

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

LA RÉSILIENCE ORGANISATIONNELLE :
CONCEPTS ET ACTIVITÉS DE FORMATION

WILLIAM PINEL
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

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



Library and Archives
Canada

Published Heritage
Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Direction du
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence
ISBN: 978-0-494-53919-4
Our file Notre référence
ISBN: 978-0-494-53919-4

NOTICE:

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

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

AVIS:

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

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

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

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

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

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


Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

LA RÉSILIENCE ORGANISATIONNELLE :
CONCEPTS ET ACTIVITÉS DE FORMATION

présenté par : PINEL William

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

au jury d'examen constitué de :

M. AGARD Bruno, Doct., président

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

M. FADEUILHE Jean-Jacques, Doct., membre externe

REMERCIEMENTS

Un travail de recherche effectué dans le cadre d'une maîtrise présente un réel défi pour un étudiant. Ceci a été rendu possible grâce à l'aide de nombreuses personnes que je tiens à remercier.

J'aimerais dans un premier temps remercier mon directeur de recherche, Benoit Robert, pour m'avoir permis de réaliser ma maîtrise au sein du *Centre risque & performance*, m'avoir guidé tout au long de mes travaux, et de manière plus générale, pour les chances qu'il m'a offert de m'impliquer au sein de l'Organisation de la Sécurité Civile du Québec.

Je tiens également à remercier la précieuse contribution de Frédéric Petit pour tout le temps qu'il a pu passer sur mes travaux. Ses réflexions et recommandations m'ont permis de mener à bien ce projet. Merci également à Luciano Morabito et Yannick Hémond pour leurs aides qui m'ont souvent permis de sortir de situations difficiles.

Je n'oublie pas également le soutien moral de mes chers collègues de bureau, Jean-Yves Pairet, Géraldine Guichardet, Romain Pellet, Walid Khayate et Valérie Zummo, qui m'ont permis de garder un si bon souvenir de cette expérience.

Je souhaite, enfin, remercier les membres de mon jury pour leur temps précieux consacré à l'évaluation de ce mémoire.

RÉSUMÉ

La sensibilité grandissante des organisations face aux aléas de toute envergure et l'éventualité d'un sinistre affectant gravement les activités poussent, de plus en plus, les organisations à considérer la résilience comme un point central de leur stratégie. La résilience est donc devenu un enjeu pour toutes les organisations, autant publiques que privées, afin d'apprendre à mieux gérer les perturbations du quotidien. Cette volonté d'accroissement de la résilience est par ailleurs poussée par de nouvelles réformes politiques de certains gouvernements qui en ont fait une priorité nationale.

Cependant pour accroître la résilience d'une organisation, il est d'abord nécessaire de savoir l'évaluer. Et cette évaluation ne peut se bâtir que sur des définitions claires de la résilience. Or à l'heure actuelle, même si beaucoup de personnes parlent de résilience, aucune terminologie commune et cohérente n'a été posée.

Nos travaux de recherches sont donc novateurs dans le sens où ils apportent une réponse à cette problématique de concepts de résilience. Le sujet de recherche de ce mémoire est donc le développement de concepts de base en résilience organisationnelle, ainsi que le développement d'activités de formation pour rendre ces concepts accessibles à des non spécialistes.

Une analyse des définitions et méthodes d'évaluation de la résilience présentes dans la littérature a été faite. À partir de cela, les principaux concepts gravitant autour de la résilience ont été définis. L'approche adoptée pour définir la résilience est une approche par conséquences. Cette approche, développée par le *Centre risque & performance*, se base sur les conséquences liées à la dégradation et à la perte d'une ressource utilisée par une organisation. L'approche système a également été adoptée pour modéliser une organisation. Celle-ci est donc définie par des ensembles fonctionnels utilisant des intrants et ayant un rôle dans la fourniture d'extrants. Ces deux approches ont ainsi

permis d'apporter une vision nouvelle et multidisciplinaire à la résilience d'une organisation. Finalement, une définition claire et complète de la résilience a été énoncée.

Afin de remplir le deuxième objectif de ce mémoire, des activités de formation ont été conçues afin de rendre les concepts de résilience accessibles à des non spécialistes. Celles-ci ont été développées sous la forme de modules et sont à présent opérationnelles.

De nombreuses applications ont été opérées pour valider les concepts de résilience et les activités de formation. À la fois dans un contexte universitaire et dans un contexte de sécurité civile, les concepts de résilience ont été testés et validés. En particulier, les concepts de résilience ont été validés auprès du Ministère de la Sécurité Publique du Québec, qui a maintenant intégré les concepts dans sa démarche gouvernementale visant à accroître la résilience des systèmes essentiels au Québec. Cette application au gouvernement du Québec est renforcée par le développement d'outils opérationnels. Ceux-ci sont maintenant utilisés par le gouvernement dans le cadre de la première étape de sa démarche de résilience.

Finalement, ces travaux de recherches ont démontré de nombreux intérêts puisqu'ils ont permis l'établissement d'une réelle terminologie de base en résilience qui pourra être utilisée dans de nombreux domaines. L'opérationnalisation de tous ces concepts demeure à présent encore à être testé, notamment par le biais du développement d'outils de gestion pratiques pour évaluer et gérer la résilience au sein d'une organisation.

ABSTRACT

The growing sensibility of organizations against hazards and the possibility of a disaster highly affecting the activities urge these organizations to consider the resilience as a key point of their strategy. Resilience has then become a stake for all these organizations, in order to enhance the management of daily hazards. Moreover, this will of resilience enhancement, is driven by new political reforms of some governments that made it their first priority.

However, in order to improve the resilience of an organization, it's mandatory to know how to assess it. This assessment can only been built on straight resilience definitions. Nowadays, even if many people talk about resilience, no common and consistent terminology has yet been set.

Our researches are thus innovative as they answer this problematic of the concept of resilience. The topic of this dissertation is the development of basic concepts in organizationnal resilience and training courses in order to popularize these concepts.

To reach this goal, an analysis of existing resilience definitions and assessment methods was produced. From this point, the main concepts around resilience were defined. The chosen approach to define resilience is a consequence-based approach. This approach, developed by *Centre risque & performance*, is based on the consequences linked to the deterioration and loss of a resource used by an organization. The system-based approach was also recommended to design an organization. This one was then defined by fonctionnal groups using inputs and providing outputs. These two approaches brought a new and multidisciplinary vision of an organization's resilience. Finally, a straight and complete definition of resilience was set.

In order to achieve the second target of this dissertation, training courses have been designed to popularize these concepts. Those were developed through modules and are currently operational.

Many applications have been set to validate resilience concepts and training courses. As in an academic context and in professional context, resilience concepts have been tested and validated. In particular, these concepts have been confirmed by the Ministère de la Sécurité Publique du Québec, who have integrated those concepts in its governmental approach aimed to improve the resilience of critical systems in Quebec. This application at the government of Quebec is strengthened by the development of operational tools. These tools are currently used by the government as part of its first step in its resilience approach.

Finally, these researches have shown many interests since they establish a true terminology in resilience that will be used in many domains. The operationalization of all these concepts remains to be tested, notably through the development of management tools to assess and manage resilience within an organization.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	iv
RÉSUMÉ.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
LISTE DES FIGURES	xiv
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	xvi
LISTE DES ANNEXES	xvii
NOTE DE L'AUTEUR.....	xviii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE	4
1.1 Définition d'une organisation	4
1.2 Définitions et concepts de la résilience.....	6
1.2.1 La résilience dans les autres domaines.....	6
1.2.2 La résilience dans le domaine organisationnel.....	8
1.2.3 Synthèse	12
1.3 Les méthodes d'évaluation de la résilience.....	12
1.4 La résilience au cœur des préoccupations gouvernementales.....	16
1.4.1 La résilience aux États-Unis, en Australie et en Europe	17
1.4.2 La résilience au Canada et au Québec.....	18
1.4.3 Normes qui encadrent les travaux de résilience	20
1.5 Positionnement.....	21
1.6 Conclusion	23

CHAPITRE 2	PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DE RECHERCHE.....	24
2.1	Mise en contexte	24
2.2	Problématique	25
2.3	Sujet de recherche	25
2.4	Objectifs	26
2.5	Conclusion	26
CHAPITRE 3	CONCEPTS DE RÉSILIENCE.....	27
3.1	Définition de ressource	27
3.2	Définition de système.....	28
3.2.1	Définition retenue.....	28
3.2.2	Dépendance entre les systèmes	30
3.2.3	Constitution interne d'un système.....	31
3.2.4	Exemple de système.....	34
3.2.1	Niveau de raffinement de l'analyse.....	36
3.3	Définition de l'état de référence d'un système	38
3.4	Acceptabilité des défaillances	39
3.4.1	Définition de défaillance	39
3.4.2	Distinction entre défaillance et dégradation.....	41
3.4.3	Acceptabilité des conséquences	41
3.5	Caractérisation des défaillances par des seuils et des niveaux.....	43
3.5.1	Critères de caractérisation	43
3.5.2	États de défaillance du système.....	46
3.5.3	Modes de gestion du système.....	46
3.5.4	Schématisation de l'état du système	48
3.5.5	Seuils de défaillance.....	51
3.6	Schématisation de la résilience d'un système	52
3.7	Prise en compte des interdépendances fonctionnelles	56
3.7.1	Enjeux de la prise en compte des interdépendances	56
3.7.2	Intégration des conséquences dans les niveaux de défaillances.....	57

3.7.3	Seuils de défaillance.....	58
3.7.4	Schématisation de la résilience d'un système intégrant les interdépendances fonctionnelles	60
3.7.5	Niveau de raffinement.....	61
3.8	Exemple	61
3.8.1	Mise en contexte	61
3.8.2	Analyse.....	62
3.8.3	Conclusions tirées de l'exemple.....	67
3.9	Définition globale de la résilience d'un système	68
3.9.1	Synthèse des concepts de résilience.....	68
3.9.2	Définition retenue.....	71
3.10	Comment agir ?	73
3.10.1	Accepter, anticiper, planifier.....	73
3.10.2	Espace de coopération.....	75
3.11	Introduction à la méthodologie d'évaluation de la résilience d'un système	78
3.12	Conclusion	79
CHAPITRE 4	ACTIVITÉS DE FORMATION.....	80
4.1	Méthode de formulation d'objectifs.....	81
4.2	Objectifs des activités de formation.....	83
4.3	Structure des activités de formation.....	84
4.4	Présentation d'une activité de formation	85
4.5	Conclusion	88
CHAPITRE 5	APPLICATION ET RÉSULTATS.....	89
5.1	Application lors d'un cours universitaire.....	89
5.1.1	Mise en contexte	89
5.1.2	Présentation de l'application.....	90
5.1.3	Résultats de l'application	92
5.2	Application lors d'un exercice gouvernemental en sécurité civile	92

5.2.1	Mise en contexte	92
5.2.2	Présentation de l'application	93
5.2.3	Résultats de l'application	99
5.3	Application en cours	102
5.4	Conclusion	103
CHAPITRE 6 DISCUSSION		105
6.1	Intérêts de la formulation de la théorie	105
6.2	Limites des concepts théoriques développés.....	107
6.3	Intérêts du développement d'activités de formation	109
6.4	Limites des activités de formation	109
6.5	Résultats face aux objectifs.....	110
6.6	Les nouveaux défis.....	111
CONCLUSION.....		113
RÉFÉRENCES.....		115
ANNEXES.....		123

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 – Schématisation d’une organisation (Robert et al., 2008a).....	4
Figure 1.2 – Les quatre axes de la résilience (Madni & Jackson, 2009).....	10
Figure 1.3 – Matrice de décision liée à la probabilité d’occurrence (adapté de l’Ordre des Ingénieurs du Québec [OIQ], 2008)	13
Figure 1.4 – Matrices de vulnérabilités (McManus et al., 2008)	14
Figure 3.1 – Approche système.....	29
Figure 3.2 – Dépendances entre les systèmes	31
Figure 3.3 – Constitution d’un système	32
Figure 3.4 – Décomposition du système « usine d’eau ».....	36
Figure 3.5 – Décomposition du système en fractales.....	38
Figure 3.6 – Évolution temporelle de l’état d’un système	40
Figure 3.7 – Niveaux de défaillances du système	51
Figure 3.8 – Schématisation de la résilience d’un système.....	55
Figure 3.9 – Interdépendances entre les systèmes	56
Figure 3.10 – Niveaux de défaillances prenant en compte les conséquences.....	59
Figure 3.11 – Schématisation de la résilience d’un système intégrant les interdépendances fonctionnelles.....	60
Figure 3.12 – Exemple de modes de gestion de la résilience.....	65
Figure 3.13 – Courbes de conséquences (adaptée de Robert & Morabito, 2009b).....	66
Figure 3.14 – Courbes de conséquences (adaptée de Robert & Morabito, 2009b).....	67
Figure 3.15 – Concepts de résilience	69
Figure 3.16 – Systèmes résilients.....	70
Figure 3.17 – Concepts de résilience	74
Figure 3.18 – Concepts de résilience sur les conséquences (adaptée de Robert & Morabito, 2009b)	75
Figure 3.19 – Espace de coopération (Robert & Morabito, 2008b).....	77
Figure 4.1 – Premier acétate du module 3.....	85

Figure 4.2 – Deuxième acétate du module 3	86
Figure 4.3 – Troisième acétate du module 3	86
Figure 4.4 – Vingt deuxième acétate du module 3	87
Figure 4.5 – Vingt huitième acétate du module 3	88
Figure 5.1 – Décomposition du gouvernement du Québec	95
Figure 5.2 – Représentation du niveau de compréhension des concepts de résilience par les systèmes essentiels du Québec	101
Figure A.1 – Définition du risque (Robert & Morabito, 2009a)	125
Figure D.1 – Onglet 1	134
Figure D.2 – Onglet 2	134
Figure D.3 – Onglet 3	134
Figure D.4 – Onglet 4	135
Figure D.5 – Onglet 5	135
Figure D.6 – Onglet 6	136
Figure D.7 – Onglet 7	136
Figure D.8 – Onglet 8	137
Figure D.9 – Onglet 9	137

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CRP : *Centre risque & performance*

EF : Ensemble fonctionnel

M/O : Ministères et Organismes

MSP : Ministère de la Sécurité Publique du Québec

OIQ : Ordre des Ingénieurs du Québec

OSCQ : Organisation de la Sécurité Civile du Québec

SPC : Sécurité publique et Protection civile Canada

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – GLOSSAIRE.....	123
ANNEXE B – MODULES DE FORMATION SUR LA RÉSILIENCE.....	126
ANNEXE C – COURS POLYTECHNIQUE – EXPOSÉ MAGISTRAL.....	130
ANNEXE D – COURS POLYTECHNIQUE – PROJET DE SESSION.....	134
ANNEXE E – EXERCICE DE L’OSCQ – EXPOSÉ MAGISTRAL.....	138
ANNEXE F – EXERCICE DE L’OSCQ – TABLEAUX ATELIER 1.....	141
ANNEXE F – EXERCICE DE L’OSCQ – QUESTIONNAIRE POST-EXERCICE...	143
ANNEXE H – OUTIL D’AIDE POUR LE PORTRAIT SECTORIEL.....	144

NOTE DE L'AUTEUR

Les concepts de la résilience organisationnelle nécessitent un vocabulaire précis et homogène. Comme le lecteur pourra le voir tout au long de ce mémoire, l'utilisation du vocabulaire nécessite souvent une gymnastique de l'esprit. C'est pourquoi, un glossaire des définitions de chacun des termes et concepts employés est disponible en Annexe A.

INTRODUCTION

Lorsque l'on parle de gestion des risques et de gestion de la résilience d'une organisation, on pense souvent à l'état de préparation de nos sociétés face à des grandes catastrophes climatiques (tsunami en Asie du Sud-Est en décembre 2004), des attaques terroristes (attaques du 11 septembre 2001 aux États-Unis), ou des accidents industriels (usine AZF en septembre 2001 en France). En effet, l'augmentation des catastrophes en termes de fréquence et de gravité obligent de plus en plus les sociétés à développer une nouvelle culture de sécurité civile (Sécurité publique et Protection civile Canada [SPC], 2007).

Mais nos sociétés industrialisées et urbanisées sont également très fortement dépendantes des perturbations du quotidien comme l'accès aux ressources dites essentielles, comme par exemple l'eau potable, l'électricité ou les télécommunications. En effet, si une de ces ressources vient à manquer, même momentanément, il peut en résulter des perturbations sociales et économiques et, de surcroît, la santé et la sécurité des populations peuvent être menacées. Des événements comme le verglas de 1998 au Québec ou la panne électrique, en août 2003, qui a affecté 50 millions de personnes des États de l'Est et du Midwest des États-Unis et de l'Ontario, en sont des exemples frappants (Ministère de la Sécurité Publique du Québec [MSP], 2008a).

C'est dans ce contexte de forte dépendance des systèmes et des organisations que le concept de résilience organisationnelle est né, tant dans le domaine public que le privé. Les gouvernements ont par exemple intégré le concept de résilience dans leurs priorités politiques afin de rendre leurs sociétés plus résilientes (The Reform Institute, 2008). Le secteur industriel a, quant à lui, intégré le concept de résilience pour traduire sa capacité de continuité opérationnelle.

Même si le concept de résilience se définit globalement comme étant l'état de préparation d'une organisation face à des perturbations, de nombreuses définitions et approches existent. En effet, la résilience est devenu un concept à la mode, employé dans de nombreux domaines, mais il est encore difficile de savoir comment opérationnaliser ce concept qui reste très complexe.

C'est face à cette problématique de manque de concepts de base en résilience organisationnelle que nos travaux de recherches se positionnent. Les buts visés par ce mémoire sont de formuler la théorie sur la résilience organisationnelle, la vulgariser en développant des activités de formation et enfin la valider auprès de professionnels de la sécurité civile.

Notre mémoire va donc se décomposer en plusieurs chapitres, suivants respectivement les buts visés cités précédemment.

Le premier chapitre fait un état des lieux des définitions et méthodes d'appréciation de la résilience présentes dans la littérature. Nous verrons comment la résilience se définit dans les autres domaines que celui organisationnel pour comprendre comment s'est construite la définition de la résilience organisationnelle. Nous analyserons également les outils et méthodes d'évaluation de la résilience présentes dans la littérature.

Le deuxième chapitre présente les différentes contraintes qui font suite aux recherches dans la littérature. Ainsi, cette partie introduit le sujet de ce mémoire et les objectifs qui y sont reliés.

Le troisième chapitre présente la théorie de la résilience développée dans le cadre de nos travaux de recherches. En partant des définitions de ressource et système, nous définirons ce qu'est l'état de référence d'un système et comment cela sert à accepter les défaillances. Des outils de caractérisation des défaillances seront également présentés

afin de voir comment évaluer l'état de résilience d'une organisation. Enfin, les concepts relatifs aux modes de gestion de la résilience seront expliqués, en les illustrant à partir d'une étude de cas.

Le quatrième chapitre du mémoire concerne le développement d'activités de formation. En effet, pour répondre à la problématique générale de ce mémoire, nous verrons que ces activités servent à vulgariser les concepts afin de les rendre opérationnalisables dans une organisation et compréhensibles par des non-spécialistes.

Le cinquième chapitre présente une application de la théorie de la résilience organisationnelle selon trois axes. D'une part, nous verrons que la théorie a été appliquée lors d'un cours universitaire en gestion des risques, et d'autre part auprès des principaux systèmes essentiels du Québec. Enfin, nous verrons que les concepts de résilience font l'objet d'une troisième application encore en cours mais qui représente une véritable opérationnalisation des concepts par le gouvernement du Québec. Ces trois applications permettront de valider les concepts théoriques de résilience proposés dans ce mémoire.

Le sixième chapitre de ce mémoire permet un retour sur la théorie de la résilience, sa vulgarisation via des activités de formation et son application auprès du gouvernement du Québec. Les problèmes et les limites du modèle seront ainsi discutés, tout comme les points positifs. En particulier, une réflexion est faite sur les résultats obtenus par la théorie développée dans ce mémoire et son utilisation au sein des organisations.

Finalement, le dernier chapitre est une conclusion générale qui vient clore ce mémoire en rappelant les contributions de l'étude et en identifiant les axes de recherches et d'application offerts par ce travail.

CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE

La première partie de ce chapitre tente de définir ce qu'est une organisation et pourquoi la notion de résilience est un enjeu pour celle-ci. Ensuite, la résilience organisationnelle sera définie à partir notamment de ses équivalents dans les domaines autres que celui des organisations. Puis, un état des lieux des méthodes d'évaluation de la résilience sera présenté pour comprendre comment le concept est opérationnalisé. Enfin, ce chapitre terminera sur les actions prises par les gouvernements afin de rendre leurs sociétés plus résilientes.

1.1 Définition d'une organisation

Robert et al. (2008a) définit une organisation comme étant un ensemble cohérent d'éléments (ou de processus) liés par des objectifs, des responsabilités ou des missions communes et fixées.

Comme le montre la Figure 1.1, une organisation utilise des ressources provenant d'entités internes ou externes pour remplir une ou plusieurs missions via des activités.

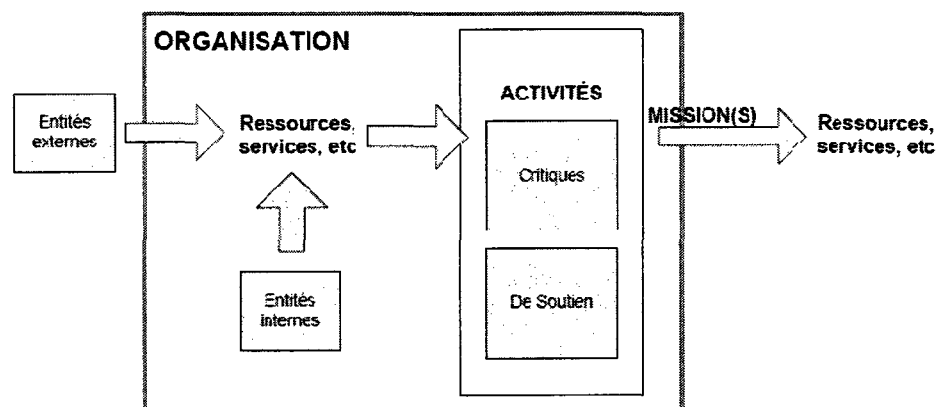


Figure 1.1 – Schématisation d'une organisation (Robert et al., 2008a)

Le concept de résilience s'est largement développé dans le cadre des organisations dites de support à la vie, également appelées infrastructures essentielles.

La Sécurité publique et Protection civile du Canada [SPC] (2008) définit les infrastructures essentielles comme étant les installations, réseaux, moyens et biens physiques et ceux de la technologie de l'information qui sont essentiels au bien-être, au bon fonctionnement de notre pays et à la continuité de ses activités. Il s'agit donc d'organisations dont la mission est par exemple de fournir des ressources ou des services essentiels à la population, tels que l'électricité, le gaz, ou l'eau. En effet, pour ces organisations, la dégradation de leur mission peut avoir de graves conséquences sur la population. Le concept de résilience prend alors toute son importance : les organisations ont besoin d'être résilientes en anticipant les aléas et en sachant y faire face.

La résilience apparaît donc comme une capacité de prise en charge face aux perturbations dans le domaine de la sécurité civile. Cependant, le domaine industriel s'est également approprié le concept. Le concept de résilience peut donc s'appliquer aux deux domaines suivants :

- *le domaine de la sécurité civile* : face à l'augmentation des catastrophes, les gouvernements cherchent de plus en plus à améliorer la résilience de leur système d'énergie, de leur système financier, de leur système de transport, de leur système de santé, etc. Ces politiques tendent donc à rendre leur nation plus résiliente (MSP, 2008b) ;
- *le domaine industriel* : l'objectif de rendre plus résiliente une industrie est d'assurer une continuité de ses opérations face à des aléas, tels que, par exemple, des coupures d'électricité ou des problèmes d'approvisionnement en matières premières (Bell Canada, 2009).

Nous allons donc voir comment le concept de résilience se définit dans le cadre d'une organisation et quelles sont les méthodes d'évaluation de la résilience.

1.2 Définitions et concepts de la résilience

Bien que le concept de résilience dans le domaine organisationnel se soit développé dans les années 1990 (MSP, 2008b), il existe depuis bien plus longtemps dans d'autres domaines tels que la physique, l'écologie, la psychologie et l'informatique. Afin de mieux comprendre l'origine de la résilience pour une organisation (plus communément appelée résilience organisationnelle), nous allons passer en revue les définitions de la résilience dans les autres domaines en dégagant les idées importantes.

1.2.1 La résilience dans les autres domaines

Étymologiquement, le mot résilience vient du latin *resilio* qui signifie « sauter en arrière, rebondir, rejaillir » (Gaffiot, 1934). Cyrulnik (1998) interprète l'étymologie du mot comme un ressaut vers un nouvel équilibre lorsqu'il dit que la résilience signifie « non pas ressauter à la même place comme si rien ne s'était passé, mais ressauter un petit peu à côté pour continuer d'avancer ».

Bien que la résilience se retrouve dans de nombreux domaines, c'est à la physique que l'on doit la première définition. Le dictionnaire Le Robert (2009) définit d'ailleurs la résilience comme étant « le rapport de l'énergie cinétique absorbée nécessaire pour provoquer la rupture d'un métal, à la surface de la section brisée. La résilience, qui s'exprime en joules par cm^2 , caractérise la résistance au choc ».

La résilience en physique se mesure en effectuant un essai de résilience, appelé essai de Charpy, qui a pour but de mesurer l'énergie nécessaire pour rompre en une seule fois une éprouvette préalablement entaillée et ainsi déduire la résistance au choc du matériau (Berdin & Prioul, 2007).

En écologie, le concept existe depuis de nombreuses années mais s'est plus largement développé en relation avec l'émergence du concept de développement durable. En effet,

les travaux de recherche sur la résilience des systèmes se sont multipliés lorsque les gouvernements ont commencé à mettre en place des politiques de développement durable visant à protéger leurs écosystèmes et leurs sociétés (Da Cunha & Ruegg, 2003). La définition la plus communément utilisée en écologie est celle de Holling (1973). Il définit la résilience comme étant « la mesure de la perturbation extérieure (comme les catastrophes naturelles) que peut subir un écosystème sans changer d'état qualitativement ». Il s'agit, selon l'écologiste, de la capacité d'un écosystème à résister à des perturbations extérieures et à se reconstruire s'il y a des dommages.

Le Stockholm Resilience Centre (2009) précise quant à lui que la résilience peut être assimilée au temps de retour à l'équilibre d'un système, ou à la vitesse nécessaire pour revenir à cet état antérieur.

Par ailleurs, l'écosystème peut saisir des opportunités pour continuer d'avancer lors d'une perturbation : Aschan-Leygonie (2004) explique que lors d'une perturbation, « le système n'est pas marqué par un retour à l'équilibre, expression d'un comportement de résistance, mais réagit au contraire de manière souvent positive, créatrice, grâce à de multiples changements et réajustements ». Ce point de vue est comparable à celui de Cyrulnik (1998).

Dans le domaine de la psychologie, la résilience est définie par Mangham et al. (1995) comme étant « l'aptitude des individus et des systèmes (les familles, les groupes et les collectivités) à vaincre l'adversité ou une situation de risque. ». Le psychiatre Lemay de l'Hôpital Ste-Justine de Montréal définit la résilience psychologique comme « la capacité pour un sujet confronté à des stress importants [...] de mettre en jeu des mécanismes adaptatifs lui permettant non seulement de tenir le coup mais aussi de rebondir en tirant un certain profit d'un tel affrontement » (Lemay, 2000). Nous retrouvons ici les notions de changement d'équilibre lors d'une perturbation promue par

Cyrulnik (1998) et l'intérêt de tirer profit des aléas du passé expliqué par Aschan-Leygonie (2004).

En informatique, la résilience se définit comme la tolérance aux pannes, aux bogues, aux failles. Un système informatique résilient sera donc par exemple un système capable de fonctionner malgré des bogues (Najjar & Gaudiot, 1990). Une notion importante qui apparaît dans cette définition est que les défaillances du système sont perçues comme inévitables et donc sont acceptées selon des critères. L'informaticien cherche donc à développer un système capable de fonctionner en mode dégradé.

L'étymologie du mot résilience ainsi que les définitions dans les domaines physique, écologique, psychologique et informatique mettent en lumière les concepts importants présentés au Tableau 1.1.

Tableau 1.1 – Les domaines de la résilience

Domaine	Concepts associés
Étymologie	- Capacité de ressauter, de rejaillir
Physique	- Capacité de résistance aux chocs mécaniques
Écologie	- Capacité d'absorber une perturbation sans changer d'état - Temps de rétablissement d'un écosystème après une perturbation
Psychologie	- Capacité de surmonter un traumatisme et de retrouver un équilibre
Informatique	- Capacité de fonctionner en mode dégradé

La résilience se définit donc dans tous ces domaines comme une capacité que le système déploie pendant ou après une perturbation, tout en s'adaptant et tirant profit des leçons du passé.

1.2.2 La résilience dans le domaine organisationnel

Le concept de résilience organisationnelle existe depuis les années 1990, mais ce n'est que depuis les récents bouleversements (crise du verglas au Québec en 1998, attentats du

11 septembre 2001 aux États-Unis, ouragan Katrina en 2005 aux États-Unis, etc) que celui-ci s'est fortement répandu dans l'opinion publique.

La définition de la résilience organisationnelle s'est alors naturellement beaucoup inspirée des définitions de la résilience dans les autres domaines. Ainsi, comme en physique, psychologie, écologie et informatique, la résilience organisationnelle est une capacité. De plus, c'est une capacité déployée pendant et après une perturbation. Horne (1997) définit ainsi la résilience organisationnelle comme étant la résistance de l'organisation face à une perturbation et sa capacité à se rétablir.

Cependant, une différence apparaît entre le domaine organisationnel et les autres domaines. Contrairement aux autres domaines, la résilience organisationnelle apparaît également avant la perturbation avec le volet anticipation. Madni (2007) définit ainsi la résilience comme la capacité d'anticiper une perturbation, d'y résister en s'adaptant, et de se rétablir en retrouvant le plus possible l'état d'avant la perturbation.

Un parallèle peut être fait avec les quatre dimensions de la gestion des risques définies par le Ministère de la Sécurité Publique du Québec (MSP, 2008a) :

- prévention ;
- préparation ;
- intervention ;
- rétablissement.

La résilience organisationnelle est donc une capacité que déploie l'organisation avant la perturbation (dans la phase de prévention et préparation), mais également pendant la perturbation (dans la phase d'intervention) et enfin après la perturbation (dans la phase de rétablissement).

Selon Madni & Jackson (2009), la résilience organisationnelle s'articule selon quatre axes : éviter, résister, s'adapter et se relever (Figure 1.3).

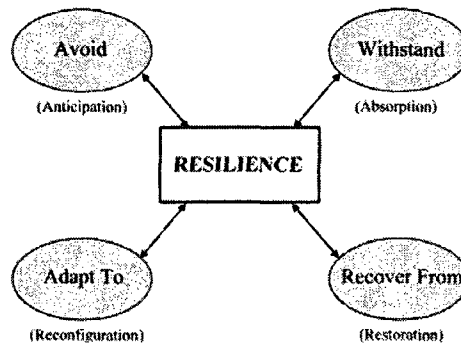


Figure 1.2 – Les quatre axes de la résilience (Madni & Jackson, 2009)

Les quatre axes de la résilience organisationnelle promue par Madni & Jackson (2009) sont donc :

- éviter les perturbations : cet axe de la résilience traduit le besoin d'anticipation des aléas de manière à être proactif ;
- résister face aux perturbations : cet axe de la résilience traduit le besoin de robustesse du système pour absorber les chocs sans modifier son équilibre ;
- s'adapter : cet axe de la résilience traduit le besoin de flexibilité du système pour se reconfigurer en fonctions des perturbations subies ;
- se relever : cet axe de la résilience traduit la capacité du système à retrouver un état d'équilibre, aussi proche possible que celui existant avant la perturbation.

Cette approche de la résilience permet aux auteurs de déduire que les trois propriétés essentielles d'une organisation résiliente sont l'anticipation des perturbations, l'apprentissage des perturbations passées et l'adaptation pour toujours avoir une capacité de réponse proche de la réalité.

McManus et al. (2008) définissent quant à eux la résilience comme étant la fonction de trois paramètres :

- la connaissance de son environnement : l'organisation doit connaître entièrement son environnement externe et interne via notamment la connaissance de ses vulnérabilités ;
- la gestion de ses vulnérabilités critiques (clés de voute) : il s'agit des composantes internes de l'organisation qui ont un impact négatif significatif lors d'une crise ;
- la capacité d'adaptation : il s'agit de la culture de l'organisation qui lui permet de prendre des décisions au bon moment et de la bonne manière, à la fois lors d'une crise et dans les opérations quotidiennes.

Un autre aspect important, également abordé dans la littérature, est le déploiement des ressources. Vogus & Sutcliffe (2007) précisent que la capacité d'une organisation à être résiliente face à une perturbation est intimement liée à sa capacité à :

- planifier les ressources nécessaires pour faire face à la perturbation (planification en termes d'échéancier, de marge de manœuvre et de budget) ;
- anticiper le déploiement des ressources pour être proactif face à une perturbation ;
- déployer rapidement les ressources nécessaires en bon nombre et au moment adéquat.

Comme dans les autres domaines de la résilience, certains auteurs expliquent qu'une organisation résiliente peut tirer profit d'une perturbation grâce aux leçons du passé. Ainsi, Valikangas & Merlyn (2005) expliquent que « les entreprises résilientes sont capables de faire face à des changements [...] en se transformant et en ressortant même plus fortes qu'auparavant ».

1.2.3 Synthèse

Les définitions de la résilience organisationnelle sont donc nombreuses et complexes, mais font globalement ressortir les concepts suivants :

- la connaissance de son environnement ;
- le niveau de préparation ;
- l'anticipation ;
- la capacité de déploiement des ressources ;
- le degré d'adaptation ;
- la capacité de rétablissement ;
- la capacité d'apprentissage.

Ces auteurs constatent néanmoins qu'il est souvent difficile d'implanter le concept de résilience dans les organisations de par le fait que ce concept paraît loin des préoccupations plus tangibles, telles que la production de valeur ajoutée à court terme ou un retour rapide sur investissement (McManus et al., 2008).

À partir de ces définitions acceptables mais relativement théoriques, comment un gestionnaire industriel ou un gestionnaire d'une ville peut-il donc réussir à intégrer la prise en compte de la résilience dans son organisation ? En d'autres termes, quelles sont les méthodes d'évaluation et d'amélioration de la résilience privilégiées dans la littérature, et comment les gouvernements se préparent ?

1.3 Les méthodes d'évaluation de la résilience

Actuellement, très peu de méthodes d'évaluation et d'amélioration de la résilience existent. Elles se basent essentiellement sur des approches par scénarios intégrant donc des probabilités d'occurrence des événements. Les méthodes présentes dans la littérature à ce sujet ressemblent donc beaucoup aux méthodes traditionnelles de gestion des risques.

Par exemple, selon Madni & Jackson (2009), les méthodes à privilégier pour évaluer et améliorer la résilience d'une organisation sont :

- l'évaluation traditionnelle des risques à partir de matrices du type probabilité d'occurrence/impact (Figure 1.3) ;
- l'analyse coûts/bénéfices pour la prise de décision ;
- la gestion proactive des risques à partir de systèmes d'alertes précoces.

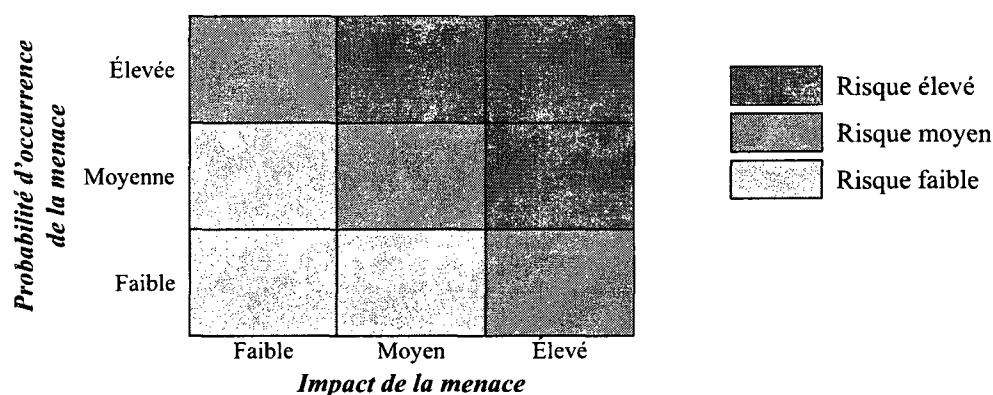


Figure 1.3 – Matrice de décision liée à la probabilité d'occurrence (adapté de l'Ordre des Ingénieurs du Québec [OIQ], 2008)

Dans une matrice de décision liée à la probabilité d'occurrence (Figure 1.3), on évalue d'une part la probabilité d'occurrence de la menace sur une échelle à trois niveaux, et d'autre part l'impact de la menace sur une échelle à trois niveaux. Chacun des niveaux doit au préalable être défini par des critères bien précis. On reporte ensuite la probabilité et l'impact de la menace dans la matrice afin de d'établir le niveau de risque de la menace considérée.

McManus et al. (2008) proposent quant à eux de se servir des plans de stratégies existants dans l'organisation (plans de continuité opérationnelle, plans de mesures d'urgences) pour construire un plan de gestion de la résilience de l'organisation.

Ils élaborent ainsi un processus en cinq étapes, correspondants aux trois paramètres de leur définition décrites ci-après (McManus et al., 2008).

- Construire la connaissance de l'environnement basée sur des scénarios de risques (matrice probabilités des probabilités/impacts).
- Sélectionner des composantes essentielles dans l'organisation (ressources humaines, processus critiques dans l'entreprise, équipements, services, etc.).
- Évaluer ses vulnérabilités pour chacune des composantes critiques sélectionnées en qualifiant le degré de criticité et le degré de préparation de l'organisation.
- Identifier et prioriser les vulnérabilités en utilisant une matrice du type criticité/degré de préparation (Figure 1.4).
- Augmenter la capacité d'adaptation pour chaque scénario et vulnérabilités critiques sélectionnés en faisant des exercices d'entraînement et des simulations afin de mieux se préparer en cas de besoin.

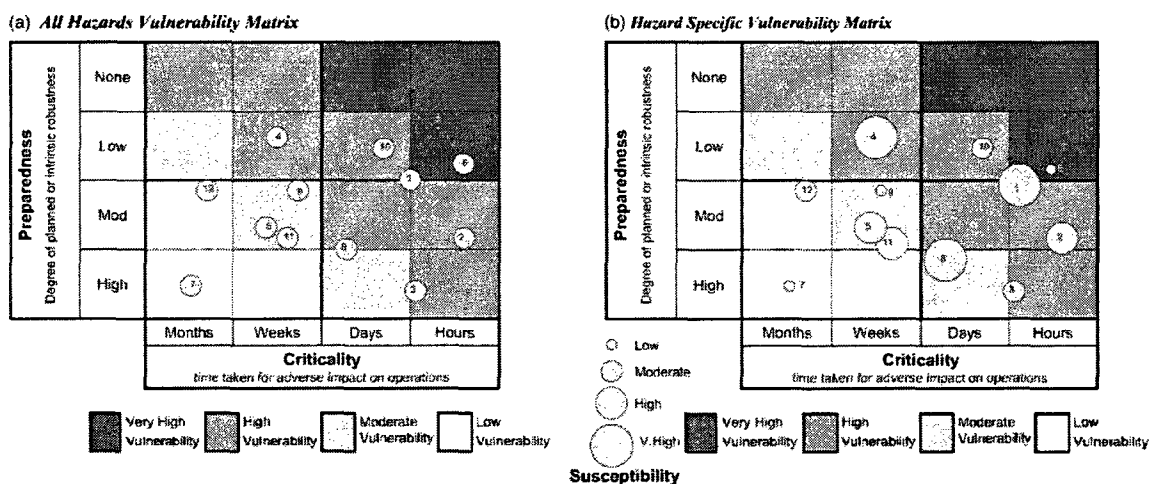


Figure 1.4 – Matrices de vulnérabilités (McManus et al., 2008)

Les matrices de vulnérabilités proposées par McManus et al. (2008) ont pour but de déterminer les vulnérabilités clés dans l'organisation. La matrice (a) correspond à une approche tous risques alors que la matrice (b) correspond à une approche par scénario (un risque spécifique). Chaque composante de l'organisation est représentée par un cercle dans les matrices. Pour la matrice (a), les composantes de l'organisation sont

placées en fonction de leur criticité et de leur état de préparation face à toutes les menaces. Dans la matrice (b), les composantes de l'organisation sont placées en fonction de leur criticité et de leur état de préparation face à un risque spécifique. Dans ce cas, la taille du cercle est proportionnelle à la vulnérabilité de la composante.

Concernant l'approche de la résilience en entreprise, nous pouvons prendre l'exemple de Bell Canada qui propose des solutions de résilience pour entreprise (Bell Canada, 2009). L'offre promue par cette organisation est axée sur une approche systématique et cohérente de la gestion des risques, proposant ainsi des activités, telles que :

- l'évaluation des processus d'affaires ;
- l'analyse des risques ;
- l'évaluation des vulnérabilités ;
- l'élaboration de politiques de sécurité ;
- le plan de continuité des activités ;
- le plan de reprise après sinistre ;
- les exercices de préparation et revue des plans.

Toutes ces méthodes semblent donc relativement proches des méthodes d'analyse de risques existantes basées sur l'étude de scénarios et de probabilités. McManus et al. (2007) confirment ce point de vue en constatant que le concept de résilience est souvent perçu comme une solution de gestion de crise et des urgences et non comme une gestion au quotidien des opérations. Cependant, Sheridan (2008) conclut, après avoir étudié les différentes approches, que les analyses de la résilience doivent être complémentaires aux analyses de risques traditionnelles, mais qu'elles méritent encore d'être développées pour fournir des résultats plus quantitatifs et opérationnels.

Finalement, l'ensemble des méthodes d'évaluation de la résilience s'intègrent dans des démarches à long-terme qui nécessite des efforts et une amélioration constante (Tobin,

1999). En effet, la résilience ne constitue pas un but fixe, mais plutôt un objectif en constante évolution, vers lequel nous ne pouvons que tendre.

Face à ces méthodes d'évaluation plutôt théoriques, il apparaît intéressant de dresser un état des lieux des actions prises par les gouvernements pour améliorer la résilience de leurs sociétés, puisque nous avons vu que la résilience est un concept très présent en sécurité civile.

1.4 La résilience au cœur des préoccupations gouvernementales

Depuis l'augmentation des bouleversements de notre société tels que les catastrophes, les attaques terroristes et les accidents industriels (SPC, 2007), les gouvernements ont donc pris conscience de la nécessité d'intégrer les concepts de développement durable et de résilience dans leurs politiques.

Quatre paramètres ont poussé les gouvernements à considérer les analyses de résilience en plus des analyses de risques traditionnelles :

- l'augmentation des catastrophes en termes de gravité et de fréquence ;
- l'incertitude des catastrophes qui sont de plus en plus imprévisibles ;
- la volonté de protéger les villes et les citoyens ;
- la nécessité de continuité des opérations pour ne pas mettre en danger l'économie du pays.

La conférence mondiale sur la prévention des catastrophes à Kobe en janvier 2005 (Nations Unies, 2005) a été le point de départ de nouvelles réformes pour de nombreux gouvernements. En effet, pour parvenir à ses résultats, la conférence s'est fixé comme but stratégique de « mettre en place, à tous les niveaux, notamment au niveau des collectivités, les institutions, mécanismes et capacités qui peuvent aider systématiquement à accroître la résilience face aux aléas, ou les renforcer s'ils existent déjà ».

Au niveau international, les États-Unis, l'Australie et le Canada ont suivi la volonté de la conférence de Kobe en définissant la résilience comme une priorité nationale.

Nous allons donc voir quelles sont les différentes politiques mises en place par ces gouvernements pour accroître leur résilience face à l'augmentation des catastrophes.

1.4.1 La résilience aux États-Unis, en Australie et en Europe

Les États-Unis et l'Australie sont les précurseurs dans le domaine de la résilience en sécurité civile. En effet, dans ces deux pays aux enjeux économiques importants et fortement exposés aux crises, les études de recherches et actions politiques ont fortement augmenté depuis les dix dernières années (Petit, 2009).

Ainsi, aux États-Unis, le *U.S. Department of Homeland Security* a clairement identifié la résilience comme une priorité nationale dans sa réforme intitulée *Building a resilient nation : Enhancing security, Ensuring a strong economy* (The Reform Institute, 2008). Dans cette réforme, le gouvernement américain prévoit d'investir des fonds dans la protection de ses infrastructures nationales face aux menaces, de préparer des réponses face aux crises, et d'améliorer la capacité de rétablissement de la nation après un désastre.

L'Australie a également mis en place une réforme intitulée *Building a more resilient Australia* (Australia Strategic Policy Institute [ASPI], 2008) visant à améliorer la résilience de sa société et de ses infrastructures. Dans ce document, le gouvernement australien expose sa stratégie en neuf étapes énoncées dans le Tableau 1.2. Celui-ci prévoit ainsi la mise en place d'une nouvelle dynamique en matière de leadership en créant des groupes de coordination et de commandement.

Tableau 1.2 – Stratégie de résilience en Australie

Étapes	Actions
1	Établissement d'un leadership et d'une coordination claire entre les acteurs
2	Prise en compte des changements climatiques dans les actions de prévention/préparation
3	Modification du rôle de la Défense Australienne (armée)
4	Mise en place d'exercices réalistes sur table et avec déploiement
5	Implication du secteur industriel dans les programmes
6	Organisation et incitation du travail des volontaires
7	Révision de la robustesse des infrastructures
8	Établissement d'un partenariat avec les médias
9	Valorisation de la préparation individuelle et familiale

Concernant l'Europe, le Royaume Uni a également intégré le concept de résilience dans ses documents officiels, comme par exemple la réforme intitulée *National Security Strategy of the United Kingdom : Security in an Interdependent World* (The Cabinet Office, 2008). Suites aux attentats du 11 septembre 2001, la ville de Londres a également mis en place un programme de résilience intitulé *London Resilience Partnership* qui a permis le développement de plans de mesures d'urgence et de continuité opérationnelle afin d'améliorer la résilience de la ville. Ce partenariat a également mené à la constitution du site Internet de la *London Resilience Team* qui permet au public d'obtenir de l'information et du soutien en ce qui concerne les mesures d'urgence et la continuité opérationnelle (London Resilience Team, 2008).

1.4.2 La résilience au Canada et au Québec

Le gouvernement du Canada a également entrepris des actions pour améliorer la résilience de ses infrastructures essentielles. Suites aux catastrophes, telles que la tempête de verglas en 1998 au Québec ou la panne électrique en 2003 en Ontario, le gouvernement a entrepris de tirer profit des leçons du passé pour rendre les communautés plus résilientes.

Le Canada a donc lancé la Stratégie nationale sur les infrastructures essentielles et le Plan d'action sur les infrastructures essentielles, afin de mettre en place une approche

collective de gestion des risques à l'intention des administrations fédérales, provinciales et territoriales, ainsi que des infrastructures essentielles (SPC, 2008). À travers des normes, le gouvernement canadien vise à déterminer les priorités et exigences nationales en matière de résilience des infrastructures essentielles (Association canadienne de normalisation [ACNOR], 2008).

Au niveau de la province de Québec, la loi sur la sécurité civile a pour but de fixer les bases de la gestion des risques en sécurité civile. Un de ses fondements est, en particulier, d'assurer la fourniture des ressources et services essentiels à la population introduisant par le fait la notion de résilience (MSP, 2007).

Le Québec a donc mis en place une démarche gouvernementale en 2008 afin d'accroître la résilience des systèmes essentiels présents sur son territoire. Coordonnée par l'Organisation de la sécurité civile du Québec (OSCQ), elle vise notamment à maintenir ou à rétablir le fonctionnement des systèmes essentiels à un niveau de fonctionnement acceptable malgré des défaillances. Aux fins de cette démarche, les ressources essentielles fournies par les systèmes essentiels sont regroupées en douze secteurs constituant autant de tables sectorielles : Activités économiques, Alimentation, Bâtiment, Information et communications, Eau, Énergie, Finances, Santé, Sécurité, Services gouvernementaux, Télécommunications et technologies de l'information, Transport (MSP, 2009a).

L'OSCQ définit en particulier quatre composantes à la résilience d'un milieu (MSP, 2008b) :

- la robustesse, qui se rapporte à la résistance et à la force intrinsèque des éléments du milieu ;
- la redondance, qui est associée aux propriétés des systèmes et qui consiste à disposer de choix ou de moyens de rechange pour faire face à une défaillance ;

- la capacité de prise en charge, qui est liée à l'aptitude des personnes et des organisations à trouver les solutions appropriées, à mobiliser les ressources nécessaires et à mettre en place les moyens pour faire face à une situation ;
- la rapidité, qui concerne la vitesse avec laquelle les perturbations peuvent être réduites, les sommes financières et autres ressources rendues disponibles et les restaurations effectuées.

Pour guider ces nouvelles volontés gouvernementales, de nombreuses normes ont été développées pour encadrer et réglementer les réformes.

1.4.3 Normes qui encadrent les travaux de résilience

Tout d'abord, le Canada a défini la résilience organisationnelle comme une priorité nationale dans sa norme CSA Z1600 intitulé « Programmes de gestion des mesures d'urgence et de continuité des activités » (CSA, 2008). Cette nouvelle norme canadienne de 2008 définit les exigences d'un programme complet de gestion des mesures d'urgence. Cette norme vise à établir les éléments d'un processus d'amélioration continue pour élaborer, mettre en œuvre, maintenir et évaluer des programmes de gestion des mesures d'urgence et de continuité des activités qui abordent les fonctions de prévention, d'atténuation, de réparation, d'intervention et de rétablissement. Dans cette norme, le gouvernement fournit également des indications quant à l'intégration de la résilience dans la gestion des infrastructures essentielles.

En Europe, de nombreuses normes sont utilisées pour traiter de la résilience notamment les normes de l'Organisation internationale de normalisation (ISO). Tout d'abord, la norme ISO 9001:2008 intitulé « Système de management de la qualité – Exigences » évoque l'aspect qualité notamment dans les phases avant la défaillance et lors de la maintenance des systèmes (Organisation internationale de normalisation [ISO], 2008a). La norme ISO/PAS 22399 intitulé « Sécurité sociétale – Lignes directrices pour être préparé à un incident et gestion de continuité opérationnelle » traite également de la

résilience qui a trait à la gestion des catastrophes (ISO, 2007). Cette norme adoptée par plus de 50 pays, donne les lignes directrices pour l'intégration des mécanismes de préparation aux situations d'urgence, de capacité d'intervention et de continuité opérationnelle. Enfin, la nouvelle norme ISO/CEI 24762 (ISO, 2008b) pour les secours informatiques en cas de catastrophes fournit des solutions concrètes d'intégration de la résilience au sein des systèmes informatiques. Les solutions proposées par cette norme sont relatives à l'implantation totale de la gestion de continuité opérationnelle au sein de la gestion des risques, la surveillance et la maintenance des installations, le soutien au redémarrage, l'amélioration de la gestion des fournisseurs, et la gestion des services de secours.

Nous voyons donc qu'au niveau international, les normes qui traitent de la résilience sont nombreuses. Face à la multitude des termes utilisés dans ce domaine, seule l'approche canadienne via ses normes sera utilisée dans la suite de ces travaux de recherches. Cependant, une harmonisation des termes, notamment avec les normes ISO, serait envisageable afin de globaliser les concepts de résilience.

Nous avons donc vu les différentes définitions et méthodes de la résilience, ainsi que les approches gouvernementales via les normes et les réformes. Il convient à présent de faire un bilan afin de se positionner face à cette revue de la littérature.

1.5 Positionnement

Les points suivants ont été retenus suite à la recherche menée sur la littérature existante.

Tout d'abord, avec les définitions vues précédemment, on se rend compte que la résilience est au cœur de nombreuses organisations. Que ce soit pour une entreprise privée, pour une municipalité ou pour un processus industriel, la résilience a besoin d'être évaluée et des méthodes sont nécessaires pour l'améliorer. Ceci tend à s'accroître avec la mise en place de mesures et de normes par les gouvernements visant à améliorer

la résilience des organisations privées et publiques. Or, les définitions et méthodes actuelles ne répondent pas à ce besoin d'opérationnaliser le concept de résilience. Il apparaît donc clairement un besoin d'éclaircir la définition de la résilience en posant des bases conceptuelles solides.

Par ailleurs, les définitions et méthodes actuelles sont généralement relatives à une crise. Les auteurs s'intéressent donc essentiellement à la façon dont une organisation doit se préparer et réagir lors d'une crise, mais presque aucun ne se préoccupe de la gestion courante qui voit davantage à la gestion des petites perturbations et des opérations quotidiennes. Il en résulte que les méthodes actuelles sont basées sur des scénarios, des probabilités d'occurrence, des études d'impacts, et tout un ensemble de données précises souvent difficile à obtenir et à traiter pour un gestionnaire. En résumé, la résilience est souvent perçue comme un concept qui englobe simplement les plans de mesures d'urgences et les plans de continuité opérationnelle.

Dans le cadre de notre étude, les quatre critères¹ que nous considérons pour une méthode efficace sont :

- la simplicité : les outils doivent être compréhensibles et manipulables par un non-spécialiste ;
- l'opérationnalité : les méthodes doivent être rapides à mettre en œuvre et répondre adéquatement à une demande sur le terrain ;
- la facilité du partage de l'information : les outils doivent permettre de communiquer rapidement les informations cohérentes aux acteurs concernés, sans poser de problème de confidentialité ;
- l'utilisation au quotidien pour assurer un travail de veille ;
- la multidisciplinarité : les outils doivent être compréhensibles et utilisables dans tous les domaines et disciplines de travail.

¹ Critères établis avec Pairat (2009) dans le cadre du développement d'une méthodologie d'évaluation de la résilience d'un système, en parallèle de ces travaux de recherches.

D'après ces critères, aucune méthode d'analyse de résilience existante ne répond véritablement à nos exigences. Cutter et al. (2008) concluent d'ailleurs en ce sens lorsqu'ils disent que « malgré les diverses conceptualisations faites pour décrire et évaluer la résilience, aucun des modèles métaphoriques et théoriques n'ont atteint le stade de l'opérationnalisation ». En outre, Pairet (2009) apporte une réponse à cette problématique en développant, en parallèle de ces travaux de recherches, une méthodologie d'évaluation de la résilience d'un système.

À partir de cette revue de la littérature, nous retiendrons les concepts cités ci-après.

- La résilience est une capacité d'action avant la perturbation : connaissance de l'environnement, niveau de préparation, anticipation, système de communication.
- La résilience est une capacité d'action pendant la perturbation : capacité de déploiement des ressources, degré d'adaptation, système de communication.
- La résilience est une capacité d'action après la perturbation : capacité de rétablissement, capacité d'apprentissage, système de communication.
- Le travail d'amélioration de la résilience est un processus continu et dynamique.

1.6 Conclusion

Le premier chapitre a permis de faire un état des lieux des définitions et méthodes d'appréciation de la résilience présentes dans la littérature, afin de comprendre comment se définissent la résilience organisationnelle. Nous avons également passé en revue quelques outils et méthodes d'analyse de la résilience d'une organisation.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les différentes contraintes qui font suite aux recherches dans la littérature. Ainsi, cette partie introduira le sujet de ce mémoire et les objectifs qui y sont reliés.

CHAPITRE 2 PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DE RECHERCHE

Le but de ce chapitre est d'établir la problématique de ce mémoire en fonction des contraintes dégagées lors de la revue de littérature. Cela nous permettra d'exposer le sujet de recherche de ce mémoire ainsi que les objectifs.

2.1 Mise en contexte

A travers le chapitre précédent, la littérature révèle que la résilience organisationnelle est un champ de recherche relativement nouveau. Le fait que les gouvernements canadien, québécois, américain et australien ont rédigé, suite à la conférence de Kobe (Nations Unies, 2005), des documents relatifs à l'amélioration de la résilience de leurs sociétés en est la preuve évidente.

Tout d'abord, la littérature révèle que la résilience est une capacité intrinsèque à une organisation qui lui permet d'éviter les perturbations et d'y résister, de s'adapter et de se relever (Madni & Jackson, 2009).

Concernant le domaine de la sécurité civile, le Québec a lancé une démarche gouvernementale visant à accroître la résilience de ses systèmes essentiels (MSP, 2009a). Les gouvernements australien et américain ont également mis en place des actions coordonnées afin de travailler sur la construction de nations plus résilientes.

Concernant le domaine industriel, la résilience est un concept encore très peu employé. Les seules actions mises en place dans ce domaine pour accroître la résilience sont essentiellement des analyses de gestion de risques traditionnelles.

Enfin, les leçons tirées du passé démontrent que l'approche générale et classique qui consiste à faire en sorte que la résilience soit reliée à un type précis de menaces et de scénarios (et à des probabilités d'occurrence de ces derniers) est peu fonctionnelle. Cela

nous conduira à utiliser l'approche par conséquences développée par le *Centre risque & performance* (CRP) (Robert et al., 2007) pour définir nos concepts de résilience.

2.2 Problématique

A l'heure actuelle, les définitions et méthodes d'analyse de la résilience sont complexes et font apparaître les lacunes suivantes :

- manque de clarté et d'homogénéité dans la définition d'une organisation, d'une ressource, d'un service et d'une activité ;
- manque de détails sur l'acceptation des défaillances ;
- aucune méthode de caractérisation des défaillances ;
- non prise en compte des interdépendances entre les organisations ;
- aucune opérationnalité démontrée ;
- pas de réelle facilitation du partage de l'information ;
- manque de cohérence des concepts de résilience pour une utilisation dans tous les domaines (multidisciplinarité).

De plus, la plupart des définitions et méthodes d'analyse de la résilience se base sur des scénarios de crise, ce qui sous-entend une grande quantité d'information à collecter et à traiter. Les petites perturbations du quotidien ne sont donc pas prises en compte dans les définitions et méthodes que nous avons trouvé dans la littérature. Il apparaît donc primordial d'aider les organisations à comprendre le concept de résilience pour pouvoir l'évaluer et l'améliorer.

2.3 Sujet de recherche

Le sujet de ce travail de recherche est le développement des concepts théoriques relatifs à la résilience d'une organisation, et le développement d'activités de formation pour accompagner la théorie afin de la rendre accessible à des non-spécialistes.

Ce sujet de recherche est développé en parallèle des travaux de Pairet (2009) qui traitent d'une méthodologie d'évaluation de la résilience d'un système. Ces travaux serviront donc de base pour les travaux de Pairet (2009).

2.4 Objectifs

L'objectif principal de ce mémoire est de développer des concepts de base pour la résilience des organisations, et de les rendre accessibles par des non spécialistes.

Les objectifs spécifiques de ce mémoire sont de :

- formuler la théorie sur la résilience organisationnelle :
 - dresser un bilan des différentes définitions de la résilience et comparer les méthodes d'évaluation ;
 - définir les concepts de base de la résilience en adoptant une approche multidisciplinaire ;
- développer des activités de formation afin de rendre les concepts accessibles à des non spécialistes :
 - expliquer comment vulgariser et former les acteurs sur le concept de résilience pour une organisation ;
 - exposer les outils de formation qui ont été développés pour faciliter le travail d'évaluation de la résilience d'une organisation ;
- valider les concepts de résilience auprès de différents acteurs du domaine.

2.5 Conclusion

Nous avons donc établis les objectifs de recherche de ce mémoire qui vont être abordés dans les différents chapitres de ce mémoire. Le chapitre suivant présente la théorie de la résilience développée dans le cadre de nos travaux de recherche : tous les concepts relatifs à la résilience organisationnelle y sont donc expliqués.

CHAPITRE 3 CONCEPTS DE RÉSILIENCE

Ce chapitre a pour objectif principal d'expliquer en détail les concepts relatifs à la résilience organisationnelle que nous allons rebaptiser résilience des systèmes. Cette formulation de la théorie permettra de poser les bases pour le développement futur de la méthodologie d'évaluation de la résilience développée par Pairet (2009).

Nous allons donc tout d'abord expliquer pourquoi l'approche système est préconisée pour l'évaluation de la résilience. Nous expliquerons ce qu'est l'état de référence d'un système pour voir comment les défaillances se définissent et se gèrent. Tous ces concepts seront finalement synthétisés pour proposer une définition globale de la résilience d'un système.

Puisque l'étude se base sur une approche qui considère l'organisation en tant que système utilisant des ressources, il convient de définir tout d'abord ce qu'est une ressource.

3.1 Définition de ressource

Après validation auprès du Ministère de la Sécurité Publique du Québec² (MSP, 2009b), la définition de ressource retenue est la suivante :

Une ressource est une matière, une substance, un bien, un objet, une infrastructure matérielle ou immatérielle, un service ou un moyen mis à la disposition d'un système pour fonctionner.

Une ressource se définit également par le fait qu'elle peut être **indisponible**. Et nous allons voir que c'est son indisponibilité qui engendre des conséquences sur ses utilisateurs.

² La validation des concepts de résilience présentés dans ce chapitre est détaillée dans le chapitre 5.

Le terme ressource est donc pris dans son sens le plus large, puisque la définition englobe les services. Un service est considéré comme une ressource, au même niveau qu'un objet ou qu'une infrastructure. Il n'y a donc pas de distinction entre les ressources matérielles et ressources immatérielles, appelées également services.

Les ressources peuvent être regroupées en cinq grandes catégories généralement utilisées par les organisations : humaines, matérielles, financières, informationnelles, immatérielles (services). Le tableau 3.1 donne des exemples de ressources pour ces cinq catégories.

Tableau 3.1 – Les types de ressources

Ressources	
Humaines	Personnel / Personnes clés
Matérielles	Matière / Énergie / Substance
	Bien / Objet
	Infrastructure
Financières	Liquidité / Capital / Action / Crédit
Informationnelles	Données / Informations
	TIC : Réseaux matériels
	TIC : Réseaux immatériels
Services	Services

La définition de ressource fait ressortir le fait qu'une ressource peut être utilisée ou fournie par un système. Il convient donc à présent de définir ce qu'est un système.

3.2 Définition de système

3.2.1 Définition retenue

Nous avons vu que la plupart des gouvernements qui traitent de la résilience utilisent le terme infrastructure essentielle, ou infrastructure critique. Afin de répondre à la problématique de ce mémoire, nous avons vu qu'il était nécessaire d'établir une terminologie plus opérationnelle et applicable dans tous les domaines lorsque l'on parle de résilience. Or le terme infrastructure est un terme trop restrictif soumis à des confusions possibles puisqu'il fait davantage référence au génie civil et aux éléments

matériels plutôt qu'aux éléments immatériels. A contrario, le terme système apparaît plus large et permet d'englober dans sa définition les termes infrastructure, organisation et entreprise.

Après validation auprès du Ministère de la Sécurité Publique du Québec (MSP, 2009b), c'est donc le terme système que nous allons retenir pour toute la suite de ces travaux sur la résilience. Nous parlerons donc à partir de maintenant de **résilience des systèmes**. La définition de système retenue est la suivante :

Un système est un ensemble coordonné d'éléments matériels ou immatériels et d'éléments de gestion et de contrôle organisés au sein d'ensembles fonctionnels selon des objectifs communs et fixés.

Un système peut être une infrastructure physique, une organisation, une entreprise, une municipalité, un ministère, un processus industriel, etc.

Un système correspond à un regroupement d'éléments matériels ou immatériels dont la mission globale est la fourniture de ressources à des utilisateurs. Pour remplir sa mission, un système utilise des ressources provenant de fournisseurs.

Le principe de cette étude est de considérer le système comme une boîte noire dans lequel on ne fera pas d'ingérence.

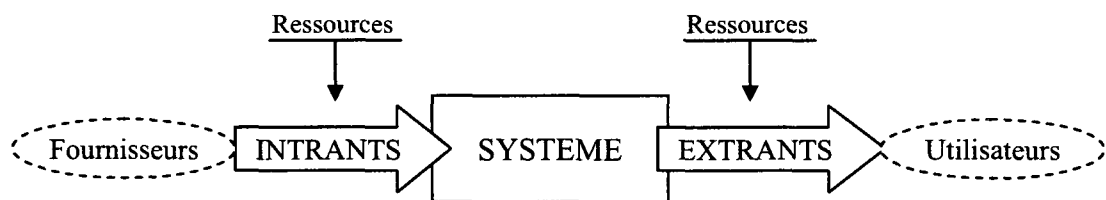


Figure 3.1 – Approche système

La figure 3.1 montre comment le système peut être représenté logiquement. Des fournisseurs fournissent des intrants au système qui les traite pour fournir à son tour des extrants à des utilisateurs.

Différents types de ressources sont donc à distinguer :

- les ressources utilisées par le système, aussi appelées **intrants** ;
- les ressources fournies par le système, aussi appelées **extrants** ;
- les ressources **internes** échangées entre les éléments internes du système ;
- les ressources **externes** échangées entre les systèmes.

Un **intrant** est une ressource utilisée par un système. L'intrant provient d'un autre système en amont, également appelé système fournisseur.

Un **extrant** est une ressource fournie par un système. L'extrant est ensuite utilisé par un autre système en aval, également appelé système utilisateur.

Pour la suite des travaux de ce mémoire, nous ne considérerons pas les ressources internes puisque le système sera assimilable à une « boîte noire » dans lequel le fonctionnement interne n'est pas étudié.

3.2.2 Dépendance entre les systèmes

L'approche logique présentée précédemment met en lumière la dépendance d'un système envers ses fournisseurs et ses utilisateurs de ressources.

Il est donc important dès le départ de comprendre que tout système évolue dans un environnement extérieur dans lequel chaque acteur peut être vu comme un système.

Ainsi, l'entité « fournisseur » peut être considérée comme un système à part entière qui fournit des ressources ensuite utilisées par le système suivant. De même, l'entité « utilisateur » peut être considéré comme un système à part entière. La Figure 3.2 illustre la dépendance entre les systèmes. Le système 1 fournit l'extrant 1 qui devient l'intrant 1

pour le système 2, puis le système 2 fournit l'extrant 2 qui devient l'intrant 2 pour le système 3.

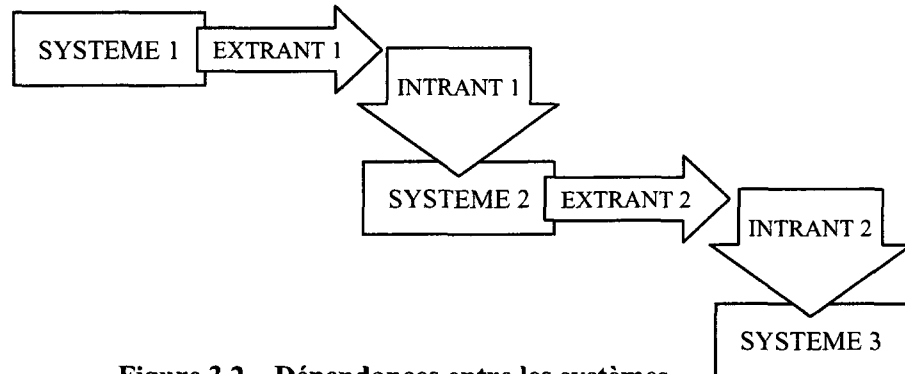


Figure 3.2 – Dépendances entre les systèmes

Dans la Figure 3.2, imaginons que le système 3 fournisse un extrant au système 1 et que le système 1 fournisse un extrant au système 3. Dans ce cas, on parlera de dépendance fonctionnelle bilatérale, ou plus communément appelée interdépendance fonctionnelle.

3.2.3 Constitution interne d'un système

Guichardet (2009) définit un ensemble fonctionnel comme étant un regroupement d'infrastructures qui utilisent des ressources et dont la fonction est de fournir des ressources afin de remplir une mission. C'est en adaptant cette définition que nous allons définir la notion de système et d'ensemble fonctionnel dans nos travaux de recherche.

Un système est composé d'éléments (matériels ou immatériels) qui participent chacun à la fourniture de un ou plusieurs extrants. Ces éléments sont regroupés dans des ensembles fonctionnels en fonction de leur rôle commun dans la fourniture d'un extrant.

Un système est donc constitué d'ensembles fonctionnels qui regroupent eux-mêmes des éléments matériels et immatériels, et des éléments de gestion et de contrôle :

- chaque **élément** a une **fonction** dans son ensemble fonctionnel (EF).
- chaque **ensemble fonctionnel (EF)** a un **rôle** dans la fourniture d'un extrant pour le système global.

Ces ensembles fonctionnels et éléments représentés sur la Figure 3.3 constituent les deux niveaux de raffinement pour un système.

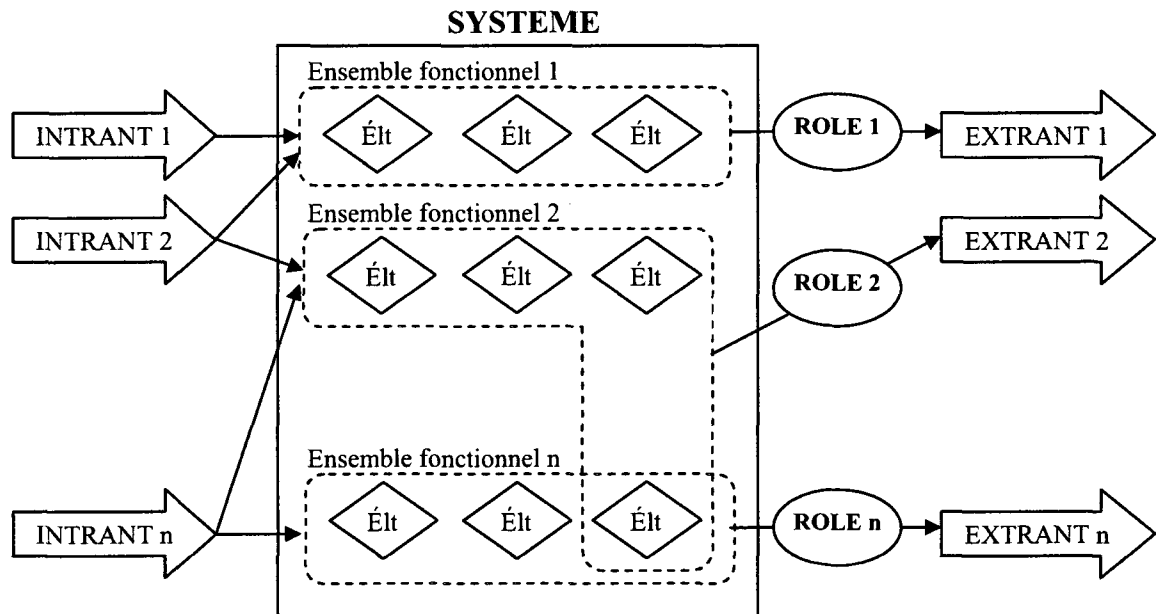


Figure 3.3 – Constitution d'un système

La définition des éléments et des ensembles fonctionnels de même que leur fonction et rôle respectif est donc à la base de la caractérisation d'un système.

3.2.3.1 Définition d'un élément

L'élément est l'entité fondamentale constitutive du système. Il peut être plus ou moins précis selon le niveau de détail recherché. Il est donc important de bien choisir le niveau de raffinement des éléments afin de ne pas étudier le système trop en détail ni trop superficiellement.

Khayate (2008) définit deux types d'éléments : les éléments dits « critiques » et les éléments dits « de support ». Les éléments critiques sont des éléments dont la défaillance engendre des conséquences immédiates et/ou significatives sur la mission du système. A

contrario, les éléments de support sont des éléments dont la fonction est d'aider ou de compléter les activités des éléments critiques.

Si le système est complexe et que ses éléments sont trop nombreux, il est alors possible, pour des raisons pratiques de simplification, de les regrouper dans des ensembles plus importants dits fonctionnels.

3.2.3.2 Définition d'un ensemble fonctionnel

En adaptant les travaux de Guichardet (2009), nous définissons donc un ensemble fonctionnel comme suit.

Un ensemble fonctionnel (EF) est un ensemble d'éléments regroupés en fonction de leur rôle commun dans la fourniture d'une même ressource. Les éléments sont donc regroupés par rapport à leur participation dans la fourniture d'un extrant. Retenons que les ensembles fonctionnels sont formés en fonction des extrants et des rôles associés à leur fourniture. Ainsi, chaque ensemble fonctionnel possède un rôle défini dans la fourniture d'une (unique) ressource. Toutefois, les ensembles fonctionnels ne sont pas exclusifs entre eux. Un élément peut appartenir à plusieurs ensembles fonctionnels.

Un ensemble fonctionnel se définissant par son rôle dans la fourniture ou la gestion d'une ressource extrant, il convient de définir ce qu'est un rôle.

3.2.3.3 Définition des rôles

Différents rôles sont possibles pour un ensemble fonctionnel. On retrouve généralement deux types de rôles distincts mais souvent complémentaires :

- les rôles concernant la **fourniture** d'un extrant ;
- les rôles concernant la **gestion** ou le contrôle d'un extrant.

Le Tableau 3.2 présente une liste non exhaustive de rôles possibles pour la fourniture et la gestion d'un extrant.

Tableau 3.2 – Rôles associés au type de ressource

Ressources extrants		Exemple de rôles dédiés à la fourniture d'une ressource	Exemples de rôles dédiés à l'encadrement / à la gestion d'une ressource
Humaines	Personnel	Mettre à disposition, Former	Réglementer, Contrôler, Surveiller, Administrer, Coordonner, Gérer, Veiller, Analyser.
Matérielles	Matière / Énergie / Substance	Produire, Transformer, Distribuer, Transporter, Commercialiser	
	Bien / Objet		
	Infrastructure	Mettre à disposition, Assurer la maintenance	
Financières	Liquidité / Capital / Action / Crédit	Générer, Modifier	
Informationnelles	Données / Informations		
	TIC : Réseaux matériels	Transmettre, Communiquer	
	TIC : Réseaux immatériels		
Service	Services	Fournir	

Pour montrer la corrélation entre les ressources et le type de rôles d'un EF, la première colonne du tableau énumère les types de ressources, alors que les colonnes deux et trois donnent des exemples de rôles dédiés respectivement à la fourniture et à la gestion d'une ressource.

Afin de mieux comprendre le concept de système et les différentes définitions qui s'y rattachent, le paragraphe suivant présente un exemple de système.

3.2.4 Exemple de système

Pour illustrer le concept de système, prenons l'exemple de l'usine de traitement de l'eau potable Charles-J.-Des Baillets de la ville de Montréal (Ville de Montréal, 2009).

L'usine de traitement de l'eau potable considérée se compose des éléments suivants :

- unité de pompage d'eau brute (prise d'eau dans le fleuve, système anti-frasil, pompes) ;
- unité de filtration ;
- unité de chloration ;
- unité d'ozonation ;
- bassin de stockage ;
- unité de distribution ;
- laboratoires de contrôle.

La mission de l'usine est de fournir une quantité Q d'eau potable par jour et ayant un taux de chlore C fixe en permanence.

Le système que nous considérons est l'usine dans sa totalité. Nous pouvons définir deux grands ensembles fonctionnels EF1 et EF2 qui sont : l'ensemble fonctionnel « Production » et l'ensemble fonctionnel « Contrôle ». Les rôles associés à EF1 et EF2 sont respectivement « Produire » et « Contrôler ».

Les éléments du système peuvent ainsi être regroupés dans les ensembles fonctionnels EF1 et EF2 comme représentés sur la Figure 3.4.

Sur cette figure, on fait apparaître les intrants et extrants au système qui sont matérialisés par des flèches. Seules les ressources externes au système y sont représentées puisque nous avons définis un système comme une « boîte noire ». Si l'on souhaite étudier les ressources internes au système, il faut alors modifier les frontières du système en définissant un des ensembles fonctionnels comme un nouveau système à étudier.

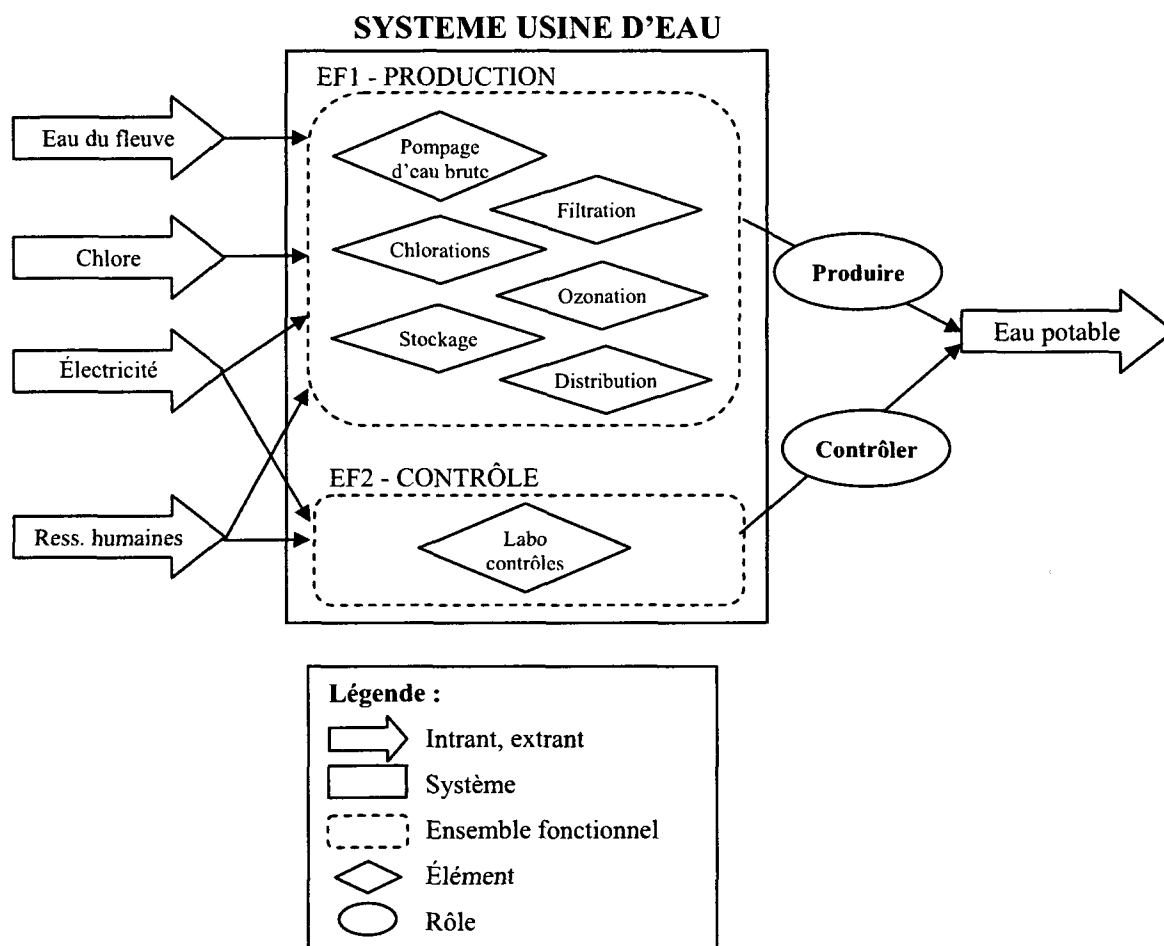


Figure 3.4 – Décomposition du système « usine d'eau »

Le paragraphe suivant explique alors comment il est possible de modifier le niveau d'analyse de la résilience.

3.2.1 Niveau de raffinement de l'analyse

La définition de système est une définition qui se veut large et qui peut donc être appliquée à différents ensembles en fonction du niveau de raffinement d'analyse choisi.

En effet, un ensemble fonctionnel peut être défini lui-même comme un système : ces éléments constitutifs seront alors vus comme des ensembles fonctionnels constitués d'éléments plus petits.

Si nous reprenons l'exemple de l'usine de traitement de l'eau potable, la caractérisation du système pourrait se faire comme décrit dans le Tableau 3.3.

Tableau 3.3 – Exemple de niveaux d'analyse

Système	Usine de traitement de l'eau potable					
EF	Unité de production			Unité de contrôle		

Système	Unité de production					
EF	Unité de pompage d'eau brute	Unité de filtration	Unité de chloration	Unité d'ozonation	Unité de stockage	Unité de distribution

Système	Unité de pompage d'eau brute		
EF	Prise d'eau	Pompes	Système anti-frasil

L'ensemble fonctionnel « Unité de production » peut devenir à son tour un système dont un des ensembles fonctionnels serait « Unité de pompage d'eau brute ». Ce dernier peut ensuite être défini comme un système avec des EF, telle que la prise d'eau, etc.

La Figure 3.5 illustre cette organisation en fractales du système que l'on pourrait également assimiler à une décomposition en « poupées russes ». Dans tous les cas, le raisonnement reste le même, seul le point de vue change.

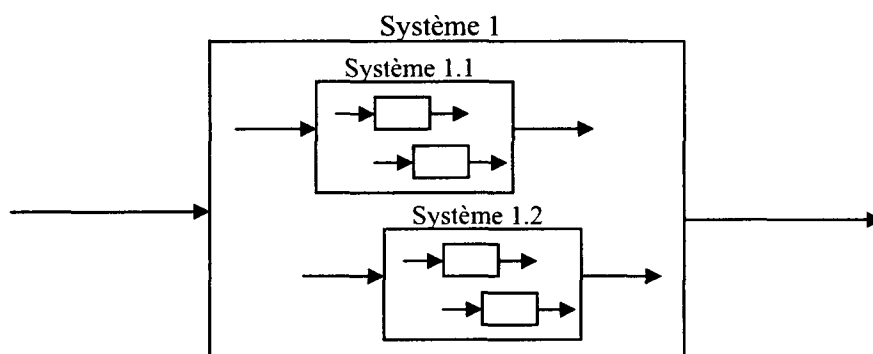


Figure 3.5 – Décomposition du système en fractales

En résumé, toute entité d'un niveau de détail inférieur au système peut devenir un système à son tour si l'on change de niveau d'analyse. Ainsi, l'évaluation de la résilience peut prendre le niveau de raffinement souhaité en fonction du niveau de précision de l'analyse et des objectifs souhaités. Mais l'important est de fixer les limites exactes du système pour différencier l'environnement interne du système de son environnement externe. C'est la base de l'étude qui conditionnera toute la suite de l'évaluation de la résilience du système choisi.

Une fois la définition de système établie, et avant de traiter des défaillances, il convient de définir l'état de référence d'un système.

3.3 Définition de l'état de référence d'un système

Afin de caractériser les différents états de défaillances d'un système, il est tout d'abord primordial de définir l'état de référence du système. Cet état peut se définir comme **l'état pour lequel le système a été créé.**

Nous avons vu qu'un système est créé pour fournir des ressources (extrants) qui respectent des caractéristiques précises (une sorte de cahier des charges) établies lors de la conception et de la mise en place du système. Un système est donc dans son état de

référence lorsque ses extrants sont fournis de manière exacte, selon les caractéristiques prévues. L'état de référence d'un système correspond donc à l'état de fonctionnement optimal théorique.

Par ailleurs, il est possible que cet état varie en fonction des évolutions successives du système.

Si l'on reprend l'exemple de l'usine de traitement de l'eau potable, son état de référence pourrait être défini comme ci-après.

L'usine est dans son état de référence lorsqu'elle fournit à chaque instant t une quantité Q d'eau potable et ayant un taux de chlore C ne dépassant pas une tolérance donnée en permanence.

L'état de référence d'un système est l'état pour lequel il a été créé. Malheureusement, la réalité est bien différente. En effet, le système doit faire face en permanence à des défaillances. Le paragraphe suivant traite donc de l'acceptabilité des défaillances pour un système.

3.4 Acceptabilité des défaillances

3.4.1 Définition de défaillance

Nous avons vu qu'un système est conçu pour être dans son état de référence, état pour lequel il a été créé. Cependant, il est souvent difficile pour le système de fonctionner dans son état optimal théorique, et cela pour deux grandes raisons représentées sur la Figure 3.6.

Tous d'abord, l'usure du temps fait tendre le système vers la défaillance. En d'autres termes, le système a tendance à tomber en défaillance tout seul avec le temps si aucun mécanisme de résilience n'est mis en place.

Par ailleurs, le système est exposé à des perturbations extérieures qui peuvent engendrer des défaillances.

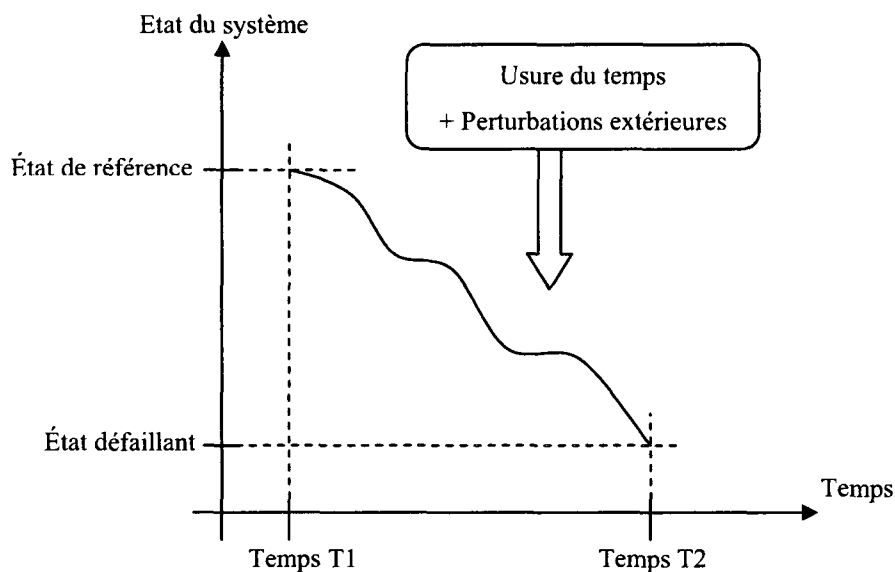


Figure 3.6 – Évolution temporelle de l'état d'un système

Le MSP définit une défaillance comme une altération, une dégradation ou une cessation de l'aptitude du système à accomplir sa ou ses missions requises avec les performances spécifiées (MSP, 2009b).

Un système est donc défaillant lorsqu'il ne remplit plus la mission pour laquelle il a été créé, c'est-à-dire lorsqu'il ne fournit plus correctement ses extrants.

Il est donc possible de dire qu'un **système est défaillant lorsqu'il** se situe dans un des cas suivants :

- Cas #1 : Non respect des caractéristiques requises pour l'extrant ;
- Cas #2 : Non fourniture de l'extrant.

Cette notion de défaillance est prépondérante. Toutefois, il convient de la différencier de la notion de dégradation.

3.4.2 Distinction entre défaillance et dégradation

Il existe certaines confusions dans la littérature concernant l'utilisation des mots défaillance et dégradation. En effet, certains parlent de système défaillant, alors que d'autres parlent de système dégradé. Ce même vocabulaire est également utilisé pour parler des ressources. Afin de répondre à notre problématique qui est d'établir des concepts clairs et compréhensibles par des non-spécialistes, il est important d'éviter toute confusion. Ainsi, pour la suite des travaux, les termes suivant seront privilégiés :

- **la défaillance s'applique au système et à ses sous-ensembles (EF et éléments) ;**
- **la dégradation s'applique à la ressource.**

La caractérisation des défaillances du système et des dégradations des ressources seront abordées plus en détails dans le paragraphe 3.5. Ce qu'il faut retenir c'est qu'une ressource peut être disponible, dégradée ou indisponible et qu'un système peut être dans un état normal, intermédiaire ou défaillant. Nous verrons dans le paragraphe 3.5 que l'état intermédiaire du système sera nommé état dysfonctionnel.

3.4.3 Acceptabilité des conséquences

Pour déterminer le caractère acceptable d'une défaillance du système, il faut évaluer les conséquences que le système est prêt à accepter. En d'autres termes, accepter une défaillance revient à accepter ses conséquences.

Le MSP définit l'acceptabilité des conséquences comme le niveau de tolérance à certaines conséquences. Le caractère acceptable d'une conséquence est apprécié en fonction des conséquences d'une perturbation ou d'une défaillance d'un système sur un ou plusieurs systèmes ou sur la population (MSP, 2009b).

La détermination du caractère acceptable d'une conséquence peut être faite à partir de l'approche par conséquences développée par le *Centre risque & performance* (Robert et al., 2007). Cette approche propose de se concentrer sur les conséquences d'un aléa et

non sur ses causes. Elle considère ainsi la dégradation du système quel que soit l'élément déclencheur (aléa) puis, elle anticipe les conséquences néfastes sur le système lui-même et sur l'environnement.

Pour identifier les conséquences de la dégradation d'un ou plusieurs intrants sur le fonctionnement du système, l'approche du CRP propose donc de se poser les questions suivantes :

- Quelles sont les utilisations des extrants fournies par le système ?
- Comment la dégradation de l'extrant affecte l'environnement et pourquoi ?

Pour répondre à ces questions, deux grandes catégories de conséquences doivent être considérées :

- les conséquences sur le fonctionnement interne du système (conséquences internes) ;
- les conséquences pour les utilisateurs des extrants fournis par le système (conséquences externes).

Les conséquences peuvent être directes ou indirectes, et temporaires ou permanentes.

Tout ce travail d'évaluation de l'acceptabilité des conséquences (et donc d'acceptabilité des défaillances) devrait généralement être fait par la haute direction du système.

Pour qualifier les défaillances, on établit donc des **niveaux de défaillances** du système en fonction des conséquences définies comme acceptables. Le passage d'un niveau de défaillance à un autre se fait par le passage d'un seuil préétabli. Ce travail de caractérisation des défaillances est l'objet de la section suivante.

3.5 Caractérisation des défaillances par des seuils et des niveaux

Une fois que le système accepte de subir des défaillances, il faut les caractériser de manière précise selon des niveaux de défaillances. Cela permet également de définir des seuils de défaillances qui servent d'indicateurs aux gestionnaires pour suivre l'état du système aussi bien dans la gestion courante au quotidien que dans la gestion particulière lors d'événements.

Nous allons donc définir les critères de caractérisation des défaillances pour définir l'état du système.

3.5.1 Critères de caractérisation

Pour déterminer dans quel état se retrouve le système, il est nécessaire d'avoir des critères d'analyse précis. L'établissement des critères de caractérisation des défaillances se base essentiellement sur l'approche système que nous avons définis précédemment. Nos critères doivent donc se baser sur les trois dimensions de l'approche système qui sont les ensembles fonctionnels, les intrants et les extrants.

Les trois critères retenus sont donc :

1. l'état de l'intrant : quel est l'état de dégradation de la ressource intrant ?
2. l'état des ensembles fonctionnels (EF) : quel est l'état de défaillance des EF du système ?
3. l'état de l'extrant : quel est l'état de dégradation de la ressource extrant ?

3.5.1.1 État de l'intrant

Il existe plusieurs états possibles pour l'intrant en fonction de son type. En effet, dans certains cas, l'intrant est soit disponible ou indisponible. On pense par exemple à l'électricité ou au gaz. Par contre, dans d'autres cas, l'état de l'intrant n'est pas forcément binaire, disponible ou indisponible. Un troisième état est alors possible, l'état

dégradé. Ceci est par exemple le cas d'un service de transport. Celui-ci pourrait être assuré à 80% en cas de panne, à 30% en cas de grève ou complètement indisponible (0%) en cas de crise.

Cependant, dans le contexte actuel des systèmes, tels que des entreprises privées ou des organisations gouvernementales, il est souvent difficile d'avoir un réel contrôle sur l'état de l'intrant que fournit un autre système. Mise à part des ententes spéciales entre système fournisseur et système utilisateur via des contrats, un système utilisateur subit plus qu'il ne contrôle les dégradations éventuelles d'un intrant.

Pour la suite de nos travaux, nous allons donc considérer que les intrants ne peuvent être que du type ON/OFF. Plus tard, un raffinement avec plus de niveaux de dégradations de la ressource pourrait être fait.

Ainsi nous posons l'hypothèse simplificatrice suivante.

Hypothèse 1 :

Dès lors qu'une ressource ne respecte plus ses caractéristiques requises (ressource dégradée), elle est considérée comme inutilisable et donc indisponible.

D'après cette hypothèse, il n'y a donc que deux états de dégradations considérés pour un intrant : **disponible** ou **indisponible**.

3.5.1.2 État de défaillance des EF

Pour évaluer l'état de défaillance des EF, il faut les voir comme des systèmes. De nombreux cas sont alors envisageables. Tout d'abord, celui-ci pourrait être normal, dysfonctionnel ou défaillant, et ceci en fonction de l'état des intrants qu'il utilise ou bien de son fonctionnement interne. Étudier son fonctionnement interne revient à étudier le fonctionnement de ses éléments. Cette logique en fractales peut rendre l'analyse globale du système très compliquée.

Ainsi, afin de mieux nous concentrer sur les principes de base, nous posons l'hypothèse simplificatrice suivante.

Hypothèse 2 :

Si un ensemble fonctionnel (EF) fournit correctement son extrant, il est non défaillant.

S'il ne fournit pas correctement son extrant, il est défaillant.

L'état de l'ensemble fonctionnel (EF) est donc binaire.

D'après l'hypothèse 2, on ne prend donc pas en compte l'état dysfonctionnel de l'ensemble fonctionnel. Seulement deux états de défaillances considérés pour un ensemble fonctionnel: **normal** ou **défaillant**.

3.5.1.3 État de l'extrant

Comme un intrant, un extrant peut être disponible, dégradé ou indisponible. Plusieurs niveaux de dégradations sont donc envisageables pour l'extrant. Cependant, afin d'assurer une cohérence dans les concepts de résilience, nous appliquons l'hypothèse 1 pour la définition de l'état de l'extrant.

Ainsi, d'après cette hypothèse, il n'y a que deux états de dégradations considérés pour un extrant : **disponible** ou **indisponible**. Un raffinement avec plusieurs niveaux de dégradations pourraient être envisagé, mais cela ne fait pas partie de travaux de ce mémoire.

Toujours d'après cette hypothèse, si l'extrant est dégradé ou indisponible, la mission du système n'est plus remplie : le système tombe donc en défaillance.

3.5.2 États de défaillance du système

Par abus de langage, on définit par « états de défaillance » tous les états dans lesquels peut se trouver un système et ses sous-ensembles.

À partir des trois critères établis au paragraphe précédent (état de l'intrant, état des EF, état de l'extrant), il est possible de définir les états de défaillance suivants pour le système :

- **État de référence** : état théorique du système pour lequel il a été conçu ;
- **État normal** : le système remplit sa mission de fourniture de l'extrant en utilisant correctement les intrants ;
- **État dysfonctionnel** : un des intrants est indisponible ou un des EF est défaillant mais le système continue de remplir sa mission (fourniture correcte de l'extrant) grâce à des actions mises en place ;
- **État défaillant** : malgré les actions mises en place, le système ne remplit plus sa mission de fourniture de l'extrant ;
- **État hors service** : le système est arrêté.

Face à ces états possibles, le système réagit de manière différente en adoptant un type de gestion en adéquation avec chacun des états. Il convient donc à présent de définir les modes de gestion de la résilience.

3.5.3 Modes de gestion du système

Pour chaque état de défaillance du système, il est possible de définir un mode de gestion spécifique. Les différents modes de gestion considérés dans notre étude, et décrits ci-après, sont la gestion courante, la gestion particulière et la gestion d'urgence.

- **Gestion courante** : gestion du système au quotidien lorsque celui-ci fonctionne dans un état normal.

La gestion courante correspond à la mise en place d'actions préventives pour gérer au quotidien les petites perturbations et anticiper les défaillances éventuelles.

La gestion courante est donc une gestion planifiée relative au maintien des activités et à l'anticipation des défaillances potentielles.

- **Gestion particulière** : dès lors que le système entre dans un état de dysfonctionnement et que l'on doit mettre en place des actions non déployées ordinairement, on entre dans de la gestion particulière.

La gestion particulière correspond à la mise en place d'actions correctives lorsque le système est dans un état dysfonctionnel afin qu'il puisse maintenir la fourniture de l'extrait et tenter de remonter vers un état normal de fonctionnement. Un exemple simple de mode de gestion particulière est l'utilisation de ressources alternatives non utilisées en gestion courante. De Calan (2007) définit une ressource alternative comme une ressource qui permet de compenser la perte d'une ressource utilisée afin de continuer de remplir la mission.

La gestion particulière est donc une gestion planifiée relative au maintien des activités et au rétablissement vers un état normal de fonctionnement.

- **Gestion d'urgence** : gestion du système lorsque celui-ci est dans un état défaillant et que les actions correctives déployées dans la gestion particulière ne sont plus efficaces.

La gestion d'urgence correspond au déploiement de mesures d'urgence pour tenter un retour du système à l'état de fonctionnement acceptable où celui-ci pourra appliquer des règles de gestion planifiée. Dans la plupart des cas, cet état de fonctionnement acceptable sera l'état dysfonctionnel.

La gestion d'urgence est donc plus une gestion adaptative qu'une gestion planifiée.

Pour faire une analogie avec les analyses de risques traditionnelles, nous pouvons considérer que les gestions dites courante et particulière sont des gestions de continuité des opérations. En effet, dans ces états, le système déploie des actions pour continuer de remplir la mission qui est de fournir des extrants avec les caractéristiques requises.

A contrario, la gestion dite d'urgence est bien relative au domaine des mesures d'urgence traditionnelles. En effet, dans cet état, le système ne remplit plus sa mission de fourniture des extrants et cherche uniquement à retrouver un état de fonctionnement acceptable.

Lorsque le système tombe dans le domaine de la gestion d'urgence, il doit déployer des capacités d'intervention et de rétablissement. Même si la résilience intervient également dans la capacité de reconstruction et de rétablissement, nous considérerons que, pour la suite de ce mémoire, la gestion d'urgence puisse être moins développée que les deux autres types de gestion puisque, comme son nom l'indique, cela fait davantage partie du domaine des mesures d'urgence.

3.5.4 Schématisation de l'état du système

L'évaluation de l'état de défaillance du système se fait donc à partir des trois critères expliqués dans le paragraphe 3.5.1. En d'autres termes, en fonction de l'état de l'intrant, de l'extrant et des EF, le gestionnaire du système doit établir dans quel état de défaillance le système se situe.

Le code de couleur du Tableau 3.4 sera utilisé pour traduire l'état du système.

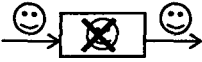
Tableau 3.4 – Code de couleur pour l'état du système

Indicateur	État du système
	État normal : Le système et ses EF fonctionnent normalement avec les intrants prévus. Le système est en gestion courante.
	État dysfonctionnel : Le système a un ou plusieurs EF défaillants, ou utilise des intrants dégradés ou indisponibles. Le système met donc en place des mesures comme l'utilisation de ressources alternatives, mais la mission du système n'est pas endommagée. Le système est en gestion particulière.
	État défaillant : Malgré les mesures mises en place, le système ne remplit plus sa mission de fourniture de ses extrants. Le système tombe en gestion d'urgence.

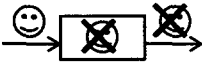
Les états de référence et hors service ne sont pas représentés puisque nous considérerons que l'état de référence est un cas particulier de l'état normal et que l'état hors service est un état particulier de l'état défaillant.

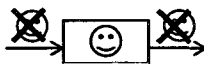
Les cas possibles de défaillance du système peuvent donc être schématisés comme suit :

Cas 1.  : signifie que les intrants et les extrants sont disponibles, et que les EF fonctionnent normalement.

Cas 2.  : signifie que les intrants sont disponibles et que un ou plusieurs EF sont défaillants. Cependant, le système global arrive à fournir les extrants (par exemple, grâce à des stocks).

Cas 3.  : signifie que les intrants sont indisponibles mais que les EF arrive à fonctionner normalement (par exemple, grâce à des stocks). Les extrants sont donc fournis.

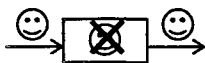
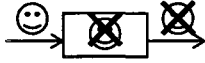
Cas 4.  : idem au cas n°2 sauf que le système ne fournit plus les extrants.

Cas 5.  : idem au cas n°3 sauf que le système ne fournit plus les extrants.

Selon les cinq cas précédemment cités, il est possible de définir dans quel état est le système et quel est son mode de gestion associé. L'association entre l'état des intrants, l'état des extrants, l'état des EF, l'état du système et le mode de gestion se fait grâce aux différentes définitions exposées précédemment. Mais il faut être conscient que de nombreuses association sont possibles et que c'est au gestionnaire du système d'ajuster ces définitions.

Le Tableau 3.5 donne donc l'association possible entre les trois critères définis précédemment et l'état de défaillance du système associé à son mode de gestion.

Tableau 3.5 – États du système

	Cas possibles	État de l'intrant	État des EF	État de l'extrant	État du système	Mode de gestion associé
1		Disponible	Normal	Disponible	Normal	Gestion courante
2		Disponible	Défaillant	Disponible	Dysfonctionnel	Gestion particulière
3	ou 	Indisponible	Normal			
4		Disponible	Défaillant	Indisponible	Défaillant	Gestion d'urgence
5	ou 	Indisponible	Normal			

3.5.5 Seuils de défaillance

Une fois les niveaux de défaillances établis, il est nécessaire d'établir des seuils qui serviront d'indicateurs afin d'anticiper les changements d'états.

Un seuil est un repère entre deux niveaux de défaillance qui permet de :

- connaître l'état du système ;
- déployer les actions adéquates afin de prévenir le passage dans un état de défaillance supérieur ;
- communiquer ce changement d'état aux autres systèmes qui utilisent l'extrant fourni par le système défaillant.

Les seuils servent donc à **anticiper les défaillances** (Figure 3.7).

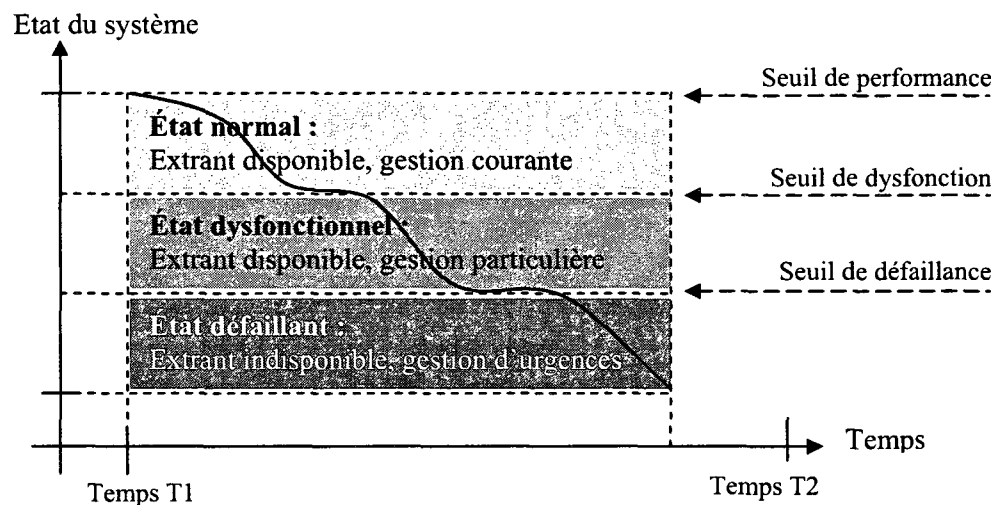


Figure 3.7 – Niveaux de défaillances du système

Trois types de seuils de défaillances peuvent être définis :

- **Seuil de performance** : ce seuil correspond à un niveau d'optimisation du système, à une amélioration de son efficacité ou de son rendement ;
- **Seuil de dysfonction** : ce seuil correspond à un niveau où certains ensembles fonctionnels du système sont défaillants, ou où certains intrants sont

indisponibles. Cependant, en raison des actions déployées, ces dysfonctionnements ne se répercuteront pas sur la réalisation de la mission du système.

- **Seuil de défaillance** : ce seuil correspond au niveau à partir duquel les défaillances des EF et/ou l'indisponibilité des intrants vont engendrer la non-réalisation de la mission du système, malgré les actions correctives précédemment mises en place.

Une fois les niveaux de défaillances du système caractérisés, il est nécessaire de voir quelles vont être les différents types d'actions qu'un système pourrait déployer pour faire face à une perturbation.

Afin de mieux comprendre comment s'articulent les concepts entre eux, une schématisation de la résilience d'un système est nécessaire.

3.6 Schématisation de la résilience d'un système

Nous avons vu à travers les paragraphes précédents que, pour être résilient, un système doit :

- connaître son **état de référence** en tout temps : intrant, ensembles fonctionnels, extrant ;
- **accepter** ses défaillances face à son état de référence ;
- **caractériser** ses défaillances grâce à des seuils et des niveaux ;
- **planifier et implanter** les bons modes de gestion en fonction de l'état du système.

En fonction de son état de défaillance, un système adapte donc son mode de gestion en mettant en place des actions afin de lui permettre de maintenir ou de rétablir un état de fonctionnement acceptable.

Le concept de résilience d'un système se base donc en grande partie sur le concept de mode de gestion défini au paragraphe 3.5.3. C'est donc autour de ce concept que la résilience d'un système peut être schématisée.

Tout d'abord, les modes de gestion courante et de gestion particulière peuvent être schématisés par des ressorts. Cette analogie à la mécanique provient du fait que ces modes de gestion peuvent être vus comme des forces s'opposant à la force aléa. La gestion courante et la gestion particulière sont donc des ressorts qui s'opposent à la force aléa tout en admettant une certaine élasticité et flexibilité pour absorber les chocs.

Étant donné que ces deux modes de gestion sont différents, deux types de ressorts seront considérés :

-  : le ressort de gestion courante qui ramène le système vers son état de référence ;
-  : le ressort de gestion particulière qui ramène le système d'un état dysfonctionnel vers un état normal.

Le troisième mode de gestion est la gestion d'urgence correspondant à l'état défaillant du système. Comme nous l'avons vu au paragraphe 3.5.3, cette gestion est plus une gestion adaptative qu'une gestion planifiée. En effet, contrairement aux autres modes de gestion, la gestion d'urgence ne peut pas être vue comme une force s'opposant à la force aléa puisque la perturbation est passée et que le système est déjà tombé en défaillance. Les actions de gestion d'urgence déployées ont pour but de faire remonter le système vers un état de fonctionnement acceptable, qui est dans ce cas l'état dysfonctionnel. L'analogie mécanique possible pour schématiser la gestion d'urgence est le vérin. En effet, cet appareil mécanique, utilisé pour le levage de charges, permet d'illustrer le fait que le système déploie des mesures d'urgence pour remonter vers l'état dysfonctionnel.

Le vérin de gestion d'urgence est donc le suivant : .

En résumé, nous pouvons dire que le ressort des gestion courante et particulière est relatif au **maintien** et au **rétablissement** des activités. A contrario, le vérin de la gestion d'urgence est relatif au **rétablissement** pur des activités.

L'état du système peut quant à lui être représenté par une flèche afin de traduire un équilibre. En effet, le système est en équilibre entre, d'une part un aléa qui le pousse vers la défaillance, et d'autre part les conséquences qui sont potentiellement générées sur son environnement. L'équilibre du système est rendu possible grâce à la présence du ressort qui symbolise le mode de gestion approprié.

Les niveaux et seuils de défaillances, quant à eux, ont déjà été représentés à la Figure 3.7. Cependant, afin de traduire l'importance d'avoir une évaluation en continue de la résilience du système, une représentation en quart de cercle semble plus cohérente. Cette analogie à un compteur de vitesse met ainsi en exergue le fait que la mesure de l'état de défaillance d'un système est faite en continue à partir des niveaux et des seuils précis.

Finalement, la schématisation de la résilience d'un système est donnée à la Figure 3.8.

Il est important de noter que les modes de gestion et les états de défaillances sont évolutifs dans le temps. En effet, l'ensemble n'est pas fixe dans le temps, d'où la notion d'équilibre du système entre des aléas et des conséquences (équilibre avec l'environnement maintenu par les ressorts).

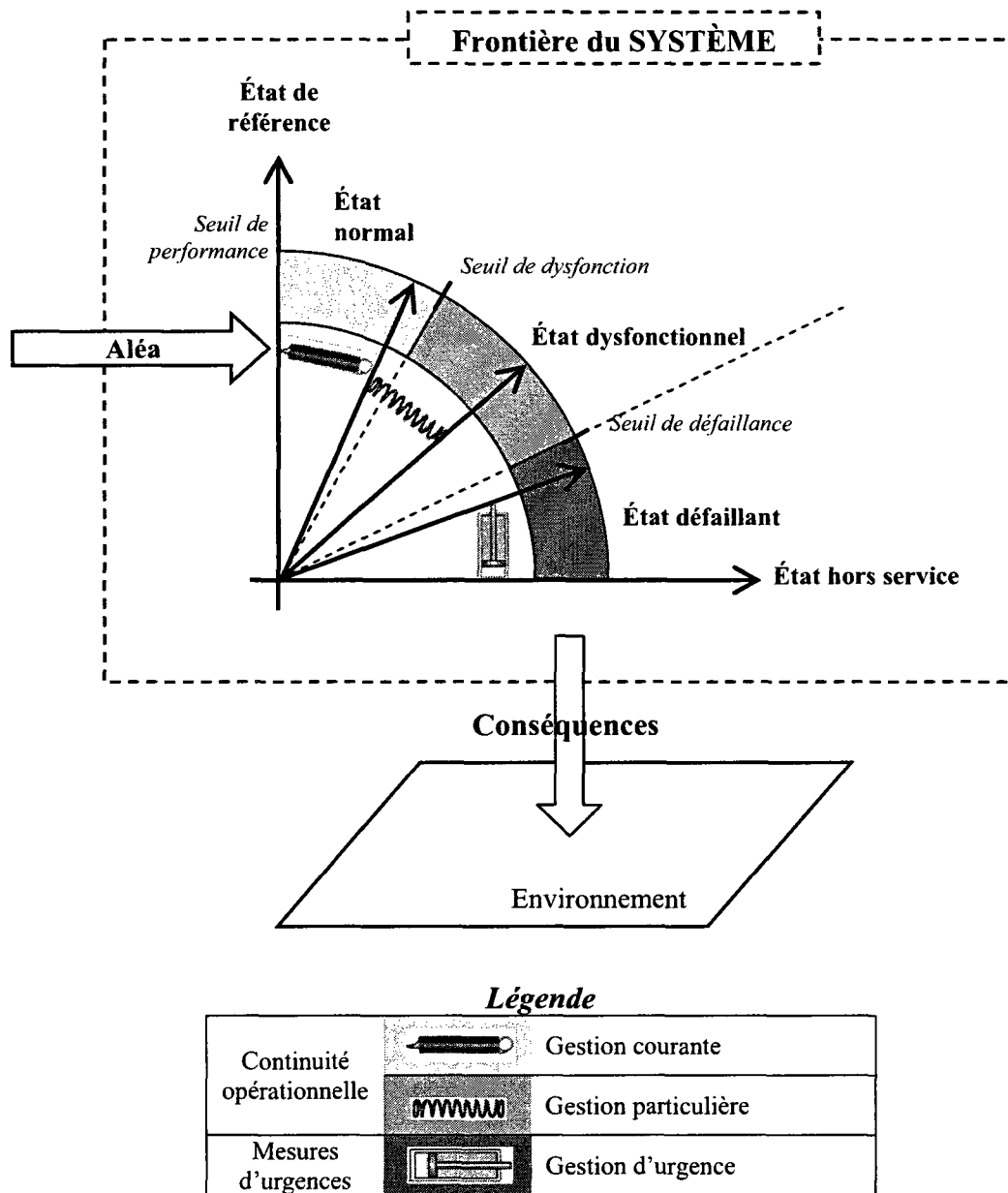


Figure 3.8 – Schématisation de la résilience d'un système

Comme nous l'avons vu dans la problématique de ce mémoire, il est important d'avoir conscience que tout système évolue dans un environnement où les ressources s'échangent. Toutes ces interdépendances doivent donc être prises en compte dans la définition des concepts de résilience.

3.7 Prise en compte des interdépendances fonctionnelles

3.7.1 Enjeux de la prise en compte des interdépendances

Dans une approche client/fournisseur, chaque système fournit un extrant pour un utilisateur client, qui lui-même va l'utiliser pour fournir un autre extrant.

Ces interdépendances entre systèmes doivent donc être prises en compte pour :

- mieux comprendre l'environnement dans lequel opère le système :
- connaître la provenance de la dégradation d'un intrant :
- avertir ses utilisateurs clients lorsque l'extrant est dégradé ou indisponible.

Le MSP définit une interdépendance comme étant un lien de dépendance multidirectionnel entre deux ou plusieurs systèmes en interaction (MSP, 2009b).

Dans ce type de relation, la dégradation de l'extrant du système x devient un aléa à prendre en compte pour le système x+1 : il s'agit donc d'effets domino.

La Figure 3.9 montre la propagation d'un aléa entre les systèmes via les ressources extrants et intrants.

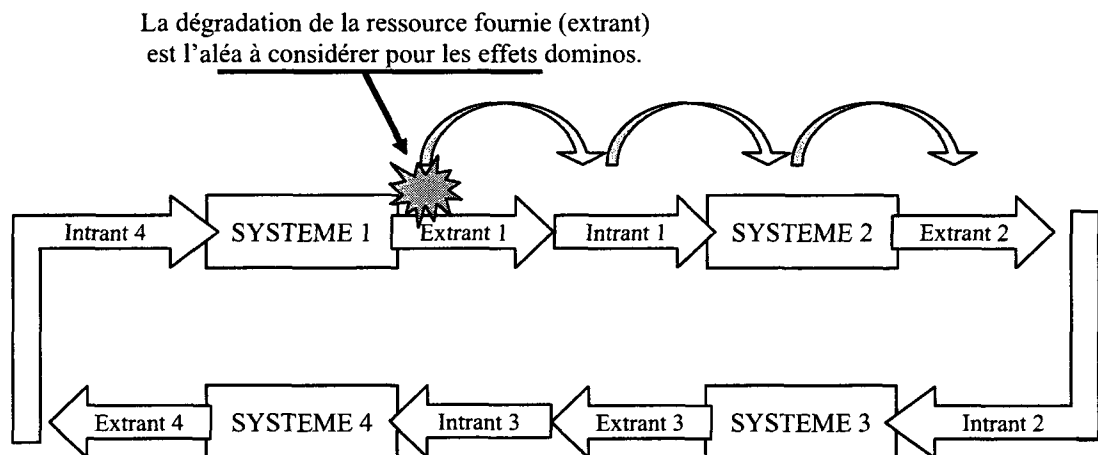


Figure 3.9 – Interdépendances entre les systèmes

3.7.2 Intégration des conséquences dans les niveaux de défaillances

Si on considère les interdépendances fonctionnelles entre les systèmes, alors il devient utile d'intégrer les conséquences dans les niveaux de défaillance.

On considère les cinq cas détaillés dans le paragraphe 3.5.4.

Pour les cas 1, 2 et 3, l'extrant est disponible : il n'y a donc aucune conséquence sur les utilisateurs.

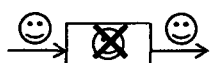
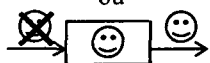
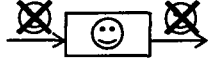
Pour les cas 4 et 5 en revanche, l'extrant est indisponible. Des conséquences sur les utilisateurs de l'extrant indisponible sont donc générées.

Dans certains cas, les conséquences générées seront très graves dès l'indisponibilité, mais dans d'autres cas (le plus souvent), les conséquences sont croissantes au fur et à mesure du temps. Il apparaît donc utile de graduer les conséquences selon des niveaux. Chaque niveau de conséquence doit avoir une signification précise et être délimité par des seuils mesurables. Considérant que c'est à la haute direction d'un système de fixer ses propres seuils d'acceptabilité en termes de conséquences humaines, socio-économiques, environnementales, et autres, nous considérerons simplement les trois niveaux de conséquences suivantes afin de d'illustrer notre concept :

- conséquences faibles ;
- conséquences moyennes ;
- conséquences élevées.

La prise en compte des conséquences de l'indisponibilité d'un extrant sur les autres systèmes permet donc de raffiner les niveaux de défaillances du système, comme le montre le Tableau 3.6.

Tableau 3.6 – Exemple de définition des états du système prenant en compte les conséquences

Conséquences							
	Cas possibles	État de l'intrant	État des EF	État de l'extrant	Conséquences sur les utilisateurs	État du système	
1		Disponible	Normal	Disponible	Aucune	Normal	
2		Disponible	Défaillant	Disponible	Aucune	Dysfonctionnel	
3	ou 	Indisponible	Normal				
4		Disponible	Défaillant	Indisponible	Faibles	Défaillant	
5	ou 	Indisponible	Normal		Moyennes	Défaillant	
					Élevées	Défaillant	

Puisque les conséquences surviennent pour d'autres systèmes lorsque le système à l'étude est en état défaillant, il convient de porter une attention particulière à la détermination des seuils de défaillance.

3.7.3 Seuils de défaillance

Dans le paragraphe 3.5.5, nous avons défini les seuils de défaillance.

En intégrant les conséquences dans les niveaux de défaillances, il apparaît que deux types de seuils peuvent être distingués.

Tout d'abord, les seuils lorsque l'extrant est fourni correctement par le système ont été définis dans le paragraphe 3.5.5. Il s'agit des seuils de performance, seuil de dysfonction et seuil de défaillance.

Ensuite, les deuxièmes types de seuil sont les seuils lorsque l'extrant n'est plus fourni par le système. Lorsque l'extrant n'est plus fourni par le système, les seuils ne traduisent plus l'état de la mission du système (l'extrant est indisponible). A ce moment là, le paramètre seuil entre les différents états de défaillance peut être le **facteur TEMPS**.

En effet, lorsque l'extrant est indisponible, c'est souvent le facteur TEMPS qui fait passer le système d'un état de conséquences faibles, à un état de conséquences moyennes voire élevées.

Ainsi, pour différencier le passage entre ces niveaux, le gestionnaire devra consulter son environnement extérieur pour savoir au bout de combien de temps et de quelle manière l'indisponibilité de l'extrant affectera les utilisateurs.

Les données ainsi récoltées, le gestionnaire pourra ainsi mettre en place des seuils avec des paramètres t_1 , t_2 , t_3 , ... t intégrant le facteur temps (Figure 3.10).

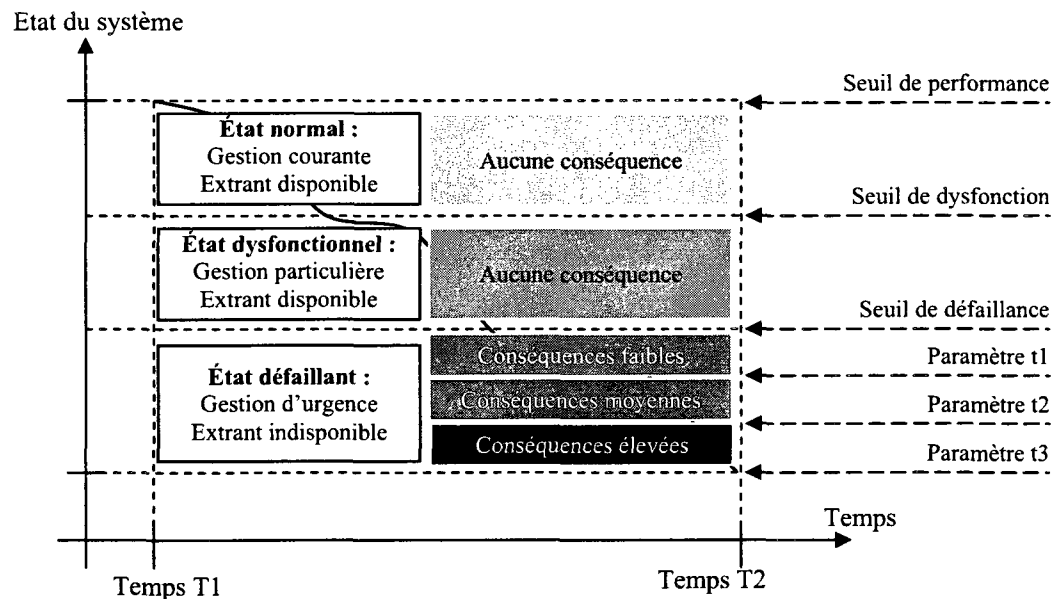


Figure 3.10 – Niveaux de défaillances prenant en compte les conséquences

Maintenant que nous avons intégré les conséquences dans les niveaux de défaillances, il convient de modifier le schéma théorique de la résilience d'un système.

3.7.4 Schématisation de la résilience d'un système intégrant les interdépendances fonctionnelles

Grâce à l'intégration des conséquences dans les niveaux de défaillances, le schéma de la résilience d'un système peut être raffiné comme le montre la Figure 3.11.

La signification des différents éléments de ce schéma est identique à celui détaillé au paragraphe 3.6.4.

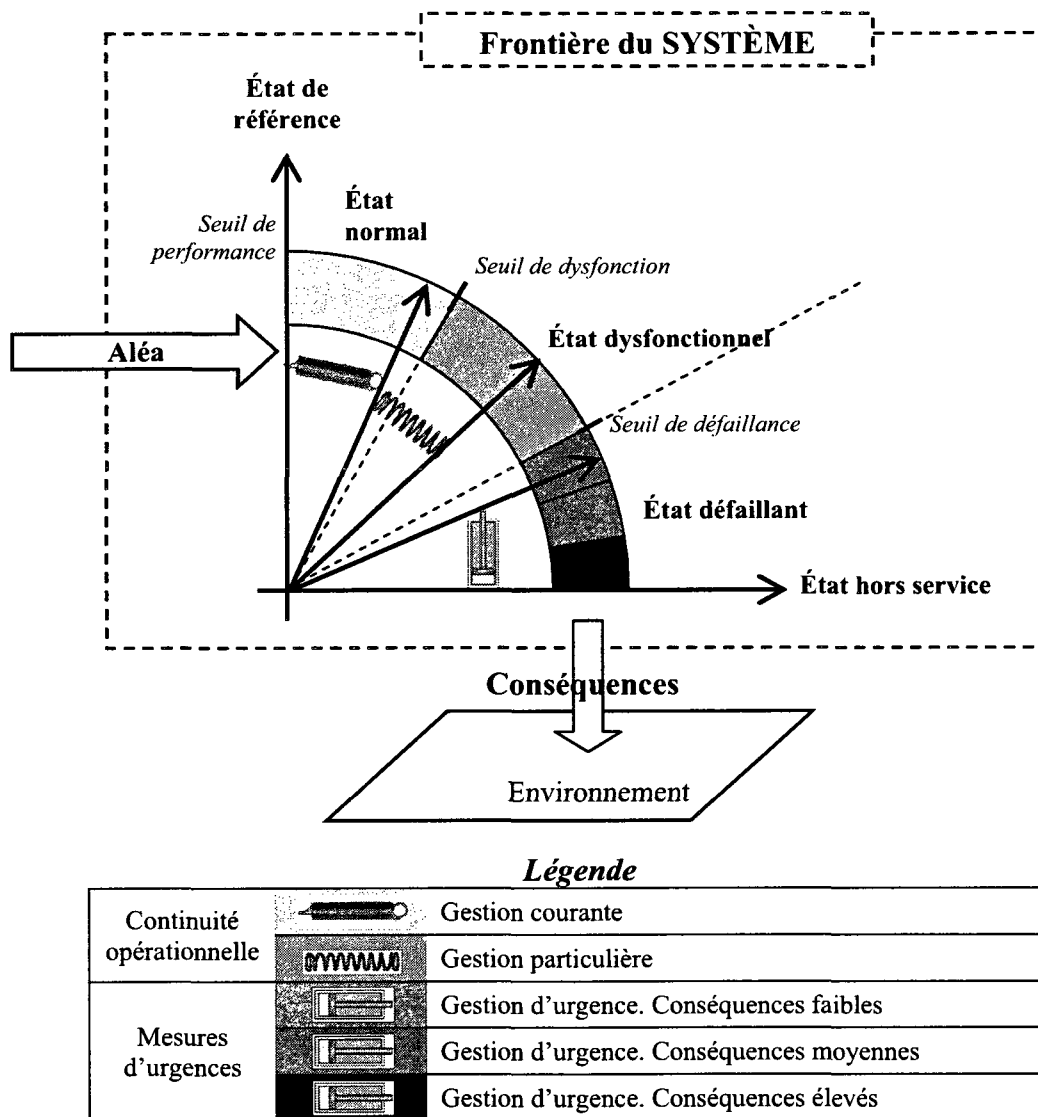


Figure 3.11 – Schématisation de la résilience d'un système intégrant les interdépendances fonctionnelles

3.7.5 Niveau de raffinement

Chacun des niveaux définis précédemment (niveaux de gestion ou de conséquences) pourrait être dissocié en plusieurs autres niveaux. En effet, en fonction de l'utilisation voulue des outils, un gestionnaire pourrait par exemple décider de dissocier le niveau de gestion particulière en deux niveaux, ou bien définir encore plus de niveaux de conséquences.

Le choix des niveaux fait dans ce mémoire a pour but d'illustrer le concept de résilience et non de donner une solution unique.

La notion de niveau de défaillance est prépondérante dans la notion de définition de la résilience d'un système. Afin de mieux comprendre la notion de mode de gestion, le paragraphe suivant propose un exemple plus concret.

3.8 Exemple

3.8.1 Mise en contexte

Pour illustrer les concepts précédents, nous allons considérer le système de télécommunication d'une ville. Ce système est constitué en particulier d'une unité centrale de télécommunications : les éléments de cette centrale doivent en permanence être refroidis pour fonctionner à l'aide d'un échangeur thermique à eau. Nous considérons ce système dans sa globalité, sans rentrer dans le détail.

Les ressources intrants et extrants du système Télécommunication sont :

- intrants : électricité (pour alimenter les serveurs), eau (pour refroidir les éléments) ;
- extrant : service de télécommunication.

Nous allons étudier la résilience de ce système face à une indisponibilité de la ressource intrant Électricité.

3.8.2 Analyse

Lors d'une coupure d'électricité (intrant indisponible), l'extrant service de télécommunication ne devient pas indisponible immédiatement. En effet, le système de télécommunication utilise des ressources alternatives afin de lui permettre de maintenir la fourniture de son extrant. Une des ressources alternatives les plus utilisées dans ces cas est la génératrice à essence.

Les conséquences d'une indisponibilité de l'intrant Électricité sont détaillées dans les points suivants.

- Si l'intrant Électricité devient indisponible, le système met en place une génératrice à essence. Le gestionnaire du système doit également prévoir des ressources humaines pour installer et mettre en route la génératrice, ainsi que de l'essence. L'extrant reste disponible mais le système tombe en état dysfonctionnel en adoptant une gestion particulière.
- Toutes les 10 heures, il faut faire le plein en essence de la génératrice. Le système demeure en état dysfonctionnel avec une gestion particulière et une fourniture correcte de l'extrant.
- Après 30 heures, il y a une pénurie d'essence dans la ville due à une demande trop importante³. Le système utilise donc un deuxième type de ressource alternative pour maintenir la fourniture de son extrant : les batteries, qui ont une autonomie de 12 heures. Le gestionnaire du système doit également prévoir des

³ Robert & Morabito (2009b) ont montré que pour une ville comme Montréal, lors d'une coupure d'électricité généralisée, il y aurait une pénurie d'essence au bout de 30 heures due à la forte demande en essence pour faire fonctionner les génératrices.

ressources humaines pour effectuer le branchement et le contrôle des batteries. Le système demeure en état dysfonctionnel avec une gestion particulière et une fourniture correcte de l'extrant.

- Après 42 heures, les batteries sont vides. L'extrant n'est plus fourni. Le système tombe en défaillance et doit adopter une gestion d'urgence puisque des conséquences sont générées sur les utilisateurs de l'extrant.

Concernant les conséquences, Robert & Morabito (2009b) en ont détaillées plusieurs qui seraient envisageables, comme par exemple la fermeture d'un tunnel de circulation majeur dans le centre ville. En effet, le service téléphonique dans le tunnel doit en permanence être opérationnel pour communiquer tout problème potentiel.

Le détail de l'aggravation des conséquences sur les autres systèmes étant confidentiel, nous considérerons fictivement que celles-ci augmentent au fur et à mesure du temps afin d'illustrer notre propos.

Ainsi, pour cet exemple, nous pourrions envisager que les conséquences tout d'abord faibles deviendraient moyennes au bout de 12 heures, puis élevées au bout de 24 heures. Une étude exhaustive des interdépendances et effets domino serait à effectuer afin de fixer des seuils précis de passage d'un niveau de conséquences à un autre (Robert & Morabito, 2009a).

L'ensemble de ces événements ainsi que les états de défaillances et modes de gestion sont résumés dans le Tableau 3.7.

Tableau 3.7 – Résilience face à l'électricité

Temps	Situation	État de l'extrant	Conséquences sur les utilisateurs	État du système	Mode de gestion associé
$t < 0$	L'intrant Électricité est disponible	Disponible	Aucune	Normal	Gestion courante
$t = 0h$	L'intrant devient indisponible. Ressources alternatives : génératrice, essence, ressources humaines	Disponible	Aucune	Dysfonctionnel	Gestion particulière
$t = 10h$	Ressources alternatives : essence, ressources humaines	Disponible	Aucune	Dysfonctionnel	Gestion particulière
$t = 20h$	Ressources alternatives : essence, ressources humaines	Disponible	Aucune	Dysfonctionnel	Gestion particulière
$t = 30h$	Pénurie d'essence. Ressources alternatives : batteries, ressources humaines	Disponible	Aucune	Dysfonctionnel	Gestion particulière
$t = 42h$	Batteries vides. L'extrant devient indisponible.	Indisponible	Faibles	Défaillant	Gestion d'urgence
$t = 54h$	Extrant indisponible depuis 12 heures	Indisponible	Moyennes	Défaillant	Gestion d'urgence
$t = 78h$	Extrant indisponible depuis 24 heures	Indisponible	Élevées	Défaillant	Gestion d'urgence

La Figure 3.12 permet d'illustrer la suite des événements et de mettre en valeur les modes de gestion de la résilience.

Sur l'axe des ordonnées est représenté l'état de dégradation de l'extrant (état binaire : disponible ou indisponible). Alors que sur l'axe des abscisses est représenté le temps.

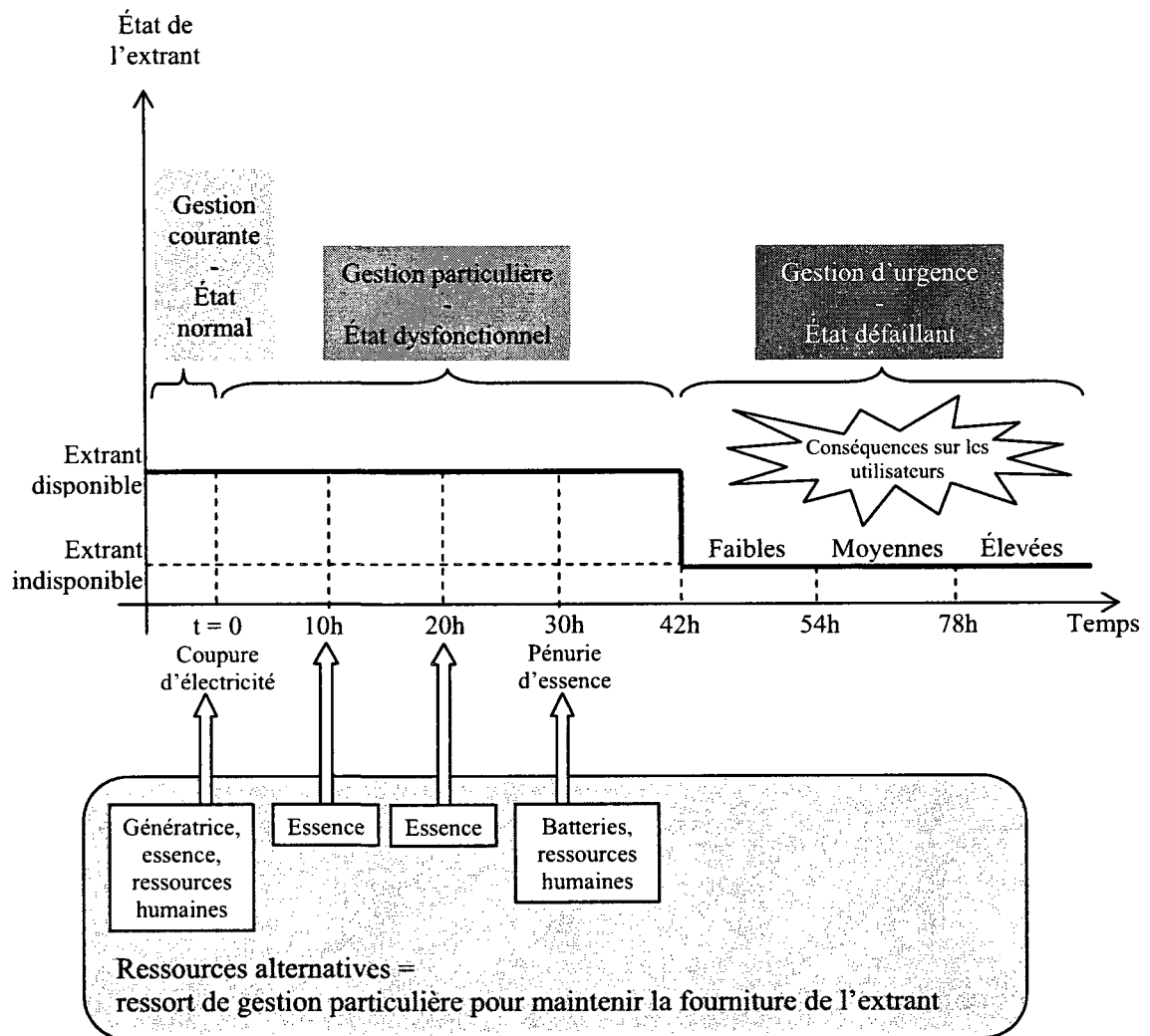


Figure 3.12 – Exemple de modes de gestion de la résilience

L'indisponibilité de la ressource télécommunication a donc des conséquences sur ses utilisateurs, conséquences qui augmentent au cours du temps. Et c'est donc l'indisponibilité de cette ressource qui est l'aléa à considérer pour les effets dominos sur les autres systèmes : en effet, comme beaucoup de systèmes sont interdépendants, la dégradation de la ressource se propage.

Robert & Morabito (2009b) montre à travers les courbes de conséquences (Figure 3.13) comment l'indisponibilité de l'électricité a des conséquences sur les autres systèmes.

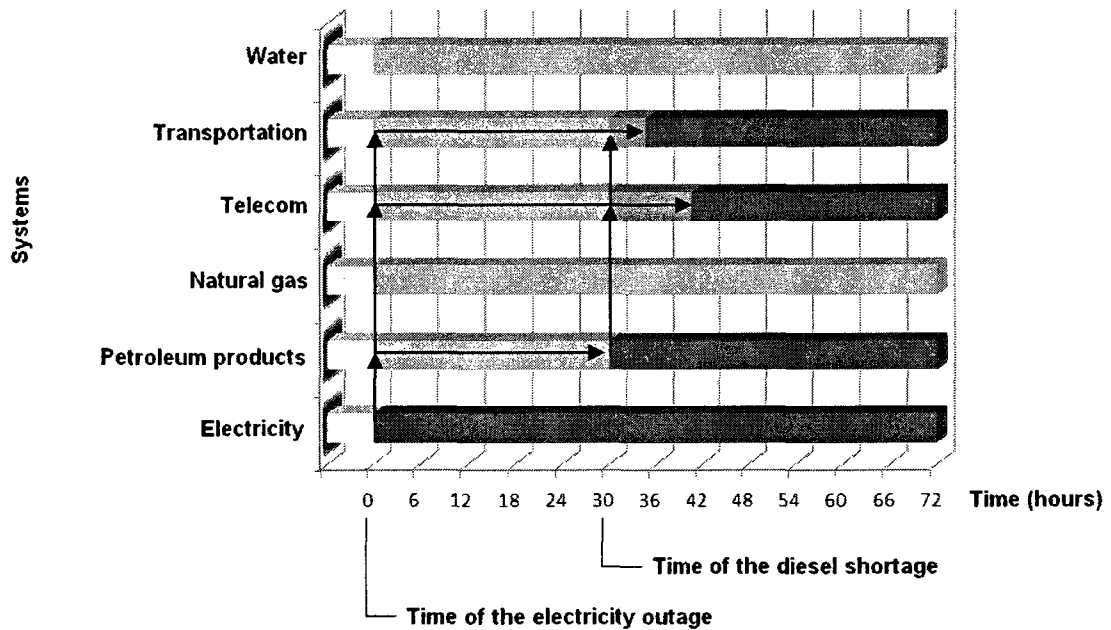


Figure 3.13 – Courbes de conséquences (adaptée de Robert & Morabito, 2009b)

Robert & Morabito (Figure 3.13) définissent quatre états possibles pour les systèmes dans leurs courbes de conséquences (Tableau 3.8).

Tableau 3.8 – États du système selon Robert & Morabito (2009b)

Indicateur	État du système
	État normal
	État dysfonctionnel
	État dysfonctionnel avancé
	État défaillant

Nous pouvons donc noter que, pour traduire les changements d'états du système, les auteurs n'utilisent pas le même nombre de niveau et la même signification que ceux choisis dans ce mémoire. Ceci démontre que chaque système doit établir en fonction de son mode de fonctionnement ses niveaux de défaillance. Mais globalement, le principe reste inchangé avec des niveaux de fonctionnement normal, des niveaux de dysfonctionnement et des niveaux de défaillance.

3.8.3 Conclusions tirées de l'exemple

Les courbes de conséquences de Robert & Morabito (2009b) permettent de visualiser rapidement les délais d'action, également appelés marge de manœuvre qui intègre le facteur temps (Figure 3.14).

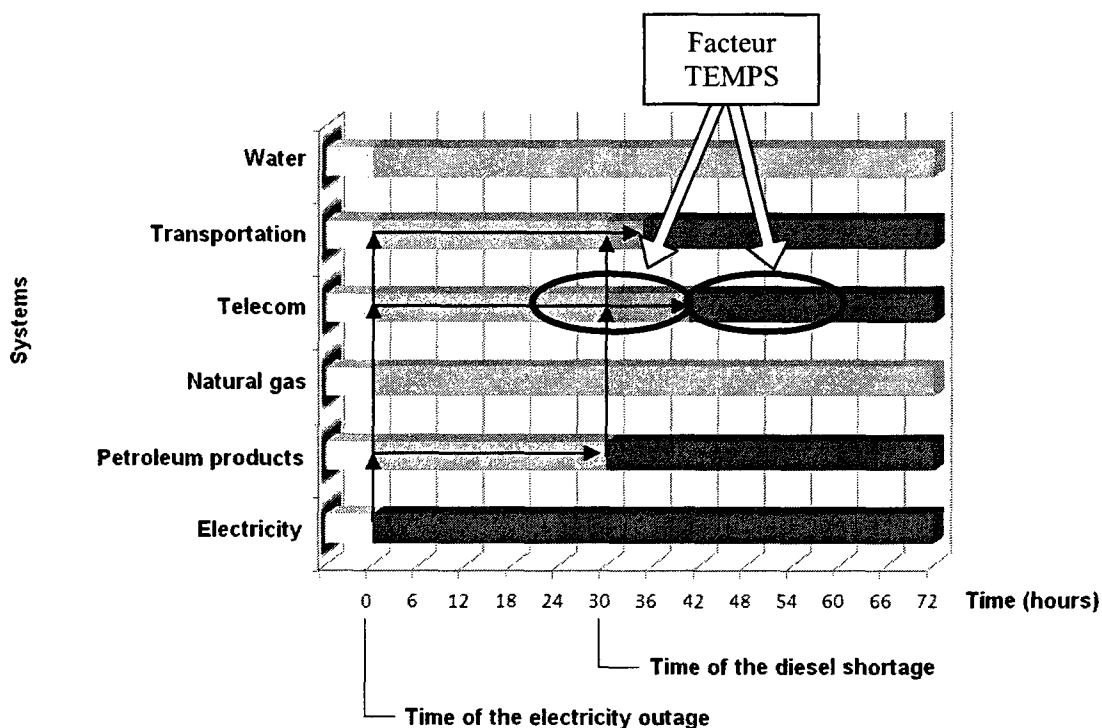


Figure 3.14 – Courbes de conséquences (adaptée de Robert & Morabito, 2009b)

L'exemple du système de télécommunication montre l'importance de la prise en compte du facteur temps dans la prise de décision. En effet, le facteur temps doit être pris en compte **avant la défaillance** afin d'anticiper les actions à déployer.

Et il doit être pris en compte **pendant la défaillance** en tant que marge de manœuvre pour déployer les actions correctives afin de limiter les conséquences sur les utilisateurs.

L'exemple montre également que, pour être efficace, il est important de prévoir à l'avance tout le déploiement des ressources alternatives pour maintenir un niveau de fonctionnement acceptable.

Un système résilient est donc un système qui sera capable d'anticiper tous ces changements d'états pour être prêt à déployer les bons modes de gestion et cela au bon moment

3.9 Définition globale de la résilience d'un système

3.9.1 Synthèse des concepts de résilience

L'approche de la résilience est une approche nouvelle puisque qu'elle adopte une stratégie globale systémique et opérationnelle pour gérer les défaillances tant au quotidien qu'en cas de dysfonctionnements.

En effet, les approches traditionnelles d'analyse de risques se focalisent sur les causes de la dégradation d'un intrant et mettent en place des mesures pour diminuer la probabilité et l'impact d'un aléa. A contrario, l'approche de la résilience considère la dégradation de l'intrant comme étant l'aléa et cherche davantage à connaître les conséquences en aval pour pouvoir anticiper la succession d'événements (interdépendances fonctionnelles).

Adopter une approche par résilience, c'est tout d'abord se poser les questions suivantes :

- à partir de l'indisponibilité de la ressource intrant, quel est le délai d'affection sur le système ?
- quelles sont les répercussions sur les ensembles fonctionnels du système ?
- au bout de combien de temps la ressource extrant est modifiée ?
- dans le cas d'une modification de la ressource extrant, quelles sont les conséquences sur les utilisateurs ? quelles sont les marges de manœuvre ?

Être résilient, c'est donc anticiper toutes ces questions, et chercher les réponses.

Au niveau théorique, nous avons vu, comme dans la littérature, que la résilience est tout d'abord intrinsèque au système qui dicte sa conduite avant, pendant et après une défaillance. Il faut également garder en tête que l'objectif principal d'un système est de rester au maximum dans un état normal et d'éviter les défaillances.

Nous avons vu également qu'être résilient signifiait en tout premier lieu d'accepter les défaillances pour pouvoir établir un état de référence pour le système. Être résilient signifie également d'être capable d'anticiper les défaillances et de planifier des modes de gestion lorsqu'elles ont eu lieu.

Comme le montre la Figure 3.15, tous ces concepts peuvent être illustrés sur le schéma de définition d'un système que nous avons vu dans le paragraphe 3.2.1.

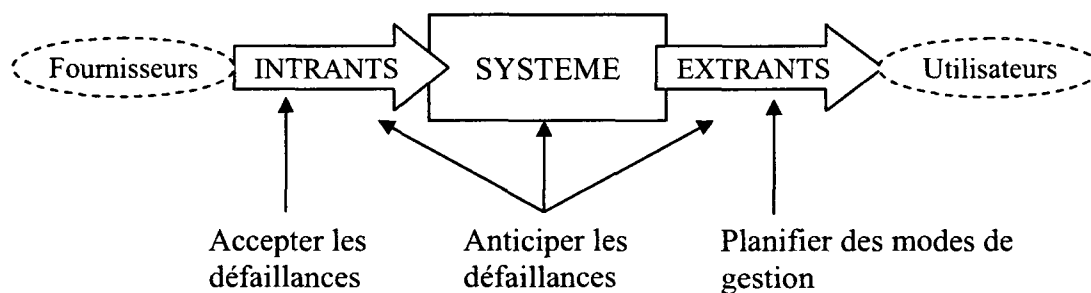


Figure 3.15 – Concepts de résilience

Enfin, nous avons fait état de trois grandes catégories d'état pour le système : état normal, état dysfonctionnel, état défaillant.

Nous pourrions conclure en disant qu'un système est résilient lorsqu'il est capable de maximiser l'étendue de sa zone état dysfonctionnel en ayant une gestion dite particulière très développée. En d'autres termes, plus un système a une grande zone état dysfonctionnel avec une gestion particulière puissante, plus il est résilient. Et plus il est capable de revenir à son état normal (ressort de rétablissement), plus il sera résilient.

La Figure 3.16 permet d'illustrer ce concept.

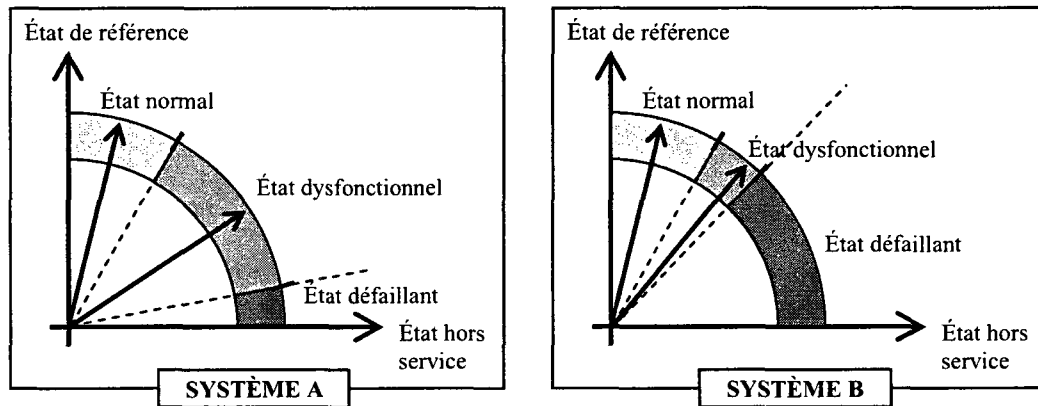


Figure 3.16 – Systèmes résilients

Sur cette figure, on peut donc interpréter que, face à un même type de perturbation, le système A est plus résilient que le système B : en effet, le système A possède une zone d'état dysfonctionnel plus large et par conséquent une marge de manœuvre de gestion particulière plus importante.

L'ensemble de ces concepts va à présent servir à établir la définition globale de la résilience ainsi que ses caractéristiques précises.

3.9.2 Définition retenue

La définition retenue pour la résilience d'un système est donc la suivante.

La résilience est la capacité d'un système à maintenir ou rétablir un niveau de fonctionnement acceptable malgré des défaillances.

Afin de raffiner cette définition, quatre caractéristiques l'accompagnent.

- *Caractéristique 1 :*

La résilience d'un système est un équilibre entre des aléas et des conséquences acceptables.

- *Caractéristique 2 :*

La résilience est la capacité d'un système à accepter, anticiper et planifier les défaillances, en prenant en compte les interdépendances fonctionnelles.

- *Caractéristique 3 :*

La résilience d'un système est sa capacité de prise en charge rapide lors d'une dégradation pour rétablir un fonctionnement acceptable.

- *Caractéristique 4 :*

La résilience d'un système est évolutive dans le temps et dépend de la perturbation traitée.

Caractéristique 1 : La résilience d'un système est un équilibre entre des aléas et des conséquences acceptables.

Un système doit trouver le bon équilibre entre des aléas qu'il accepte et les conséquences qui en découlent. Toutes les notions d'acceptabilité des aléas et acceptabilité des conséquences, qui traduisent globalement l'acceptabilité des défaillances, doivent être établies par le système lui-même à partir de critères bien précis afin de caractériser ses défaillances.

Caractéristique 2 : La résilience est la capacité d'un système à accepter, anticiper et planifier les défaillances, en prenant en compte les interdépendances fonctionnelles.

Accepter, anticiper et planifier sont les trois mots-clés à retenir pour un système résilient. En effet, nous avons vu que le système doit accepter les défaillances à partir de critères précis. Il doit être capable de les anticiper en s'aidant d'outils tels que les systèmes d'alerte précoce. Et enfin, il doit être capable de planifier les bons modes de gestion, et ce au bon moment. La prise en compte des interdépendances fonctionnelles doit être transversale à toutes ces capacités.

Caractéristique 3 : La résilience d'un système est sa capacité de prise en charge rapide lors d'une dégradation pour rétablir un fonctionnement acceptable.

Capacité pré-événement, la résilience est également une capacité post-événement. Même si cette capacité est relative essentiellement au domaine des mesures d'urgences, il convient de l'intégrer dans la définition de la résilience d'un système. En effet, un système résilient doit être capable de déployer rapidement des modes de gestion pour maintenir son état dysfonctionnel le plus longtemps possible ou pour se rétablir d'un état défaillant.

Caractéristique 4 : La résilience d'un système est évolutive dans le temps et dépend de la perturbation traitée.

La résilience n'est pas une capacité absolue d'un système. Elle évolue selon deux axes : le temps et les perturbations. En effet, on ne peut pas dire qu'un système est résilient pour toujours : cette capacité évolue dans le temps. De plus, la résilience est dépendante du type de perturbation. En effet, on ne peut pas dire qu'un système est résilient pour toutes les perturbations qui existent : on dit plutôt qu'un système est résilient face à tel ou tel type de perturbation.

3.10 Comment agir ?

La résilience est un concept théorique et relativement complexe. Mais un des enjeux de ce concept est d'être intégré dans la culture d'une entreprise pour être facilement applicable. Il s'agit en effet plus d'un outil d'aide à la décision qu'un simple concept théorique.

Même si l'opérationnalisation de tous ces concepts peut paraître compliquée, les premiers moyens d'agir concrètement dans une organisation pour la rendre plus résiliente sont :

- d'intégrer le concept « Accepter / Anticiper / Planifier » ;
- de mettre en place un espace de coopération entre les différents systèmes interdépendants.

Ces deux moyens d'opérationnalisation des concepts de résilience sont définis dans les deux paragraphes suivants.

3.10.1 Accepter, anticiper, planifier

Accepter signifie d'être capable :

- de comprendre l'environnement dans lequel évolue le système ;
- de définir un état de référence pour le système ;
- de connaître et d'accepter les défaillances du système.

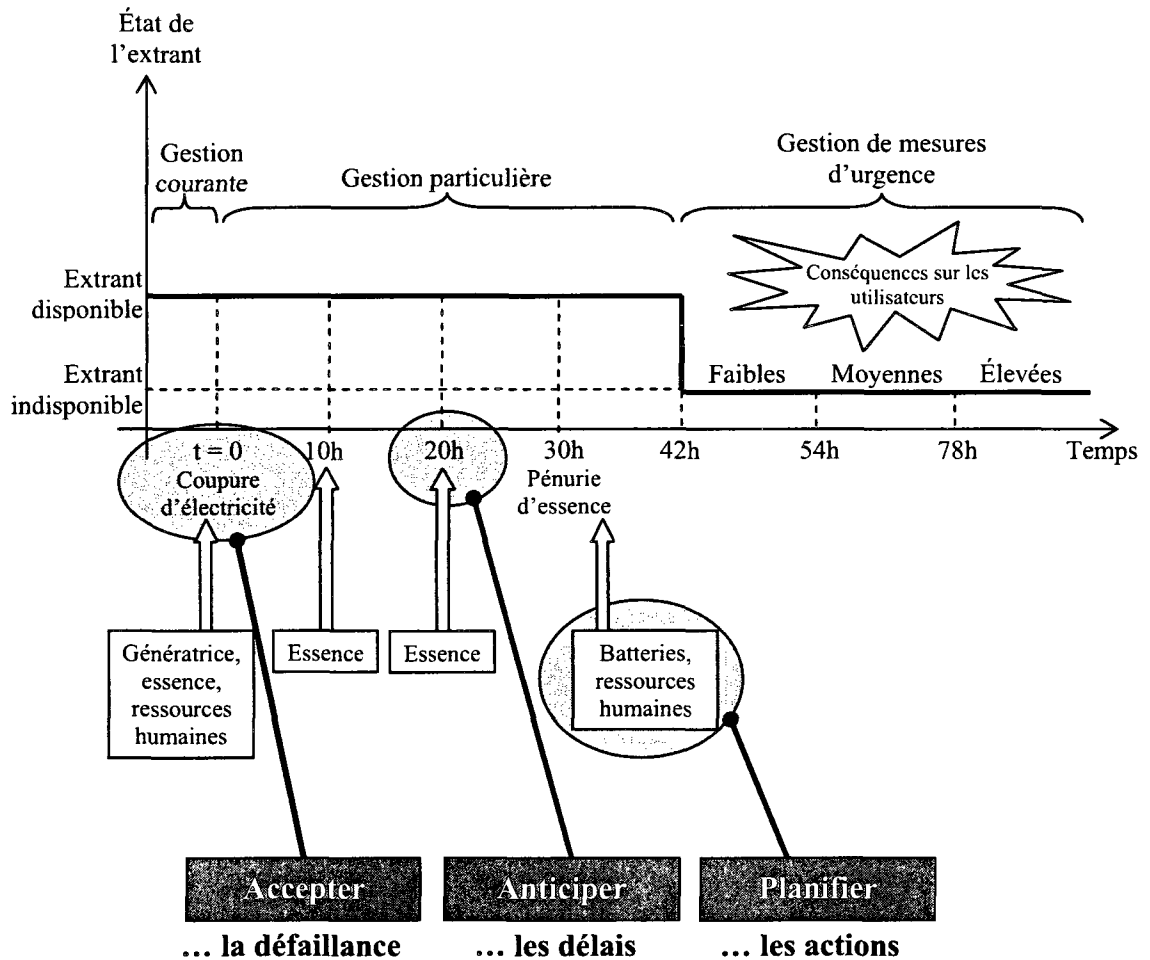
Anticiper signifie d'être capable :

- d'être proactif quant aux défaillances qui pourraient subvenir ;
- de prévoir des délais et des marges de manœuvres pour les effets domino.

Planifier signifie d'être capable :

- d'organiser à l'avance des actions de prévention et de correction grâce à des mode de gestion de la résilience ;
- de prendre en compte les interdépendances lors de la mise en place des actions et ressources alternatives (l'aspect communication entre les systèmes est à ce moment là très important).

Comme le montre les Figures 3.17 et 3.18, les concepts Accepter, Anticiper et Planifier se retrouvent sur les schémas utilisés comme exemple dans les paragraphes précédents.



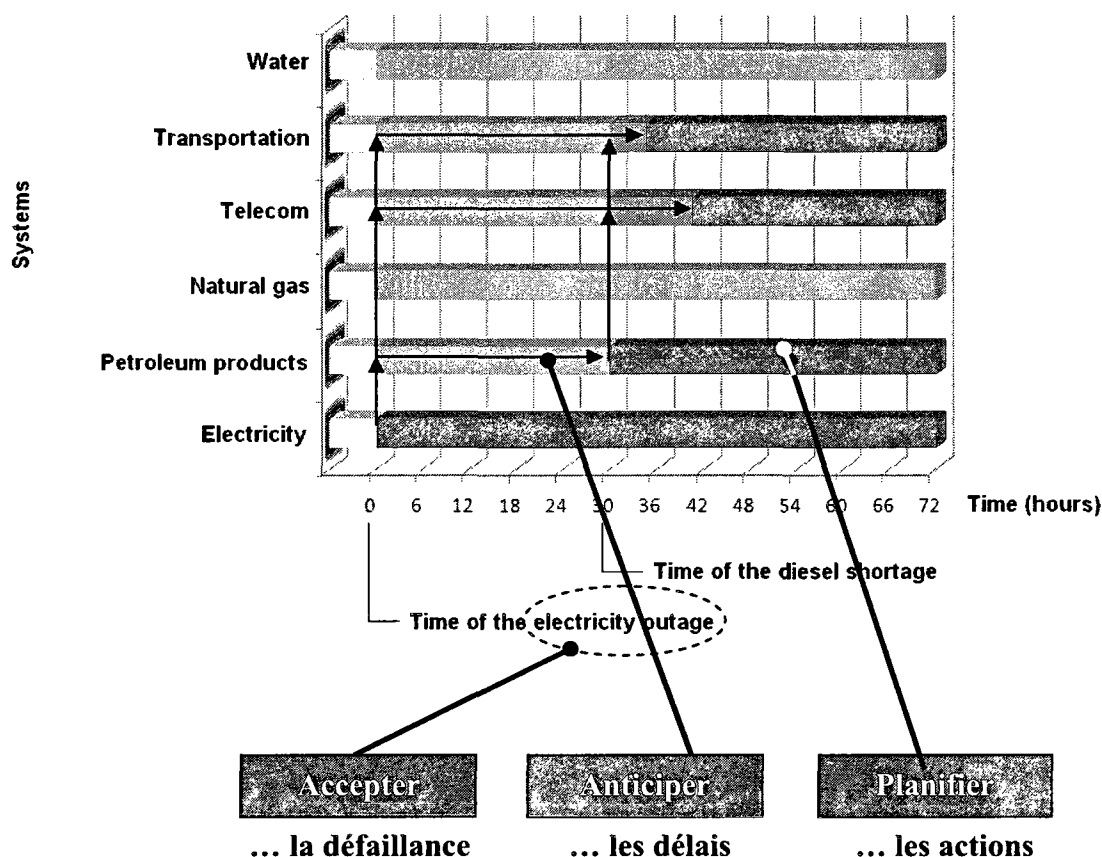


Figure 3.18 – Concepts de résilience sur les conséquences (adaptée de Robert & Morabito, 2009b)

L'acceptation, l'anticipation et la planification sont donc les trois mots clés à retenir pour un système résilient. Un autre moyen d'agir concrètement dans un système pour le rendre plus résilient est de mettre en place un espace de coopération entre les différents systèmes interdépendants.

3.10.2 Espace de coopération

Les caractéristiques de la résilience précédemment développées (paragraphe 3.9) font état de nombreuses capacités que devrait avoir un système pour être plus résilient. Cependant, toutes ces capacités ne peuvent être efficaces que grâce à une capacité transversale qui est la condition nécessaire de réussite : *la communication*.

En effet, pour anticiper et planifier ses actions tout en intégrant les interdépendances, le système doit être capable de communiquer les informations pertinentes aux autres systèmes de son espace de travail, et cela au bon moment.

L'environnement du système est donc une sorte d'espace de travail commun où les informations circulent, les ressources s'échangent, et où une dégradation d'une ressource peut rapidement se propager entre les systèmes à travers des effets domino.

Cet espace de travail, Robert & Morabito (2008b) le nomment espace de coopération. Cet espace de coopération est un espace où un processus de communication bilatéral basé sur la transmission d'informations pertinentes et réalistes est mis en place pour se comprendre.

Robert & Morabito (2008b) indiquent qu'il faut identifier les liens entre les systèmes de l'espace de coopération afin d'obtenir, en continu, l'état des intrants et extrants échangés. À tout moment, la défaillance d'un système est communiquée aux autres systèmes. La dégradation d'une ressource devient alors l'aléa à prendre en compte pour les effets domino entre les différents systèmes de l'espace de coopération.

La Figure 3.19 illustre ce concept d'espace de coopération en mettant en valeur la mise en commun des informations et l'échange des ressources entre les systèmes d'un environnement donné.

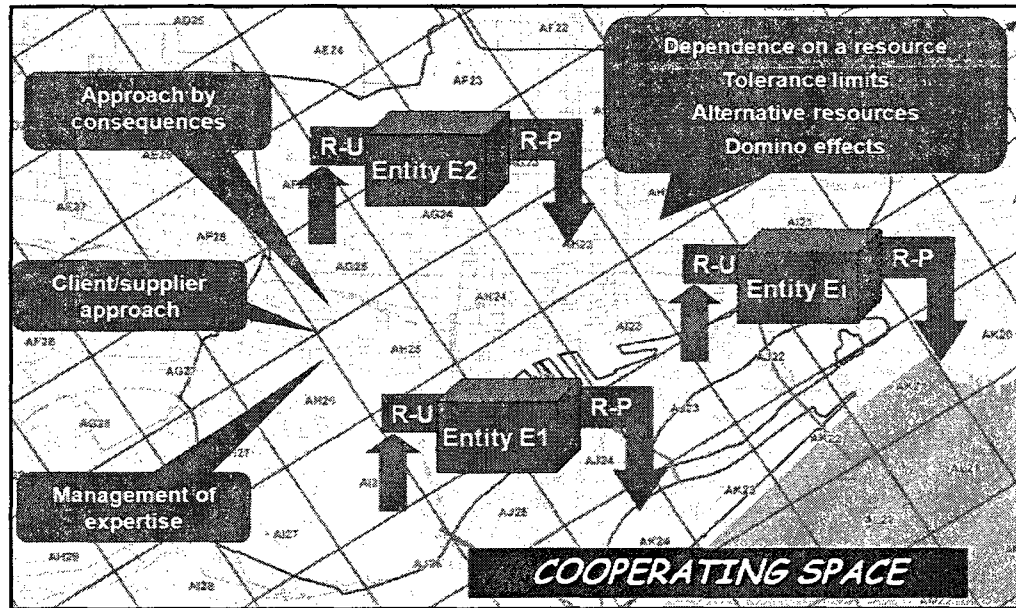


Figure 3.19 – Espace de coopération (Robert & Morabito, 2008b)

Sur cette figure, les auteurs utilisent des termes différents de ceux exposés dans ce mémoire, mais la logique est la même. L'analogie est donc la suivante :

- le terme « entity » correspond au système ;
- le terme « R-U » signifie « Resource used » et correspond à l'intrant ;
- le terme « R-P » signifie « Resource provided » et correspond à l'extrant.

En adoptant une approche client/fournisseur, il apparaît donc nécessaire que les différents systèmes communiquent efficacement les informations pertinentes pour prendre des actions cohérentes ensemble.

3.11 Introduction à la méthodologie d'évaluation de la résilience d'un système

En parallèle de ce mémoire, qui définit les concepts de base de la résilience d'un système, une méthodologie d'évaluation de la résilience d'un système est développée par Pairat (2009).

Cette méthodologie, qui se base sur les concepts que nous avons développés, a pour objectif d'évaluer la résilience d'un système selon des étapes bien précises.

Tout d'abord, la méthodologie propose de dresser le portrait organisationnel du système en caractérisant précisément les extrants, les intrants et l'état de référence du système. Le portrait organisationnel permet en particulier d'expliquer concrètement comment décomposer le système en éléments et en ensembles fonctionnels.

Ensuite, la méthodologie intègre les concepts de seuils et niveaux de défaillance pour caractériser l'état du système. Une partie importante de la méthodologie est particulièrement dédiée à la détermination des délais d'affectation en interne et en externe lors de la dégradation d'un intrant ou du dysfonctionnement d'un ensemble fonctionnel.

La méthodologie explique également comment déployer adéquatement les modes de gestion de la résilience, en y intégrant par exemple la durée d'utilisation des ressources alternatives.

Enfin, la méthodologie propose une aide pour évaluer le niveau de résilience d'un système au regard de toutes les analyses précédentes.

3.12 Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter et d'expliquer toute la théorie de la résilience développée dans le cadre de nos travaux de recherche. En partant des définitions de ressource et système, nous avons défini ce qu'est l'état de référence d'un système et comment cela sert à définir les défaillances acceptables. Des outils de caractérisation des défaillances ont également été expliqués afin de montrer comment évaluer l'état de résilience d'une organisation. Enfin, les concepts relatifs aux modes de gestion de la résilience ont été développés, en les illustrant à partir d'une étude de cas.

Le chapitre suivant concerne le développement d'activités de formation. En effet, pour répondre à la problématique générale de ce mémoire, nous verrons que ces activités de formation serviront à vulgariser les concepts afin de les rendre opérationnalisables dans une organisation et compréhensibles par des non-spécialistes.

CHAPITRE 4 ACTIVITÉS DE FORMATION

L'ensemble des concepts théoriques relatifs à la résilience d'un système ont été expliqués afin de proposer une définition et un schéma de principe de la résilience. Comme nous l'avons vu au début de ce mémoire, une des problématiques de la résilience dans les organisations est que ce concept est souvent perçu comme trop théorique, trop complexe et peu opérationnalisable.

Or, ce concept est la clé de voute de la longévité d'une organisation. Il est donc important qu'il soit plus ancré dans la culture des organisations comme l'ont bien compris certains gouvernements, tels que le Canada, les États-Unis ou l'Australie.

Afin de répondre à cette problématique, nous avons vu qu'il était nécessaire de vulgariser tous les concepts soutenant la résilience à travers des activités de formation de manière à les rendre accessibles à des non spécialistes.

Cette constatation est en accord avec la démarche gouvernementale visant à accroître la résilience des systèmes essentiels. En effet, le gouvernement du Québec a clairement identifié le besoin d'utilisation d'une terminologie commune et cohérente entre tous les acteurs. Pour cela, une vulgarisation des concepts par des activités de formation est nécessaire pour transmettre toute cette théorie.

Comme énoncé au début du mémoire, l'objectif de ce chapitre est donc de proposer des activités de formation afin de vulgariser et transmettre les concepts de résilience. En particulier, ce chapitre explique comment vulgariser et former les acteurs sur le concept de résilience pour une organisation. De plus, ce chapitre expose les outils de formation qui ont été développés pour faciliter le travail d'évaluation de la résilience d'une organisation.

4.1 Méthode de formulation d'objectifs

Afin d'évaluer le niveau d'appropriation des concepts par les participants, il est tout d'abord nécessaire de formuler des objectifs clairs. L'évaluation de l'appropriation des concepts se fera donc par l'évaluation des objectifs acquis à la fin de la formation.

Prégent (1990) explique que, pour concevoir un cours, différents niveaux d'objectifs sont envisageables correspondant aux niveaux d'apprentissage que l'on vise. Pour cela, l'auteur fait référence à la taxonomie de Bloom (1956) qui définit des niveaux d'apprentissages du domaine cognitif.

Le Tableau 4.1 expose la taxonomie des objectifs d'apprentissage du domaine cognitif de Bloom (1956).

Tableau 4.1 – Taxonomie de Benjamin Bloom (1956)

Niveau	Processus	Type de comportements
6. ÉVALUATION	Abstrait  Concret	Être capable de porter un jugement critique fondé sur des critiques internes ou externes.
5. SYNTHÈSE		Être capable de produire une œuvre personnelle après avoir conçu un plan d'action.
4. ANALYSE		Être capable d'identifier les éléments, les relations et les principes d'organisation d'une situation.
3. APPLICATION		Être capable de se rappeler de connaissances ou de principes pour résoudre un problème.
2. COMPRÉHENSION		Être capable de transposer, d'interpréter et d'extrapoler à partir de connaissances.
1. ACQUISITION DES CONNAISSANCES		Être capable de se rappeler de mots, de faits, de dates, de conventions, de classifications, de principes, de théories, etc.

Cette taxonomie est un cadre de référence qui permet de vérifier si les objectifs poursuivis sont effectivement du niveau recherché. Dans sa taxonomie, Bloom conçoit l'apprentissage des connaissances comme un processus progressif allant obligatoirement du concret à l'abstrait. Ainsi, l'apprentissage est plus concret aux niveaux élémentaires (1, 2, 3) et plus abstrait aux niveaux supérieurs (4, 5, 6). Pour effectuer les apprentissages associés à un niveau taxonomique donné, il faut avoir préalablement atteint les objectifs des niveaux précédents.

Prégent (1990) explique que l'on peut rédiger un objectif en complétant la phrase introductive suivante :

« À la fin de l'étude du thème XXX du cours, l'étudiant devrait être capable de... ».

Cette phrase est suivie d'un verbe et de compléments pour traduire les connaissances visées par l'objectif. L'auteur fournit dans le Tableau 4.2 une liste non exhaustive de verbes couramment employés dans la rédaction d'objectifs.

Tableau 4.2 – Verbes d'actions pour la formulation des objectifs (Prégent, 1950)

1	2	3
énumérer nommer identifier indiquer définir reconnaître rappeler	expliquer dire en ses propres mots interpréter prévoir décrire comparer différencier démontrer prédire	résoudre dimensionner utiliser manipuler appliquer calculer formuler classer modifier mettre en pratique
4	5	6
analyser organiser déduire choisir	concevoir soutenir schématiser écrire exposer discuter planifier	évaluer juger défendre critiquer justifier

Dans le cadre des activités de formation des concepts de résilience, les objectifs ne porteront que sur les niveaux 1, 2 et 3 de la taxonomie de Bloom, ce qui représente déjà un travail important.

Ainsi, à partir de la taxonomie de Bloom et des verbes d'action proposés par Prégent (1990), nous avons définis les objectifs énoncés dans le paragraphe suivant.

4.2 Objectifs des activités de formation

La formulation des objectifs des activités de formation est faite selon la taxonomie de Bloom. Pour enseigner tous les concepts de résilience organisationnelle développés dans ce mémoire, les objectifs de formation présentés dans le Tableau 4.3 ont été établis.

Tableau 4.3 – Objectifs généraux et spécifiques pour les activités de formation

Objectifs généraux	Objectifs spécifiques
1. Décrire l'état de référence d'un système	1.1. Définir un système 1.2. Identifier des ressources 1.3. Prévoir l'état de référence d'un système
2. Expliquer en ses propres mots la notion d'acceptabilité des défaillances	2.1. Définir une défaillance 2.2. Définir les critères d'acceptabilité des conséquences 2.3. Expliquer l'acceptabilité des défaillances
3. Manipuler les paramètres de la caractérisation des défaillances	3.1. Différencier les critères de caractérisation des défaillances 3.2. Expliquer les niveaux de défaillances d'un système 3.3. Définir des seuils de défaillances
4. Expliquer en ses propres mots les paramètres fondamentaux de la résilience	4.1. Formuler des modes de gestion 4.2. Démontrer l'importance du facteur temps 4.3. Interpréter des interdépendances entre systèmes 4.4. Reconnaître l'efficacité d'un espace de coopération
5. Expliquer en ses propres mots la définition de résilience d'un système	5.1. Expliquer en ses propres mots la définition et les caractéristiques de la résilience 5.2. Identifier les enjeux d'opérationnalisation pour évaluer la résilience d'un système

4.3 Structure des activités de formation

Afin que la formation soit dispensée plus facilement, celle-ci a été découpée en cinq modules complémentaires correspondants aux cinq objectifs spécifiques exposés précédemment.

Chaque module comprend une partie théorique dans laquelle sont exposés les concepts de la résilience, et une partie exemple ou exercice afin d'illustrer la théorie.

Un module supplémentaire a également été créé. Il s'agit d'un exercice d'étude de cas qui reprend les tableaux de l'exercice de l'OCSQ⁴. Ce module a pour objectif d'intégrer les concepts de résilience au sein des systèmes des participants à la formation. En appliquant les concepts à leurs propres systèmes, les participants prennent davantage conscience des enjeux de la résilience au sein de leurs systèmes.

Les cinq modules de formation correspondant aux cinq objectifs généraux sont présentés dans le Tableau 4.4.

Tableau 4.4 – Modules de formation

Modules	Objectifs généraux
Module 1 : État de référence d'un système	1. Décrire l'état de référence d'un système
Module 2 : Acceptabilité des défaillances	2. Expliquer en ses propres mots la notion d'acceptabilité des défaillances
Module 3 : Caractérisation des défaillances	3. Manipuler les paramètres de la caractérisation des défaillances
Module 4 : Paramètres fondamentaux de la résilience	4. Expliquer en ses propres mots les paramètres fondamentaux de la résilience
Module 5 : Définition de la résilience d'un système	5. Expliquer en ses propres mots la définition de résilience d'un système

⁴ L'exercice de l'OCSQ est une application des concepts développés dans ce mémoire lors d'un exercice gouvernemental sur la résilience des systèmes essentiels au Québec. Cette application est détaillée dans le chapitre suivant intitulé « Chapitre 5 : Applications et résultats ».

Étant donné le nombre trop important d'acétates des six modules, ceux-ci ne sont pas présentés dans leur totalité dans ce mémoire. Seul le module 3 est donné en Annexe B.

Afin de mieux comprendre comment s'organise les modules de formation, quelques acétates du module 3 qui traite de la caractérisation des niveaux de défaillance du système sont présentés dans le paragraphe suivant.

4.4 Présentation d'une activité de formation

Dans le but d'illustrer la structure des activités de formation, le module 3 servira d'exemple tout au long de ce paragraphe. Ce module traite de la caractérisation des défaillances par les seuils et les niveaux. Des captures d'écrans issues des acétates de ce module ont donc été faites. Le lecteur pourra toutefois retrouver l'ensemble des acétates de ce module en Annexe B.

Afin d'obtenir un résultat plus professionnel, la charte graphique est identique sur tous les modules de la formation. La Figure 4.1 montre un exemple de page présentation d'un module.

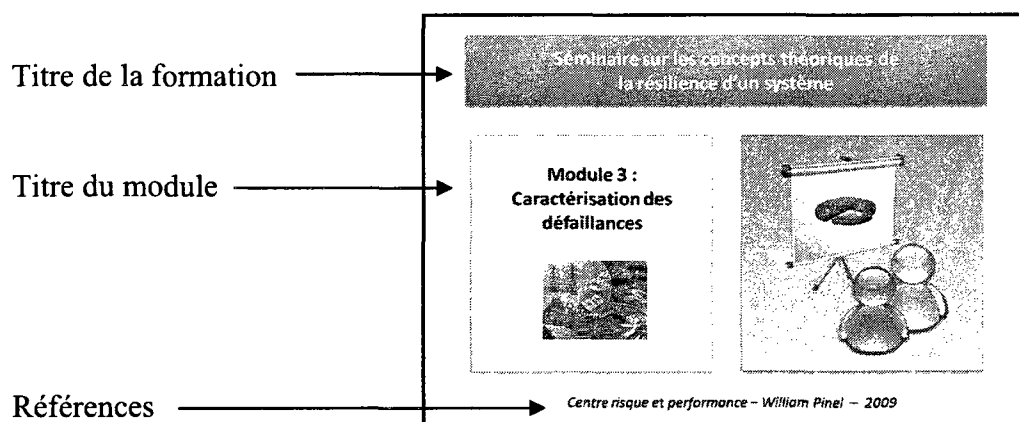


Figure 4.1 – Premier acétate du module 3

Les objectifs visés par le module sont ensuite établis, ainsi que le plan de la présentation.

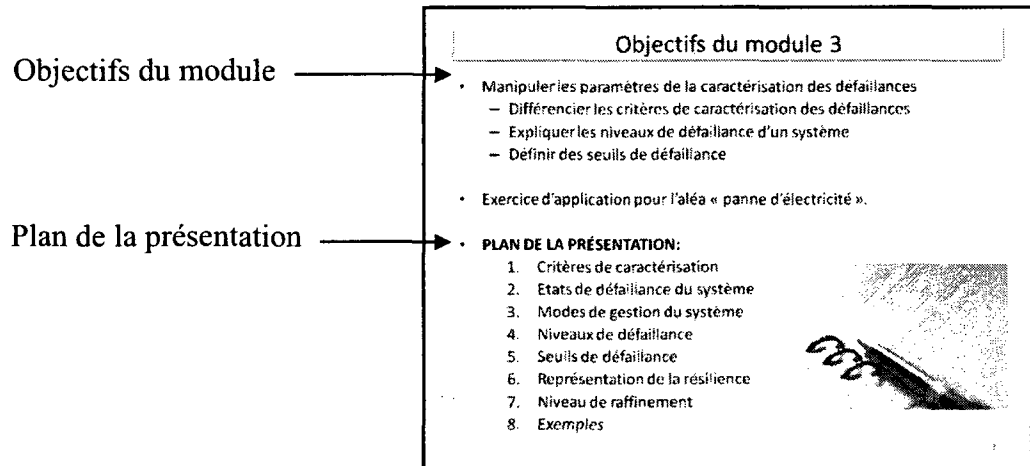


Figure 4.2 – Deuxième acétate du module 3

L'introduction permet de faire un rappel sur ce qui a été vu dans les modules précédents afin de mieux comprendre la place du module traité et les objectifs visés. Ceci permet également une utilisation flexible des modules. En effet, cette structure en modules avec un rappel des points importants des modules précédents à chaque nouveau module permet de marquer des temps d'arrêts entre les modules tout en gardant une certaine cohérence.

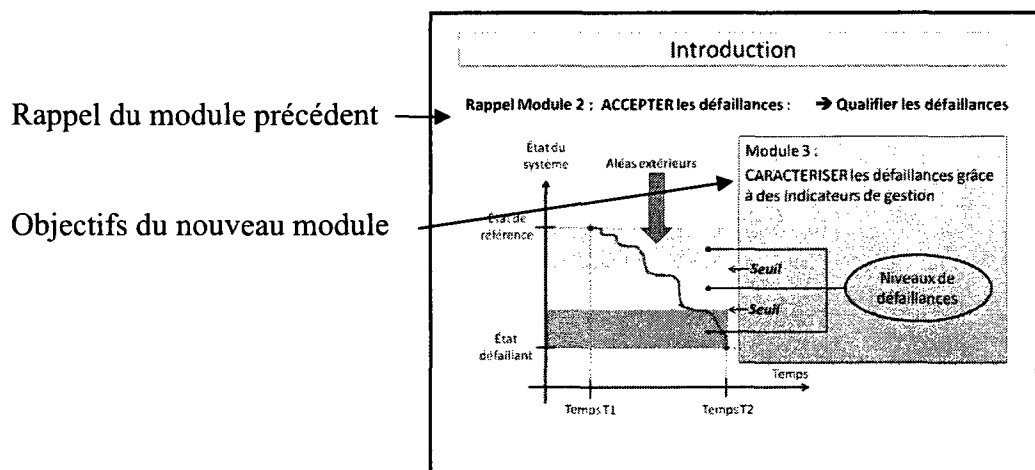


Figure 4.3 – Troisième acétate du module 3

Certains acétates ont été développés en utilisant des animations proposées par l'application PowerPoint®. L'explication de la structure du schéma global de la résilience d'un système en est un exemple. Cela permet à l'animateur de la formation d'expliquer les concepts au fur et à mesure de la construction du schéma.

La Figure 4.4 montre comment le schéma global de la résilience a été développé sous format PowerPoint®. Il est important de noter que les mécanismes de résilience, schématisés par des ressorts, non pas été représentés sur cet acétate puisque ceux-ci font l'objet du module 4.

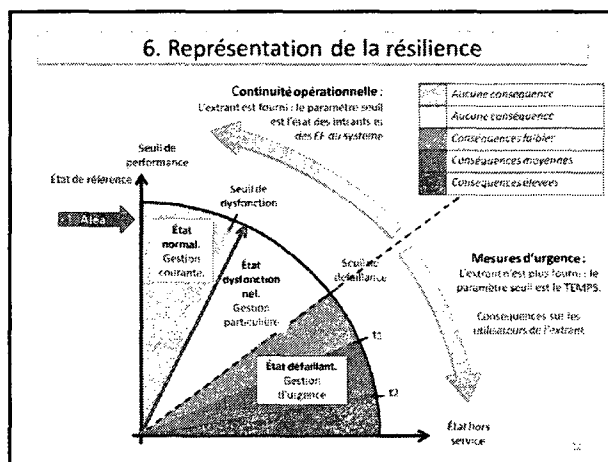


Figure 4.4 – Vingt deuxième acétate du module 3

Des exemples et exercices ont également été développés autant que possible au sein des modules de formation. La Figure 4.5 concerne un des exemples du module 3. Le but de cet exemple est d'illustrer le concept de mode de gestion à travers l'utilisation de ressources alternatives connus de tous en cas de panne d'électricité dans un système.

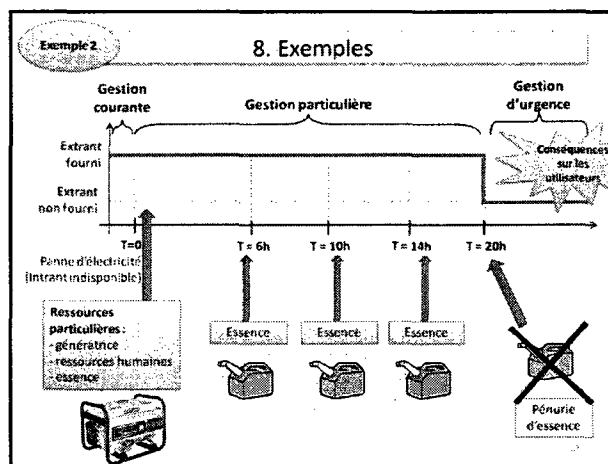


Figure 4.5 – Vingt huitième acétate du module 3

4.5 Conclusion

Ce chapitre a permis de développer des activités de formation. En effet, pour répondre à la problématique générale de ce mémoire, nous avons vu que ces activités servent à vulgariser les concepts afin de les rendre opérationnalisables dans une organisation et compréhensibles par des non-spécialistes.

Le chapitre suivant est une application de la théorie de la résilience organisationnelle selon trois axes. D'une part, nous verrons que la théorie a été appliquée lors d'un cours universitaire en gestion des risques, et d'autre part auprès des principaux ministères et organismes du Québec. Et enfin, les concepts de résilience font l'objet d'une troisième application encore en cours mais qui représente une véritable opérationnalisation des concepts par le gouvernement du Québec. Ces trois applications permettront de valider les concepts théoriques de résilience proposés dans ce mémoire.

CHAPITRE 5 APPLICATION ET RÉSULTATS

Les résultats des travaux de recherche de ce mémoire ont été appliqués suivant trois axes.

Tout d'abord, la théorie sur la résilience développée dans ce mémoire a été appliquée lors d'un cours de cycle supérieur en gestion des risques à l'École Polytechnique de Montréal.

Ensuite, les concepts ont été testés et validés lors d'un exercice de table dont les participants étaient les coordonnateurs ministériels en sécurité civile des douze secteurs essentiels du Québec.

Enfin, nous verrons qu'une troisième application est en cours concernant l'établissement des portraits sectoriels des secteurs essentiels du Québec.

Nous allons donc détailler ces trois applications et voir comment celles-ci ont permis de valider les concepts de résilience des systèmes établis dans ce mémoire.

5.1 Application lors d'un cours universitaire

5.1.1 Mise en contexte

La maîtrise en génie industriel à l'École Polytechnique de Montréal offre deux cours en gestion des risques.

Tout d'abord, le cours intitulé « Analyse et gestion des risques technologiques majeurs » a pour objectif de présenter les différentes techniques d'analyse et d'évaluation des risques que l'on retrouve généralement dans le secteur industriel. Ce cours s'intègre dans les deux premières dimensions de la sécurité civile définies dans le cadre de la *Loi sur la sécurité civile* (MSP, 2007) du Québec, à savoir la prévention et la préparation.

Ensuite le cours intitulé « Gestion de catastrophe et environnement » a pour objectif de définir les concepts de crise et de catastrophe. Ce cours présente les schémas de sécurité civile face à des risques naturels. Enfin, il vise à expliquer les plans de mesures d'urgence avec une approche par conséquences. Contrairement au premier cours, celui-ci est davantage axé sur les deux autres dimensions de la sécurité civile, l'intervention et le rétablissement.

C'est dans le premier cours, intitulé « Analyse et gestion des risques technologique majeurs » qu'ont été appliqués et validés les concepts théoriques de résilience d'un système que nous avons développés.

5.1.2 Présentation de l'application

Un cours théorique de trois heures a été développé. Ce cours s'articule selon les quatre objectifs suivants :

- comprendre les définitions de système, ressource, interdépendance ;
- comprendre le concept théorique de résilience d'un système ;
- comprendre la démarche de résilience dans une organisation ;
- savoir appliquer la méthode d'évaluation de la résilience d'un système.

Le cours magistral a été basé sur les concepts théoriques de résilience développés dans ce mémoire, mais également sur la méthodologie d'évaluation de la résilience développée en collaboration avec Pairat (2009).

Le cours est donc un exposé des concepts de résilience suivis des outils développés pour évaluer la résilience d'un système. Un exemple a été développé en cours afin de montrer comment utiliser les outils pour finir sur une introduction au projet de session, projet pour lequel les étudiants devaient utiliser ces outils. L'ensemble des acétates de ce cours développés dans le cadre de ce mémoire est présenté en Annexe C.

Un point important à noter est que les acétates de ce cours dispensé à Polytechnique ne sont pas identiques aux modules de formations développés dans ce mémoire et explicités dans le chapitre précédent. En effet, cette application qui se base sur les concepts de résilience a été faite avant la finalisation des modules de formation. À la suite de cette application, les concepts et modules de formation ont été améliorés en se servant du retour sur expérience de cette application.

Le projet de session qui accompagne ce cours magistral est un exercice dans lequel les étudiants devaient appliquer la théorie et les outils d'évaluation de la résilience sur un système industriel réel : l'usine de traitement d'eau potable de la ville de Montréal.

De manière spécifique, les étudiants devaient lors de ce projet :

- identifier les extrants fournis par le système ;
- établir le portrait organisationnel du système (éléments et ensembles fonctionnels) ;
- identifier les intrants utilisés par les éléments ;
- caractériser la dégradation des extrants en déterminant des seuils et des niveaux ;
- caractériser la dégradation des intrants en déterminant des seuils et des niveaux ;
- établir une échelle de conséquences avec des seuils d'acceptabilité précis ;
- associer des durées d'indisponibilité des intrants avec des niveaux de conséquences ;
- prendre en compte les interdépendances pour établir des délais de conséquences sur les utilisateurs lors de l'indisponibilité de l'extrant ;
- proposer des modes de gestion de la résilience.

Les outils utilisés lors de ce projet de session sont présentés en Annexe D.

5.1.3 Résultats de l'application

Cette première application a permis de valider la compréhension des concepts de résilience auprès d'une population d'étudiants ingénieurs non spécialistes des risques et de la résilience.

Globalement, la théorie de la résilience est bien comprise mais l'application à un système précis est plutôt difficile pour des étudiants non spécialistes du système étudié. Cela démontre bien que, même si l'apport d'un consultant extérieur est souvent utile, le travail de fond d'évaluation de la résilience d'un système doit être fait par un gestionnaire connaissant bien le système et ayant une vision globale des processus et de leurs environnements.

5.2 Application lors d'un exercice gouvernemental en sécurité civile

5.2.1 Mise en contexte

L'exercice gouvernemental de sécurité civile a permis une validation à grande échelle de nos concepts. Cet exercice s'inscrit dans une démarche gouvernementale du gouvernement du Québec.

En effet, face aux nombreux enjeux de la société actuelle, le gouvernement du Québec et tous ses systèmes essentiels ont pris conscience de leurs responsabilités dans la fourniture des ressources essentielles à la population. En effet, les indisponibilités, même momentanées de ces ressources, peuvent avoir des conséquences sur la santé, la sécurité et le bien-être économique des citoyens. Dans cette perspective où l'intérêt public prédomine, le gouvernement du Québec a donc proposé aux intervenants gouvernementaux, paragouvernementaux, municipaux et privés d'entreprendre une vaste démarche gouvernementale visant à accroître la résilience des systèmes essentiels au Québec.

Encore en cours, l'implantation d'une telle démarche, permettra globalement d'évaluer, puis d'accroître, la résilience des systèmes essentiels et de maintenir disponible pour la population, en tout temps, des ressources essentielles à un niveau acceptable.

Cette démarche gouvernementale s'articule autour de trois objectifs :

1. identifier et caractériser les systèmes essentiels des intervenants et les conséquences de leurs perturbations ou de leurs défaillances sur les autres systèmes essentiels ou sur la population du Québec.
2. identifier, proposer et prendre les mesures appropriées pour en accroître la résilience afin de pouvoir maintenir, en tout temps, une offre acceptable de ressources essentielles aux autres systèmes essentiels et à la population.
3. assurer la cohérence et la compatibilité des mesures retenues.

Le gouvernement du Québec assume le leadership de la démarche de résilience des systèmes essentiels au Québec. C'est l'Organisation de la sécurité civile du Québec (OSCQ) qui en assure la coordination.

La validation des concepts de résilience développés dans ce mémoire a donc eu lieu lors d'un exercice organisé par l'OSCQ, le 13 novembre 2008 (OSCQ, 2008). Le paragraphe suivant explique le déroulement de cet exercice afin de mieux comprendre dans quel contexte l'application des travaux de recherche a eu lieu.

5.2.2 Présentation de l'application

L'exercice de l'OSCQ, baptisé « Exercice Domino », a réuni dans un même lieu les représentants des principaux systèmes essentiels du Québec. Étant regroupés en 12 secteurs, ces systèmes essentiels ont été placés suivant douze tables sectorielles formées pour favoriser les échanges et le partenariat entre les intervenants. Le Tableau 5.1 indique les ministères ou organismes gouvernementaux (M/O) qui en assument l'animation et la coordination.

Tableau 5.1 – Listes des secteurs essentiels du Québec

TABLES SECTORIELLES	MINISTÈRES ET ORGANISMES COORDONNATEURS
Activités gouvernementales	- Secrétariat du Conseil du Trésor (SCT) - Centre de services partagés du Québec (CSPQ)
Activités économiques	- Ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE)
Alimentation	- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ)
Bâtiment	- Société d'habitation du Québec (SHQ) - Société immobilière du Québec (SIQ)
Information et communications	- Services Québec
Eau	- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) - Ministère des Affaires municipales et des Régions (MAMR)
Énergie	- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) - Hydro Québec (HQ)
Secteur financier	- Ministère des Finances du Québec (MFQ) - Autorité des marchés financiers (AMF)
Santé	- Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS)
Sécurité	- Ministère de la Sécurité publique (MSP) - Sûreté du Québec (SQ)
Télécommunication et technologies de l'information	- Centre de services partagés du Québec (CSPQ)
Transport	- Ministère des Transports du Québec (MTQ)

Avant toute chose, il est utile de faire le lien entre la théorie développée dans ce mémoire et cette étude de résilience de systèmes gouvernementaux.

Pour cela, la Figure 5.1 reprend le schéma de la décomposition d'un système afin de montrer que l'approche système peut être appliquée dans le cas du gouvernement du Québec pour sa démarche gouvernementale de résilience.

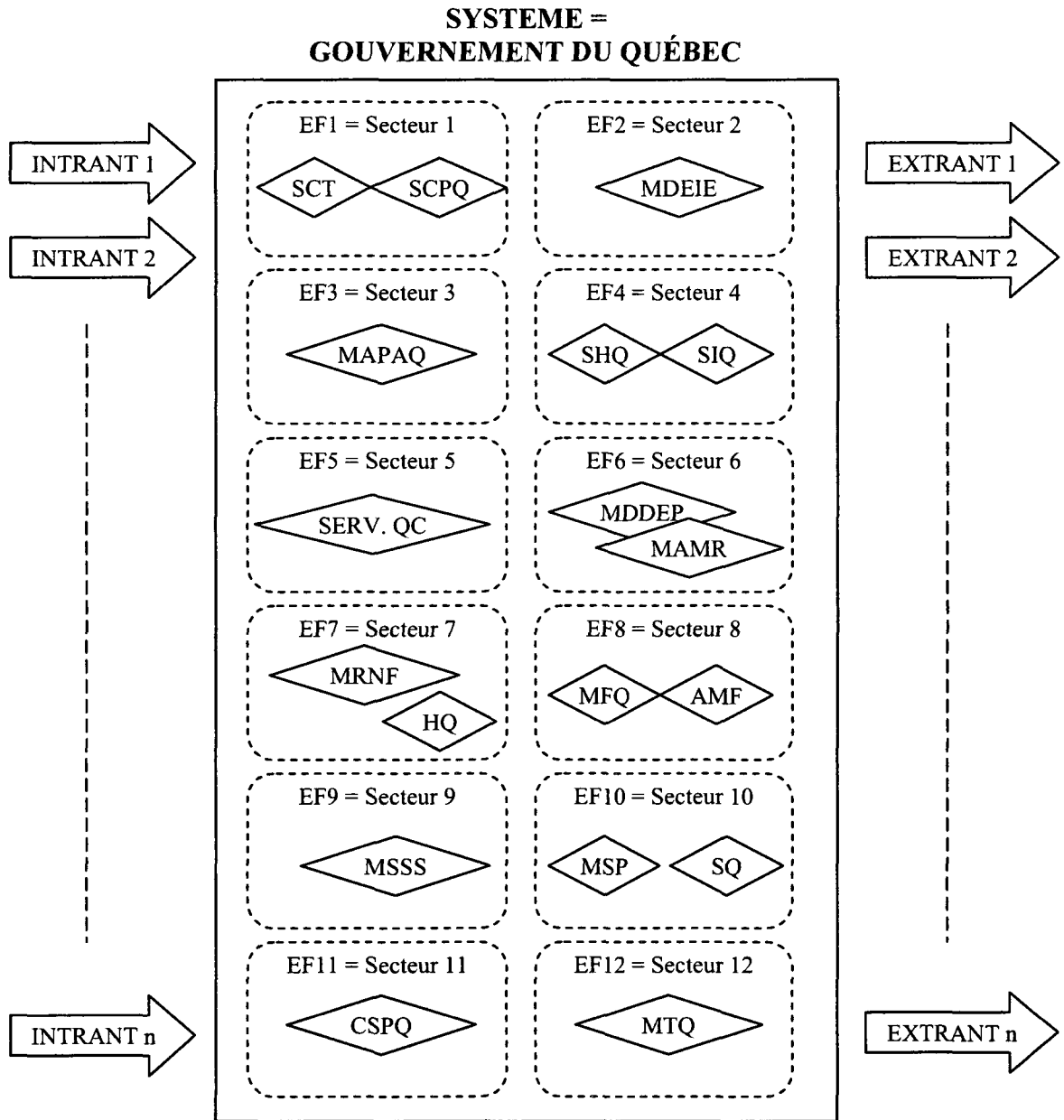


Figure 5.1 – Décomposition du gouvernement du Québec

Comme le montre la Figure 5.1, les éléments du système « Gouvernement du Québec » sont donc les ministères et organismes, alors que les ensembles fonctionnels sont les douze secteurs précédemment définis.

Dans la démarche gouvernementale, les éléments (Ministères et Organismes) sont appelés « systèmes essentiels » car ils seront amenés dans la suite de la démarche à se définir en tant que système pour appliquer les concepts de résilience. Il s'agit encore une fois ici d'une démultiplication des niveaux pour analyser la résilience, mais tout en gardant les mêmes principes. Ce qu'il faut retenir c'est que l'appellation « système essentiel » est relative aux « Ministères et organismes ».

L'objectif principal de l'exercice était de favoriser l'appropriation des concepts et d'enrichir la démarche gouvernementale visant à accroître la résilience des systèmes essentiels au Québec. Cet objectif principal a été subdivisé en quatre objectifs spécifiques :

1. décrire les concepts : ressources essentielles, systèmes essentiels, interdépendances, acceptabilité des conséquences, résilience, etc. ;
2. identifier des ressources et des systèmes essentiels ;
3. identifier l'impact de la défaillance d'un système sur les autres systèmes, des interdépendances entre les secteurs et du cumul des conséquences sur la population ;
4. décrire à l'échelle gouvernementale les enjeux en sécurité civile associés à la résilience des systèmes essentiels.

L'objectif 4 ne concerne pas réellement l'application des travaux de recherche de ce mémoire, puisqu'il fait davantage référence à des questions politiques. Il ne sera donc pas abordé ici.

Pour satisfaire à l'objectif 1, un exposé magistral sur les concepts de résilience développés dans ce mémoire a été dispensé par le professeur Benoit Robert de Polytechnique devant tous les participants de l'exercice (Robert, 2008c). Cet exposé a particulièrement traité de l'approche système, des ressources et des interdépendances. Les seuils et niveaux de défaillance d'un système ont été expliqués afin de synthétiser le concept grâce au schéma global de la résilience (schéma avec les ressorts). Pour plus d'informations sur ce sujet, l'exposé magistral lors de cet exercice est disponible en Annexe E.

Pour satisfaire aux objectifs spécifiques 2 et 3, deux tableaux ont été développés afin que les participants puissent manipuler les concepts. Les deux tableaux complets sont présents en Annexe F.

Dans le premier tableau, chaque élément (Ministères et Organismes) doit identifier ses extrants (appeler ressources essentielles fournies lors de cet exercice) et y associer les systèmes essentiels qui les fournissent.

Ensuite dans le deuxième tableau, les éléments se regroupent autour de leur ensemble fonctionnel qui est un des douze secteurs essentiels au Québec. Cinq intrants leur sont alors proposés (appelés ressources utilisés lors de cet exercice) : électricité, eau potable, service de télécommunication, budget d'investissement, transporteurs routiers. En considérant ces cinq intrants, le gestionnaire de l'EF est alors amené à répondre aux questions suivantes, et ce pour chaque couple « Ressource essentielle extrant / Système essentiel associé » défini au premier tableau :

1. Est-ce que cette ressource (intrant) est utilisée par le système essentiel pour fournir la ressource essentielle (extrant) ?

Les réponses possibles sont :

Souvent - Quelques fois – Jamais - Je ne sais pas.

2. Si la ressource utilisée (intrant) devient indisponible, au bout de combien de temps (délais), le système essentiel ne pourra plus fournir la ressource essentielle (extrant) ?

Les réponses possibles sont :

Heure – Jour – Semaine – Mois – Autres.

3. Si la ressource essentielle fournie par le système essentiel n'est plus disponible, comment seront les conséquences sur la population ?

Les réponses possibles sont :

Faibles – Moyennes – Fortes.

4. Veuillez identifier et nommer des mesures de protection ou d'atténuation actuelles ou potentielles qui sont mises en place pour réduire les conséquences sur la population ou diminuer les délais d'affectation.

La question 1 permet de mettre en lumière des interdépendances entre les systèmes. Les réponses proposées sont larges mais permettent de faire la différence dès le départ entre les intrants utilisés quotidiennement et donc plus critiques, et les intrants utilisés occasionnellement et donc plus de support. Le lecteur pourra constater que la réponse « Je ne sais pas » est proposée. Cette réponse est là pour soulever des interrogations sur la connaissance de l'environnement de l'organisation interrogée.

La question 2 permet d'établir un ordre de grandeur des délais d'affectation reliés à l'indisponibilité d'un intrant.

La question 3 a pour but de faire prendre conscience que l'indisponibilité d'un extrant pourrait avoir des conséquences sur de nombreux autres systèmes. Les interdépendances fonctionnelles sont donc mises en avant.

Enfin la question 4 invite les participants à proposer des mesures de protection ou d'atténuation (appelées modes de gestion dans ce mémoire) pour rendre leur système plus résilient.

5.2.3 Résultats de l'application

Afin de mesurer les résultats de cette application, un questionnaire post-exercice a été développé. Ce questionnaire est une grille de questions distribuée aux animateurs de chacune des douze tables sectorielles. Ce questionnaire est disponible en Annexe G.

De nombreuses questions ont été posées dans ce questionnaire, mais seules véritablement sept questions traitent de la compréhension des concepts de résilience.

Tout d'abord, la question 5 du questionnaire porte sur la compréhension générale des concepts présentés dans l'exposé magistral sur la résilience. La question est la suivante :
« Question 5 - Les concepts de ressource, système, interdépendance et résilience sont-ils assez compris pour permettre un travail efficace lors de cette journée ? »

Ensuite, nous avons voulu savoir si les participants avaient éprouvé des difficultés à remplir les tableaux 1 et 2 de l'exercice concernant l'établissement de leur portrait sectoriel. Nous avons donc demandé aux animateurs des tables sectorielles d'évaluer le niveau de compréhension par les participants de leur table concernant les questions des tableaux 1 et 2. Les questions sont donc les suivantes :

« Question 7 - En se référant aux tableaux 1 et 2 de l'atelier 1, les participants ont-ils réussi à répondre à la question 1 (ressources essentielles) ? »

« Question 8 - En se référant aux tableaux 1 et 2 de l'atelier 1, les participants ont-ils réussi à répondre à la question 2 (systèmes essentiels) ? »

« Question 9 - En se référant aux tableaux 1 et 2 de l'atelier 1, les participants ont-ils réussi à répondre à la question 3 (interdépendance) ? »

« Question 10 - En se référant aux tableaux 1 et 2 de l'atelier 1, les participants ont-ils réussi à répondre à la question 4 (délai d'affectation) ?

« Question 11 - En se référant aux tableaux 1 et 2 de l'atelier 1, les participants ont-ils réussi à répondre à la question 5 (conséquences sur la population) ?

« Question 12 - En se référant aux tableaux 1 et 2 de l'atelier 1, les participants ont-ils réussi à répondre à la question 6 (mesures de prévention) ?

Pour chacune des questions de ce questionnaire, l'animateur doit choisir sur une échelle de 1 à 4 le niveau de compréhension par les participants, 1 symbolisant le oui, 4 symbolisant le non.

Les résultats sont résumés dans le Tableau 5.2.

Tableau 5.2 – Niveaux de compréhension des concepts de résilience par les systèmes essentiels du Québec

		OUI 1	← 2	→ 3	NON 4
Question 5	Les concepts de ressources, système et interdépendance sont-ils assez compris pour permettre un travail efficace lors de cette journée?	11%	56%	33%	0%
Question 7	Les participants ont-ils réussi à répondre facilement à la question 1 (ressources essentielles)?	33%	33%	11%	22%
Question 8	Les participants ont-ils réussi à répondre facilement à la question 2 (systèmes essentielles)?	33%	11%	44%	11%
Question 9	Les participants ont-ils réussi à répondre facilement à la question 3 (interdépendance)?	44%	44%	0%	11%
Question 10	Les participants ont-ils réussi à répondre facilement à la question 4 (délais d'affectation)?	78%	22%	0%	0%
Question 11	Les participants ont-ils réussi à répondre facilement à la question 1 (conséquences sur la population)?	78%	22%	0%	0%
Question 12	Les participants ont-ils réussi à répondre facilement à la question 1 (mesures de prévention)?	56%	33%	11%	0%

La Figure 5.2 représente graphiquement le niveau de compréhension des concepts par les participants. Les pourcentages représentés sur ce graphique sont les moyennes de chaque question présentée dans le Tableau 5.2 (0% représente la réponse « non », 100% représente la réponse « oui »).

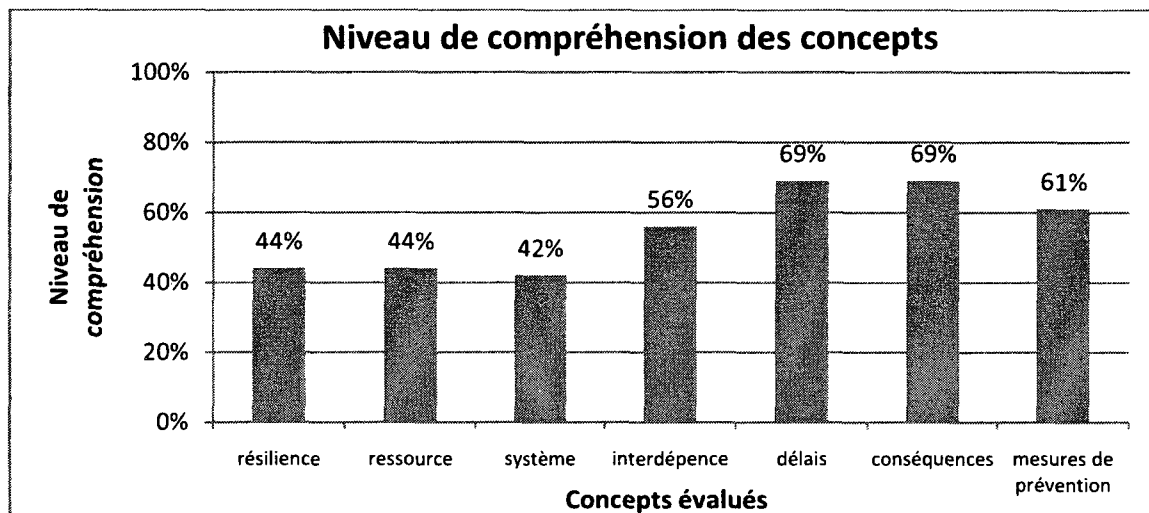


Figure 5.2 – Représentation du niveau de compréhension des concepts de résilience par les systèmes essentiels du Québec

L'objectif 1 de compréhension des concepts théoriques de résilience a globalement été rempli. Certes, tous les concepts ne sont pas maîtrisés à 100%, mais les participants ont démontré que leur niveau de compréhension était suffisant pour manipuler les concepts dans les exercices.

De plus, tous les responsables des systèmes essentiels au Québec ont validé la pertinence des concepts de résilience développés dans ce mémoire.

Les objectifs 2 et 3 ont également été remplis puisque les participants ont réussi à dresser un premier portrait organisationnel de leurs systèmes. De plus, des liens d'interdépendances ont été mis en lumière lors d'échanges entre les systèmes, et les participants ont pris conscience de la valeur de ces outils.

Pour confirmer notre propos, voici ci-après une synthèse des commentaires des participants recueillis lors de cet exercice gouvernemental :

- La mise à niveau au début de l'exercice à partir d'une vulgarisation des concepts a été beaucoup appréciée, et les participants en reconnaissent l'utilité pédagogique.

- La forme de l'exercice (tableaux) a permis de simplifier la démarche. Les tableaux représentent un guide efficace tout en apportant de l'homogénéité entre les secteurs. De plus, ils facilitent les échanges et le réseautage durant les plénières.
- La présence de personnes référents aux tables (animateurs et secrétaires qui maîtrisent les concepts) est essentielle.
- Le passage de la théorie à l'opérationnalisation avec des exemples concrets a permis une meilleure appropriation des concepts.

Les ministères et organismes ont par ailleurs reconnu le besoin d'avoir des outils de travail et une terminologie commune afin d'établir une évaluation de leur résilience. De plus, ils ont exprimé la nécessité d'avoir des outils de formation afin de mieux s'approprier les concepts de résilience.

Cette application a donc permis de mesurer le degré d'appropriation des concepts par les ministères et organismes du Québec définis en tant que systèmes essentiels. Le paragraphe suivant traite d'une autre application en cours concernant l'utilisation des concepts de résilience.

5.3 Application en cours

Maintenant que les concepts de résilience ont été validés par le gouvernement du Québec, les ministères et organismes sont prêts à les utiliser. En particulier, un outil a été développé et est en train d'être utilisé dans le cadre de la première étape de la démarche gouvernementale visant à accroître la résilience des systèmes essentiels au Québec.

L'objectif de cet outil est d'aider les ministères et organismes (M/O) des secteurs essentiels à dresser leur portrait sectoriel et également établir des canaux de communications entre les secteurs. Cet outil constitue la première étape dans l'évaluation de la résilience des systèmes essentiels au Québec.

Cet outil est disponible en Annexe H. Il s'agit d'un fichier Excel® composé de plusieurs onglets. L'outil s'articule selon trois étapes détaillées dans le Tableau 5.3

Tableau 5.3 – Outil d'aide pour dresser le portrait sectoriel des systèmes essentiels du Québec

Onglet du fichier Excel	Actions
Onglet 1	Page d'identification du secteur.
Onglet 2	Étape 1 : le secteur doit identifier ses extrants ainsi que les éléments responsables de la fourniture de ces extrants. Le rôle reliant un extrant et des éléments doit également être identifié.
Onglet 3	Étape 2 : le secteur doit transmettre aux 11 autres secteurs essentiels la liste des extrants qu'il fournit.
Onglet 4	Étape 3 : le secteur doit compiler l'ensemble des extrants reçus des autres secteurs dans sa colonne « intrants ». Le but de cette étape est de mettre en lumière des dépendances dans l'échange des ressources entre les secteurs.
Onglet 5	Aide méthodologique pour remplir utiliser cet outil

Même si cette application n'a pas encore fourni de résultats tangibles puisqu'elle est encore en cours, il est important de noter que celle-ci démontre que les concepts de résilience sont opérationnalisables. En effet, à partir de la validation des concepts par le gouvernement du Québec, cet outil permettra de dresser un premier portrait des différents secteurs essentiels.

Par la suite, d'autres outils d'aide pourront être développés, comme par exemple des outils permettant d'établir les niveaux de défaillances des systèmes et les modes de gestion de la résilience.

5.4 Conclusion

Ce chapitre a permis de montrer comment la théorie sur la résilience organisationnelle a pu être validée par deux applications, l'une dans le cadre d'un cours universitaire, l'autre lors d'un exercice effectué par l'OSCQ.

Nous avons enfin vu qu'une troisième application est en cours. Celle-ci n'a pas encore donné de résultats tangibles, mais elle démontre cependant qu'une réelle opérationnalisation des concepts de résilience est possible.

Le chapitre suivant est une discussion sur les concepts théoriques de résilience développés dans ce mémoire, leur vulgarisation via des activités de formation et leurs applications auprès du gouvernement du Québec. Les problèmes et les limites du modèle seront ainsi discutés, tout comme les points positifs. En particulier, une réflexion est faite sur les résultats obtenus par la théorie développée dans ce mémoire et son utilisation au sein des organisations.

CHAPITRE 6 DISCUSSION

Les travaux développés dans ce mémoire se veulent être une réponse à la problématique du manque de concepts de base en résilience organisationnelle. En effet, peu de concepts théoriques clairs existent à ce sujet et c'est pourquoi les concepts développés dans ce mémoire sont d'une réelle valeur ajoutée dans ce milieu

Nous allons voir quels sont les intérêts et limites de l'établissement de la théorie de la résilience, ainsi que les intérêts et limites du développement d'activités de formation à ce sujet.

Nous verrons enfin les résultats atteints face aux objectifs visés par ce mémoire, puis nous terminerons par les nouveaux travaux qu'il reste à faire à ce sujet.

6.1 Intérêts de la formulation de la théorie

En tant que proposition de concepts théoriques, ce mémoire a comme intérêt de poser des bases solides et claires pour établir une méthodologie d'évaluation de la résilience qui supportera des outils d'aide pratiques pour les gestionnaires.

Les principaux intérêts de la formulation de la théorie dans le cadre de ce mémoire sont la vision adoptée, l'approche système, l'homogénéité des termes ainsi que la prise de conscience des organisations du besoin d'évaluer leur résilience. Ces différents intérêts sont développés dans les points suivants.

Vision de la résilience :

Dans la littérature, la résilience d'une organisation est souvent perçue seulement comme une capacité de rétablissement après une crise. Notre vision est différente dans le sens où l'on perçoit la résilience au quotidien, en y incluant les volets « prévention/préparation » au volet « rétablissement ».

Approche système :

En adoptant une approche système, les concepts de résilience peuvent être appliqués à toute sorte d'organisation. En effet, toute organisation, qu'elle soit privée ou publique, peut être représentée par un système qui utilise des intrants et fournit des extrants. Ainsi, toute organisation peut être décomposée en fonction de ses extrants et de ses intrants. Et à partir de cette décomposition, des ensembles fonctionnels sont facilement identifiables.

Homogénéité des termes :

Comme nous l'avons vu pour la démarche gouvernementale de résilience du Québec, ce n'est pas le gouvernement lui-même qui va évaluer la résilience de ses systèmes, mais bien les systèmes eux-mêmes qui vont s'évaluer. Une homogénéité des concepts et des outils est donc primordiale afin de faciliter les échanges (n'oublions pas que la communication est la base d'un système résilient). Ainsi, les définitions proposées dans ce mémoire (comme ressource, système, niveau de défaillance) pourront être utilisées par le plus grand nombre puisque ce sont des définitions larges et facilement assimilables dans n'importe quelle organisation.

Prise de conscience :

Les outils développés dans ce mémoire permettent de faire prendre conscience aux organisations qu'elles évoluent dans un même espace de travail où tout est interrelié. Il est donc important que les systèmes travaillent ensemble pour établir leurs niveaux de défaillance et leurs délais d'affectation. Le problème de l'accès aux ressources alternatives devrait également être abordé par tous les systèmes d'un même espace de coopération.

Les concepts de résilience développés comportent de nombreux avantages. Cependant, ils présentent également quelques limites.

6.2 Limites des concepts théoriques développés

Les principales limites des concepts théoriques développés dans ce mémoire sont le manque d'intégration du volet rétablissement à la résilience, la prise en compte simplificatrice de la dégradation d'une ressource, la prise en compte des interdépendances, et la difficulté d'établissement des paramètres. Ces différentes limites sont développées dans les points suivants.

Manque d'intégration du volet rétablissement :

Nous avons vu que la vision adoptée dans ces travaux de recherches présentait un réel intérêt. Notre travail intègre en effet la résilience dans tous les volets de la sécurité civile (prévention, préparation, intervention, rétablissement). Cependant, la notion de rétablissement inhérente au concept de résilience aurait besoin d'être un peu plus approfondie. Des concepts et outils pourraient en effet être développés pour raffiner la définition de la résilience exposée dans ce mémoire.

Prise en compte simplificatrice de la dégradation d'une ressource :

Lors de l'établissement des critères de caractérisation des ressources et des ensembles fonctionnels, nous avons fait les deux hypothèses suivantes :

- *Hypothèse 1 :*

Dès lors qu'un extrant ne respecte plus ses caractéristiques requises (ressource dégradée), il est considéré comme inutilisable et donc indisponible.

- *Hypothèse 2 :*

Si un ensemble fonctionnel (EF) fournit correctement son extrant, il est non défaillant. S'il ne fournit pas correctement son extrant, il est défaillant. L'état de l'ensemble fonctionnel (EF) est donc binaire.

Une discussion autour de ces deux hypothèses pourrait être faite. En effet, la dégradation d'une ressource pourrait être établie selon plusieurs niveaux. Il en est de même pour la défaillance d'un EF qui n'est pas toujours binaire dans la réalité.

Ces hypothèses simplificatrices ont permis de se focaliser sur l'essentiel de la théorie de la résilience. Mais, il pourrait être nécessaire pour un questionnaire d'intégrer plusieurs niveaux de dégradations de la ressource et de défaillance des EF.

Prise en compte des interdépendances :

Seules les interdépendances fonctionnelles externes, c'est-à-dire entre les systèmes, ont été prises en compte. Il serait envisageable de prendre également en compte les interdépendances internes entre les EF d'un même système, et également les interdépendances géographiques entre les systèmes⁵.

Difficulté d'établissement des paramètres :

Enfin, une des dernières limites est la difficulté de définir des paramètres de mesures des activités. En effet, nous avons ici défini des paramètres larges qui pourraient être appliqués au plus grand nombre. Mais dans la réalité, les systèmes doivent eux-mêmes raffiner les paramètres de la résilience en fonction de leurs types d'activités. La mesure de la résilience peut être faite à partir des concepts développés dans ce mémoire, mais une expertise des processus et activités à l'intérieur du système nous semble nécessaire.

La théorie autour de la résilience formulée dans ce mémoire présente donc de nombreux avantages mais également certaines limites. Nous allons à présent voir quels sont les intérêts et limites des activités de formation.

⁵ Robert et Morabito (2009a) définissent les interdépendances géographiques (IG) comme suit : « les IG sont dues à la proximité des infrastructures. Elles se produisent lorsque deux infrastructures sont géographiquement proches et que la défaillance de l'une entraîne la défaillance de l'autre. Par exemple, le bris d'une conduite d'eau qui engendre le bris de la chaussée située au-dessus constitue une interdépendance géographique entre le réseau d'eau et le réseau de transport. »

6.3 Intérêts du développement d'activités de formation

L'objectif principal de ce mémoire était de développer des concepts de résilience compréhensibles par des non spécialistes. Cela a été rendu possible en particulier par une démarche claire de transmission des connaissances via les modules de formation.

La structure même des modules de formation permet une application dans de nombreux domaines. En effet, les modules peuvent être dispensés au sein de presque n'importe quelle organisation sans être trop restrictif.

Enfin, le module d'exercice (module 6) permet aux participants, à la fin de la formation, de commencer une application de la démarche de résilience dans leur organisation.

Les activités de formation développées comportent de réels avantages. Cependant, elles présentent également quelques limites.

6.4 Limites des activités de formation

À travers les intérêts des activités de formation, nous voyons également des limites.

Tout d'abord, les modules de formation qui ont été développés de manière à être appliqués par le plus grand nombre, nécessiteraient sans doute certaines modifications en fonction du type d'organisations visées.

Par ailleurs, le module d'exercice (module 6) reste une introduction au travail d'évaluation de la résilience dans une organisation. L'exercice devrait donc être plus développé avec notamment des méthodes pratiques d'évaluation de la résilience d'une organisation.

Les activités de formation autour de la résilience développées dans ce mémoire présentent donc de nombreux avantages mais également certaines limites. Nous allons à présent voir quels sont les résultats de ces travaux face aux objectifs fixés au début de ce mémoire.

6.5 Résultats face aux objectifs

Nous nous étions fixés, initialement, trois objectifs de travail, à savoir :

1. formuler la théorie sur la résilience organisationnelle ;
2. vulgariser les concepts de résilience à travers des activités de formation ;
3. valider les concepts de résilience auprès de différents acteurs du domaine.

Le premier objectif a été atteint. En effet, en dressant un bilan des définitions de la résilience présentes dans la littérature, des concepts de base en résilience ont été développés. En partant de la définition de ressource, système et état de référence, nous avons vu pourquoi et comment accepter les défaillances d'un système. Nous avons également proposé des paramètres pour caractériser l'état de défaillance d'un système. Une définition de la résilience d'un système accompagnée de quatre caractéristiques a été établie. Enfin, afin d'illustrer l'ensemble de ces concepts, des exemples ont ponctué les points abordés, et un cas d'étude sur une panne d'électricité appliquée à un système de production d'eau potable a été détaillé. Exemple connu de tous, la panne d'électricité a été abordé dans un point de vue résilience afin de faire prendre conscience au lecteur que ces concepts de résilience sont à intégrer dans les opérations quotidiennes d'une organisation.

Le deuxième objectif a été atteint. En effet, nous avons expliqué comment rendre les concepts accessibles à des non spécialistes en développant des modules de formation qui expliquent en détail tous les concepts de résilience. Pour faciliter leur appropriation, des exemples et exercices d'application ont également été conçus. L'ensemble de ces activités de formation favorise ainsi la compréhension des concepts par des non-

spécialistes. Concernant leurs applications, quelques modules ont été dispensés à l'École Polytechnique de Montréal, et une présentation des concepts accompagnée d'un exercice d'application a été faite auprès du gouvernement du Québec. Néanmoins, la vulgarisation des concepts de résilience a été appliquée dans un certain contexte et nous pensons qu'une application à plus grande échelle serait nécessaire.

Enfin, le troisième objectif a été atteint. En effet, les concepts de résilience ont été validés auprès du gouvernement du Québec lors d'un exercice organisé par l'OCSQ (OSCQ, 2008). Les ministères et organismes des douze secteurs essentiels du Québec ont pu lors de cet exercice manipuler les concepts et en approuver le contenu. Ce dernier objectif de recherche est d'autant plus atteint que, dans le cadre de la démarche gouvernementale de résilience, les ministères et organismes du Québec ont commencé à utiliser au sein de leurs systèmes les concepts développés dans nos travaux de recherche.

Les objectifs fixés en début de ce mémoire ont donc tous été remplis. Il reste cependant quelques nouveaux travaux à réaliser dans la continuité de ceux-ci.

6.6 Les nouveaux défis

Trois défis restent à opérer à la suite de ces travaux de recherche.

Tout d'abord, il faudrait que les modules de formation soient dispensés à plus grande échelle et dans leur totalité, point qui n'a pour le moment pas été fait. On pourrait donc imaginer que des activités de formation systématiques soient offertes à l'intention des systèmes essentiels du Québec ou des entreprises privées.

Une méthodologie d'évaluation de la résilience d'un système doit également être rédigée. Actuellement rédigée par Pairet (2009), cette méthodologie s'appuiera sur les concepts de base développés ici. Elle proposera des outils de gestion pratiques dans lesquels un système pourra intégrer ses activités et ses paramètres de mesure pour ainsi mesurer sa résilience.

Enfin, dans la même optique de transmission des connaissances privilégiée ici, nous pourrions envisager de développer des activités de formation pour enseigner la future méthodologie d'évaluation de la résilience. Ces activités de formation pourraient ainsi être complémentaires de ceux que nous avons développés.

CONCLUSION

Depuis les attentats du 11 septembre 2001, de nombreuses organisations ont compris que la résilience n'était pas seulement un concept abstrait mais était un réel enjeu pour leur survie. Devant un tel constat, le développement de la théorie relative à la résilience organisationnelle présentée dans ce mémoire permet d'apporter une réponse à la problématique de vulnérabilité des organisations vis-à-vis de leur environnement.

La théorie s'appuie sur le principe de l'approche par conséquences, c'est-à-dire sur les conséquences liées à la dégradation et à la perte d'une ressource utilisée par une organisation. Elle s'inscrit également dans la continuité des travaux menés par le CRP qui n'abordaient pas jusque là la question de la résilience des organisations.

Les concepts de résilience s'appuient également sur une approche par système. L'organisation est vue comme un système qui utilise des intrants provenant de systèmes fournisseurs, les modifie via des activités et processus internes. La mission globale du système est finalement de fournir des extrants à des systèmes utilisateurs. C'est cette approche par système qui permet de caractériser l'état du système. De l'état de référence, à l'état de défaillance en passant par l'état dysfonctionnel, nous avons proposé des outils permettant de caractériser l'état d'un système en fonction de l'état des intrants, des extrants et de son fonctionnement interne. Les interdépendances fonctionnelles entre les systèmes d'un même espace de travail ont également été prises en compte, permettant ainsi d'intégrer des niveaux de conséquences dans la caractérisation de l'état d'un système. Enfin, nous avons défini la résilience d'un système en intégrant notamment des modes de gestion qui permettent à un système d'être plus résilient.

Afin de répondre à la problématique de diffusion et de compréhension des concepts par des non-spécialistes, des activités de formation sur la théorie de la résilience ont été développées. Ces activités de formation sont structurées par modules d'enseignement et

allient théorie et exercices afin de faciliter l'appropriation des concepts. Un exemple d'activité de formation a été présenté en annexe de ce mémoire.

Les concepts de résilience et les activités de formation ont été appliqués selon trois axes. Tout d'abord, ils ont été dispensés lors d'un cours universitaire de gestion des risques à l'École Polytechnique de Montréal. Cette application a permis de valider les concepts auprès d'une population de futurs ingénieurs. D'autre part, une application auprès de douze secteurs essentiels du Québec a été faite. Cette application a permis de valider les concepts de résilience développés dans ce mémoire et permet aujourd'hui au gouvernement du Québec d'utiliser une terminologie commune dans sa démarche gouvernementale visant à accroître la résilience des systèmes essentiels. Par ailleurs, une troisième application est actuellement en cours. Il s'agit d'un outil sous forme de tableau permettant d'aider les systèmes essentiels du Québec à dresser leur portrait sectoriel et à amorcer un processus de communication entre les différents acteurs d'un même espace de coopération. Cet outil en cours d'utilisation n'a pas encore livré ses résultats mais il constitue la véritable première étape dans la démarche gouvernementale du Québec visant à accroître la résilience de ses systèmes essentiels.

Ces travaux de recherches en résilience organisationnelle présente de nombreux intérêts. Ils ont permis notamment d'établir une terminologie de base en résilience qui pourra être utilisé dans de nombreux domaines. L'aspect multidisciplinaire des concepts développés est accentué par les activités de formation développées ici qui permettent de transmettre les connaissances à des non spécialistes.

Néanmoins, nous avons vu que ces travaux de recherche présentent des limites et qu'il reste de nombreux axes à développer. En effet, l'aspect rétablissement inhérent au concept de résilience serait à développer, et des outils de gestion opérationnels pour évaluer et gérer la résilience d'une organisation ont besoin d'être développés.

RÉFÉRENCES

Aschan-Leygonie, C. (2004). *Résilience*. Hypergeo. Consulté le 12 avril 2009, tiré de <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article81#>.

Association canadienne de normalisation [CSA]. (2008). *Programmes de gestion des mesures d'urgence et de continuité des activités*. Conseil canadien des normes, Association canadienne de normalisation, CAN-CSA Z1600-08.

Australia Strategic Policy Institute [ASPI]. (2008). *Strategic Insights 39 - Taking a punch : Building a more resilient Australia*. Canberra : Australia Strategic Policy Institute. Consulté le 25 février 2009, tiré de http://www.aspi.org.au/publications/publication_details.aspx?ContentID=165.

Bell Canada. (2009). *Résilience pour entreprises*. Bell Canada. Consulté le 30 avril 2009, tiré de http://www.bell.ca/entreprise/EntSol_EntResiliency.page.

Berdin, C., & Prioul, C. (2007). Relation résilience – tenacité [Version électronique]. *Techniques de l'ingénieur*, M4168.

Bloom, B. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives*. Boston : Allyn and Bacon.

Cyrulnik, B. (1998). *Ces enfants qui tiennent le coup* (pp. 13-16). Paris : Hommes et perspectives.

Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, Vol. 18, No. 4, pp. 598-606.

Da Cunha, A., & Ruegg, J. (2003). *Développement durable et aménagement du territoire*. Lausanne : PPUR Presses polytechniques.

De Calan, R. (2007). *Modélisation des interdépendances pour identifier et anticiper les effets domino*. M.Sc.A publié. École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

Gaffiot, F. (1934). *Dictionnaire latin-français Gaffiot* (pp. 1351). Paris : Hachette.

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 inédit. École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 4, pp. 1-24.

Horne, J. F. (1997). *The coming age of organizational resilience*. Bnet. Consulté le 17 avril 2009, tiré de http://findarticles.com/p/articles/mi_hb3355/is_n2-3_v22/ai_n28698221/.

Khayate, W. (2008). *Étude de la vulnérabilité d'une organisation en continuité des opérations*. M.Sc.A publié. École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

Lemay, M. (2000). Qu'est-ce que la résilience ? *Équilibre en tête*, 14(4). Consulté le 18 avril 2009, tiré de <http://www.acsm-ca.qc.ca/virage/dossiers/la-resilience.html>.

Le Robert (2009). *Le nouveau Petit Robert de la langue française 2010*. Paris : Dictionnaires Le Robert.

London Resilience Team. (2008). *London Strategic Emergency Plan*. London Resilience Team. Consulté le 25 avril 2009, tiré de <http://www.londonprepared.gov.uk/londonplans/>.

McManus, S., Seville, E., Vargo, J., & Brunsdon, D. (2007). *Resilience management – A framework for Assessing and improving the Resilience of Organisations*. Resilient Organisations Research Report 2007/01. Consulté le 1 mai 2009, tiré de <http://www.resorgs.org.nz/pubs.shtml>.

McManus, S., Seville, E., Vargo, J., & Brunsdon, D. (2008). Facilitated Process for Improving Organizational Resilience. *Natural Hazards Review*, Vol. 9, No. 2, pp. 81-90.

Madni, A. M. (2007). Designing for Resilience. *ISTI Lectures Notes on Advanced Topics in Systems Engineering*.

Madni, A. M., & Jackson, S. (2009). Towards a conceptual Framework for Resilience Engineering. *IEEE Systems Journal*, Vol. 3, No. 2, pp. 181-191.

Mangham, C., McGrath, P., Reid, G., & Stewart, M. (1995). *Resiliency in communities project*. Atlantic Health Promotion Research Centre. Consulté le 23 mai 2009, tiré de <http://www.ahprc.dal.ca/Resiliency.html>.

Ministère de la Sécurité Publique du Québec [MSP]. (2007). *Loi sur la sécurité civile. Article 61*. MSP, Loi sur la sécurité civile, L.R.Q., c. S-23. Consulté le 5 juillet 2009, tiré de http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile.asp?txtSection=loi&txtNomAutreFichier=loi_regl_secivile.htm.

Ministère de la Sécurité Publique du Québec [MSP]. (2008a). *Approches et principes en sécurité civile*. Québec, Canada : Ministère de la Sécurité Publique. Consulté le 16 juin 2009, tiré de
http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile.asp?txtSection=publications&txtCategorie=approche_principes.

Ministère de la Sécurité Publique du Québec [MSP]. (2008b). *Concepts de base en sécurité civile*. Québec, Canada : Ministère de la Sécurité Publique. Consulté le 16 juin 2009, tiré de
http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile.asp?txtSection=publications&txtCategorie=concepts_base.

Ministère de la Sécurité Publique du Québec [MSP]. (2009a). Démarche de planification gouvernementale : La résilience des systèmes essentiels au Québec. *Résilience*, 4(1), 4-5. Consulté le 3 juin 2009, tiré de
http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile.asp?txtSection=publications&txtCategorie=resilience&txtSousCategorie=hiver_printemps_2009.

Ministère de la Sécurité Publique du Québec [MSP]. (2009b). Colloque provincial sur la sécurité civile. *Démarche gouvernementale de résilience des systèmes essentiels au Québec*. Ste-Hyacinthe, Canada : Ministère de la Sécurité Publique. Consulté le 14 juillet 2009, tiré de
http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile.asp?txtSection=colloques&txtCategorie=2009&txtSousCategorie=presentation_resumes&txtNomAutreFichier=p_demarche_gouvernementale_resilience_services_essentiels.htm.

Najjar, W., & Gaudiot, J. (1990). Network resilience : A measure of fault tolerance. *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 39, No. 2, pp. 174-181.

Nations Unies. (2005). *Rapport de la Conférence mondiale sur la prévention des catastrophes*. Conférence mondiale sur la prévention des catastrophes. Kobe (Hyogo, Japon), 18-22 janvier 2005.

Ordre des Ingénieurs du Québec. (2008). *Formation intensive - Gestion des risques pour ingénieurs et autres spécialistes*. Sherbrooke : édition de l'université de Sherbrooke.

Organisation de la Sécurité Civile du Québec [OSCQ]. (2008). *Exercice Domino : résilience des systèmes essentiels. Atelier de travail de l'Organisation de la Sécurité Civile du Québec*, 13 novembre 2008, Québec, Canada.

Organisation internationale de normalisation [ISO]. (2007) *Sécurité sociétale – Lignes directrices pour être préparé à un incident et gestion de continuité opérationnelle*, ISO/PAS 22399:2007.

Organisation internationale de normalisation [ISO]. (2008a). *Systèmes de management de la qualité – Exigences*, ISO 9001:2008.

Organisation internationale de normalisation [ISO]. (2008b). *Technologies de l'information – Techniques de sécurité – Lignes directrices pour les services de secours en cas de catastrophe dans les technologies de l'information et des communications*, ISO/CEI 24762:2008.

Pairat, J. Y. (2009). *Méthodologie d'évaluation de la résilience*. M.Sc.A inédit. École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

Petit, F. (2009). *Concepts d'analyse de la vulnérabilité des infrastructures essentielles – Prise en compte de la cybernétique*. Ph.D. inédit. École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

Prégent, R. (1950). *La préparation d'un cours*. Montréal : Editions de l'Ecole polytechnique de Montréal.

Robert, R., 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., Morabito, L., & De Calan, R. (2008a). Modelling interdependencies among critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 4, No. 4, pp. 392-408.

Robert, B., & Morabito, L. (2008b). *Modelling of Critical Infrastructure (CI) Interdependencies*. Présentation Centre risque & performance au US Department of Homeland Security, Washington, 6 août 2008.

Robert, B. (2008c). *Systèmes essentiels, interdépendances et résilience*. Présentation lors de l'exercice gouvernemental Domino, 13 novembre 2008, Québec, Canada.

Robert, B., & Morabito, L. (2009a). *Réduction de la vulnérabilité des infrastructures essentielles face à leurs interdépendances : Guide méthodologique*. Paris : Éditions Tec & Doc, collection Sciences du risque et du danger, Lavoisier, 62 pages.

Robert, B., & Morabito, L. (2009b). *Dependency on Electricity and Telecommunications*. Article accepté pour publication.

Sécurité publique et Protection civile Canada [SPC]. (2007). *Un cadre de sécurité civile pour le Canada*. Ottawa, Canada : Sécurité publique et Protection civile Canada.

Consulté le 13 mai 2009, tiré de <http://www.securitepublique.gc.ca/prg/em/emfirmwrk-fra.aspx>.

Sécurité publique et Protection civile Canada [SPC]. (2008). *Aller de l'avant avec la Stratégie nationale sur les infrastructures essentielles*. Ottawa, Canada : Sécurité publique et Protection civile Canada. Consulté le 20 mai 2009, tiré de <http://www.securitepublique.gc.ca/prg/em/cip/strat-part1-fra.aspx>.

Sheridan, T. B. (2008). Risk, Human Error and System Resilience Fundamentals Ideas. *Humans Factors*, Vol. 50, No. 3, pp. 418-426.

Stockholm Resilience Centre. (2009). Resilience dictionary. Stockholm Resilience Centre. Consulté le 4 avril 2009, tiré de <http://www.stockholmresilience.org/research/whatisresilience/resiliencedictionary.4.aee4a46911a3127427980004355.html>.

Tobin, G. A. (1999). Sustainability and community resilience : the holy grail of hazards planning ? *Global Environmental Change Part B : Environmental hazards*, Vol. 1, No. 1, pp. 13-25.

The Cabinet Office. (2008). The National Security Strategy of the United Kingdom - Security in an interdependent world. London : The Cabinet Office. Consulté le 15 juillet 2009, tiré de http://www.cabinetoffice.gov.uk/reports/national_security_strategy.aspx.

The Reform Institute. (2008). *Building a resilient nation : Enhancing security, Ensuring a strong economy*. Washington : The Reform Institute. Consulté le 23 juin 2009, tiré de <http://www.reforminstitute.org/DetailPublications.aspx?pid=203&cid=3>.

Valikangas, L., & Merlyn, P. (2005). Strategic resilience : staying ahead of a crisis. *Emerald Group Publishing Limited*, Vol. 6, No. 1, pp. 55-58.

Ville de Montréal (2009). *Gestion de l'eau potable*. Portail officiel de la ville de Montréal. Consulté le 9 juillet 2009, tiré de http://www2.ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/eau_potable_fr/gestion.shtm.

Vogus, T., & Sutcliffe, K. (2007). Organizational Resilience : Towards a Theory and Research Agenda. *Systems, Man, and Cybernetics, 2007. ISIC. IEEE International Conference on*, 3418-3422.

ANNEXE A – GLOSSAIRE

Dans ce glossaire, les termes ne sont pas classés par ordre alphabétique, mais par antécédence. C'est-à-dire que chacun des termes est défini grâce aux termes précédents ou figurants dans la même famille. Ce glossaire suit en effet le cheminement logique de la pensée et regroupe les termes par « famille » représentant les principaux liens existant entre les définitions.

A.1. Le système et ses sous-ensembles

Système : Ensemble coordonné d'éléments matériels ou immatériels et d'éléments de gestion et de contrôle organisés selon des objectifs communs et fixés.

Élément : entité élémentaire constitutive d'un système.

Ensemble fonctionnel : Ensemble d'éléments ayant un rôle commun dans la fourniture d'une même ressource

Rôle : fonction particulière de la fourniture d'une ressource attribuée à un ensemble fonctionnel.

A.2. Les ressources

Ressource : Matière, substance, bien, objet, infrastructure matérielle ou immatérielle, service ou moyen mis à la disposition d'un système pour fonctionner.

Pour un système donné, on distingue 2 types de ressources :

- les ressources fournies par le système à d'autres systèmes, aussi appelées **extrants**;
- et les ressources utilisées par le système, aussi appelées **intrants**.

Parmi les intrants, on peut encore distinguer les **intrants externes** (fournis au système étudié par des systèmes externes) et les **intrants internes** (fournis au système étudié par ses propres éléments).

Un point particulier de cette définition doit être souligné : les « services » sont inclus dans les ressources. Aucune différence n'est faite entre les ressources matérielles telles que les biens de consommation et les services, ressources immatérielles, tels que l'octroi d'aide financière ou une assistance téléphonique.

A.3. Défaillance et dégradation

Défaillance : État dans lequel un système ne peut plus remplir complètement ses objectifs.

Dégradation : Condition dans laquelle une ressource ne satisfait plus ses caractéristiques optimales.

La différence majeure entre « défaillance » et « dégradation » réside dans leur utilisation. « Défaillance » s'applique à un système ou à l'un de ses sous-ensembles, tandis que « dégradation » s'applique à une ressource.

Par abus de langage, on définit par « états de défaillance » tous les états dans lesquels peut se trouver un système et ses sous-ensembles.

De même, on définit par « états de dégradation » tous les états dans lesquels peut se trouver une ressource, dont son état optimal.

A.4. La résilience

Résilience : Aptitude d'un système à maintenir ou rétablir un niveau de fonctionnement acceptable malgré des défaillances.

A.5. Le risque et ses composantes

Risque : le risque correspond à l'évaluation de la vulnérabilité d'un système, évolutive dans le temps, face à des aléas susceptibles d'engendrer des conséquences.

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

Aléa : événement, naturel ou anthropique (interne et externe) susceptible de survenir.

Conséquence : Effet de la perturbation ou de la défaillance d'un système sur un utilisateur.

Le risque peut donc être schématisé par le schéma suivant :

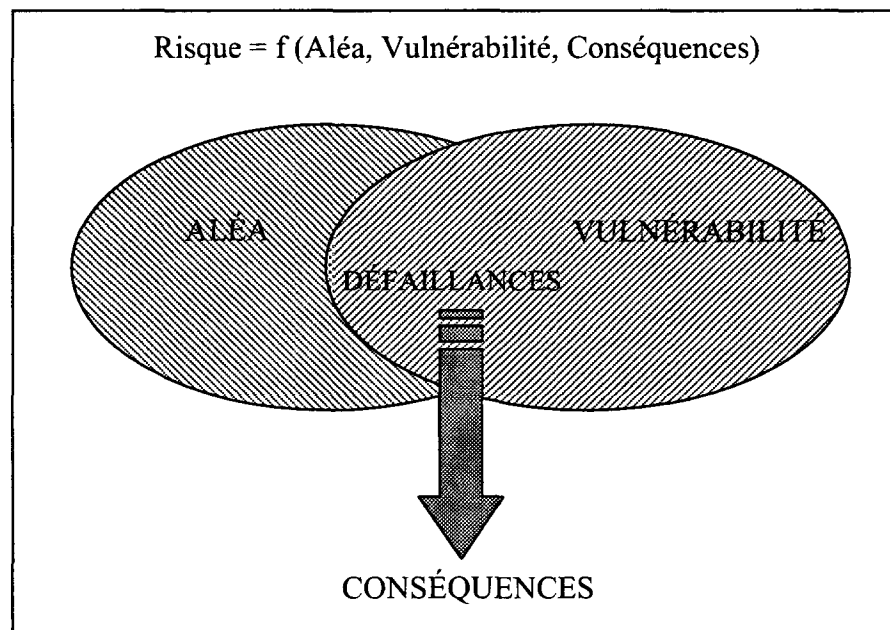


Figure A.1 – Définition du risque (Robert & Morabito, 2009a)

A.6. Autres termes

Acceptabilité : Niveau de tolérance à certaines conséquences. L'acceptabilité est évaluée en termes de conséquences d'une perturbation ou d'une défaillance d'un système sur un ou plusieurs de ses utilisateurs.

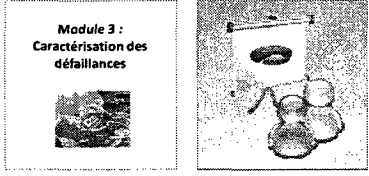
Interdépendance : Lien de dépendance multidirectionnel entre deux ou plusieurs systèmes en interaction.

ANNEXE B – MODULES DE FORMATION SUR LA RÉSILIENCE

En raison du nombre important d'acétates, seul le module 3 intitulé « Caractérisation des défaillances » est présenté ici.

Annuaire des concepts théoriques de la résilience d'un système

Module 3 : Caractérisation des défaillances



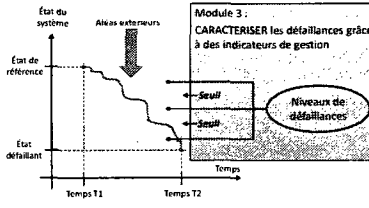
Centre risque et performance – William Pinel – 2009

Objectifs du module 3

- Manipuler les paramètres de la caractérisation des défaillances
 - Différencier les critères de caractérisation des défaillances
 - Expliquer les niveaux de défaillance d'un système
 - Définir des seuils de défaillance
- Exercice d'application pour l'aléa « panne d'électricité ».
- PLAN DE LA PRÉSENTATION:**
 1. Critères de caractérisation
 2. États de défaillance du système
 3. Modes de gestion du système
 4. Niveaux de défaillance
 5. Seuils de défaillance
 6. Représentation de la résilience
 7. Niveau de raffinement
 8. Exemples

Introduction

Rappel Module 2 : ACCEPTER les défaillances : → Qualifier les défaillances



Module 3 : CARACTERISER les défaillances grâce à des indicateurs de gestion

1. Critères de caractérisation

- Face à des aléas, les extrants d'un système sont plus ou moins dégradés : le système est donc plus ou moins défaillant.
- Il convient donc de définir plusieurs niveaux de défaillance d'un système.
- La caractérisation des niveaux de défaillances peut se faire selon 3 critères :

L'état de l'intrant	L'état des EF	L'état de l'extrant
Quel est l'état de dégradation de la ressource intrant ?	Quel est l'état de dégradation des EF du système ?	Quel est l'état de dégradation de la ressource extrant ?

1. Critères de caractérisation

L'état de l'intrant	L'état des EF	L'état de l'extrant
Quel est l'état de dégradation de la ressource intrant ?	Quel est l'état de dégradation des EF du système ?	Quel est l'état de dégradation de la ressource extrant ?

↓

- Hypothèse 1 :** Dès lors qu'une ressource ne respecte plus ses caractéristiques requises (ressource dégradée), elle est considérée comme inutilisable et donc indisponible.
- Il n'y a donc que deux états de dégradations considérés pour l'intrant : disponible OU indisponible.

1. Critères de caractérisation

L'état de l'intrant	L'état des EF	L'état de l'extrant
Quel est l'état de dégradation de la ressource intrant ?	Quel est l'état de dégradation des EF du système ?	Quel est l'état de dégradation de la ressource extrant ?

↓

- Hypothèse 2 :** Si un ensemble fonctionnel (EF) fournit correctement son extrant, il est non défaillant. S'il ne fournit pas correctement son extrant, il est défaillant. L'état de l'ensemble fonctionnel (EF) est donc binaire.
- Il n'y a donc que deux états de défaillance considérés pour les ensembles fonctionnel : normal OU défaillant.

1. Critères de caractérisation

L'état de l'intrant	L'état des EF	L'état de l'extrant
Quel est l'état de dégradation de la ressource intrant ?	Quel est l'état de dégradation des EF du système ?	Quel est l'état de dégradation de la ressource extrant ?

↓

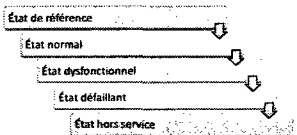
- Hypothèse 1 :** Dès lors qu'une ressource ne respecte plus ses caractéristiques requises (ressource dégradée), elle est considérée comme inutilisable et donc indisponible.
- Il n'y a donc que deux états de dégradations considérés pour l'extrant : disponible OU indisponible.
- D'après l'hypothèse 1 : Extrant dégradé ou indisponible ⇒ mission du système non remplie ⇒ système défaillant

1. Critères de caractérisation

L'état de l'intrant	L'état des EF	L'état de l'extrant
Quel est l'état de dégradation de la ressource intrant ?	Quel est l'état de dégradation des EF du système ?	Quel est l'état de dégradation de la ressource extrant ?

↓

- Ces critères permettent de décomposer l'état du système en 5 niveaux :



2. États de défaillance du système

- **État de référence** : état théorique du système pour lequel il a été conçu ;
- **État normal** : le système remplit sa mission de fourniture de l'extrant en utilisant correctement les intrants ;
- **État dysfonctionnel** : un des intrants est indisponible ou un des EF est défaillant mais le système continue de remplir sa mission (fourniture correcte de l'extrant) grâce à des actions mises en place ;
- **État défaillant** : malgré les actions mises en place, le système ne remplit plus sa mission de fourniture de l'extrant ;
- **État hors service** : le système est arrêté.

3. Modes de gestion du système

Face à ces différents états possibles, le système réagit de manière différente en adoptant un type de gestion en adéquation avec chacun des états. Ainsi, pour chaque état de défaillance du système, il est possible de définir un mode de gestion spécifique du système. Les différents modes de gestion considérés dans notre étude sont :

- **la gestion courante** : gestion du système au quotidien lorsque celui-ci fonctionne dans un état normal ;
- **la gestion particulière** : dès lors que le système entre dans un état de *dysfonctionnement* et que l'on doit mettre en place des actions non déployées ordinairement, on entre dans de la gestion particulière ;
- **la gestion d'urgence** : gestion du système lorsque celui-ci est dans un état défaillant et que les actions correctives déployées dans la gestion particulière ne sont plus efficaces. Dans ce cas, le système mettra en place des mesures d'urgences pour tenter de se rétablir.

4. Niveaux de défaillance

Les cas possibles de défaillance du système peuvent donc être schématisés comme suit :

-  **Cas #1**: signifie que les intrants et les extrants sont disponibles, et que les EF fonctionnent normalement.
-  **Cas #2**: signifie que les intrants sont disponibles, que un ou plusieurs EF sont défaillants mais que le système globale arrive à fournir les extrants (par exemple, grâce à des stocks).
-  **Cas #3**: signifie que les intrants sont indisponibles mais que les EF arrivent à fonctionner normalement (par exemple, grâce à des stocks). Les extrants sont donc fournis.
-  **Cas #4**: idem au cas n°2 sauf que le système ne fournit plus les extrants.
-  **Cas #5**: idem au cas n°3 sauf que le système ne fournit plus les extrants.

4. Niveaux de défaillance

- A partir des définitions de :
 - la dégradation de l'intrant
 - la défaillance des ensembles fonctionnels (EF)
 - la dégradation de l'extrant
 - le mode de gestion,

on peut représenter des niveaux de défaillances d'un système selon les 5 cas proposés afin de traduire l'état de défaillance du système.

Voici un exemple : ...

4. Niveaux de défaillance

	État de l'intrant	État des EF	État de l'extrant	État du système	Mode de gestion associé
	Disponible	Normal	Disponible	Normal	Gestion courante
 ou 	Disponible	Défaillant	Disponible	Dysfonctionnel	Gestion particulière
 ou 	Indisponible	Normal	Disponible	Dysfonctionnel	Gestion particulière
 ou 	Disponible	Défaillant	Indisponible	Dysfonctionnel	Gestion d'urgence
 ou 	Indisponible	Normal	Indisponible	Dysfonctionnel	Gestion d'urgence

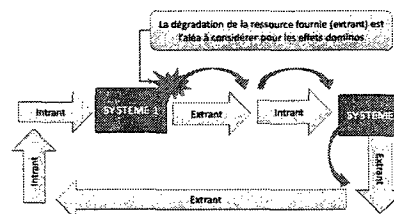
4. Niveaux de défaillance

Intégration des conséquences dans les niveaux de défaillances:

- Dans une approche client/fournisseur, chaque système fournit un extrant pour un utilisateur client, qui lui-même va l'utiliser pour fournir un autre extrant. Ces interdépendances entre systèmes doivent donc être prises en compte pour :
 - mieux comprendre l'environnement dans lequel opère le système ;
 - connaître la provenance de la dégradation d'un intrant ;
 - avertir ses utilisateurs clients lorsque l'extrant est dégradé ou indisponible.

4. Niveaux de défaillance

Interdépendance : Lien de dépendance multidirectionnel entre deux ou plusieurs systèmes en interaction



4. Niveaux de défaillance

Si on considère les interdépendances fonctionnelles entre les systèmes, alors il devient donc utile d'intégrer les conséquences dans les niveaux de défaillance.

- Lorsque l'extrant est disponible, il n'y a aucune conséquence sur les utilisateurs.
- Lorsque l'extrant est indisponible, des conséquences sur les utilisateurs de l'extrant indisponible sont générées.
Niveaux de conséquences :
 - Conséquences faibles
 - Conséquences moyennes
 - Conséquences élevées

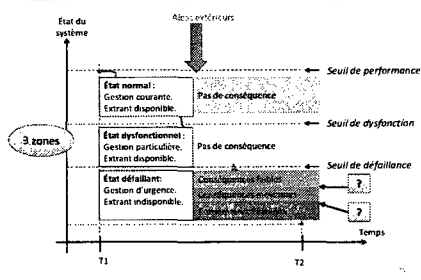
4. Niveaux de défaillance

	État de l'extrant	État des EF	État de l'extrant	Conséquences sur les utilisateurs	État du système
	Disponible	Normal	Disponible	Aucune	Normal
	Disponible	Défaillant	Disponible	Aucune	Dysfonctionnel
	Indisponible	Normal	Disponible	Aucune	Dysfonctionnel
	Disponible	Défaillant	Indisponible	Faibles	Défaillant
	Indisponible	Normal	Indisponible	Moyennes	Défaillant
	Indisponible	Normal	Indisponible	Élevées	Défaillant

5. Seuils de défaillance

- Une fois les niveaux de défaillances établis, il est nécessaire d'établir des seuils qui serviront d'indicateurs afin d'anticiper les changements d'états.
- Définition : Seuil = « Limite marquant un passage vers un autre état, entrée dans une situation nouvelle » (Source : <http://www.certr.fr/definitions/seuil>)
- Un seuil est un repère entre deux niveaux de défaillance qui permet de :
 - connaître l'état du système ;
 - déployer les actions adéquates afin de prévenir le passage dans un état de défaillance supérieur ;
 - communiquer ce changement d'état aux autres systèmes qui utilisent l'extrant fourni par le système défaillant.
- Les seuils servent donc à ANTICIPER les défaillances

5. Seuils de défaillance



5. Seuils de défaillance

Seuils lorsque l'extrant est fourni correctement par le système :

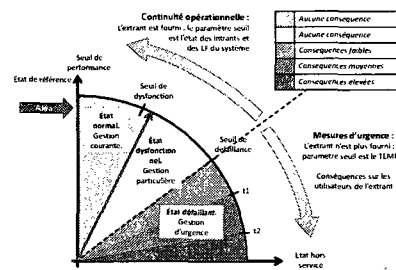
- Seuil de performance** : ce seuil correspond à un niveau d'optimisation du système, à une amélioration de son efficacité ou de son rendement ;
- Seuil de dysfonction** : ce seuil correspond à un niveau où certains ensembles fonctionnels du système sont défaillants, ou où certains intrants sont indisponibles. Cependant, en raison des actions déployées, ces dysfonctionnements ne se répercuteront pas sur la réalisation de la mission du système.
- Seuil de défaillance** : ce seuil correspond au niveau à partir duquel les défaillances des EF et/ou l'indisponibilité des intrants vont engendrer la non-réalisation de la mission du système, malgré les actions correctives précédemment mises en place.

5. Seuils de défaillance

Lorsque l'extrant n'est plus fourni par le système :

- Les seuils ne traduisent plus l'état de la mission du système (l'extrant est indisponible).
- A ce moment là, le paramètre seuil entre les différents états de défaillance peut être par exemple le **facteur TEMPS** :
 - En effet, lorsque l'extrant est indisponible, c'est souvent le **facteur TEMPS** qui fait passer le système dans un état de conséquences acceptables, à un état de conséquences tolérables voire inacceptables.
 - Nous pourrions par exemple définir encore plus de niveaux de défaillances du système si l'on souhaite affiner les conséquences sur les utilisateurs. Mais n'oublions pas que chacun des niveaux doit avoir une signification en termes d'actions à prendre pour le système.

6. Représentation de la résilience



7. Niveau de raffinement

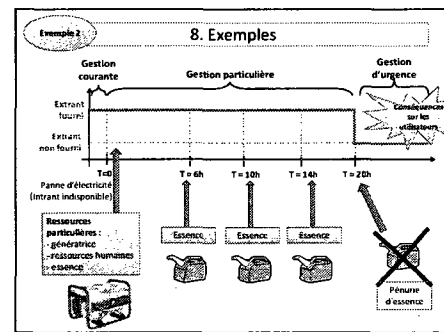
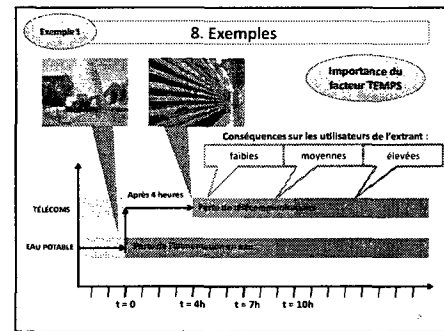
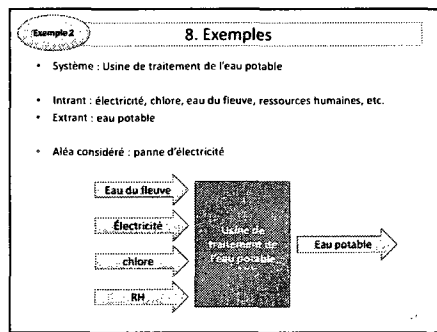
- Chacun des niveaux définis précédemment (niveaux de gestion ou de conséquences) pourrait être dissocié en plusieurs autres niveaux. En effet, en fonction de l'utilisation voulue des outils, un gestionnaire pourrait par exemple décider de dissocier le niveau de gestion particulière en deux niveaux, ou bien définir encore plus de niveaux de conséquences.
- Le choix des niveaux fait dans ce module a pour but d'illustrer le concept de résilience et non de donner une solution unique.

8. Exemples

- Exemple 1 : Système : Serveurs téléphoniques de télécommunications**
 - Intrant : électricité, eau (pour le refroidissement)
 - Extrant : service de téléphone
- Niveaux de défaillances du système face à l'indisponibilité de l'intrant « eau » :
 - : dans ce cas-là, la dégradation de cette ressource est l'aide à considérer.

Exemple 1 **8. Exemples**

	État de l'extrant	Conséquences sur les utilisateurs	Mode de gestion associé	État du système
Un fil journal de manoirs géré par la Ville de Montréal, et est suffisant pour répondre des services téléphoniques	Disponible	Aucun	Gestion courante	Normal
Scénario 1 Coupe d'eau à 3h				
Les abonnés chauffent mais peuvent continuer à assurer la fourniture du service d'urgence	Disponible	Aucun	Gestion particulière	Dysfonctionnement
Scénario 2 ~ 4 heures				
Les abonnés demandent des services de secours de chauffage d'appoint	Indisponible	Faibles	Gestion d'urgence	Critique
Scénario 3 ~ 7 heures				
Le service de téléphonie est interrompu temporairement plus de 3 heures consécutives	Indisponible	Moyennes	Gestion d'urgence	Critique
Scénario 4 ~ 10 heures				
Le service de téléphonie est interrompu temporairement plus de 6 heures consécutives	Indisponible	Élevées	Gestion d'urgence	Critique



ANNEXE C – COURS POLYTECHNIQUE – EXPOSÉ MAGISTRAL

IND6126 – Automne 2008
Évaluation de la résilience d'un système

IND6126 – Cours Résilience Page 1 Aut. 2007

Objectifs du cours

- Comprendre les définitions de système, ressource, interdépendance
- Comprendre le concept théorique de résilience d'un système
- Comprendre la démarche de résilience dans une organisation
- Savoir appliquer la méthode d'évaluation de la résilience d'un système

IND6126 – Cours Résilience Page 2 Aut. 2007

Résilience d'un système

- La résilience est un concept largement utilisé dans des domaines tels que:

Psychologie
Mécanique
Écologie
Informatique
Finance

IND6126 – Cours Résilience Page 3 Aut. 2007

Définitions des concepts

IND6126 – Cours Résilience Page 4 Aut. 2007

Définition d'un système (1/2)

- Système** : Ensemble coordonné d'éléments matériels ou immatériels et d'éléments de gestion et de contrôle organisés selon des objectifs communs et fixés. Certains de ces éléments sont qualifiés de fonctions critiques en regard des conséquences directes sur l'atteinte de ces objectifs.

Source : Ministère de la Sécurité Publique du Québec, 2008

IND6126 – Cours Résilience Page 5 Aut. 2007

Définition d'un système (2/2)

- Les items suivants peuvent-ils être considérés comme un système ?

	Oui	Non	Ça dépend
Le gouvernement du Québec			
Un bâtiment			
Processus administratif d'une entreprise			
Centre de contrôle d'un réseau			
Une ville			
Un bulletin météorologique			
Une chaîne de distribution alimentaire			
Un consulat			
Un centre hospitalier			
La monnaie			
Secteur énergie			

IND6126 – Cours Résilience Page 6 Aut. 2007

Définition d'une ressource (1/2)

- Ressource** : une matière, une substance, un bien, un objet, une infrastructure, matérielle ou immatérielle, un service ou un moyen mis à la disposition d'un système pour fonctionner.

Dans le cadre d'une entreprise ou d'une organisation, les ressources sont généralement classées en quatre (4) catégories : les ressources humaines (cadres et employés), les ressources matérielles (matières premières, équipements, outils, bâtiments), les ressources informationnelles (information et technologies de l'information) et les ressources financières (budget, liquidité, capital action).

Source : Ministère de la Sécurité Publique du Québec, 2008

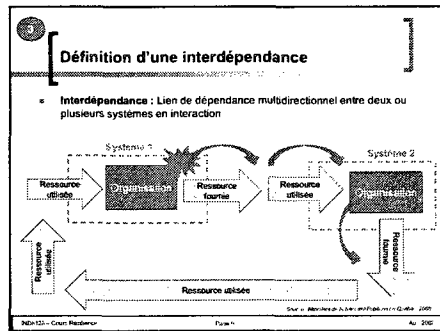
IND6126 – Cours Résilience Page 7 Aut. 2007

Définition d'une ressource (2/2)

- Les items suivants peuvent-ils être considérés comme une ressource ?

	Oui	Non	Ça dépend
Un employé			
Un bâtiment			
Un budget			
Une matière première			
Un fournisseur			
Une assurance			
Un client			
Une application informatique			

IND6126 – Cours Résilience Page 8 Aut. 2007



Conséquences sur la population

- Conséquence : Effet de la défaillance d'un système sur un utilisateur.

Source : Ministère de la Sécurité Publique du Québec, 2005

NDR132 - Cours Résilience Page 10 Août 2021

Définition de la résilience d'un système

NDR131 - Cours Résilience Page 11 Août 2021

Résilience : Jean de la Fontaine

La chèvre et le Roseau

La chèvre se prit de la Roseau
 "Tu es d'acier, dit-elle à la Roseau :
 Un Roseau pour résister à un vent si fort, si rude,
 Le roseau se voit, dit-il à la chèvre,
 Pour rien se briser."
 Mais le vent se leva si fort, si rude,
 Que le Roseau se brisa, et la chèvre se prit à rire.
 "Tu es d'acier, dit-elle à la Roseau :
 Un Roseau pour résister à un vent si fort, si rude,
 Le roseau se voit, dit-il à la chèvre,
 Pour rien se briser."
 Mais le vent se leva si fort, si rude,
 Que le Roseau se brisa, et la chèvre se prit à rire.

Jean de la Fontaine, Les Fables, Livre 1

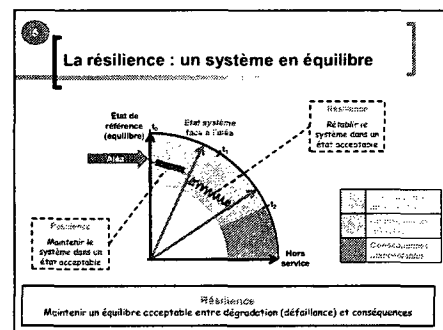
→ Différence entre Résilience et Robustesse.

NDR134 - Cours Résilience Page 12 Août 2021

Résilience d'un système: définition

RESILIENCE =
 Aptitude d'un système à maintenir ou à rétablir un niveau de fonctionnement acceptable malgré des défaillances.

NDR135 - Cours Résilience Page 11 Août 2021



Résilience d'un système: définition

Être résilient c'est :

- Continuer à fonctionner en mode dégradé
- Gérer les conséquences en interne et en externe
- Rétablir un mode optimal de fonctionnement rapidement (Notion de TEMPS)

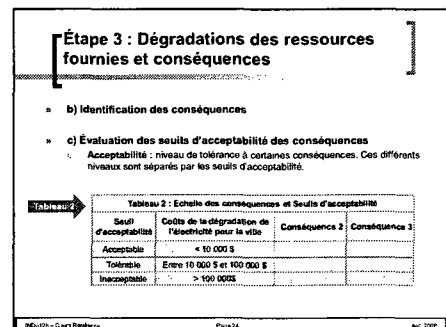
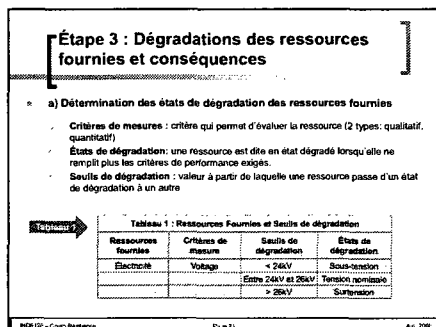
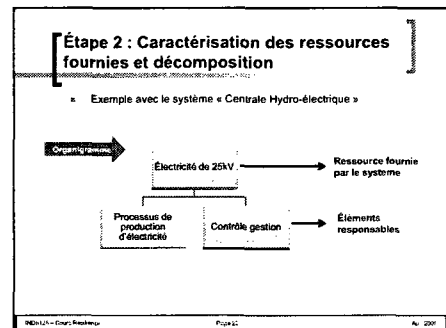
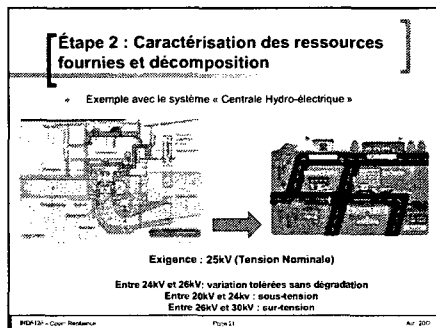
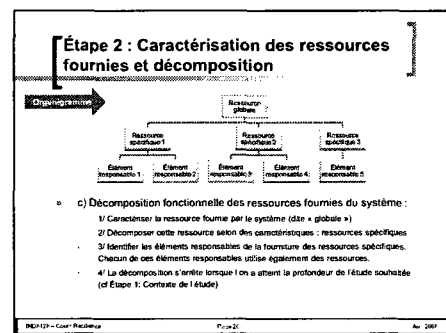
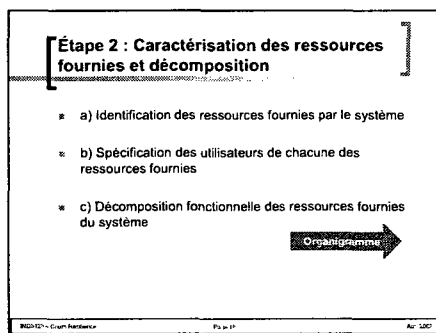
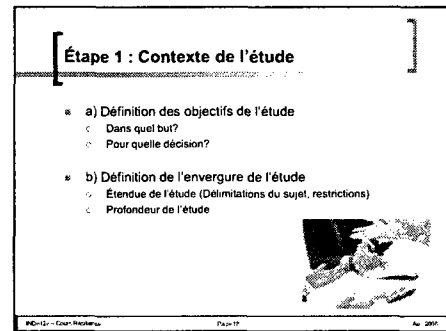
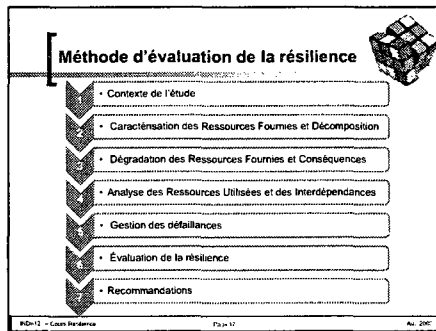
→ Il s'agit donc d'un processus continu !

NDR137 - Cours Résilience Page 13 Août 2021

Résilience d'un système: définition

- Plus un système connaît ses dépendances vis-à-vis des ressources qu'il utilise, plus il est résilient.
- Plus un système sait réagir rapidement à la défaillance d'une ressource utilisée, plus il est résilient.
- Plus un système gère ses interdépendances internes, plus il est résilient.
- Plus un système est proactif vis-à-vis des conséquences sur la population suite à la dégradation de sa ressource fournie, plus il est résilient.

NDR138 - Cours Résilience Page 14 Août 2021



Étape 3 : Dégradations des ressources fournies et conséquences

- d) Détermination des durées de dégradation acceptable de la ressource fournie
 - Durées de dégradation acceptable de la RF : durée pendant laquelle la RF peut être dégradée avant d'engendrer des conséquences. Ces durées sont définies en fonction des seuils d'acceptabilité.

Tableau 3 : Echelle des durées

Ressource et État	Durées de dégradation	Explication et conséquences
Électricité en sous-tension	< 5min	
	Entre 5 et 30min > 30min	
Électricité en surtension	< 5min	
	Entre 5 et 30min > 30min	

IND-127 - Court Rendu
Page 25
Avr. 2007

Étape 3 : Dégradations des ressources fournies et conséquences

- e) Tableau des conséquences : synthèse

Tableau 4 : Récapitulatif des conséquences

Ressource fournie	État de la ressource	Durées de dégradation	Conséquences
Électricité	Sous tension	< 5min	Acceptable
		Entre 5 et 30min	Tolérable
	Tension normale	> 30min	Inacceptable
		n/a	Pas de conséquence
Gaz tension	< 5min	Tolérable	
		Inacceptable	
	Entre 5 et 30min	Inacceptable	
		> 30min	Inacceptable

IND-127 - Court Rendu
Page 26
Avr. 2007

Étape 4 : Analyse des Ressources Utilisées et des Interdépendances

- a) Identification des Ressources Utilisées par les entités responsables
 - Élément responsable : plus petit élément de la décomposition fonctionnelle définie dans l'englobement de l'étude.

Tableau 5 : Ressources Utilisées

Éléments responsables	Ressources utilisées	
	externes	internes
Processus de production de l'électricité		
Contrôle gestion		

IND-127 - Court Rendu
Page 27
Avr. 2007

Étape 4 : Analyse des Ressources Utilisées et des Interdépendances

- b) Identification des interdépendances externes et délais d'affectation de la ressource fournie
 - Élément critique : Élément affecté par l'indisponibilité de la RU ayant le délai d'affectation le plus court.
 - Délai d'affectation : Délai entre le début de la défaillance d'un élément et la dégradation de la RF.

Tableau 6 : Interdépendances externes et délais d'affectation

Éléments responsables	Ressources fournies	Ressources utilisées	Élément critique	Délai d'affectation RF
Processus de production de l'électricité	Électricité	Mesure du niveau d'eau	Poste de contrôle	T1
Contrôle gestion				

IND-127 - Court Rendu
Page 28
Avr. 2007

Étape 5 : Gestion des défaillances

- a) Mesures de sécurité existantes et ressources alternatives utilisées
 - Durées d'utilisation des ressources alternatives
- Défaillance associée : Défaillance d'un élément ou indisponibilité d'une RU.
- Ressource alternative : Ressource utilisée par le système pour fournir ses RF en cas de défaillance. Les ressources alternatives ne sont pas utilisées en gestion courante.

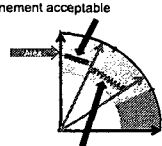
Tableau 7 : Gestion des défaillances

Ressources alternatives	Défaillance associée	Durées d'utilisation des ressources alternatives
Mesure manuelle	Captur has service	Semaine

IND-127 - Court Rendu
Page 29
Avr. 2007

Étape 6 : Évaluation de la résilience

- a) Analyse de l'aptitude de l'usine à maintenir un fonctionnement acceptable



- b) Analyse de l'aptitude de l'usine à rétablir un niveau de fonctionnement acceptable

IND-127 - Court Rendu
Page 30
Avr. 2007

Étape 7 : Recommandations

- Actions prévues

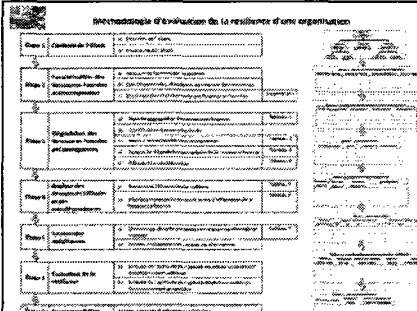


- Mécanismes d'alertes



IND-127 - Court Rendu
Page 31
Avr. 2007

Méthodologie d'évaluation de la résilience d'une organisation



IND-127 - Court Rendu
Page 32
Avr. 2007

ANNEXE D – COURS POLYTECHNIQUE – PROJET DE SESSION

Cours IND6126
Projet de session
Automne 2008

Usine de traitement de l'eau potable
Résilience

Identification de l'équipe :

Nom	Prénom	Matricule

Identification / Décomposition / Res. Fournies / Conséquences / Durées / Rec. conséquences / Res. Utilisées

Figure D.1 – Onglet 1

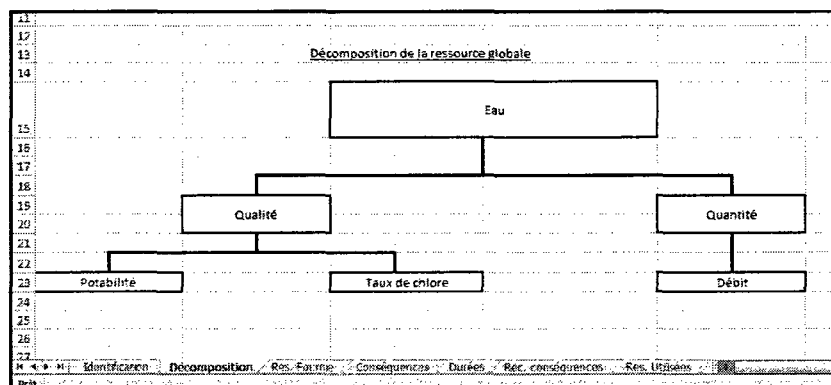


Figure D.2 – Onglet 2

Tableau 1 : Ressources Fournies et Seuils de dégradation

Ressources fournies	Critères de mesure	Seuils de dégradation	États de dégradation
Eau de qualité			
Eau en quantité			

Identification / Décomposition / Res. Fournies / Conséquences / Durées / Rec. conséquences / Res. Utilisées

Figure D.3 – Onglet 3

Figure D.5 – Onglet 5

Tableau 3 : Echelle des durées				
Ressource et État	Durées	Explication et commentaires		
N	Identification	Décomposition	Res. Fournie	Durées Réc. cons.

Tableau 4 : Récapitulatif des conséquences					
Ressource fournie	État de la ressource	Durées de dégradation	Conséquences		
			Conséquences sur la santé dues à la dégradation de l'eau	Conséquences dues à la dégradation de l'approvisionnement	Conséquences sur l'utilisation de l'eau dues à la dégradation de la qualité
Eau					

Identification Décomposition Res. fournie Conséquences Durées Réc. conséquences Res. utilisées

Figure D.6 – Onglet 6

Tableau 5 : Ressources Utilisées							
Eléments responsables	Ressources utilisées externes				Ressources utilisées internes		

Identification Décomposition Res. fournie Conséquences Durées Réc. conséquences Res. utilisées

Figure D.7 – Onglet 7

ANNEXE E – EXERCICE DE L’OSCQ – EXPOSÉ MAGISTRAL



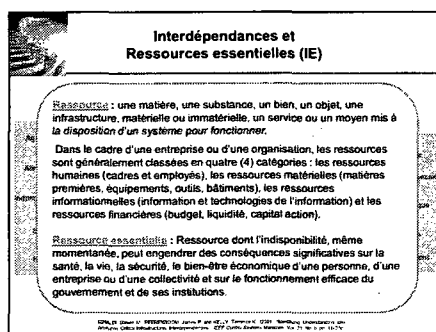
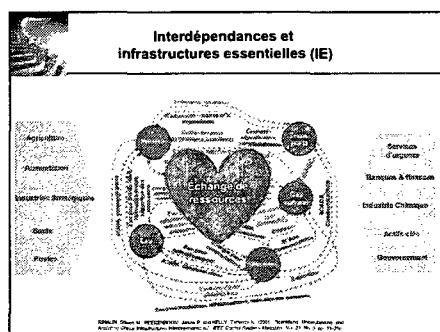
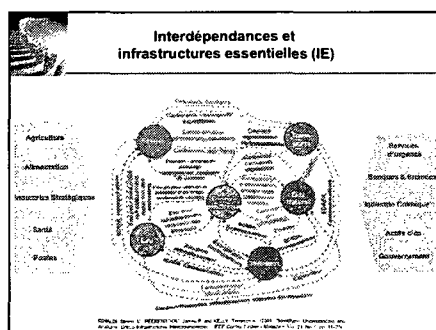
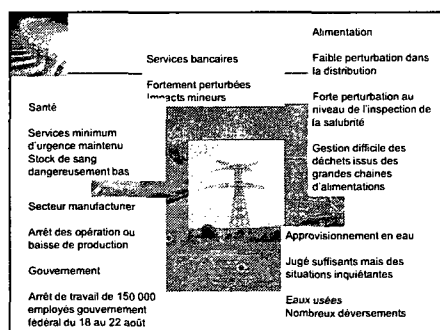
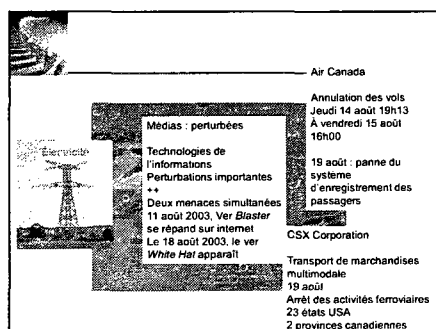
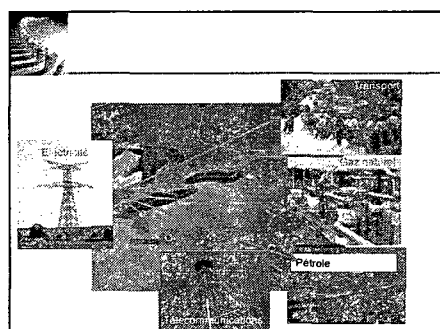
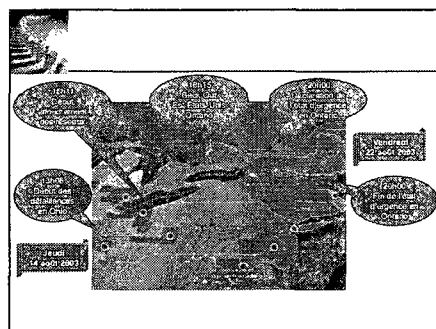
SYSTÈMES ESSENTIELS INTERDÉPENDANCES & RÉSILIENCE

Benoît ROBERT, ing.
Centre risque & performance
 Ecole Polytechnique de Montréal
benoit.robert@polymtl.ca
www.crispolymtl.ca

13 novembre 2008
Exercice DOMINO
 Exercice de l'OSCO - Résilience des systèmes essentiels




UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
 POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL



Interdépendances et Ressources essentielles (IE)

Secteurs de ressources essentielles :
Aux fins de la démarche gouvernementale, les ressources essentielles, fournies par les systèmes essentiels, sont regroupées en douze secteurs. Chacun d'eux est sous la responsabilité d'un ou plusieurs MRO : **Activités gouvernementales** (SCT et CSPQ), **Activités économiques** (MDEIE), **Alimentation** (MAPAQ), **Bâtiment** (SHQ et SIO), **Information et Communications** (Services Québec), **Éau** (MDDEP, CEHQ et MAMR), **Énergie** (MRNF et Hydro Québec), **Secteur financier** (MFQ et AMF), **Santé** (MSSS), **Sécurité** (MSP et SQ), **Télécommunications et technologies de l'information** (CSPQ), **Transport** (MTQ).

À valider avec la dernière version du tableau synoptique....

Système : Ensemble coordonné d'éléments matériels ou immatériels et d'éléments de gestion et de contrôle organisés selon des objectifs communs et fixés. Certains de ces éléments sont qualifiés de fonctions critiques en regard des conséquences directes sur l'atteinte de ces objectifs.

Système essentiel : Système qui a pour objectif de fournir des ressources essentielles. Le caractère essentiel d'un système est établi selon la caractérisation de la nature et de l'ampleur des conséquences générées par l'indisponibilité des ressources qu'il fournit sur les autres systèmes essentiels, les activités socioéconomiques et, en bout de ligne, sur la population.

Les systèmes fournissent, produisent ou réglementent

À valider avec la dernière version du tableau synoptique...

Résilience : un système en équilibre

Résilience : un système en équilibre

Résilience : un système en équilibre

Conséquence : Effet de la perturbation ou de la défaillance d'un système sur un utilisateur.

Défaillance : État dans lequel un système ne peut plus remplir complètement ses objectifs.

Interdépendance : Lien de dépendance multidirectionnel entre deux ou plusieurs systèmes ou individus.

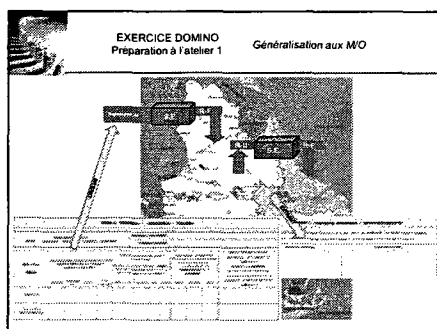
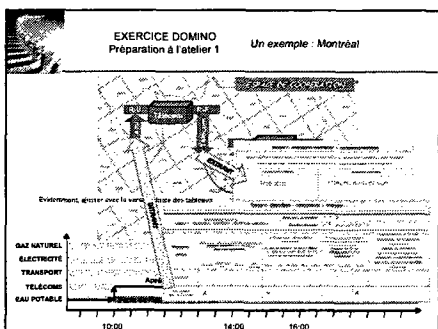
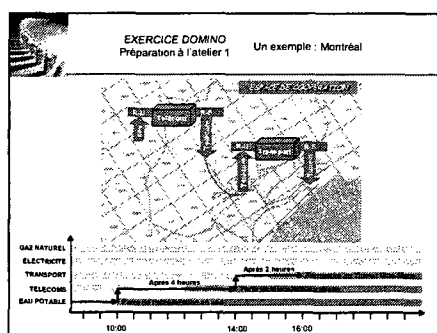
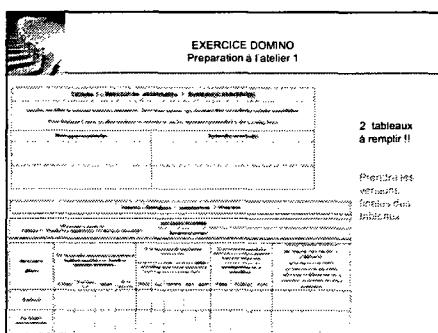
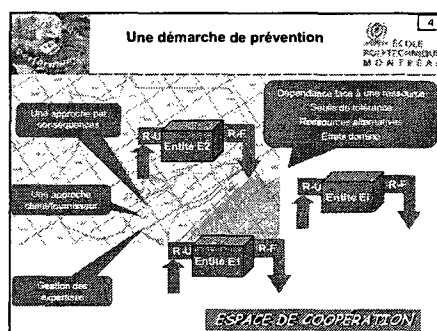
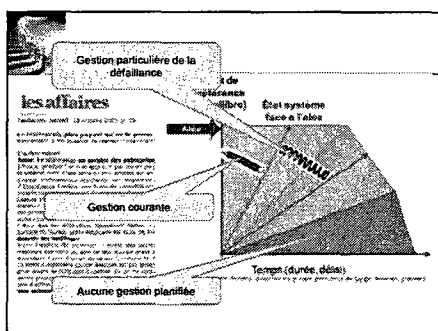
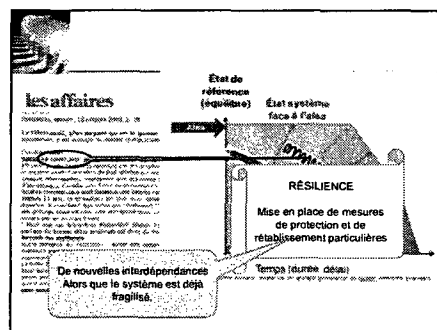
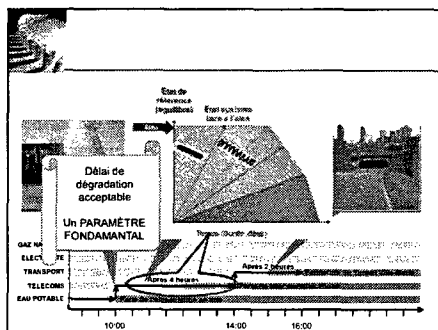
Intervenants ou responsables de services essentiels : Les ministères, les organismes gouvernementaux et parap gouvernementaux, les municipalités, les entreprises privées qui produisent et fournissent des ressources essentielles ainsi que les organismes publics qui les régissent.

Résilience : Attitude d'un système à maintenir ou à rétablir un niveau de fonctionnement acceptable malgré des défaillances.

À valider avec la dernière version du tableau synoptique....

INTERDEPENDANCES

La dégradation d'une ressource essentielle entraîne un effet qui doit être considéré



ANNEXE F – EXERCICE DE L’OSCQ – TABLEAUX ATELIER 1

Tableau F.1 – Tableau 1 de l’exercice de l’OSCQ

Tableau 1 – Ressources essentielles / Système(s) essentiel(s)	
Veuillez identifier et nommer quelques ressources, dans votre secteur, qui devraient être considérées comme essentielles. Pour chacune d'elles, veuillez identifier et nommer le, ou les, système(s) essentiel(s) qui s'y rattachent.	
Ressources essentielles	Système(s) essentiel(s)

Tableau F.2 – Tableau 2 de l'exercice de l'OSCQ

Tableau 2 – Dépendance / conséquences / Protection													
Informations issues du													
Tableau 1 – Ressources essentielles / Système(s) essentiel(s)					Ressource essentielle :								
					Système essentiel :								
Ressource utilisée	Est-ce que cette ressource est utilisée par le système essentiel pour fournir la ressource essentielle ?				Si la ressource utilisée devient indisponible : Au bout de combien de temps (délais), le système essentiel ne pourra plus fournir la ressource essentielle ?					Si la ressource essentielle fournie par le système essentiel n'est plus disponible, comment seront les conséquences sur la population ?			Veuillez identifier et nommer des mesures de protection ou d'atténuation actuelles ou potentielles qui sont mises en place pour réduire les conséquences sur la population ou diminuer les délais d'atténuation
	Souvent	Quelques fois	Jamais	Je ne sais pas	Heure	Jour	Semaine	Mois	autres	Faible	Moyenne	Fort	
Electricité													
Eau potable (eau contaminée)													
Télécommunication (BlackBerry)													
Budget d'investissement													
Transporteurs routiers													

ANNEXE G – EXERCICE DE L'OSCQ – QUESTIONNAIRE POST-EXERCICE

Exercice DOMINO

N° de la table :

Nom de l'animateur:

Nom de l'observateur :

M/O présent(s) et représentant (s)	
---------------------------------------	--

Atelier 1 : Systèmes essentiels et interdépendances	Oui	Non			Commentaires
	1	2	3	4	
1. Le niveau d'intérêt des participants a-t-il été assez suffisant pour faciliter les échanges ?	1	2	3	4	
2. Y a-t-il eu beaucoup d'échanges entre les participants de la table ?	1	2	3	4	
3. Y a-t-il eu des personnes qui n'ont pas participées au débat et au travail ?	1	2	3	4	
4. Les participants ont-ils manifesté le besoin de travailler en commun et/ou de consulter les autres M/O ?	1	2	3	4	
5. Les concepts de ressource, système interdépendance et résilience sont-ils assez compris pour permettre un travail efficace lors de cette journée ?	1	2	3	4	
6. Les participants connaissaient-ils déjà leurs dépendances vis-à-vis des autres M/O ?	1	2	3	4	
7. <i>En se référant aux tableaux 1 et 2 de l'atelier 1 :</i> Les participants ont-ils réussi à répondre à : ... la question 1 (ressources essentielles) ?	1	2	3	4	
8. ...la question 2 (systèmes essentiels) ?	1	2	3	4	
9. ... la question 3 (interdépendance) ?	1	2	3	4	
10. ... la question 4 (délai d'affectation) ?	1	2	3	4	
11. ... la question 5 (conséquences sur la population) ?	1	2	3	4	
12. ... la question 6 (mesures de prévention) ?	1	2	3	4	
13. Y a-t-il eu d'autres problèmes rencontrés lors du déroulement de cet atelier ?					
14. Y a-t-il eu des suggestions ou commentaires faits quant à cet atelier, aux concepts abordés, ou à la démarche gouvernementale ?					

ANNEXE H – OUTIL D'AIDE POUR LE PORTRAIT SECTORIEL

Cet outil d'aide pour dresser le portrait sectoriel s'inscrit dans la démarche gouvernementale visant à accroître la résilience des systèmes essentiels au Québec.

Sécurité publique Québec	
Portrait sectoriel	
Secteur	
M/O présents	
Sommaire des feuilles Excel suivantes :	
"Étape 1" : tableau à remplir par votre secteur	
"Étape 2" : tableau de vos ressources à transmettre aux 11 autres secteurs	
"Étape 3" : tableau à remplir en fonction des tableaux reçus des 11 autres secteurs	
<i>N'hésitez pas à consulter l'aide méthodologique !</i>	
Titre : Étape 1 / Étape 2 / Étape 3 / Aide méthodologique	

Étape 1: Identification des extraits fournis par votre secteur		
Secteur :		
Extraits	Rôles des éléments responsables des extraits	Éléments responsables associés

Ressources		Exemple de rôles dédiés à la fourniture d'une ressource	Exemples de rôles dédiés à l'encadrement / à la gestion d'une ressource
Humaines		Mettre à disposition	Réglementer, Contrôler, Surveiller, Administrer, Coordonner
Matérielles	Matière / Énergie / Substance	Produire, Transformer, Distribuer, Transporter,	
	Bien / Objet	Mettre à disposition	
	Infrastructure		
Financières	Liquidité / Capital / Action / Crédit	Générer, Modifier	
Informationnelles	Données / Informations		
	TIC : Réseaux matériels	Transmettre	
Service	TIC : Réseaux immatériels	Fournir	

RESSOURCE :
Une ressource doit pouvoir être **indisponible**. Et son indisponibilité engendre des conséquences sur la population.

Étape 3 : Identification des ressources utilisées par votre secteur