilience of CI, but provides a certain complementarity in assessing and providing different possible uses of the data collected.

Validation works have been initiated in order to verify the applicability of this framework. The validation was done in collaboration with the essential systems of the Quebec government and the first results are positive(Catalan and Robert, 2011). The assessment of knowledge can provide a picture of the situation for each of the critical systems. Subsequently, the coherence analysis applied to the portrait of the situation reveals that some CI does not have the same understanding of their mission, which may cause problems for the definition of acceptable performance, the establishment of plan and, ultimately, the capacity to provide an adequate response to a disturbance.

In the work of Robert et al. (2009), for example, a CI (energy) identified that a failure of its resource provided has no direct impact on the health and safety of the population within three days while another CI, almost similar (telecommunications), identified that a failure of its resource has an immediate impact on the health and safety of the population. These CI are highly interdependent, this incoherence in the potential consequences could cause problems in the implementation of emergency action plans and monitoring tools and create a disparity in the response.

The application of these results has enabled managers to correct the incoherence identified. This has also led to the harmonization of plans and response procedures. By extension, it also helped to refine their understanding of acceptable operation and different relationships that may exist between the various critical systems (through the domino effects). In this sense, the work of Robert et al. (2012) provided them with a method to better understand their interdependencies.

Further validation studies are expected. As resilience, the process for assessing their potential to be dynamic and to adapt to the many changes that occur in the environment as well as within their system.

CONCLUSION

The proposed assessment process of the resilience potential should be seen as a global complementary approach that allows a CI to identify concrete actions to improve the availability of the resources provided. By focusing on knowledge acquisition and anticipation, response and adaptation, it covers all the elements of resilience. The assessment requires a continuity that normally should never end. An assessment of the resilience potential in terms of identification, performance and coherence gives a more comprehensive overview of the situation and provides managers with a tool for concrete and optimal decisions.

Identification allows the assessment of knowledge acquisition and enables the manager to see the evolution of the acquisition. Performance assesses all capacities and includes existing indicators for the CI. Coherence, a major advance in the assessment of resilience potential, ensures harmony in all actions of the CI. It provides managers with a concrete tool to identify comprehension and interdependency disparities. Further research will develop other criteria and improve the assessment process of the resilience potential.

The assessment process presented in this article has the advantage to be at the frontier of “being” vs. “becoming”. Indeed, resilience can be seen as different properties of the system by identifying element to ensure a potential resilience (capacity). This is the "being" and when we proceed to the evaluation of the potential, then it is in a more phenomenological approach (Becoming) and lead managers in a process leading to a potential resilience.

This theoretical framework has only been partially applied. A more complete validation work will improve the components. The assessment has been developed for the CI and their managers. Validation on existing empirical data suggests real prospects for high applicability. The first

results are real tools for decision support for these managers. The coherence analysis provides a global vision and strategic components of resilience potential while performance enables CI operational managers to guide their actions to the right places in order to improve their potential for resilience. Due to the nature of the process, it may be possible to apply this methodology (with some adjustments) to:

- A municipality from a civil security perspective;
- A region (regional county municipality or administrative region);
- Governmental critical systems (references);
- Or a firm, organization, company, etc.

Future research will adapt the assessment process to these different fields. The necessary adjustments should involve indicators, which may differ from one field to another.

REFERENCES

Adger, W. N., Brooks, N., Bentham, G., Agnew, M., & Eriksen, S. (2004). "New indicators of vulnerability and adaptive capacity". Tyndall Centre for climate change research. Norwich, United Kingdom.

Australian Government. (2010) *Critical infrastructure resilience strategy*. Australian. http://www.tisn.gov.au/Documents/Australian+Government+s+Critical+Infrastructure+Resilience+Strategy.pdf. (Accessed 28 January 2013)

Carlson, L., Basset, G. W., Buehring, W. A., Collins, M. J., Folga, S., Haffenden, R. A., Petit, F., et al. (2012). "Resilience Theory and Applications". Argonne National Laboratory. Chigago, United-States of America.

Carpenter, S., Walker, B. H., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, Vol. *4* No. 8, pp. 765–781.

Catalan, C. (2011). "Approche méthodologique de l'évaluation de la résilience des systèmes essentiels du Québec". Master thesis (M.Sc.A.). Polytechnic School of Montreal. Canada.

Catalan, C. & Robert, B. (2011). "Evaluation of organizational resilience: Application in Quebec", in Proceedings of the fourth resilience engineering symposium France 2011, Presses Des Mines, pp. 50-58.

Dalziell, E.P. & McManus, S.T. (2004), "Resilience, Vulnerability, and Adaptive Capacity: Implications for System Performance", paper presented at the 1st International Forum for Engineering Decision Making (IFED), 5-8 Dec 2004, Stoos, Switzerland.

Department of Homeland Security (DHS). (2007). *Target Capabilities List*. Washington, DC : DHS. http://www.fema.gov/pdf/government/training/tcl.pdf (Accessed 28 January 2013)

Department of Homeland Security (DHS). (2008). *National Incident Management System*. Washington, DC: DHS. http://www.fema.gov/pdf/emergency/nims/NIMS_core.pdf (Accessed 28 January 2013).

Di Mauro, C., Bouchon, S., Logtmeijer, C., Pride, R.D., Hartung, T. and Nordvik, J.P. (2010). "A structured approach to identifying European critical infrastructures", *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 6, No. 3, pp. 277–292.

Folke, C., Colding, J., & Berkes, F. (2003). "Synthesis: Building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems". (F. Berkes, Ed.), *Navigating social-ecological systems Building resilience for complexity and change*, Cambridge University Press, New York, NY, pp. 352–387.

Guichardet, G. (2009). "Structuration et modélisation des connaissances nécessaires à l'évaluation des interdépendances entre les réseaux de support à la vie". Master Thesis (M.Sc.A.)École Polytechnique de Montréal, Canada.

Hémond, Y., & Robert, B. (2012). "Evaluation of state of resilience for a critical infrastructure in a context of interdependencies". *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol 8 No. 2/3, pp. 95–106.

Hollnagel, E. (2011). "Epilogue: RAG - The resilience analysis grid". In *Resilience engineering in practice - A guidebook*. Farnham, UK : Ashgate.

International Organization for Standardization (ISO). (2009). "ISO31010 – Risk Management – Principles and Guidelines." Switzerland.

Organisation de la Sécurité Civile du Québec (2009) "Cadre de référence de la démarche gouvernementale visant à accroître la résilience des systèmes essentiels au Québec", Sous-comité de l'OSCQ sur la résilience des systèmes essentiels, Québec.

Pinel, W. (2009). “La résilience organisationelle : concepts et activités de formation”. École Polytechnique de Montréal. Master Thesis (M.Sc.A.)Canada.

Petit, F., Buehring, W. A., Whitfield, R., Fisher, R. E., & Collins, M. J. (2011). “Protective measures and vulnerability indices for Enhanced critical infrastructure protection programme”. *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 7 No. 3, pp. 1–20.

Petit, F., Eaton, L., & Fisher, R. E. (2012). Developing an index to assess the resilience of critical infrastructure. *International Journal of Risk Assessment and Management*, Vol. 16 No. 1/2/3, pp. 28–47.

Public Safety Canada. (2009). *National Strategy for Critical Infrastructure*. Ottawa, ON: Public Safety Canada. http://www.publicsafety.gc.ca/prg/ns/ci/ntnl-eng.aspx (Accessed 28 January 2013).

Robert, B., Morabito, L., & Quenneville, O. (2007). “The preventive approach to risks related to interdependent infrastructures”. *International Journal of Emergency Management*, Vol. 4 No. 2, pp. 166–182.

Robert, B. et al. (2009). “Organizational Resilience – Concepts and Evaluation Methods” Presses Internationalles Polytechnique, Montréal, Canada.

Robert, B., Morabito, L., & Cloutier, I. (2012). “Modeling and coordinating interdependent critical infrastructures in Montreal”. *CII Review*, pp. 1–11.

Simpson, D. M. (2008). “Disaster preparedness measures: a test case development and application”. *Disaster Prevention and Management*, Vol 17 No. 5, pp. 645–661.

Stephenson, A. V., Vargo, J., & Seville, E. (2010). “Measuring and comparing organisational resilience in Auckland”. *The Australian journal of emergency management*, Vol. 25 No. 2, pp. 27–32.

Therrien, M.-C. (2010). “Stratégies de résilience et infrastructures essentielles”. *Telescope*, Vol. 16 No. 2, pp. 154–171.

The White House, 2011, Presidential Policy Directive/PPD-8: National Preparedness, March 30, Washington, D.C. http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/presidential-policy-directive-8-national-preparedness.pdf (Accessed 28 January 2013).

United Nations. (2005). *Report of the World Conference on Disaster Reduction*. World Conference on Disaster Reduction. Kobe, Hyogo, Japan, 18-22 January 2005. http://www.unisdr.org/2005/wcdr/intergover/official-doc/L-docs/Final-report-conference.pdf. (Accessed 28 January 2013).

ANNEXE 4 – Autres contribution

Ces publications sont disponibles sur demande auprès du *Centre risque & performance* ou auprès des auteurs.

Autres contributions scientifiques

Article

Robert, B., Hémond, Y. & Yan, G. (2010). L'évaluation de la résilience organisationnelle. *Télescope.* 16(2). pp.131-153

Chapitre de livre

Robert, B. & Hémond, Y. (2012). Organizational resilience: A multidisciplinary sociotechnical challenge. In Serre, Barroca & Laganier (dir.), *Resilience and urban risk management*. (pp. 119-126). The Netherlands: Taylor and Francis.

Robert, B., Yan, G. & Hémond, Y. (accepté). L'évaluation de la résilience organisationnelle. In A. De Serres (dir.), *Le processus en gestion des risques majeurs. Les différentes phases du processus.* À publier.

Conférence

Hémond, Y., Chabot, R., Primeau, I., Robert, B. & Morin, S. (2013). Comment une organisation peut-elle évaluer sa capacité de rétablissement ? *Colloque annuel de la sécurité civile et incendie 2013*.

Hémond, Y. & Robert, B. (2013). La résilience des infrastructures essentielles. *Forum sur l'Innovation en ingénierie contractuelle dans les projets d'infrastructures et immobiliers*. Chaire Ivanhoé Cambridge d'Immobilier.

Olivry, O., Robert, B. & Hémond, Y. (2012). Systèmes essentiels : Vulnérabilités aux changements climatiques. *INFRA 2012.*

Robert, B., Morabito, L., Cloutier, I. & Hémond, Y. (2012). An EWS Inspired Tool for anticipating Domino Effects among Critical Infrastructures. *9th annual Canadian Risk and Hazards Network Symposium*. Tiré de http://www.crhnet.ca/pastsymposiums/2012/2012-10-25/T6A_robert.pdf

Hémond, Y., & Robert, B. (2011). Evaluation of State of Resiliency for a Critical Infrastructure in a Context of Interdependencies. *4th Annual Conference on Next Generation Infrastructures.*

Robert, B. & Hémond, Y. (2011). Organizational Resilience : a Multidisciplinary Sociotechnical Challenge. *Colloque "How the Concept of Resilience Is Able to Improve Urban Risk Management? A Temporal and a Spatial Analysis".*

Hémond, Y., & Robert, B. (2011). Evaluation of State of Resiliency for Organization. *8th Annual Canadian Risk and Hazards Network Symposium.*

Robert, B., & Hémond, Y. (2011). Evaluation of State of Resiliency for a Critical Infrastructure in a Context of Interdependencies. *8th Annual Canadian Risk and Hazards Network Symposium.*

Hémond, Y. & Robert, B. (2010). La mesure de la résilience organisationnelle. *23ième Entretiens Jacques-Cartier*.

Hémond, Y. (2009). Audit des travaux sur le traitement d'une capacité ciblée. *Symposium d'été du Centre des sciences pour la sécurité.*

Hémond, Y. & Robert, B. (2008). L'évaluation de la dépendance des infrastructures essentielles face au réseau routier. *INFRA 2008*.

Beauregard, S., Hémond, Y., Khayate, W. & Pageon, J. (2008). Gérer la vulnérabilité et la résilience des organisations : un défi à relever. *Colloque annuel de la Sécurité civile du Québec 2008*. Tiré de : http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/securite-civile-quebec/activites-evenements/colloque/colloque-2008/1880.html

Autres contributions non-scientifiques

Robert, B., Pinel, W., Pairet, J-Y., Rey, B., Coeugnard, C., Hémond, Y. & al. (2010) *Résilience organisationnelle*. Montréal : Presses Internationales Polytechnique.

Rapports techniques

Hémond, Y. (2010, 2011, 2012). *Rapport technique pour le suivi de la subvention pour Next Generation Infrastructures.* Montréal.

Hémond, Y. & Robert, B. (2010). *Rapport sur l'évaluation des travaux sur l'analyse de risque consolidée pour le comté de Strathcona*. Montréal. *Rapport confidentiel*.

Hémond, Y. & Robert, B. (2010). *Rapport sur l'évaluation des travaux sur l'analyse de risque consolidée pour le comté de Truro*. Montréal. *Rapport confidentiel*.

Hémond, Y. & Robert, B. (2010). *Rapport sur l'évaluation des travaux sur l'analyse de risque consolidée pour la ville de Windsor*. Montréal. *Rapport confidentiel*.

Hémond, Y. & Robert, B. (2010). *Rapport sur l'évaluation des travaux sur l'analyse de risque consolidée pour la ville de Québec*. Montréal. *Rapport confidentiel*.

Hémond, Y. & Robert, B. (2010). *Rapport sur l'évaluation des travaux du groupe sur la prise en charge des personnes décédées*. Montréal. *Rapport confidentiel.*

Hémond, Y. & Robert, B. (2010). *État des connaissances sur l'évaluation de l'état de préparation*. Montréal. *Rapport confidentiel*.

Hémond, Y. & Robert, B. (2009). *Rapport d'étape : méthodologie et audit*. Montréal. *Rapport confidentiel*.