

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

GESTION DES INTERDÉPENDANCES RELIÉES À L'UTILISATION DES PRODUITS
PÉTROLIERS

CAMILLE LEMESRE

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE INDUSTRIEL)

AOÛT 2013

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

GESTION DES INTERDÉPENDANCES RELIÉES À L'UTILISATION DES PRODUITS
PÉTROLIERS

présenté par : LEMESRE Camille

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

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

M. BASSETTO Samuel, Doct., président

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

Mme ALLOUL Yasmine, ing., M.Ing., membre

DÉDICACE

*« Dites-vous bien que ce que vous ne connaissez pas
est plus grand que ce que vous connaissez. Et ne
cessez jamais d'apprendre. »*

Hervé Desbois

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur Benoît Robert de m'avoir permis d'intégrer le *Centre risque & performance*. Merci pour ses enseignements, ses conseils et sa disponibilité tout au long de mes travaux. Plus particulièrement j'aimerais remercier Benoît Robert de m'avoir offert la chance de m'impliquer dans divers projets qui ont enrichi mon aventure québécoise.

Je remercie également les membres du jury pour le temps consacré à l'évaluation de ce mémoire.

Mes remerciements vont ensuite à toute l'équipe du CRP avec laquelle j'ai pris beaucoup de plaisir à travailler. Merci à tous pour votre soutien, vos conseils et votre bonne humeur. Je remercie particulièrement Yannick Hémond et Luciano Morabito pour la relecture de ce mémoire mais aussi et surtout pour leur aide, leurs recommandations et la super ambiance de ce voisinage de bureau.

Je tiens également à remercier tout l'équipe d'Aéroports de Montréal et en particulier Line Lanthier qui m'a permis de vivre cette formidable expérience au sein du service Opérations – planification et coordination d'ADM.

D'un point de vu plus personnel, j'ai une pensée particulière pour mes amis de Montréal avec qui j'ai partagé ces deux années d'aventures.

RÉSUMÉ

Les travaux de recherche menés par le *Centre risque & performance* (CRP) de l'École Polytechnique de Montréal dans le domaine des interdépendances entre les infrastructures essentielles ont abouti au développement de DOMINO, un outil permettant d'anticiper la propagation spatio-temporelle des effets domino. Ce mémoire est issu de la volonté du CRP d'intégrer la gestion des interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers à ses travaux. Ainsi, il est nécessaire d'adapter la méthodologie du CRP afin de permettre la prise en compte de cette ressource dans le traitement des interdépendances.

Développée en contact direct avec les gestionnaires d'une infrastructure essentielle, l'approche proposée dans ce mémoire intègre des paramètres de caractérisation des produits pétroliers afin de proposer des outils d'aide à la décision. L'approche par conséquent du CRP a permis de développer cette approche dans le cas général d'une pénurie de produits pétroliers, puis dans le cas particulier d'une panne électrique majeure.

Ce travail de recherche a permis de développer des outils adaptés aux besoins des gestionnaires d'infrastructures. Ces outils permettent aux gestionnaires d'augmenter leur niveau de connaissance de la zone à l'étude, d'initialiser des simulations et de prioriser les approvisionnements en produits pétroliers à partir de deux critères, soit la gravité des conséquences du manque de produits pétroliers et l'autonomie des équipements.

L'application de l'approche dans le cadre d'une étude de cas réalisée sur une infrastructure a permis d'obtenir des résultats intéressants. Ainsi il apparaît qu'en cas de perturbation les outils proposés permettent aux gestionnaires d'accéder rapidement à des informations pertinentes telles que l'évaluation des besoins en produits pétroliers, les requis pour fonctionner, le stock disponible et les ressources alternatives existantes. Les résultats obtenus constituent une aide à la décision pour les gestionnaires qui ont pour missions de prioriser les équipements, d'assurer un approvisionnement supplémentaire adapté, de répartir la ressource entre les équipements ou encore d'adapter la consommation de produits pétroliers.

Ce mémoire ouvre la voie à d'autres travaux de recherche tels que l'implémentation des outils dans DOMINO, l'implantation de l'approche à l'échelle municipale et le développement de nouveaux des critères d'analyse de cohérence.

ABSTRACT

The research conducted by the *Centre risque & performance* (CRP) of the Ecole Polytechnique of Montreal in the field of interdependencies among critical infrastructures have led to the development of DOMINO, a tool that anticipate the spatio-temporal propagation of domino effects. This dissertation comes from the will of CRP to integrate the management of interdependencies related to the use of petroleum products in its work. Thus, it is necessary to adapt the methodology of CRP to allow the integration of this resource in the treatment of interdependencies.

Developed in contact with critical infrastructures managers, the approach integrates parameters characterizing petroleum products to provide decision support tools. The CRP consequences-based approach's has enabled the development of this approach in the general case of a shortage of petroleum products and in the event a major power outage.

This research led to the development of tools adapted to the needs of the infrastructure managers. These tools allow managers to increase their knowledge of the study area, initialize simulations and prioritize petroleum product supplies from two criteria, the severity of the consequences of lack of petroleum products and the autonomy of equipment.

The application of the approach in a case study on infrastructure has yielded interesting results. Thus, it appears that in case of disturbance the proposed tools allow manager to quickly access information such as needs assessment in petroleum products, required to operate, stock available and existing alternative resources. The results obtained are a decision support for managers who have to prioritize equipment, to provide adapted additional supply, allocate resources between equipment, or even adapt the consumption of petroleum products.

This dissertation opens the way for further research, such as the implementation of the tools in DOMINO, the implementation of the approach at the municipal level and the development of new coherence analysis criteria.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VI
TABLE DES MATIÈRES	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES FIGURES	XI
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XII
LISTE DES ANNEXES	XIII
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 ÉTAT DES CONNAISSANCES	4
1.1 Les infrastructures essentielles.....	4
1.2 Dépendances et interdépendances	6
1.2.1 Définitions	6
1.2.2 Effets dominos.....	8
1.3 Méthodologie du CRP	8
1.3.1 Concepts théoriques	8
1.3.2 Méthodologie d'évaluation des interdépendances	9
1.3.3 Outils de modélisation des effets domino	13
1.4 Les produits pétroliers	19
1.4.1 Définition	19
1.4.2 Approvisionnement	21
1.4.3 Défaillance liée à la ressource	23

1.4.4 Situations particulières : cas d'une panne électrique	33
CHAPITRE 2 SUJET DE RECHERCHE.....	35
2.1 Problématique.....	35
2.2 Postulats de recherche	37
2.3 Objectifs de recherche	39
CHAPITRE 3 DÉVELOPPEMENT DE L'APPROCHE	40
3.1 Caractérisation de la ressource	40
3.2 Identification des besoins des gestionnaires.....	43
3.2.1 Prises de décision	44
3.2.2 Attentes et besoins.....	44
3.3 Adaptation de la méthodologie du CRP.....	45
3.3.1 Connaissance de la zone d'étude, établissement du portrait	45
3.3.2 Conditions initiales.....	49
3.3.3 Priorisation des approvisionnements en cas de pénurie	52
3.3.4 Situation particulière : cas d'une panne majeure d'électricité	53
CHAPITRE 4 APPLICATION	58
4.1 Établissement du portrait.....	58
4.2 Conditions initiales.....	59
4.3 Résultats et éléments de priorisation	61
4.4 Situation particulière : panne électrique et génératrices.....	65
4.4.1 Conditions initiales – cas d'une panne électrique	65
4.4.2 Résultats et éléments de priorisation – cas d'une panne électrique	66
CHAPITRE 5 DISCUSSION.....	72
5.1 Analyse des résultats	72

5.2	Connaissance et résilience.....	74
5.3	Recommandations	75
CONCLUSION		77
BIBLIOGRAPHIE		80
ANNEXES		84

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : Indicateur du niveau de fonctionnement d'une IE (Robert et Morabito, 2008).....	14
Tableau 1-2 : Produits pétroliers finis en fonction de leur usage, (SCR, 2012).....	20
Tableau 3-1 : Exemples de types de produits pétroliers.....	40
Tableau 3-2 : Activités ou équipement utilisant des produits pétroliers	41
Tableau 3-3 : Éléments critiques de la chaîne d'approvisionnement.....	42
Tableau 4-1 : Conditions initiales pour trois exemples.....	60
Tableau 4-2 : Résultat pour trois exemples.....	62
Tableau 4-3 : Conditions initiales – génératrices	65
Tableau 4-4 : Conditions initiales – éléments critiques potentiellement affectés	66
Tableau 4-5 : Résultat – cas d'une panne électrique.....	66
Tableau 4-6 : Comparaison du total des besoins en diesel avec ou sans ressource alternative.....	71

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Espace de coopération (Robert et Morabito, 2011).....	10
Figure 1-2 : Exemple de découpage en secteurs d'une zone d'étude (Robert, Morabito et Debernard, 2013).....	12
Figure 1-3 : Exemple de découpage en zone d'alimentation d'une zone d'étude (Robert, Morabito et Debernard, 2013).....	12
Figure 1-4 : Exemples de courbe de dépendance face la ressource eau dans un secteur (Robert et Morabito, 2008).....	15
Figure 1-5 : Exemple de courbes d'effet domino (Robert et Morabito, 2008).....	16
Figure 1-6 : Simulation sur DOMINO (Robert, Morabito et Cloutier, 2012).....	17
Figure 1-7 : Exemple de courbe de besoin en carburant pour les génératrices dans un secteur (Robert et Morabito, 2008).....	18
Figure 4-1 : Courbes d'évolution du stock et d'évolution du besoin cas 1 avec ampleur de perturbation constante.	63
Figure 4-2 : Courbes d'évolution du stock et d'évolution du besoin cas 1 avec ampleur croissante.	64
Figure 4-3 : Courbes d'évolution du besoin en approvisionnement supplémentaire des six génératrices.....	67
Figure 4-4 : Courbes d'évolution des besoins en approvisionnement supplémentaire cumulés des génératrices.....	68
Figure 4-5 : Comparaison des besoins en approvisionnement supplémentaire cumulés des génératrices avec et sans ressource alternative.	69
Figure 4-6 : Total des besoins en diesel de l'infrastructure sans ressource alternative.	70

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AD	À déterminer (tableaux chapitre 4 et annexe)
ADM	Aéroports de Montréal
CANU	Carburant d'Aviation Non Utilisable
CRP	<i>Centre risque & performance</i>
IATA	International Air Transport Association
IE	Infrastructure Essentielle
MSP	Ministère de la Sécurité publique du Québec
RF	Ressource fournie
RU	Ressources utilisées
SAP	Système d'Alerte Précoce
SCR	Sous-Comité sur la Résilience
SPC	Sécurité Publique Canada

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – L’OUTIL DOMINO	84
ANNEXE B – PORTRAIT DE LA ZONE D’ÉTUDE.....	86

INTRODUCTION

Nos sociétés sont de plus en plus dépendantes aux ressources dites essentielles. Les télécommunications, l'eau, l'électricité, les produits pétroliers, sont des ressources dont l'indisponibilité, peut engendrer des conséquences majeures sur la santé, la sécurité ou le bien-être des citoyens, ou encore sur le fonctionnement efficace des gouvernements.

Or, il s'avère que les infrastructures fournissant ces ressources sont interdépendantes entre elles. Une infrastructure essentielle (IE) a pour mission de fournir une ressource essentielle, qui est utilisée par d'autres IE pour réaliser leur propre mission. Ainsi, la dégradation d'une ressource essentielle fournie va affecter la mission de l'IE utilisant cette ressource, qui va donc elle-même fournir une ressource essentielle dégradée et affecter l'IE qui utilise cette ressource dégradée. Cette propagation de la perturbation est appelée effet domino.

Ces effets domino sont étudiés au *Centre risque & performance* (CRP) de l'École Polytechnique de Montréal, centre de recherche spécialisé dans l'étude des interdépendances entre les IE. Les travaux du CRP ont aboutis au développement de DOMINO, un outil de modélisation des interdépendances entre les IE capable d'anticiper les effets domino pouvant être générés par la dégradation d'une ressource et de permettre leur visualisation sur un support cartographique. À ce jour, cet outil intègre les ressources essentielles suivantes : les télécommunications, le gaz naturel, l'électricité, les transports en commun et l'eau, mais n'intègre pas encore les interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers.

Les sociétés sont pourtant fortement dépendantes aux produits pétroliers, que ce soit pour le transport, le chauffage ou dans l'industrie. De plus, les événements des dernières années démontrent que cette ressource n'est pas à l'abri des perturbations et que les menaces d'une pénurie de carburant pèsent en permanence sur les infrastructures.

Ce fut le cas en février 2007, en Ontario, où l'approvisionnement en essence et en d'autres produits pétroliers a été perturbé à la suite d'un incendie qui s'est déclaré dans une raffinerie de la province. Cette situation fut exacerbée par une grève nationale des employés des sociétés de chemins de fer qui vint considérablement compliquer l'approvisionnement en produits pétroliers provenant de l'extérieur de la province. La raffinerie a pu reprendre ses activités à la mi-mars mais la pénurie a fortement affecté les automobilistes.

En mai 2010, plusieurs stations d'essence de Thunder Bay (Ontario) ont subi une pénurie de carburant. Des files d'attente se sont formées dans certaines stations et des points de vente se sont retrouvés à sec. Cette perturbation était la conséquence de l'arrivée tardive d'un navire-citerne à l'usine de carburant de la ville, le chargement d'essence ordinaire ne répondant pas aux exigences fédérales.

En France, au début du mois d'octobre 2010, une grève dans le port de Marseille (France) a entraîné le blocage de l'approvisionnement en pétrole brut des raffineries de la région. Quatre des six raffineries alimentées par un pipeline partant de Marseille ont dû être arrêtées faute de matières premières. Le mouvement de grève a progressivement gagné les 12 raffineries françaises, et entraîné le blocage des dépôts de carburant. L'approvisionnement en carburant des aéroports d'Orly et de Roissy a été rompu à cause de la pénurie. A la fin du mois d'octobre, un quart des stations-service françaises se sont retrouvées à sec.

Enfin, en octobre 2012 aux États-Unis, les dommages causés par la tempête Sandy ont entraîné des perturbations du ravitaillement des stations-service. Les pannes d'électricité ont paralysé les pompes de plusieurs d'entre elles, aggravant la pénurie.

Ce mémoire est donc issu de la volonté du CRP d'intégrer l'étude des interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers à ses travaux. Or, il se trouve que cette ressource présente deux distinctions majeures par rapport aux ressources déjà intégrées dans DOMINO. L'objectif des travaux de ce mémoire est donc de répondre à la problématique suivante : comment adapter l'approche du CRP pour inclure les produits pétroliers dans la démarche d'évaluation des interdépendances?

Ces travaux de recherche ont été menés dans le cadre d'un stage au sein du service Opérations - planification et coordination d'Aéroports de Montréal (ADM), société exploitant les aéroports de Montréal-Trudeau et Montréal-Mirabel. Cette expérience était l'occasion d'être en contact direct avec les gestionnaires pour valider l'approche.

Le premier chapitre de ce mémoire présente une revue de littérature permettant d'établir l'état des connaissances et de mettre en évidence des paramètres permettant de caractériser les produits pétroliers. Le sujet de recherche et la problématique abordée dans ce mémoire, sont présentés dans le deuxième chapitre. Le troisième chapitre présente une structuration des connaissances qui permettra la prise en compte des produits pétroliers dans le traitement des interdépendances. Par

la suite, une application de la méthodologie proposée à travers une étude de cas réalisée sur une infrastructure aéroportuaire est présentée dans le quatrième chapitre. Pour des raisons de confidentialité les résultats présentés dans ce mémoire sont fictifs mais se veulent représentatifs de la réalité. Ainsi l'analyse des résultats présentée dans le cinquième chapitre permet de formuler des recommandations.

CHAPITRE 1 ÉTAT DES CONNAISSANCES

La recherche qui a mené à la rédaction de ce mémoire s'intègre dans les travaux du *Centre risque & performance* (CRP) de l'École Polytechnique de Montréal, centre de recherche spécialisé dans l'étude des interdépendances entre les IE.

Ce premier chapitre vise à présenter le contexte de recherche et définir les principaux termes du sujet. Tout d'abord, les IE et les interdépendances seront abordées. Par la suite la méthodologie du CRP qui constitue la base de ce mémoire sera présentée. La ressource Produits Pétroliers sera étudiée dans une quatrième section.

Cette revue de littérature permettra d'établir l'état des connaissances et de mettre en évidence des paramètres permettant de caractériser les produits pétroliers.

1.1 Les infrastructures essentielles

Sécurité Publique Canada (SPC) définit les IE comme « les processus, les systèmes, les installations, les technologies, les réseaux, les biens et les services qui sont essentiels à la santé, à la sécurité ou au bien-être économique des Canadiens et des Canadiennes, ainsi qu'au fonctionnement efficace du gouvernement ». Le SPC ajoute que « la perturbation de ces infrastructures essentielles pourrait se traduire en pertes de vie et en effets économiques néfastes, et pourrait considérablement ébranler la confiance du grand public » (Sécurité Publique Canada [SPC], 2012).

Au Canada les IE sont classées en 10 secteurs (SPC, 2012) :

- Santé ;
- Alimentation ;
- Finances ;
- Eau ;
- Technologies de l'information et de la communication ;
- Sécurité ;
- Énergie et services publics ;

- Secteur manufacturier ;
- Gouvernement ;
- Transport.

Cette classification peut varier selon les pays.

Aux États-Unis, les IE sont classées selon 13 secteurs (Moteff et al. 2003) :

- Alimentation (Food) ;
- Agriculture (Agriculture) ;
- Eau (Water) ;
- Système de santé et services d'urgence (Health systems and emergency services) ;
- Énergie (Energy (electrical, nuclear, gas and oil, dams)) ;
- Transport (Transportation (air, road, rail, port, waterways)) ;
- Informations et télécommunications (Information and telecommunications) ;
- Service bancaire et Finance (Banking and finance) ;
- Énergie (Energy) ;
- Industrie Chimique (Chemical) ;
- Industrie de la défense (Defense industry) ;
- Postes (Postal and shipping) ;
- Monuments et symboles nationaux (National monuments and icons).

En Europe, les IE sont classées selon 9 secteurs (UE 2004) :

- Les installations et les réseaux dans le secteur de l'énergie ;
- Les technologies des communications et de l'information ;
- Les finances (le secteur bancaire, les marchés des valeurs et les investissements) ;
- Le secteur des soins de santé ;
- L'alimentation ;

- L'eau (réserves, stockage, traitement et réseaux) ;
- Les transports (aéroports, ports, installations intermodales, chemins de fer et réseaux de transit de masse, systèmes de contrôle du trafic) ;
- La production, le stockage et le transport de produits dangereux (matériaux chimiques, biologiques, radiologiques et nucléaires) ;
- L'administration (services de base, installations, réseaux d'information, actifs et principaux sites et monuments nationaux).

Au Québec, même si l'expression « infrastructure essentielles » est largement utilisée, le Ministère de la Sécurité Publique du Québec (MSP) parle plutôt d' « infrastructure stratégique », qu'il définit comme « une infrastructure qui fournit un service d'une importance telle pour la société que sa perte engendrerait des conséquences majeures sur la santé, la sécurité ou le bien-être des citoyens ou encore sur le fonctionnement efficace du gouvernement » (Ministère de la Sécurité publique du Québec [MSP], 2012).

Les IE produisent des « ressources essentielles » définies par le MSP comme « des ressources dont l'indisponibilité, même momentanée, peut engendrer des conséquences potentielles significatives et néfastes sur la santé, la vie, la sécurité, le bien-être social et économique d'une personne ou d'une collectivité, sur la viabilité d'une entreprise et sur le fonctionnement efficace du gouvernement et de ses institutions » (MSP, 2012).

Les produits pétroliers sont une ressource essentielle apparentant au secteur énergie et services publics. Dans son rapport 2012 le Sous-Comité sur la Résilience des systèmes essentiels au Québec (SCR) du MSP, précise que le secteur de l'énergie inclus à la fois les produits pétroliers et l'électricité.

1.2 Dépendances et interdépendances

1.2.1 Définitions

Les IE « peuvent être autonomes ou interconnectées et interdépendantes dans les administrations provinciales, territoriales ou nationales ou entre celles-ci » (SPC, 2012).

D'après Rinaldi, Peerenboom, et Kelly (2001), la dépendance est un lien entre deux infrastructures, par lequel l'état de l'une est corrélé ou influencé par l'état de l'autre. De la même façon, les interdépendances entre les infrastructures sont définies comme une relation bidirectionnelle, par laquelle l'état de chaque infrastructure est corrélé ou influencé par l'état de l'autre.

Les interdépendances entre les IE peuvent être réparties en quatre types (Rinaldi et al., 2001 ; Peerenboom, 2001 ; Peerenboom & Fisher, 2007 ; Robert et Morabito, 2008) :

- les interdépendances physiques (ou fonctionnelles) sont dues aux échanges de ressources entre les IE (relations de type client/fournisseur). Par exemple, pour fonctionner, le réseau d'eau a besoin d'électricité et le réseau d'électricité a besoin d'eau. Cette relation de dépendances mutuelles entre le réseau d'eau et le réseau d'électricité constitue une interdépendance physique ;
- les interdépendances géographiques sont dues à la proximité géographique des infrastructures. Cette proximité fait en sorte que la défaillance d'une infrastructure d'un réseau peut engendrer la défaillance d'une infrastructure d'un autre réseau. Par exemple, la rupture d'une conduite d'eau qui engendre des dommages à la chaussée constitue une interdépendance géographique entre le réseau d'eau et le réseau de transport ;
- les interdépendances cybernétiques sont dues aux transferts d'informations entre les IE. Ces informations nécessaires au fonctionnement courant ou au contrôle des IE voyagent par des systèmes informatiques et de télécommunications et peuvent provenir de plusieurs sources ;
- les interdépendances logiques sont dues à des réalités conjoncturelles, (économiques ou géo-politiques). Par exemple, les fluctuations économiques et boursières, la compétition entre firmes opérant dans un même secteur d'activités et l'instabilité politique peuvent générer des interdépendances logiques sur les IE.

Dans le cadre de ce mémoire ce sont les interdépendances fonctionnelles reliées à l'utilisation des produits pétroliers qui seront étudiées.

1.2.2 Effets dominos

D'après Rinaldi et al. (2001), les interdépendances augmentent les risques de défaillance et de perturbation des infrastructures. En effet, les défaillances et les perturbations peuvent se propager entre les infrastructures interdépendantes. Lorsque la perturbation d'une infrastructure entraîne une perturbation sur une autre infrastructure du fait de leur interdépendance, on parle de « Cascading failure » (Rinaldi et al., 2001) ou effet domino.

Ce sont ces effets qui sont étudiés au CRP de l'École Polytechnique de Montréal. Ce centre de recherche a développé une méthodologie d'évaluation des interdépendances entre les infrastructures essentielles qui a abouti au développement d'un outil de gestion des effets domino.

1.3 Méthodologie du CRP

1.3.1 Concepts théoriques

1.3.1.1 Définitions

La méthodologie développée par le CRP est une approche originale de l'évaluation des interdépendances entre les IE se basant sur des définitions liées à ce concept. Voici quelques-unes de ces définitions tirées de deux principales sources (MSP, 2009 ; Robert et Morabito, 2011)

Aléa : Phénomène, une manifestation physique ou une activité humaine susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement

Conséquence : Atteinte ou dommage porté aux populations, aux biens et aux autres éléments d'un milieu touché par la manifestation d'un aléa.

État : Caractérisation de l'aptitude d'un système évolutive dans le temps, à accomplir sa ou ses missions requises avec les performances spécifiées et acceptables.

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

Mission : Fournir une ressource ou un service.

Risque : Combinaison, d'une part, de la probabilité d'occurrence d'un aléa et, d'autre part, des conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu donné.

Système : Ensemble cohérent d'éléments (ou de processus) liés par des objectifs, des responsabilités ou de missions communes et fixées.

Vulnérabilité: Condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédispose les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages.

1.3.1.2 Postulats

Afin de pouvoir étudier la problématique spécifique des interdépendances, la méthodologie du CRP se base sur quatre postulats (Robert et Morabito, 2008) :

- un IE a pour mission de fournir une ressource (ressource fournie, RF) ;
- pour fonctionner, une IE utilise une ou plusieurs ressources fournies par une ou plusieurs autres IE (ressource utilisée, RU) ;
- la défaillance d'une IE entraîne une dégradation de la ressource fournie, ce qui peut affecter d'autres IE ;
- on parle d'aléa lorsqu'une IE utilise une ressource dégradée.

1.3.2 Méthodologie d'évaluation des interdépendances

Le CRP préconise une approche par conséquences (Robert, Morabito et Quenneville, 2007). Appliquée au contexte des interdépendances fonctionnelles entre les IE, l'approche par conséquences vise à connaître les conséquences sur les IE d'une panne de ressource nécessaire à leur fonctionnement sans s'attarder aux causes ayant menées à cette panne (Robert et al. 2008, Robert and Morabito 2011). L'approche par conséquences a permis de développer une méthodologie pour identifier les interdépendances entre les IE et anticiper les effets domino potentiels entre ces infrastructures. Cette méthodologie présente l'avantage de fournir des informations pertinentes pour la gestion d'une situation d'urgence en écartant toute notion de calculs probabilistes reliés à des aléas (Robert and Morabito 2008, Robert and Morabito 2010).

Ce paragraphe a pour but de présenter les trois premières étapes de la méthodologie du CRP, qui sont communes à l'étude des interdépendances physiques et géographiques.

1.3.2.1 Création de l'espace de coopération

Le premier objectif de la démarche du CRP est de mettre en place, au sein d'un environnement socioéconomique, un espace de coopération favorisant la collaboration, le partage d'information et le partage de connaissances entre les gestionnaires d'IE. Le CRP utilise une approche orientée client/fournisseur. Dans cet environnement socioéconomique, chaque IE a pour mission de fournir une ressource (ressource fournie RF). Cette ressource est utilisée par les autres IE pour fonctionner et réaliser leur propre mission (ressources utilisées RU). Des échanges de ressources se font donc dans cet environnement. Chaque entité de l'espace de coopération identifie les ressources qu'elle utilise (input) et celles qu'elle fournit (output) (Robert et al., 2007). La figure suivante schématise le concept client/fournisseur au sein de l'espace de collaboration. Un effet domino est généré quand la dégradation d'une ressource utilisée affecte la mission d'une IE, qui va donc elle-même fournir une ressource dégradée à l'environnement et affecter l'IE qui utilise cette ressource dégradée (Robert et Morabito, 2008).

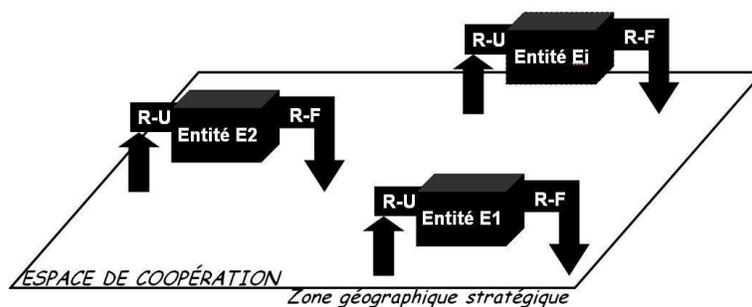


Figure 1-1 : Espace de coopération (Robert et Morabito, 2011)

L'application de la méthodologie du CRP nécessite de considérer 3 types de ressources (Robert et Morabito, 2008) :

- les ressources courantes utilisées en tout temps pour l'IE ;
- les ressources courantes utilisées uniquement à certaines périodes (par exemple le chauffage en hiver) ;

- les ressources alternatives : ce sont les ressources utilisées pour pallier au manque ou à la défaillance d'une ressource courante (par exemple le carburant est utilisé pour faire fonctionner les génératrices en cas de panne d'électricité).

Le territoire sur lequel l'étude des interdépendances va être menée est appelé zone d'étude. Cette zone d'étude délimite géographiquement l'espace de coopération. Le territoire initial sur lequel le CRP a développé sa méthodologie est le centre-ville de Montréal, Québec, Canada (Robert et Morabito, 2008). Il a ensuite été étendu au territoire de l'Île de Montréal et à la ville de Québec (Robert et Morabito, 2010-a, 2011).

La méthodologie est alors confrontée au défi majeur de la gestion de l'information (Robert et Morabito, 2008). Les IE peuvent se montrer réticentes à partager des informations confidentielles, pourtant nécessaires à l'étude des interdépendances. Pour favoriser la collaboration, il est important de créer un climat de confiance au sein de l'espace de coopération pour que les IE puissent échanger malgré les problématiques de confidentialité.

Pour relever ce défi, le CRP a développé un concept de cartographie souple. L'objectif de la cartographie souple est permettre le partage d'informations relatives aux interdépendances tout en assurant la confidentialité des données. Pour cela, les connaissances sont intégrées sur des secteurs plutôt que d'être géoréférencées. La zone d'étude est divisée en en secteurs dont la dimension est variable selon l'étude. Cette dimension doit être déterminée avec les partenaires. Des secteurs trop petit donneront une information trop précise et ne respectant pas la confidentialité. Des secteurs trop larges donneront des résultats trop généraux. De cette façon, les IE de la zone d'étude peuvent être localisées soit par leurs coordonnées exactes, soit en utilisant un secteur allant de un à plusieurs kilomètres carrés (Robert, Morabito, et Cloutier, 2012).

1.3.2.2 Caractérisation de la zone d'étude

La deuxième étape de la méthodologie du CRP consiste à caractériser la zone d'étude.

Tel que mentionné au paragraphe précédent, la zone d'étude doit d'abord être divisée en secteurs pour pouvoir appliquer le concept de la cartographie souple et garantir un certain niveau de confidentialité. La dimension des secteurs doit être adaptée afin de ne pas localiser trop précisément les infrastructures. La figure 1-2 représente la division qui a été appliquée à Montréal avec des secteurs de 1 km².

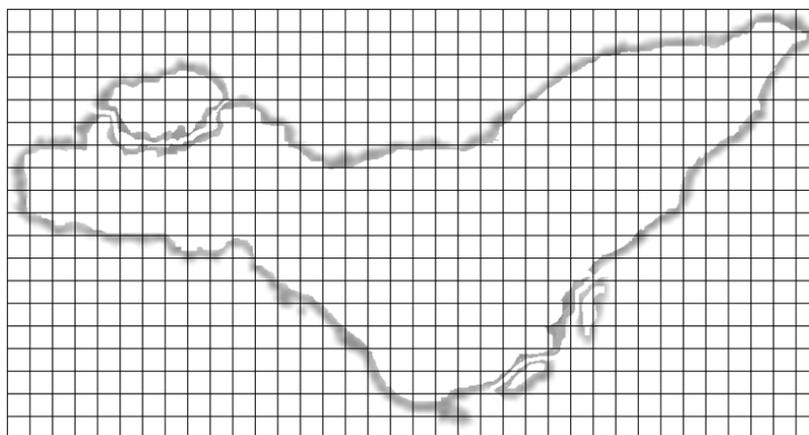


Figure 1-2 : Exemple de découpage en secteurs d'une zone d'étude (Robert, Morabito et Debernard, 2013)

La caractérisation de la zone d'étude passe ensuite par l'identification des zones d'alimentation en ressource. Pour chaque infrastructure produisant une ressource, la zone d'alimentation est la zone qui sera privée de cette ressource en cas de défaillance de l'infrastructure (Robert et al., 2012). Les IE faisant partie de l'espace de coopération doivent identifier les zones d'alimentation dans lesquels elles fournissent leur ressource et partager cette information avec les autres membres de l'espace de collaboration. La méthodologie utilisée est donc basée sur l'association systématique d'une ressource à une zone d'alimentation. La figure 1-3 présente les zones d'alimentation de quatre ressources différentes : l'électricité (CS1), l'eau (CS2), les télécommunications (CS3) et le réseau de transport par bus (CS4).



Figure 1-3 : Exemple de découpage en zone d'alimentation d'une zone d'étude (Robert, Morabito et Debernard, 2013)

1.3.2.3 Caractérisation des IE

La troisième étape de la méthodologie consiste à caractériser les IE de la zone d'étude. Cette caractérisation se fait en deux temps. Tout d'abord, la caractérisation globale vise à comprendre le réseau dans son ensemble et à connaître son fonctionnement. On identifie notamment les missions du réseau en termes de ressource fournie et les infrastructures qui composent ce réseau. Par la suite la caractérisation spécifique vise à connaître plus précisément le réseau et son fonctionnement particulier dans la zone d'étude (Robert et Morabito, 2011). Cette information doit permettre de :

- dresser un portrait des ressources utilisées par les réseaux de la zone d'étude ;
- connaître le type d'utilisation qui est fait de ces ressources ;
- connaître les conséquences de l'indisponibilité d'une ressource pour le réseau et sa capacité à réaliser sa mission.

Ces informations sont fournies par les membres de l'espace de coopération qui ont l'expertise et la connaissance de leurs réseaux (Robert et Morabito, 2008).

1.3.3 Outils de modélisation des effets domino

L'application de cette méthodologie et la compilation des données recueillies ont permis de développer DOMINO (annexe A), un outil de modélisation et de cartographie des interdépendances physiques et géographiques entre les infrastructures, capable d'anticiper les effets domino pouvant être générés (Robert et Morabito, 2008 ; Robert et Morabito, 2010-a ; Robert, Morabito et Cloutier, 2012).

À ce jour, ce module intègre les ressources essentielles suivantes : les télécommunications, le gaz naturel, l'électricité, le réseau de transport en commun et l'eau. Le carburant n'est intégré à l'outil DOMINO que comme ressource alternative. Actuellement, l'outil ne permet pas la prise en compte des produits pétroliers dans le traitement des interdépendances.

Ce mémoire se concentrant sur les interdépendances physiques générées par les produits pétroliers, ce sont surtout les outils de gestion des interdépendances physiques qui seront présentés. Pour étudier ces interdépendances physiques il faut que chaque IE identifie les

ressources externes (courantes et alternatives) qu'elle utilise. Par la suite, pour chaque ressource utilisée, les IE doivent identifier :

- les conséquences pour le réseau de la dégradation de la ressource (en fonction de la capacité du réseau à remplir sa mission) et les secteurs touchés ;
- les seuils de tolérance c'est-à-dire la durée de dégradation de la ressource au bout de laquelle l'état de la mission du réseau varie.

Un indicateur de couleur est utilisé pour représenter l'état de la mission du réseau (tableau 1-1).

Tableau 1-1 : Indicateur du niveau de fonctionnement d'une IE (Robert et Morabito, 2008)

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

Les informations collectées grâce à l'approche par conséquence sont utilisées pour générer différents outils de gestion (Robert et Morabito, 2008) :

- les courbes de dépendance ;
- les courbes d'effets domino ;
- les courbes des besoins en ressources alternatives.

1.3.3.1 Courbes de dépendance

« Construites pour chacune des ressources et pour chacun des secteurs de la zone d'étude, ces courbes permettent de visualiser, en fonction du temps, les conséquences sur le fonctionnement des infrastructures d'un manque de ressource » (Robert et Morabito, 2008).

Les courbes de dépendance permettent :

- D'identifier les infrastructures les plus vulnérables à un manque ou à la défaillance d'une ressource, pour chaque secteur de la zone d'étude ;
- D'analyser les conséquences de la dégradation d'une ressource sur les IE utilisatrices dans un secteur.

La figure 1-4 illustre un exemple de courbes de dépendance que DOMINO permet d'obtenir. Dans cet exemple, les courbes représentent la dépendance de quatre réseaux (l'électricité, le gaz naturel, le transport et les télécommunications) face à la ressource Eau dans un secteur donné de la zone d'étude. Cette figure, démontre que lors d'un problème d'approvisionnement en eau survient dans ce secteur de la zone d'étude, les différents réseaux utilisateurs de l'eau ne sont pas tous affectés de la même façon. Le réseau d'électricité continue de fonctionner normalement pendant quelques heures avant de passer au niveau de fonctionnement jaune, signifiant que le réseau ressent les conséquences du manque d'eau mais que celles-ci restent mineures. Dans le cas du réseau de gaz naturel, les conséquences sont immédiates, mais également mineures. La mission du réseau est maintenue à long terme. Le réseau de transport reste au niveau de fonctionnement vert, ce qui signifie qu'il continue de fonctionner normalement et ne subit pas de conséquence de la perte d'alimentation en eau. Dans le cas du réseau de télécommunications, les conséquences du manque d'approvisionnement en eau varient en fonction de la durée de la défaillance, jusqu'à la perte de service de télécommunications si la situation n'est pas rétablie au bout de quelques heures.

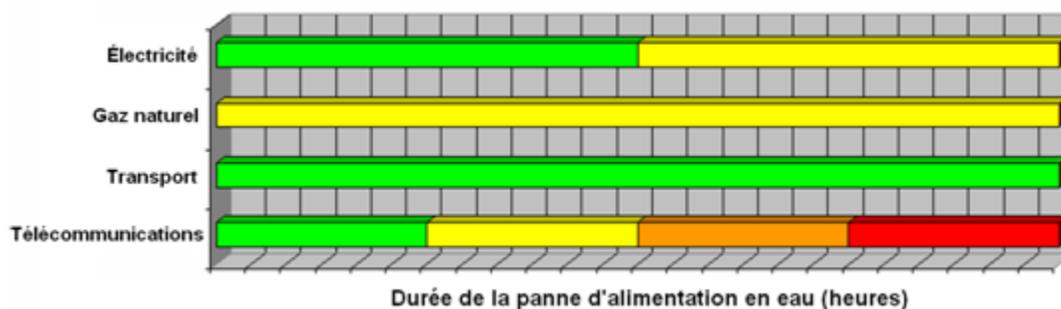


Figure 1-4 : Exemples de courbe de dépendance face la ressource eau dans un secteur (Robert et Morabito, 2008)

Cet exemple montre l'importance du paramètre de durée de la dégradation dans l'étude des interdépendances.

1.3.3.2 Les courbes d'effets domino

DOMINO est aussi capable de produire des courbes d'effets domino, qui permettent d'identifier les situations pouvant générer les effets domino dus à l'indisponibilité d'une ressource dans un secteur géographique donné. Ces courbes utilisent le même code couleur. Les courbes d'effets domino étant présentées en fonction de la durée de la dégradation, il est possible d'anticiper les effets domino à l'avance.

La figure 1-5 illustre un exemple de courbe d'effets domino. Dans cet exemple, la ressource Eau devient indisponible dans un secteur géographique donné (AH-23) de la zone d'étude à T_0 . Cette défaillance vient perturber les télécommunications par effet domino jusqu'à engendrer une perte du service à T_1 . C'est ce qu'on appelle un effet domino du premier ordre car la défaillance des télécommunications est directement due à la défaillance d'origine, c'est-à-dire celle de la ressource Eau. Les effets domino continuent de se propager et entraînent la fermeture d'un axe routier important à T_2 dans un autre secteur (AH-25) de la zone d'étude. C'est ce qu'on appelle un effet domino de deuxième ordre puisque la défaillance du réseau de transport n'est pas directement due à la défaillance de la ressource eau mais à la défaillance des télécommunications, qui est elle-même la conséquence de la défaillance d'origine.

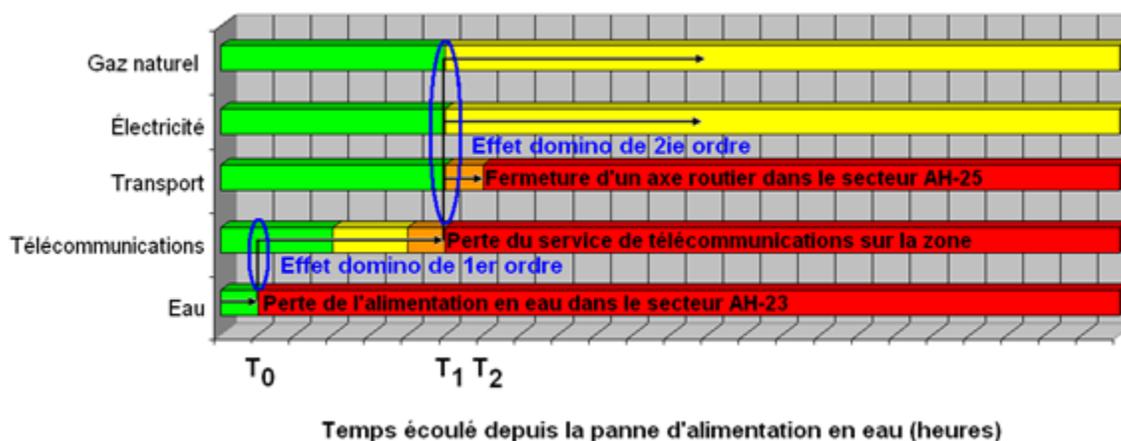


Figure 1-5 : Exemple de courbes d'effet domino (Robert et Morabito, 2008)

Le module cartographique permet ensuite de visualiser la propagation spatio-temporelle des effets domino. La figure 1-6 illustre les représentations cartographiques que l'on peut obtenir. La

cartographie souple, l'utilisation du découpage en secteur et la notion de zone d'alimentation y sont visibles. Dans ce troisième exemple, la défaillance initiale est encore un problème d'alimentation en eau. Celle-ci se produit dans un secteur donné de la zone d'étude à 8h12. Dans cet exemple, la perturbation affecte un axe routier au bout d'une heure. À 11h37 c'est le secteur des télécommunications (en violet) qui subit les conséquences de la perte d'un approvisionnement en eau. On remarque une fois de plus grâce à cet exemple, que le paramètre de durée est fondamental dans l'étude des interdépendances.

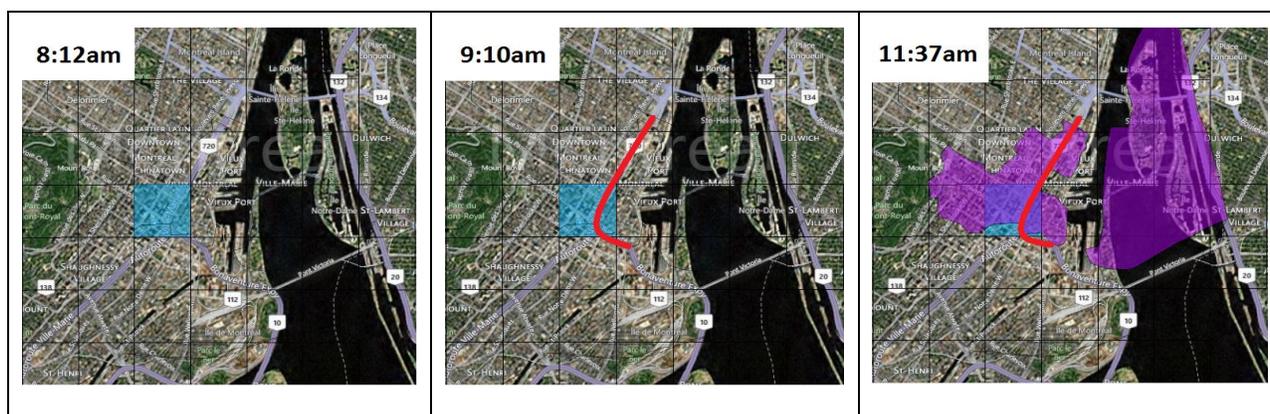


Figure 1-6 : Simulation dans DOMINO (Robert, Morabito et Cloutier, 2012)

DOMINO génère aussi des rapports d'analyse indiquant quels sont les équipements et les infrastructures affectés ainsi que la liste des personnes à contacter pour chaque IE (Robert, Morabito et Cloutier, 2012).

1.3.3.3 Les courbes des besoins en ressources alternatives

Les ressources alternatives sont utilisées pour pallier au manque ou à la défaillance d'une ressource courante. L'exemple traité par le CRP est celui d'une panne majeure d'électricité. Si une telle situation venait à se produire les IE dépendantes à l'électricité utiliseront des génératrices. Ces génératrices fonctionnent le plus souvent au diesel. Le carburant est donc une ressource alternative à la ressource Électricité. Une IE disposant d'une génératrice est donc moins vulnérable à une panne électrique puisqu'elle est autonome vis-à-vis de l'alimentation en électricité. Or les génératrices des IE ne fonctionnent que tant qu'elles disposent de carburant en réserve. Si la panne électrique vient à se prolonger, les IE auront besoin d'approvisionnements supplémentaires en carburant pour maintenir les génératrices. On voit donc apparaître une nouvelle dépendance, cette fois à la ressource alternative. (Robert et Morabito, 2010-b)

Les courbes de besoins en ressource alternative permettent de visualiser, de manière globale, les besoins en ressource alternative pour les IE d'un secteur de la zone d'étude. La figure 1-7 illustre un exemple de courbes d'évaluation des besoins en ressource alternative. Les besoins en carburant pour les génératrices des IE d'un secteur donné de Montréal y sont représentés. Ces besoins se chiffrent en centaines voire milliers de litres par jours. Les courbes de besoins en ressource alternative permettent alors d'anticiper une pénurie potentielle de la ressource, due à l'augmentation de la demande. Ces informations constituent une aide à la décision pour la priorisation de l'approvisionnement en ressource.

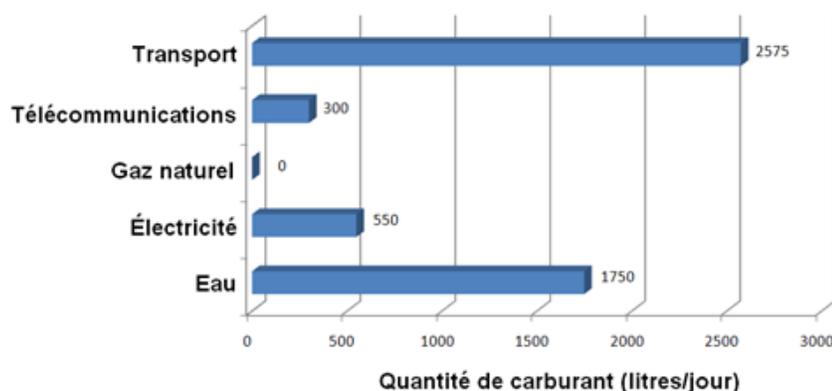


Figure 1-7 : Exemple de courbe de besoin en carburant pour les génératrices dans un secteur (Robert et Morabito, 2008)

1.3.3.4 Synthèse

DOMINO est donc un outil de sensibilisation à la vulnérabilité face aux interdépendances qui se concentre sur les interdépendances physiques et géographiques.

Il permet notamment (Robert, et al., 2008; Robert et Morabito, 2010-a) :

- d'identifier, de caractériser et de hiérarchiser les interdépendances entre IE ;
- d'identifier et d'anticiper la propagation d'effets domino ;
- de planifier des mesures de prévention et de protection.

DOMINO peut également être utilisé par les IE pour la mise à jour les mesures et pour la coordination des exercices.

Enfin DOMINO ouvre la voie à la création d'un Système d'Alerte Précoce (SAP)¹ permettant de mobiliser les intervenants (Robert, Morabito et Dedernard, 2013). C'est un outil d'aide à la décision permettant de mieux comprendre les IE, leurs interdépendances et les conséquences de leur défaillance. Les résultats des simulations doivent permettre aux gestionnaires d'IE de prioriser certaines interventions pour éviter la propagation d'effets domino (Robert, Morabito et Cloutier, 2012).

1.4 Les produits pétroliers

1.4.1 Définition

Il apparaît dans la littérature que l'étude de la dépendance aux produits pétroliers est souvent réduite à l'étude de la dépendance au carburant. Selon le protocole de distribution de carburant en cas d'urgence du gouvernement de l'Ontario, « carburant » désigne les produits pétroliers raffinés, comme l'essence, le diesel, le carburéacteur et l'huile de chauffage, mais pas le pétrole brut. Dans les travaux de Yeletaysi (2010), les produits pétroliers étudiés sont l'essence, le kérosène, le diesel et le carburant de chauffage.

Dans le cadre du règlement sur les produits pétroliers du Ministère des Ressources Naturelle du Québec (2007), les catégories de produits pétroliers sont la catégorie des carburants et la catégorie des mazouts. Selon la loi d'urgence sur les approvisionnements d'énergie du gouvernement du Canada, les termes pétrole ou produits pétroliers désignent :

« le pétrole brut ou autre hydrocarbure ou mélange d'hydrocarbures récupéré à l'état liquide ou solide d'un réservoir naturel, tout hydrocarbure ou mélange d'hydrocarbures, à l'état liquide ou solide, résultant du traitement ou du raffinage du pétrole brut ou d'un autre hydrocarbure, et toute essence naturelle ou tout condensat résultant de la production, du traitement ou du raffinage du gaz naturel ou de l'un de ses dérivés. » (Loi d'urgence sur les approvisionnements d'énergie, Canada, 2013, par. 2-Définitions).

¹ On appelle SAP "la fourniture de l'information opportune et efficace par des établissements identifiés qui permet aux individus exposés à un aléa à agir pour éviter ou réduire leur risque et à se préparer à une réponse efficace" (Accord euro-méditerranéen risques majeurs (EUR-OPA), 2006).

Afin de lever toute ambiguïté, il est important de préciser quels sont les produits pétroliers pris en compte dans ce travail de recherche.

Dans ce mémoire, les produits pétroliers correspondent à l'ensemble des produits pétroliers finis définis par le SCR du MSP. D'après le rapport du SCR, le secteur des produits pétroliers comprend :

- les produits pétroliers pour le transport ;
- les produits pétroliers pour le chauffage ;
- les produits pétroliers pour l'industrie.

La classification des produits pétroliers du SCR est intéressante puisqu'elle fait intervenir une notion d'utilisation de la ressource. Le tableau 1-2 présente les différents types de produits pétroliers raffinés identifiés par le SCR en fonction des utilisations.

Tableau 1-2 : Produits pétroliers finis en fonction de leur usage, (SCR, 2012)

Transport	Chauffage	Industrie
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Essences automobile ▪ Diesel (véhicules routiers et hors-route) ▪ Essences d'aviation ▪ Carburéacteurs (kérosène) ▪ Diesel pour locomotive ▪ Diesel marin ▪ Diesel minier ▪ Propane ▪ Gaz naturel ▪ Lubrifiants 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gaz naturel ▪ Mazout de chauffage ▪ Propane 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bitume ▪ Mazout no 6 ▪ Mazout minier ▪ Huiles de refroidissement ▪ Lubrifiants

Cette classification montre qu'il existe différents types de produits pétroliers utilisés pour réaliser différents types d'activités.

En ce qui concerne les activités reliées au transport, les rencontres avec les partenaires du CRP ont permis de proposer une classification des véhicules consommant des produits pétroliers:

- les véhicules de transport de personnes ;
- les véhicules de transport de marchandises ;
- les véhicules de service ;
- les véhicules d'intervention d'urgence.

Ainsi, il apparaît que les produits pétroliers sont un intrant nécessaire pour des équipements fixes mais aussi pour des équipements mobiles.

1.4.2 Approvisionnement

La ressource Produits Pétroliers fait intervenir une notion de chaîne d'approvisionnement.

Selon l'Association Canadienne des Carburants (2013), la chaîne d'approvisionnement des produits pétroliers commence par l'importation des matières premières jusqu'aux raffineries dans lesquelles les produits pétroliers raffinés sont produits. Vient ensuite l'étape de distribution, qui comprend le transport et l'entreposage dans les grands dépôts pétroliers, puis l'étape de commercialisation.

Aux États-Unis, Yeletaysi (2009) précise que la chaîne d'approvisionnement des produits pétroliers comprend toutes activités commençant par l'extraction du pétrole brut, son raffinage, sa transformation en différents produits pétroliers raffinés et sa distribution aux utilisateurs. Les principaux éléments constituant la chaîne d'approvisionnement des produits pétroliers sont donc : les plateformes pétrolières, les ports pétroliers et terminaux maritimes, les raffineries, les grands dépôts pétroliers et les pipelines.

La chaîne d'approvisionnement des produits pétroliers comprend donc différentes étapes impliquant divers infrastructures et équipements.

De plus, d'après Ressources Naturelles Canada (2011) les produits pétroliers utilisent « un réseau de transport complexe, par pipeline, par navire, par chemin de fer et par camion » entre chaque étape de la chaîne d'approvisionnement. Ressources Naturelles Canada (2011) précise que « souvent, l'industrie a recours à plusieurs modes de transport pour prendre livraison des produits pétroliers aux raffineries, aux ports et aux grands terminaux et les acheminer vers des marchés

extrêmement dispersés ». L'Association Canadienne des Carburants ajoute qu'il faut souvent faire appel à « plusieurs moyens de transport pour apporter l'essence et le diesel des raffineries aux dépôts de produits situés près de marchés importants, à partir desquels on envoie les carburants par camions à des points de vente au détail partout dans la région ». Il apparaît également que les produits pétroliers peuvent être distribués sur les zones très étendues. Le terme « marchés » montre que cette distribution est influencée par un critère financier.

De plus :

« Le réseau de livraison de chaque produit diffère selon la clientèle desservi. Par exemple, le carburéacteur est souvent acheminé par pipeline directement à l'aéroport. Le diesel est distribué par le truchement d'un réseau de points de vente au détail ou d'installations commerciales (...). Le mazout de chauffage est distribué directement aux consommateurs résidentiels. » (Ressources Naturelles Canada, 2011, par. 7)

Tel que mentionné au paragraphe précédent, le type de produits pétroliers est un paramètre fondamental dans l'étude des interdépendances liées à l'utilisation de cette ressource. Il apparaît ici qu'un type de produits pétroliers peut notamment être associé à un mode de transport ou de distribution particulier. Les rencontres avec les partenaires du CRP ont permis de d'identifier les principaux modes par lesquels les IE de Montréal sont approvisionnées en produits pétrolier. Les modes d'approvisionnement les plus fréquents sont :

- par camion-citerne ;
- par pipeline ;
- directement à la station-service.

L'acheminement de la ressource Produits Pétroliers fait donc appel à l'utilisation d'autres ressources essentielles, notamment :

- les infrastructures de transport ;
- l'électricité qui fait fonctionner les pipelines et les pompes des stations-service.

Dès lors, des dépendances et interdépendances sont visibles sur la chaîne d'approvisionnement. « Les oléoducs, leurs réseaux de transport terrestre et maritime, les raffineries et les stations de

réserve sont, de par leur conception même, mutuellement dépendants pour assurer un service juste à temps » (SPC, 2006, p. 21).

Les produits pétroliers doivent donc être acheminés aux consommateurs. Il arrive même que ce soit à l'utilisateur de se déplacer jusqu'à la ressource (cas des stations-service). L'approvisionnement en produits pétroliers fait intervenir un réseau de transport varié et complexe. Une même raffinerie ou un même terminal pétrolier peut alimenter des zones très étendues. La distribution des produits pétroliers au sein de ces zones se fait en fonction d'accords commerciaux, les clients pouvant être dispersés sur un vaste territoire. La livraison des produits pétroliers peut donc varier en fonction de la demande des consommateurs.

D'autre part, dans le domaine militaire, l'approvisionnement en produits pétroliers des services armés est également fondamental. En effet, la valeur d'une armée repose notamment sur sa mobilité (Établissement de Communication et de Production Audiovisuelle de la Défense, 2013). Ceci impose une parfaite organisation des services de ravitaillement en carburant. Ainsi, il existe des pans entiers de l'armée qui sont en charge des réserves pétrolières dites « stratégiques », de l'approvisionnement adéquat des infrastructures de guerre et du ravitaillement des forces en produits pétroliers. C'est par exemple le cas en France du Service des Essences des Armées (SEA). Le SEA est en charge de la réception des produits pétroliers importés pour l'armée, de leur traitement, de leur stockage et de leur distribution. Ainsi l'approvisionnement des forces en carburant, mais aussi en lubrifiants et autres produits divers associés, est assurée par un réseau de pipelines, de navires citerne, de trains et de camions. En toutes circonstances (en temps de paix, comme en temps de conflit), les "soldats du pétrole" doivent être là où sont les forces (SEA, 2013). Cependant, face à la confidentialité des données des services de défenses et parce que ce travail de recherche se concentre sur les utilisations civiles des produits pétroliers, la gestion de cette ressource par les services armés ne sera pas approfondie dans ce mémoire.

1.4.3 Défaillance liée à la ressource

1.4.3.1 Notion de pénurie

Une pénurie est définie comme un « manque de ce qui est nécessaire à une collectivité » (*Le Nouveau Petit Robert*, 2009). Dans le cas de l'étude de la dépendance aux produits pétroliers il

s'agit d'un manque, d'un défaut ou d'une rareté de la ressource produits pétroliers, qui est nécessaire à une IE pour réaliser sa mission.

Dans le secteur des transports et plus particulièrement de l'aviation, l'International Air Transport Association (IATA, 2012), précise que ces situations ne sont pas rares et que les menaces d'une pénurie de carburant pèsent en permanence sur les transporteurs aériens. L'IATA insiste sur le manque actuel de connaissances sur les réelles conséquences d'une perturbation du secteur des produits pétroliers, en particulier du carburant. L'organisation précise que les transporteurs aériens et même les fournisseurs de carburants ne disposent pas à l'heure actuelle des outils permettant de mesurer l'impact de ce type de perturbation. L'IATA conclue en affirmant que l'investissement dans la mise en place de solution pour faire face à ce type de problèmes sera plus bénéfique que de simplement gérer les perturbations au moment où elles surviennent.

1.4.3.2 Causes

L'approche par conséquence préconisée par le CRP ne s'intéresse pas aux causes des défaillances. L'objectif de ce paragraphe n'est donc pas de dresser une liste exhaustive des causes pouvant mener à une pénurie mais de présenter un état des connaissances dans le but d'en tirer des paramètres.

Les causes pouvant mener à une situation de pénurie sont multiples. Le Ministère de l'Énergie du gouvernement d'Ontario publie un Protocole de distribution de carburant en cas d'urgence selon lequel « une pénurie de carburant peut être causée par :

- une défaillance du système de distribution (en raison d'une grève des camionneurs) ;
- une interruption importante des opérations de raffinage (une panne électrique majeure ou un incendie) » (Ministère de l'Énergie du gouvernement d'Ontario, 2012, p. 4).

En voici un exemple réel :

« En septembre 2000, les agriculteurs et les camionneurs britanniques lancèrent une impressionnante campagne d'action pour protester contre une taxe sur le carburant. Au Royaume-Uni, les manifestants bloquèrent l'accès aux raffineries de pétrole et aux dépôts de distribution de carburant, si bien qu'au bout de quelques jours, on eut affaire à une véritable crise du carburant qui paralysait les secteurs des IE et l'ensemble du pays. » (SPC, 2005, par. 3).

De son côté, l'IATA (2012) souligne la gravité des conséquences que peut générer une pénurie de carburant dans le milieu aéroportuaire. Ce fut par exemple le cas en 2010, où un incendie du réservoir de carburant de l'aéroport de Miami a entraîné de graves perturbations des opérations pendant plusieurs jours et des impacts financiers importants. En 2005, l'incendie du dépôt de carburant de Bluefield en Grande-Bretagne, a entraîné de graves problèmes d'approvisionnement à l'aéroport de Londres Heathrow. Afin d'aider les gestionnaires d'aéroport et compagnies aérienne à minimiser les impacts dus aux perturbations de l'approvisionnement en carburant, l'IATA (2006) a publié un guide de gestion de crise en cas de pénurie de carburant d'aviation affectant un aéroport. Le processus présenté inclus les phases de planification, d'exercice, de gestion de crise et de rétablissement. L'objectif étant de développer un mode de gestion de crise permettant de limiter l'impact d'une pénurie de carburant aux aéroports. Les principales causes de pénurie identifiées dans ce guide sont :

- un manque d'approvisionnement ;
- une perte de stock (contamination, déversement, dommages aux réservoirs) ;
- une défaillance de l'alimentation électrique ;
- une grève de l'industrie ;
- une augmentation imprévue de la demande.

Enfin, dans ses travaux, Yeletaysi (2009) étudie la chaîne d'approvisionnement des produits pétroliers et quantifie le risque de perturbations pouvant y être généré par les ouragans. Yeletaysi (2009) précise que les ouragans peuvent potentiellement perturber la chaîne d'approvisionnement des produits pétroliers en endommageant physiquement les plateformes, terminaux ou raffineries ou simplement en amenant la nécessité d'évacuer le lieu, ce qui entraîne une interruption des activités.

1.4.3.3 Conséquences et interdépendances

Les pénuries de produits pétroliers peuvent avoir des conséquences majeures en termes d'interdépendances. En septembre 2000 au Royaume-Uni, le blocage des raffineries et des dépôts de distribution de carburant par les manifestants a entraîné « une véritable crise du carburant qui paralysait les secteurs des IE et l'ensemble du pays » (SPC, 2005, par. 3). Cet événement a mis en évidence les interdépendances liées à l'utilisation des produits pétroliers par les IE.

« La perturbation du secteur de l'énergie engendra une réaction en chaîne au sein d'autres secteurs, notamment ceux des transports, des soins de santé, de l'approvisionnement alimentaire, de même que des services financiers et gouvernementaux, et ce, en raison de leur interdépendance. » (SPC, 2005, par. 3)

Dans le secteur des transports, « les activités des réseaux de transport tant publics que privés [étaient] interrompues par la pénurie» (SPC, 2005, par. 9). Étant donné que les automobilistes ne pouvaient plus utiliser leur véhicule par manque de carburant, l'impact sur le secteur des transports publics était double : d'une part un manque de carburant et d'autre part une augmentation du nombre d'usagers.

« À Londres toujours, on annula certains services ferroviaires après que des dépôts de pétrole eurent épuisé leur réserve. Plusieurs entreprises de transport par autobus furent forcées de couper radicalement dans leurs services en raison du manque de carburant et parce que leurs chauffeurs n'arrivaient pas à se rendre au travail. » (SPC, 2005, par.9)

Au niveau du secteur de la santé, l'état d'urgence pour les services de santé nationaux a été déclaré par le gouvernement. « Les conséquences sur les services de santé nationaux touchaient surtout la fiabilité du transport du personnel, des patients et des fournitures médicales» (SPC, 2005, par. 10). Le système de santé se trouva face à un manque d'employés qui ne pouvaient plus se rendre au travail par leur moyen de transport habituel. Certains ambulanciers étaient limités à 34,2 km/h pour les déplacements non-urgents afin d'économiser de l'essence.

« (...) plusieurs hôpitaux du pays furent forcés d'annuler des chirurgies courantes et de limiter le nombre d'admissions uniquement aux cas urgents. Les services des ambulances furent également perturbés par la pénurie de carburant, et les véhicules durent limiter leurs déplacements aux patients ayant véritablement besoin d'aide. » (SPC, 2005, par. 10)

Dans le secteur de l'alimentation, « les perturbations dans le secteur des transports ont empêché la livraison des biens alimentaires des producteurs aux détaillants » (SPC, 2005, par. 11).

Dans le secteur financier, on a assisté à un effet domino.

« ce secteur dépend de celui des transports pour ce qui est des déplacements de l'argent et des documents financiers. (...) des perturbations dans le secteur des transports (...) ont nui à la

capacité des banques d'approvisionner les guichets automatiques en argent, ce qui a donné lieu à des interruptions de service à certains endroits.» (SPC, 2005, par. 12)

Dans le secteur industriel, on a assisté à des perturbations dans la livraison des fournitures, des pièces et des produits finis. La mobilité et la disponibilité des employés ont également été affectées. L'analyse de Sécurité Publique Canada précise que « d'importants secteurs de l'économie, y compris l'industrie sidérurgique et les manufacturiers de moteurs, auraient pu voir leurs opérations interrompues, être la cible de compressions budgétaires ou risquer la fermeture » si la pénurie avait duré plus longtemps (SPC, 2005, par. 13).

Enfin, dans le secteur des services gouvernementaux, « le service des postes (...) rapporta des retards considérables dans le traitement des envois. » (SPC, 2005, par. 14).

De même, à la suite de la panne d'électricité qui a frappé le réseau électrique de l'Ontario et des États-Unis le 14 août 2003, Sécurité Publique Canada a publié une analyse de l'impact que cet événement a généré sur les IE canadiennes, que ce soit directement ou par interdépendance. Les impacts de la panne d'électricité sur le pétrole brut et sur le gaz naturel font partie de cette étude. Au niveau du gaz naturel utilisé principalement pour le chauffage, l'étude précise :

« Le gaz naturel est la principale source d'énergie pour une grande partie de la population canadienne et pour un pourcentage élevé d'industries. (...) La plupart des écoles, des entreprises, des bureaux, des immeubles publics et des industries dépendent également du gaz naturel et devraient probablement être fermés si l'approvisionnement en gaz naturel venait à être touché » (SPC, 2006, p. 23).

Ces exemples montrent bien les impacts que peut générer une pénurie de produits pétroliers pour les IE et les défaillances liées au manque de ressource. La gestion des interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers doit permettre de limiter la propagation de ces perturbations.

Krumdieck, Page et Dantas (2010), n'étudient pas les impacts des pénuries de carburant sur les IE mais sur la mobilité de la population. Ils partent notamment du postulat que la disponibilité des transports publics est maintenue pendant la durée de la pénurie. Leurs travaux indiquent que, selon le niveau de disponibilité du carburant, les personnes ajusteront simplement leurs déplacements en priorisant certaines activités spécifiques, de façon à minimiser les perturbations et garantir la continuité socio-économique, politique et culturelle. Les changements importants induits dans les modes de déplacement des personnes concernent:

- les caractéristiques des trajets (fréquence, distance parcourue, ...) ;
- une perte d'accessibilité aux activités.

Krumdieck et al. (2010), proposent finalement une méthode d'analyse de risque liée aux pénuries de carburant dans les transports. Ils définissent le risque comme la multiplication de la probabilité qu'une pénurie de carburant se produise et de l'impact des changements des modes de déplacement.

Noland, Polak, Bell et Thorpe (2003) ont réalisés une autre étude sur l'impact d'une pénurie de carburant sur les modes de déplacement de la population à la suite de la pénurie de septembre 2000 en Grande-Bretagne. D'après leurs travaux, la pénurie a eu un impact sur la faisabilité des trajets en voiture et dans certains cas sur l'accessibilité aux activités économiques. Dans cet article, les auteurs considèrent seulement l'impact d'une pénurie de carburant sur la population mais n'étudient pas l'impact de la pénurie sur les infrastructures essentielles.

Yeletaysi (2009) précise que les ouragans Katrina et Rita, ont généré des effets domino au sein des infrastructures. De même les interdépendances intrant/extrant ont conduit à des pénuries de produits pétroliers à plusieurs endroits. Cependant, l'auteur ne va pas plus loin dans l'étude des interdépendances entre IE.

1.4.3.4 Ampleur et durée

1.4.3.4.1 Ampleur

Tel que mentionné au paragraphe précédent, une pénurie correspond à un manque de produits pétroliers. Ce manque peut être quantifié : on parle alors d'ampleur ou de niveau de pénurie.

Dans le domaine de l'aviation, l'IATA (2006) propose deux paramètres permettant de déterminer le niveau de pénurie affectant un aéroport :

- le pourcentage du manque (Dans le domaine de l'aviation il a été identifié qu'un aéronef était capable d'assurer un vol non-stop, avec une restriction de charge, si 92% du carburant normalement requis est disponible. Une pénurie impliquera la mise en place de plans si elle induit un manque de carburant supérieur à 8% des quantités normalement disponible.) ;

- le nombre de fournisseur subissant des perturbations (Si un ou plusieurs fournisseurs subissent des perturbations entraînant un impact supérieur à 8% à l'aéroport et que les fournisseurs restant sont dans l'incapacité de combler le manque alors la pénurie impliquera la mise en place de plans.).

Krumdieck et al. (2010), étudient eux l'impact des pénuries de carburant sur la mobilité de la population. Ces auteurs évaluent l'ampleur d'une pénurie en utilisant un paramètre de niveau de disponibilité du carburant qui génère un niveau d'impact de la pénurie. Il leur est alors possible de quantifier niveau de disponibilité du carburant en introduisant par exemple dans leur modèle une réduction de 20% des quantités de carburant disponibles.

Par la suite, leur démarche se base sur une priorisation des trajets selon trois niveaux :

- les trajets optionnels (ce sont ceux dont les personnes pourraient se passer sans que cela affecte leur bien-être) ;
- les trajets nécessaires (ce sont ceux dont les personnes ne choisiraient pas de se passer et dont la perte affecterait leur vie sociale et économique) ;
- les trajets essentiels (ce sont ceux dont les personnes ne veulent pas se passer et dont la perte affecterait leur santé et limiterait leur capacité à répondre à des besoins fondamentaux).

Cette priorisation leur permet de définir les niveaux d'impact de la pénurie :

- faible quand la pénurie limite les trajets optionnels ;
- moyen quand la pénurie limite les trajets nécessaires ;
- élevé quand la pénurie limite les trajets essentiels ;

Enfin, dans son rapport de 2005, le SPC analyse la campagne d'action des agriculteurs et des camionneurs britanniques en septembre 2000 pour protester contre une taxe sur le carburant. Il apparaît dans ce rapport que les raffineries du pays ont été bloquées les unes après les autres de façon à ce que « au bout de cinq jours, la route de six des huit raffineries britanniques était bloquée » (SPC, 2005, par. 8). Les produits pétroliers étaient donc de moins en moins disponibles. Cet exemple montre que l'ampleur d'une pénurie de produits pétroliers est un paramètre variable. La pénurie peut notamment augmenter au cours du temps.

1.4.3.4.2 *Durée*

Une pénurie est aussi caractérisable par sa durée.

Lors du blocage des raffineries en Grande-Bretagne, les manifestations ont durées plusieurs jours, du 5 au 12 septembre (SPC, 2005).

Yeletaysi (2009) précise que si un port pétrolier est endommagé par un ouragan, le rétablissement peut prendre plusieurs semaines voire des mois. Les ouragans peuvent aussi endommager le réseau électrique privant ainsi les pipelines de l'électricité dont ils ont besoin pour fonctionner. L'impact d'une panne électrique sur un pipeline peut durer de quelques jours à quelques semaines selon l'ampleur des dommages sur le réseau électrique. L'auteur indique également qu'après le passage des ouragans Katrina et Rita plusieurs raffineries ont subi des perturbations pendant plusieurs mois.

La durée de la pénurie est un paramètre important puisqu'il correspond au paramètre de durée de la défaillance utilisé dans la méthodologie du CRP.

Dans son Protocole de distribution de carburant en cas d'urgence le Ministère de l'Énergie du gouvernement d'Ontario précise que la prévention des pénuries de carburant « requiert que les personnes, les entreprises et les collectivités soient autosuffisantes durant trois jours » (Ministère de l'Énergie du gouvernement d'Ontario, 2012, p. 4). Ce protocole présente une notion intéressante puisqu'il précise qu'une pénurie peut être la conséquence de circonstances laissant ou non la place à un préavis.

1.4.3.5 **Vulnérabilité, stocks et autonomie**

La vulnérabilité est définie comme « une condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédispose les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages. » (MSP, 2009). Dans le cas des produits pétroliers le préjudice que peut subir une IE est soit une pénurie, soit un manque. Il est donc possible pour une IE de diminuer sa vulnérabilité face à une pénurie de produits pétroliers en disposant de stocks.

Cette notion de stocks de produits pétroliers peut être illustrée par les événements de 2000 au Royaume-Uni, au cours desquels le blocage des raffineries a rendu impossible l'approvisionnement des stations-service. Dans son rapport, le SPC (2005) précise que les

stations-services Britanniques ne disposaient pas d'un stock important et fonctionnaient sur un système de livraison « juste-à-temps ». Ce manque de stocks augmentait leur vulnérabilité face à une pénurie.

Dans le domaine de l'aviation, l'IATA (2006) propose trois paramètres d'évaluation du niveau de stock :

- le niveau minimal de stock (c'est le niveau de stock pour lequel, si le niveau de l'offre et de la demande se maintiennent tels qu'ils sont, il serait raisonnable de considérer que le risque d'épuisement des stocks de l'aéroport soit très élevé) ;
- le niveau maximal de stock (c'est le niveau de stock pour lequel, si le niveau de l'offre et de la demande se maintiennent tels qu'ils sont, il serait raisonnable de considérer que le risque que l'aéroport soit contraint de restreindre son approvisionnement en carburant soit très élevé) ;
- le niveau optimal de stock (c'est le niveau qu'il doit être atteint et maintenu).

Les conclusions de l'IATA après l'incendie du dépôt de carburant de Bluefield en Grande-Bretagne en 2005 étaient que l'aéroport de Londres devait disposer de plus grandes quantités de stocks et de meilleures capacités d'approvisionnement.

Enfin les rencontres avec les partenaires du CRP ont permis de mettre en évidence le fait que les infrastructures peuvent posséder des dépôts de produits pétrolier privés. Cet élément assure à l'infrastructure un certain volume de stock du type de produits pétroliers qu'elle utilise. Or, dans son Protocole de distribution de carburant en cas d'urgence le Ministère de l'Énergie du gouvernement d'Ontario précise que « les classes d'IE dont les véhicules d'intervention sont alimentés auprès de détaillants de carburant ne disposent pas toujours de dépôt de carburant. » (Ministère de l'Énergie du gouvernement d'Ontario, 2012, p. 4).

La notion de stocks amène alors à la notion d'autonomie. L'autonomie est définie comme l'« intervalle d'espace ou de temps pendant lequel un véhicule, un appareil peut fonctionner sans nouvel apport d'énergie, de carburant, sans intervention extérieure » (*Larousse, 2013*). Les quantités stockées permettent donc à une infrastructure d'avoir une certaine autonomie vis-à-vis de l'approvisionnement en produits pétroliers.

1.4.3.6 Décisions humaines et priorisation

Tel que mentionné dans les paragraphes précédents, l'approvisionnement des IE en produits pétroliers dépend de décisions humaines. Ceci est d'autant plus vrai en cas de pénurie.

Lorsqu'une telle situation survient, il faut pouvoir gérer adéquatement les réserves de produits pétroliers afin de limiter l'impact de la perturbation. L'approvisionnement des IE en produits pétroliers est donc confié à des gestionnaires chargés de prendre les décisions qui s'imposent.

En cas de pénurie majeure affectant un vaste territoire, la gestion des produits pétroliers revient aux instances gouvernementales. Ainsi, le Ministère de l'Énergie du gouvernement d'Ontario précise dans son Protocole de distribution de carburant en cas d'urgence que « pendant une situation d'urgence déclarée, la gestion des réserves de carburant peut être prise en charge par le gouvernement afin que les collectivités et les classes d'infrastructures essentielles (IE) puissent dispenser leurs services. » (Ministère de l'Énergie du gouvernement d'Ontario, 2012, p. 4).

L'autorité en charge de la gestion des produits pétroliers doit alors veiller à ce que les IE disposent de suffisamment de produits pétroliers pour maintenir un fonctionnement acceptable. Les décisions prises par les gestionnaires concernent alors la priorisation des infrastructures.

Lors de la pénurie de carburant qui a suivi la panne d'électricité qui a frappé le réseau électrique de l'Ontario et des États-Unis le 14 août 2003, « une liste de priorité avait été établie pour s'assurer que des quantités adéquates de mazout étaient fournies aux industries et aux secteurs visés » (SPC, 2006, p. 22). Les points prioritaires de livraison de mazout étaient notamment :

- « les hôpitaux et les services d'urgence ;
- les télécommunicateurs ;
- les centres de transport comme les aéroports et les services de transport en commun dans les grands centres urbains » (SPC, 2006, p. 22).

D'autres secteurs ont donc été moins approvisionnés, voire pas du tout. Ce fut notamment le cas des industries manufacturières. Ces industries « qui dépendent abondamment dans de nombreux cas du mazout pour le chauffage, le séchage et les autres opérations thermiques, ont manqué de pétrole, ce qui a nui à leur capacité de production » (SPC, 2006, p. 22).

Lors de la pénurie de carburant au Royaume-Uni en 2000, la solution proposée par le gouvernement fut d'ordonner l'approvisionnement en essence de 298 stations-services désignées comme prioritaires et strictement réservées aux services essentiels. Au niveau des services gouvernementaux et plus particulièrement au niveau des services de poste, une priorisation des livraisons a dû être mise en œuvre (SPC, 2005).

Le Ministère de l'Énergie et des Changements Climatique du Royaume-Uni a publié en 2011 un résumé du plan d'urgence national en cas de pénurie de carburant, le National Emergency Plan for Fuel (2009). L'ordre de priorisation retenu par le gouvernement pour la distribution du carburant en cas de situation d'urgence est le suivant :

- les services d'urgence ;
- les services essentiels ;
- les camions et leurs stations-services sur autoroute pour maintenir la chaîne d'approvisionnement ;
- les stations-services.

Afin de gérer la pénurie de maintenir la continuité des services essentiels, plusieurs outils ont été développés. Parmi eux, on retrouve notamment la limite d'achat de 15 litres de carburant par passage aux stations-service ou encore la désignation de certaines stations-service approvisionnées en priorité et réservées aux véhicules d'urgence qui auront été identifiés par un logo.

En cas de pénurie de produits pétroliers, les gestionnaires (gouvernementaux ou non) doivent donc prioriser les infrastructures afin de limiter les conséquences du manque de ressource. L'approvisionnement des infrastructures en produits pétroliers dépend alors des décisions des gestionnaires.

1.4.4 Situations particulières : cas d'une panne électrique

« L'approvisionnement adéquat en pétrole est très dépendant d'une production suffisante et fiable d'électricité. Toutes les installations qui font partie de la chaîne de livraison du pétrole brut pour les aspects cruciaux de leurs opérations, y compris les raffineries et les pompes des stations-service, ont besoin d'électricité pour fonctionner. » (SPC, 2006, p. 20).

La dépendance de la chaîne d'approvisionnement à l'électricité est une problématique majeure dans l'étude interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers. Une panne électrique pourra entraîner une baisse de production et/ou perturber les processus de distribution de la ressource. Cette situation particulière est donc susceptible d'avoir des conséquences pour les produits pétroliers et générer des pénuries.

Le rapport de du SPC (2006) indique que la panne électrique de 2003 a perturbé le secteur du pétrole à quatre niveaux :

- l'arrêt de raffineries : fermeture temporaire de six raffineries en Ontario ;
- l'épuisement des stocks pour alimenter les génératrices ;
- la perturbation du transport du pétrole brut par oléoduc : arrêt des pipelines ou fonctionnement à débit moindre ;
- la distribution des produits raffinés aux consommateurs.

Dans ces conditions, le prix de l'essence au Canada a fortement augmenté, mais le principal impact concernait la disponibilité du mazout pour les génératrices. En effet, les génératrices de secours sont utilisées pour produire de l'électricité en cas de panne électrique, mais fonctionnent grâce aux produits pétroliers.

Une panne électrique est donc une situation particulière dans l'étude des interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers puisque cette perturbation est à la fois susceptible de générer une pénurie de la ressource et une augmentation des besoins due à l'utilisation des génératrices.

De plus, dans son Protocole de distribution de carburant en cas d'urgence, le Ministère de l'Énergie du gouvernement d'Ontario précise que « la plupart des collectivités ont un dépôt de carburant d'urgence dont le fonctionnement est assuré durant les pannes d'électricité par un générateur d'électricité de secours » (Ministère de l'Énergie du gouvernement d'Ontario, 2012, p. 5). Cet exemple illustre bien les interdépendances qui existent entre les équipements électriques et les produits pétroliers.

CHAPITRE 2 SUJET DE RECHERCHE

La revue de littérature a permis de dresser l'état des connaissances sur lesquelles s'appuie ce travail de recherche.

Le présent chapitre a pour objectif de présenter le sujet de recherche et de développer la problématique qui sera abordée dans ce mémoire. Par la suite, les postulats sur lesquels ces travaux se basent seront formulés. Enfin l'objectif général et les objectifs spécifiques seront énoncés.

2.1 Problématique

Les travaux du CRP ont abouti au développement d'un outil de modélisation et de cartographie des interdépendances physiques et géographiques entre IE, capable d'anticiper la propagation spatio-temporelle des effets domino engendrés par la panne d'une ressource essentielle ou d'un aléa naturel ou technologique. Actuellement, les ressources analysées dans DOMINO (électricité, eau potable, gaz naturel, et télécommunications) sont acheminées vers les utilisateurs via des liens physiques tels que des conduites, des câbles, etc. Cette configuration fait en sorte qu'il est possible, globalement, de lier entre-elles des infrastructures appartenant à différents réseaux et de modéliser les effets de la défaillance d'une infrastructure d'un réseau sur les autres. Ainsi, en spécifiant à DOMINO un secteur (ou une zone d'alimentation) dans laquelle une ressource n'est plus disponible, l'outil est capable d'identifier l'ensemble des infrastructures affectées et de simuler la propagation des effets domino dans le temps et dans l'espace géographique.

Le sujet de ce mémoire est issu de la volonté du CRP d'intégrer l'étude des interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers à ses travaux. Or, il se trouve que cette ressource présente deux distinctions majeures par rapport aux ressources déjà intégrées dans DOMINO.

La première distinction est que la ressource est rarement acheminée à ses utilisateurs finaux via un réseau de distribution qui lie directement et physiquement utilisateurs et fournisseurs (câbles, conduites, etc.). On insiste ici sur le terme « rarement » et sur l'expression « directement et physiquement » puisque lorsque les produits pétroliers sont acheminés par pipeline, ils peuvent être traités exactement comme les autres ressources actuellement intégrées à l'outil DOMINO (un pipeline étant une conduite qui lie directement et physiquement deux infrastructures). Or, comme il a été démontré dans la section précédente, une des particularités des produits pétroliers est que

le plus souvent, contrairement aux autres ressources actuellement prise en compte dans DOMINO, la ressource est acheminée via des réseaux de transports (notamment le réseau routier). La ressource Produits Pétroliers peut donc plus facilement provenir de différentes sources. Ainsi, en cas de pénurie de la ressource, les IE peuvent choisir de faire appel à d'autres fournisseurs et faire venir la ressource d'ailleurs. De même, il a été démontré précédemment que, dans le cas des produits pétroliers, les utilisateurs peuvent se déplacer pour accéder à la ressource. Ainsi, si les stations-service d'un secteur sont en situation de pénurie, les automobilistes par exemple peuvent se déplacer pour s'approvisionner en carburant dans un autre secteur. Cette première distinction fait en sorte que les concepts de secteurs et de zones d'alimentation sur lesquels DOMINO se base pour réaliser ses simulations est difficilement utilisable pour étudier les interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers. En effet, DOMINO permet d'analyser les interdépendances entre les IE en identifiant des secteurs et des zones d'alimentation dans lesquelles une IE fournit une ressource. La simulation se fait alors en spécifiant à l'outil un secteur ou une zone d'alimentation sur laquelle la ressource n'est plus disponible. Dans le cas de l'étude des produits pétroliers, si on prend l'exemple du Québec, il n'existe que deux raffineries dans la province, l'une à Montréal et l'autre à Lévis (Ressources Naturelles Québec, 2013). À toute fin pratique, la zone d'alimentation de chacune de ces raffineries est donc très étendue (presque la province). Il faudrait alors analyser les conséquences d'une pénurie de carburant sur des secteurs beaucoup plus grands que ceux utilisés dans l'outil DOMINO. D'autre part, si l'on cherche maintenant à déterminer la zone d'alimentation approvisionnée à partir d'un terminal ou d'un grand dépôt pétrolier, la problématique liée au mode de transport (et notamment à l'utilisation du réseau routier) réapparaît. Une IE pouvant s'approvisionner en produits pétroliers à partir de différentes sources (dépendamment des choix, des ententes commerciales, etc.), il est difficile d'associer systématiquement un terminal (ou dépôt) à une zone d'alimentation. On ne peut donc pas utiliser tel quel DOMINO pour simuler une pénurie de la ressource pétrole dans un secteur ou une zone d'alimentation : la simulation ne donnerait pas un résultat qui « colle à la réalité ».

L'autre particularité de la ressource Produits Pétroliers est que, contrairement à une panne d'électricité, une panne de télécommunications ou une panne d'eau, qui peut se produire soudainement dans un secteur, les produits pétroliers deviennent rarement indisponibles de façon soudaine dans un secteur (d'ailleurs, on utilise l'expression « pénurie de produits pétroliers » et

non « panne de produits pétroliers »). Les terminaux pétroliers ou les stocks existants au sein des infrastructures laissent en général une marge de manœuvre suffisante aux utilisateurs de la ressource pour trouver un autre mode d'approvisionnement ou simplement pour gérer la situation le temps que la pénurie cesse. DOMINO n'est donc pas parfaitement adapté à ce contexte d'étude puisqu'il a été pensé pour fonctionner à partir de panne de ressources et non de pénurie de ressources. Or, la revue de littérature a montré qu'en situation de pénurie d'une ressource, les gestionnaires doivent être en mesure de prendre des décisions afin de limiter les impacts de la perturbation. Les outils développés devraient donc davantage servir d'aide à la décision permettant aux gestionnaires de prioriser les approvisionnements en ressources des infrastructures affectées par une pénurie, dans le but de maintenir les fonctions essentielles de l'organisation tout en limitant le plus possible les effets domino potentiels sur les autres réseaux. Actuellement, DOMINO ne permet pas de gérer des priorisations reliées à la « rareté » d'une ressource, mais plutôt d'identifier des effets domino lorsqu'une ressource est indisponible. La distinction peut sembler subtile, mais dans les faits, les besoins des gestionnaires ne sont pas les mêmes en situation de panne qu'en situation de pénurie. Il s'agit alors de développer de nouveaux outils qui pourront être intégrés à DOMINO pour pouvoir tenir compte de ces besoins.

Il apparaît donc clairement que le défi réel associé à l'évaluation des interdépendances liées à l'utilisation des produits pétroliers consiste à répondre aux deux questions suivantes. Comment adapter la méthodologie du CRP afin de pouvoir étudier cette ressource sans utiliser de secteurs ou de zone d'alimentation prédéfinis (comme le fait actuellement DOMINO)? Comment (grâce à quels outils) permettre la gestion des pénuries de ressources et non des pannes de ressources?

2.2 Postulats de recherche

L'approche développée et les résultats énoncés dans ce mémoire se basent sur deux postulats.

Le premier postulat formulé dans le cadre de cette recherche est issu de l'approche préconisée par le CRP.

Postulat 1 : L'approche par conséquence permettra d'intégrer les produits pétroliers à la méthodologie d'évaluation des interdépendances.

L'utilisation de l'approche par conséquence permettra de faciliter :

- l'obtention de résultats simple et tangibles ;

- l'intégration des produits pétroliers aux travaux du CRP.

Ce premier postulat servira de ligne directrice lors du développement de l'approche théorique proposée dans ce mémoire.

D'autre part, les travaux de recherche présentés dans ce mémoire ont été menés dans le cadre d'un stage au sein du service Opérations- planification et coordination d'Aéroports de Montréal (ADM), société exploitant les aéroports de Montréal-Trudeau et Montréal-Mirabel. Cette expérience était l'occasion d'être en contact direct avec les gestionnaires pour valider l'approche. Le deuxième postulat sur lequel se basent les résultats présentés est issu de ce contexte de recherche.

Postulat 2 : Les interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers au sein d'une infrastructure aéroportuaire seront représentatives des interdépendances entre IE à l'échelle municipale.

En effet, un aéroport est une IE ayant pour mission de fournir le service essentiel Transport. Pour fonctionner une telle IE utilise une ou plusieurs ressources fournies par une ou plusieurs autres IE, notamment des produits pétroliers.

De plus, le territoire aéroportuaire est un territoire sur lequel on retrouve différents services (ou départements). Chaque service a pour mission de fournir des processus, des systèmes, des installations, des technologies, des réseaux, des biens ou des services. Ces ressources sont utilisées par les autres services pour fonctionner et réaliser leur propre mission. Des échanges de ressources se font sur ce territoire afin d'assurer le fonctionnement adéquat de l'aéroport et la réalisation de la mission principale de l'infrastructure. Les produits pétroliers font partie de ces ressources.

Le passage de l'échelle municipale à l'échelle d'une organisation pour étudier les interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers se justifie puisqu'il apparaît qu'une infrastructure aéroportuaire est un système représentatif d'une société. Des gestionnaires sont responsables de gérer les équipements utilisés pour acheminer, stocker et distribuer les produits pétroliers de l'infrastructure. En cas de perturbation ces gestionnaires doivent être en mesure de prioriser les équipements présents sur le territoire aéroportuaire en termes d'approvisionnements

en produits pétroliers. Les contraintes à l'échelle municipale et à l'échelle d'une organisation sont similaires, il y aura donc des similitudes dans les prises de décision.

2.3 Objectifs de recherche

L'objectif des travaux de ce mémoire est donc d'adapter la méthodologie du CRP pour inclure les produits pétroliers dans la démarche d'évaluation des interdépendances, et de suggérer des outils qui permettront aux gestionnaires de prioriser des approvisionnements en fonction des fonctions essentielles de leur organisation et des effets domino potentiels.

Pour atteindre cet objectif général, des objectifs spécifiques sont formulés :

- caractériser la ressource ;
- identifier les besoins des gestionnaires de produits pétroliers ;
- identifier et décrire les liens entre la ressource et les IE utilisatrices ;
- fournir des outils de priorisation des approvisionnements ;
- identifier et structurer l'expertise nécessaire à l'étude des interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers ;
- intégrer la ressource dans les travaux du CRP pour permettre sa prise en compte dans le traitement des interdépendances.

CHAPITRE 3 DÉVELOPPEMENT DE L'APPROCHE

Ce travail de recherche est issu de la volonté du CRP d'intégrer la ressource essentielle Produits Pétroliers à ses travaux.

Le présent chapitre présente une structuration des connaissances qui permettra la prise en compte des produits pétroliers dans l'étude des interdépendances.

3.1 Caractérisation de la ressource

La revue de littérature a permis de mettre en évidence des paramètres qui permettront d'intégrer les produits pétroliers aux travaux du CRP. La liste proposée ci-après n'est pas exhaustive mais constituera la base de l'approche développée dans ce mémoire.

Tout d'abord il existe différents types de produits pétroliers. Une perturbation n'affectera pas systématiquement tous les types de produits pétroliers en même temps. Que l'on travaille à l'échelle d'un territoire ou d'une organisation, il est donc important d'identifier les différents types de produits pétroliers utilisés par les infrastructures et équipements. Quelques types de produits pétroliers sont donnés en exemple dans le tableau suivant. La liste complète des types de produits pétroliers considérés dans ce mémoire est celle du SCR du MSP présentée dans la revue de littérature.

Tableau 3-1 : Exemples de types de produits pétroliers

Types de produits pétroliers
Essence
Diesel
Propane
Gaz naturel
Mazout de chauffage
Lubrifiants
Huiles de refroidissement

Les produits pétroliers peuvent être utilisés pour réaliser différents types d'activités ou faire fonctionner différents équipements. Les principaux types d'activités ou équipements considérés dans ce mémoire sont présentés dans le tableau 3-2.

Tableau 3-2 : Activités ou équipement utilisant des produits pétroliers

Activité	Équipement
Transport de personnes	Véhicules de transport de personnes
Transport de marchandises	Véhicules de transport de marchandises
Transport / Mobilité des intervenants de maintenance	Véhicules de service
Transport / Mobilité des intervenants d'urgence	Véhicules d'intervention d'urgence
Chauffage	Équipements de chauffage
Industrie	-
Production d'électricité	Génératrices de secours

Tel que mentionné dans la revue de littérature, les produits pétroliers sont aussi bien utilisés pour des équipements fixes que pour des équipements mobiles (ex : véhicule). A l'heure actuelle, les équipements mobiles ne sont pas pris en compte dans DOMINO. Cette particularité est à intégrer dans l'étude des interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers.

D'autre part il est important de souligner que certains types de produits pétroliers ne sont pas utilisés de façon continue mais selon des périodes de besoin. Les génératrices de secours, par exemple, ne consommeront des produits pétroliers qu'en période de panne électrique. Certains produits pétroliers pour le chauffage ne seront utilisés que pendant la période hivernale. Dans ce cas, une pénurie de produits pétroliers n'affectera l'infrastructure utilisatrice que si celle-ci est en période de besoin.

De plus, la revue de littérature a montré que la ressource Produits Pétroliers fait intervenir une notion de chaîne d'approvisionnement. Les éléments critiques de la chaîne d'approvisionnement des produits pétroliers sont présentés dans le tableau 3-3. Cette liste n'est pas exhaustive mais

donne un aperçu des éléments critiques considérés dans ce mémoire. Ces éléments ont été répartis en quatre catégories : les unités de production, les unités de stockage, les modes de transport et les équipements de distribution.

Tableau 3-3 : Éléments critiques de la chaîne d’approvisionnement

Production	Raffineries
Stockage	Terminaux pétroliers
	Dépôts privés
Transport	Pipeline
	Réseau de transport terrestre (camion-citerne, train ...)
	Réseau de transport maritime
Distribution	Stations-service

L’approvisionnement d’une IE en produits pétroliers peut se faire selon divers modes d’approvisionnement. Au sein d’une zone d’étude donnée, chaque type de produits pétroliers peut être acheminé via un mode d’approvisionnement différent. Ainsi, une perturbation affectant un mode d’approvisionnement particulier n’affectera a priori que les types de produits pétroliers qui sont acheminés via ce mode.

Il est alors possible de distinguer deux niveaux dans l’approvisionnement en produits pétroliers. À un premier niveau, le mode de transport permet d’acheminer les produits pétroliers d’un élément critique fournisseur (raffinerie, grand dépôt pétroliers ...) à l’infrastructure. Les pipelines et le transport routier sont des modes de transport les plus fréquents. À un deuxième niveau, un équipement de distribution permet quant à lui d’acheminer les produits pétroliers du dépôt privé de l’infrastructure à ses équipements. Les pompes de type stations-services qui sont utilisées au sein même des infrastructures en sont un bon exemple. L’identification des équipements de distribution est importante car une infrastructure utilisant de l’essence, acheminée correctement par camion-citerne à un dépôt privé, pourra être considérée comme perturbée vis-à-vis de cette ressource si la défaillance de la station-service ne permet plus de distribuer le produit stocké aux véhicules de l’infrastructure.

D’autre part, l’élément critique « dépôt privé » indique que les infrastructures utilisant des produits pétroliers peuvent disposer de stocks. Cette quantité stockée leur permet de disposer d’une certaine autonomie vis-à-vis d’un approvisionnement en ressource.

Enfin, la revue de littérature a montré que la défaillance liée aux produits pétroliers est une pénurie, soit un manque de la ressource. Cette pénurie peut être caractérisée par son ampleur et sa durée. Les exemples présentés dans le précédent chapitre montrent que des causes très variées peuvent être à l'origine d'une pénurie de produits pétroliers. Or l'objectif de ce mémoire est d'aborder à problématique avec l'approche par conséquence. L'étude des scénarios liés aux causes n'est donc pas la méthode retenue.

Ces paramètres qui font la particularité des produits pétroliers vont permettre d'intégrer cette ressource aux travaux du CRP.

3.2 Identification des besoins des gestionnaires

L'approche proposée dans ce mémoire a été développée en collaboration avec un groupe de gestionnaires responsable de la gestion des produits pétroliers au sein d'une infrastructure aéroportuaire.

Dans une telle infrastructure, la gestion des perturbations et événement inhabituels liés aux produits pétroliers fait intervenir différentes parties prenantes selon une structure de gestion déterminée.

Les premiers intervenants dans la structure de gestion sont les gestionnaires techniques. Pour chaque service du territoire aéroportuaire, ces gestionnaires sont responsables de leurs équipements et sont amenés à prendre les décisions nécessaires pour maintenir leur niveau de fonctionnement.

Par la suite, les gestionnaires d'urgence interviennent comme coordonnateurs lorsque l'évènement affecte plusieurs services. Les décisions que ces gestionnaires sont amenés à prendre se basent toujours sur les recommandations des gestionnaires techniques.

Le cadre de recherche dans lequel ces travaux ont été menés offrait l'opportunité de rencontrer les gestionnaires d'ADM. Les travaux de recherche ayant menés à la rédaction de ce mémoire ont pu être réalisés grâce à la collaboration des gestionnaires du service des Installations, exploitant une partie des équipements pétroliers de l'aéroport.

3.2.1 Prises de décision

Les gestionnaires techniques sont donc les experts appelés à prendre des décisions. Les discussions avec les gestionnaires des Installations d'ADM ont permis de déterminer les types de décision que les gestionnaires de produits pétroliers sont amenés à prendre en cas de pénurie.

Comme l'a montré la revue de littérature, en cas de perturbation les gestionnaires doivent prioriser les équipements. Quand les quantités de produits pétroliers disponibles ne couvrent pas l'ensemble des besoins du service, il appartient aux gestionnaires de déterminer quels sont les équipements nécessitant un approvisionnement prioritaire.

Quand un approvisionnement supplémentaire de l'extérieur est nécessaire, les gestionnaires sont responsables des commandes de produits pétroliers. Afin d'assurer la continuité des opérations, il est nécessaire que les bonnes commandes soient passées au bon moment.

Pour maintenir le plus possible un fonctionnement acceptable, les gestionnaires sont parfois amenés à devoir répartir la ressource entre les équipements. Une partie du stock de diesel d'une génératrice pourra par exemple être utilisé par un autre équipement si ce n'est pas une période de panne électrique. Cette répartition se fait à l'interne du service, sans intervention d'un service externe.

Enfin, les gestionnaires peuvent décider d'adapter la consommation de produits pétroliers en fonction de la situation.

3.2.2 Attentes et besoins

Pour pouvoir prendre les décisions qui s'imposent de manière adéquate, les gestionnaires ont besoin d'informations. Les discussions avec le groupe des Installations d'ADM ont permis d'identifier les attentes et besoin des gestionnaires de produits pétroliers.

En premier lieu, les gestionnaires doivent pouvoir évaluer quantitativement les besoins en produits pétroliers.

Les gestionnaires doivent également pouvoir identifier et évaluer les requis pour fonctionner. En cas de perturbation, il faut pouvoir identifier les équipements et activités critiques qui permettront de maintenir un fonctionnement acceptable. Par la suite, il faut connaître les quantités de produits pétroliers nécessaires à leur fonctionnement.

D'autre part, les réserves en place et les quantités stockées disponibles doivent être connues. Cette donnée permet d'évaluer l'autonomie des équipements, ce qui donne une indication sur la marge de manœuvre dont les gestionnaires disposent.

En dernier lieu, les gestionnaires ont besoin de connaître les ressources alternatives disponibles.

L'identification des besoins des gestionnaires permet d'élaborer un cahier des charges. L'approche développée dans ce mémoire doit permettre de fournir des outils d'aide à la décision répondant aux besoins des gestionnaires.

3.3 Adaptation de la méthodologie du CRP

La revue de littérature a montré qu'il est nécessaire d'adapter la méthodologie du CRP pour pouvoir intégrer les interdépendances générées par les produits pétroliers à DOMINO.

Après avoir caractérisé la ressource et identifié les besoins des gestionnaires, les deux postulats formulés dans le cadre de ce travail de recherche vont maintenant permettre de proposer une adaptation de la méthodologie.

3.3.1 Connaissance de la zone d'étude, établissement du portrait

L'étude des interdépendances reliées à l'utilisation aux produits pétroliers nécessite d'acquérir un certain niveau de connaissance de la zone d'étude. L'acquisition de cette connaissance passe par l'établissement d'un portrait de la zone vis-à-vis des produits pétroliers.

3.3.1.1 Identification des utilisateurs

L'établissement du portrait de la zone d'étude commence par l'identification des IE de l'espace de coopération qui utilisent des produits pétroliers. Par la suite, si les produits pétroliers utilisés au sein de l'IE sont gérés par des services différents, il sera intéressant d'identifier plus précisément chaque service.

Pour chaque IE utilisatrice (et au besoin pour chaque service), on identifie ensuite les différents types de produits pétroliers utilisés. Étant donné qu'il est possible qu'une pénurie n'affecte qu'un type de produits pétroliers particulier il est important de faire cette distinction au sein de l'IE à l'étude. En effet, si une IE possède deux dépôts privés, l'un de diesel et l'autre de mazout, il est possible que seulement l'un des deux subisse des dommages. Dans ce cas il sera possible que l'IE

ne subisse une situation de pénurie que pour un des deux types de produits qu'elle utilise. Si une IE utilise deux types de produits pétroliers qui lui sont acheminés via deux modes d'approvisionnement différents, alors si une perturbation survient sur un des deux modes d'approvisionnement il sera possible que l'IE ne subisse une situation de pénurie que pour un des deux types de produits qu'elle utilise.

Pour compléter le portrait de la zone d'étude, on identifie les différents types d'activités ou équipements pour lesquelles les produits pétroliers de l'infrastructure sont utilisés. D'après la caractérisation des produits pétroliers, cette identification doit aussi bien intégrer les équipements fixes que les équipements mobiles. Elle doit aussi intégrer les équipements qui ne consomment des produits pétroliers qu'en situation particulière (exemple : les génératrices).

Enfin, pour chaque type de produits pétroliers et pour chaque type d'activité ou équipement, on identifie la période du besoin. Comme nous l'avons vu au paragraphe précédent, une pénurie de produits pétroliers n'affectera l'infrastructure utilisatrice que si elle est en période de besoin. Cette période peut être définie par une date (ex : de novembre à mars), une durée (ex : 4 heures par jours) ou une période (ex : en période de panne électrique).

3.3.1.2 Évaluation de la criticité

Après avoir identifié les différents types d'activités ou équipements utilisant des produits pétroliers au sein de chaque IE de la zone d'étude, il est nécessaire d'en évaluer la criticité.

La criticité est définie comme « l'ensemble des caractéristiques ou aspects particuliers qui déterminent l'importance d'un actif ou d'une ressource pour une mission, une fonction ou la continuité des opérations, et qui influencent le niveau de protection de cet actif ou de cette ressource contre une attaque » (*Tremium Plus*, 2013). La criticité d'une activité ou d'un équipement sera d'autant plus grande que celui-ci est critique, c'est-à-dire important pour l'infrastructure et sa capacité à réaliser sa mission.

Cette importance doit être évaluée en termes de conséquences d'une perturbation de l'activité ou équipement :

- pour le fonctionnement et la continuité des opérations (Une activité ou un équipement est d'autant plus important que sa perturbation par manque de produits pétroliers induit des

conséquences graves pour l'IE ou pour les autres IE de la zone d'étude. La gravité des conséquences doit aussi intégrer les effets domino potentiels.) ;

- pour la santé et la sécurité de la population (Une activité ou un équipement est d'autant plus importante qu'elle permet d'assurer la sécurité de la population.).

Il appartient au gestionnaire de l'infrastructure d'évaluer la criticité de ses activités ou équipements.

3.3.1.3 Identification des modes d'approvisionnement et liens directs

Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, l'utilisation de zones d'alimentation n'est pas la méthode retenue pour l'étude de la dépendance aux produits pétroliers. L'initiation d'une simulation dans DOMINO du type « à $t=0$, le secteur x est privé de la ressource y » n'est donc pas applicable. Pour faire le lien entre la ressource fournie et l'IE utilisatrice, la démarche proposée dans ce mémoire se base sur l'approvisionnement des produits pétroliers. L'identification des IE affectées par la pénurie ne se fera pas d'après une zone mais via le mode d'approvisionnement.

C'est le mode d'approvisionnement qui est l'interface entre la ressource et l'IE utilisatrice. Pour compléter le portrait on doit donc identifier les modes d'approvisionnement (transport et distribution) de chaque type de produits pétroliers utilisé par l'IE.

De plus, la revue de littérature a montré que certaines infrastructures disposent d'un dépôt privé de produits pétroliers. Ce type de dépôt constitue un lien direct entre la ressource et l'IE utilisatrice. Il est important d'identifier si l'infrastructure possède ou non un dépôt de produits pétroliers car cette donnée permettra de savoir si l'infrastructure dispose de stocks.

3.3.1.4 Détermination des quantités consommées, stockées et de l'autonomie

L'établissement du portrait de la zone d'étude passe ensuite par l'identification des besoins de chaque IE en produits pétroliers. Pour cela on identifie, pour chaque type de produits pétroliers utilisés, les quantités consommées par jour ou par heure selon l'échelle de temps sur laquelle on souhaite travailler.

Il est ensuite nécessaire de déterminer les quantités de produits pétroliers qui sont stockées au sein de l'infrastructure. Si une IE ne dispose pas de dépôt privé, le stock sera égal à 0.

Les gestionnaires ont plus souvent accès à l'autonomie de leur infrastructure vis-à-vis des produits pétroliers. Pour chaque type de produits pétroliers utilisé, la donnée d'autonomie de l'infrastructure pourra être utilisée pour calculer la donnée de quantité consommée ou de quantité stockée manquante.

3.3.1.5 Ressources alternatives

Tel que mentionné dans la méthodologie du CRP, il est fondamental de prendre en compte les ressources alternatives dans l'étude des interdépendances entre les IE. Il est donc important d'identifier les ressources alternatives dont l'IE dispose en cas d'indisponibilité des produits pétroliers.

Il se peut que la ressource alternative ne soit pas disponible en tout temps. Il est aussi possible qu'elle ne soit disponible que pour une durée limitée. Ces données sont importantes et doivent être intégrées au portrait.

3.3.1.6 Synthèse

Les données nécessaires à l'établissement de portrait de la zone d'étude sont donc :

- les types de produits pétroliers utilisés ;
- les types d'activité ou équipements ;
- la criticité ;
- la période du besoin ;
- l'élément critique par lequel est acheminé le produit pétrolier (ou mode de transport) ;
- les équipements de distribution ;
- l'existence d'un dépôt ou réservoir ;
- les quantités consommées ;
- les quantités Stockées ;
- l'autonomie ;
- les ressources alternatives.

3.3.1.7 Cas particulier : les génératrices

Les génératrices sont des équipements utilisés en période de panne électrique. La revue de littérature a montré qu'une situation de panne électrique est un cas important dans l'étude des interdépendances reliées à l'utilisation aux produits pétroliers. Afin de compléter le portrait de la zone d'étude, il est donc intéressant d'analyser plus précisément les génératrices des IE.

Ainsi pour chaque génératrice identifiée parmi l'équipement de l'IE fonctionnant grâce aux produits pétroliers, on détermine :

- les équipements qui dépendront de celle-ci en cas de panne électrique ;
- la fonction de ces équipements.

Ces informations doivent aider le gestionnaire à évaluer la criticité de chaque génératrice.

3.3.2 Conditions initiales

L'objectif de ce travail de recherche est d'intégrer les produits pétroliers à l'outil DOMINO du CRP. Sur le modèle de l'outil existant, la démarche proposée doit donc permettre de réaliser des simulations. À l'heure actuelle, l'initialisation d'une simulation dans DOMINO se fait selon le modèle : « à $t=0$, le secteur x est privé de la ressource y ». C'est l'utilisation des zones d'alimentation qui permet de définir la condition initiale de perturbation.

Or, l'utilisation de zones d'alimentation n'est pas retenue pour étudier les interdépendances reliées à l'utilisation aux produits pétroliers. L'initialisation d'une simulation impliquant une perturbation de la ressource Produits Pétroliers ne se fera pas en déclarant qu'une zone est privée de la ressource, mais en passant par les modes d'approvisionnement et liens directs. Dans le cas des produits pétroliers, l'initialisation d'une simulation se fera selon le modèle : « à $t=0$, le mode de transport x / le mode de distribution y / le lien direct (ex : dépôt) z est défaillant ».

Ainsi, pour initialiser une simulation impliquant une perturbation des produits pétroliers, des conditions initiales de perturbation doivent être définies.

Tout d'abord, l'élément critique défaillant doit être identifié. Il pourra s'agir d'un mode de transport, d'un équipement de distribution ou d'une unité de stockage type lien direct (dépôt). Tel que précisé dans la problématique, le lien entre les raffineries ou les grands terminaux pétroliers n'est pas évident, mais la caractérisation de la ressource a permis d'identifier et de décrire des

liens entre les produits pétroliers et les IE (soit les modes de transport, les équipements de distribution et les dépôts privés). C'est pourquoi, dans la démarche proposée, ce sont uniquement ces éléments critiques qui pourront être déclarés défaillant dans la définition des conditions initiales.

Il est alors possible d'identifier à partir du portrait quelles sont les IE de la zone d'étude qui sont approvisionnées en produits pétroliers via cet élément critique. Ce sont les IE potentiellement affectées. Le portrait permet aussi de savoir quels types de produits pétroliers sont acheminés via cet élément critique. Enfin connaissant les types de produits pétroliers acheminés via l'élément critique défaillant, le portrait permet d'identifier les types d'activité ou équipements potentiellement affectés. Les produits pétroliers acheminés via un mode d'approvisionnement différent de celui qui est déclaré défaillant ne sont pas considérés comme perturbés.

Il est ensuite important d'évaluer si les IE potentiellement affectées sont en période de besoin au moment où la perturbation est déclarée. Il est donc nécessaire d'identifier la « date » à laquelle la simulation est réalisée et de la comparer à la période de besoin identifiée dans le portrait. Si la date de la simulation correspond à la période de besoin de l'IE, celle-ci est considérée comme perturbée vis-à-vis des produits pétroliers et une analyse plus approfondie de la perturbation est nécessaire. Dans le cas contraire, l'IE n'est pas considérée comme perturbée.

Une IE sera donc considérée comme perturbée vis-à-vis des produits pétroliers si :

- l'IE est approvisionnée en produits pétroliers via un élément critique défaillant ;
- la défaillance de l'élément critique affecte un ou plusieurs types de produits pétroliers utilisés par l'IE ;
- l'IE est en période de besoin pour le ou les types de produits pétroliers affectés.

Pour compléter la définition des conditions initiales de perturbation, il est ensuite possible de définir la durée prévisionnelle de perturbation. Cette donnée est importante puisqu'elle donne au gestionnaire une indication sur la durée de perturbation à considérer pour son étude. S'il est connu, le préavis (c'est-à-dire la durée avant que la perturbation ne soit ressentie) peut également être indiqué.

Enfin, il est nécessaire de définir l'ampleur de la perturbation. La revue de littérature a montré que les conséquences de la défaillance du mode d'approvisionnement peuvent être :

- un arrêt d'approvisionnement ;
- un approvisionnement en quantités moindres ;
- un délai d'approvisionnement.

La problématique des délais d'approvisionnement sera le plus souvent liée à des perturbations routières, qui peuvent affecter le transport des produits pétroliers. En effet, l'approvisionnement par camion-citerne fait appel à des véhicules, à des transporteurs et au réseau routier. Les IE se trouvant dans une zone de perturbations routières et qui sont approvisionnées par camion-citerne seront donc potentiellement perturbées vis-à-vis de la ressource produits pétroliers. L'influence du réseau routier sur la disponibilité de la ressource se traduira par un délai dans l'approvisionnement (Hémond, 2008). Le cas des véhicules s'approvisionnant aux stations-services publiques est lui aussi particulier. Lorsque des stations-service ne peuvent plus fournir de carburant (bris, panne électrique, pénurie) on peut imaginer que les véhicules iront s'approvisionner à d'autres stations-service du territoire. Ce trajet supplémentaire pourra entraîner des retards et des délais. D'autre part il se peut que des files d'attente importantes se créent aux stations-services restantes. Ces deux facteurs pourront entraîner des délais et donc diminuer la disponibilité des véhicules.

La condition d'ampleur pourra donc être de type « approvisionnement indisponible », « seulement x% des quantités disponibles » ou « délai d'approvisionnement ». L'ampleur peut également varier dans le temps. Il est par exemple possible que seulement 50% des quantités de produits pétroliers ne soient disponibles pendant quelques jours puis que l'approvisionnement devienne complètement indisponible par la suite. Il doit donc être possible de définir une ampleur variable.

Dans le cas de l'élément critique dépôt privé, il se peut que ce ne soit pas l'approvisionnement qui soit affecté mais le stock (ex : incendie du réservoir). Dans ce cas l'ampleur sera de type « stock totalement indisponible ».

Les conditions initiales devant être définies dans la démarche proposée sont donc :

- l'élément critique affecté ;
- les types de produits pétroliers potentiellement affectés ;
- les types d'activité ou équipements potentiellement affectés ;

- la correspondance avec la période du besoin ;
- la durée prévisionnelle de la perturbation ;
- le préavis ;
- l'ampleur de la perturbation.

3.3.3 Priorisation des approvisionnements en cas de pénurie

Une fois que les conditions permettant d'initialiser une simulation sont définies, l'objectif est de fournir des critères permettant de comparer les IE affectées et de prioriser les approvisionnements en produits pétroliers. En effet, dans le cas où l'approvisionnement d'une IE en produits pétroliers devient insuffisant ou nul, cette IE ne reçoit plus les quantités de produits pétroliers nécessaires pour réaliser sa mission. Pour maintenir un fonctionnement acceptable l'IE va avoir besoin que des quantités supplémentaires de produits pétroliers lui soient acheminées pour combler le manque. C'est l'approvisionnement supplémentaire. En cas de pénurie affectant plusieurs IE ou plusieurs services, il appartient aux coordonnateurs d'urgence de gérer les stocks de produits pétroliers disponibles. Les gestionnaires doivent donc être en mesure d'établir des priorités afin de répondre adéquatement aux besoins en approvisionnement supplémentaire au sein de leur service ou entre les différentes infrastructures affectées.

Pour pouvoir fournir des résultats à partir du portrait et des conditions initiales de perturbation, la condition initiale d'ampleur doit être traduite en termes de quantités disponibles. Par ailleurs, il est important d'évaluer les quantités stockées disponibles à $t=0$, c'est-à-dire au début du premier jour de perturbation.

Deux critères de priorisation sont alors proposés dans ce mémoire : la gravité des conséquences et l'autonomie.

La gravité des conséquences d'une pénurie de produits pétroliers peut être évaluée grâce au paramètre de criticité. La criticité caractérise l'importance des activités ou équipement d'une IE en termes de conséquences générées en cas de perturbation. Plus une activité ou un équipement est critique, plus il est important de s'assurer que les quantités nécessaires de produits pétroliers lui soient acheminées.

D'autre part, les données recueillies permettent de tracer, pour chaque IE affectée, des courbes d'évolution des stocks en fonction de la durée de perturbation et d'évolution du besoin en approvisionnement supplémentaire en fonction de la durée de perturbation. Des exemples de ces courbes sont donnés dans le chapitre suivant. L'objectif de cet outil est de fournir aux gestionnaires une vision globale des besoins de chaque IE de la zone d'étude (ou de chaque service) au cours de la perturbation. Ainsi il est possible de visualiser rapidement quels sont les équipements les plus autonomes et quels sont ceux qui sont le plus dépendantes à un approvisionnement supplémentaire.

Pour augmenter son autonomie vis-à-vis d'un approvisionnement supplémentaire, l'IE peut utiliser des ressources alternatives. Ces ressources sont donc à prendre en compte au moment de la priorisation.

En cas de pénurie de produits pétroliers il appartient aux gestionnaires de prendre les décisions qui s'imposent pour limiter les conséquences de cette perturbation. La principale décision à prendre concerne la priorisation des équipements à approvisionner. La combinaison des critères de gravité des conséquences et d'autonomie permet aux gestionnaires d'avoir une vision globale du besoin des IE et des conséquences de la défaillance de leurs équipements. Ces deux éléments constituent des outils d'aide à la décision pour les gestionnaires.

Les résultats qui doivent permettre au gestionnaire de prioriser les approvisionnements en produits pétroliers sont donc :

- l'approvisionnement disponible / les quantités disponibles ;
- les quantités stockées disponibles à $t=0$;
- la criticité ;
- les courbes d'évolution des stocks et/ou d'évolution du besoin en fonction de la durée de perturbation ;
- les ressources alternatives disponibles.

3.3.4 Situation particulière : cas d'une panne majeure d'électricité

Plusieurs éléments de la chaîne d'approvisionnement des produits pétroliers sont dépendants à l'électricité. Une panne électrique peut affecter le fonctionnement des pipelines ou encore des

pompes des stations-service, des raffineries, des terminaux pétroliers, des dépôts et perturber l'acheminement ou la distribution des produits pétroliers. De plus, une panne électrique correspond à une situation d'urgence particulière pendant laquelle certaines IE vont utiliser des génératrices de secours. Cette situation va générer de nouveaux besoins en produits pétroliers pour les IE car les génératrices ont besoin de cette ressource pour fonctionner. Une panne d'électricité est donc une situation particulière dans l'étude de la dépendance aux produits pétroliers puisque qu'un tel évènement génère à la fois :

- des perturbations de l'approvisionnement en ressource ;
- des besoins supplémentaires.

3.3.4.1 Conséquences de la panne électrique

3.3.4.1.1 Augmentation de la demande en produits pétroliers dans le secteur affecté par la panne

Une situation de panne électrique correspond à une période de besoin pour les génératrices de secours. En plus des besoins courants, les IE affectées par la panne auront besoin de produits pétroliers pour faire fonctionner leurs génératrices. Il est donc important d'identifier les génératrices dans le portrait ainsi que les types de produits pétroliers avec lesquels elles sont compatibles.

La panne électrique, via l'utilisation des génératrices, modifie donc les besoins en produits pétroliers au sein de la zone d'étude. Les gestionnaires d'urgence doivent être conscients de ce phénomène. Ils doivent pouvoir anticiper l'augmentation de la demande et assurer un approvisionnement en produits pétroliers adéquat pour les génératrices.

3.3.4.1.2 Perturbations de l'approvisionnement en produits pétroliers dans le secteur affecté par la panne

Des éléments critiques de la chaîne d'approvisionnement des produits pétroliers peuvent se trouver dans le secteur de panne électrique et être affectés par celle-ci.

Les pipelines, les pompes des terminaux ou des dépôts et les pompes des stations-services sont dépendantes à l'électricité. En cas de panne, et s'il n'y a pas de génératrices de secours, les pipelines ne pourront plus acheminer le produits pétroliers. En cas de panne électrique affectant

la pompe d'un dépôt privé, il se peut que l'accès aux produits qui y sont stockés soit difficile voire impossible. De même, si une panne électrique affecte les pompes des stations-services alors celles-ci ne pourront plus distribuer de carburant.

En cas de panne électrique les éléments critiques de la chaîne d'approvisionnement des produits pétroliers disposent souvent de génératrices de secours mais restent vulnérables si la génératrice devient non-fonctionnelle. Il existe donc un risque que ces éléments critiques deviennent défaillants. Si une telle situation se produit la panne électrique pourra provoquer une pénurie de produits pétroliers par effet domino. Les gestionnaires doivent avoir conscience de ce phénomène.

3.3.4.1.3 Maintien des besoins courant en produits pétroliers dans les autres secteurs

Dans les secteurs qui ne sont pas affectés par la panne électrique les besoins courant en produits pétroliers sont maintenus. Une IE située hors du secteur de panne électrique pourra néanmoins subir des perturbations si celle-ci est approvisionnée en produits pétroliers via un élément critique affecté par la panne. Une panne électrique se produisant dans un secteur donné pourra donc compromettre la satisfaction des besoins courant des IE des secteurs alentours.

De plus, il se peut que la demande aux stations-service augmente dans les secteurs situés autour du secteur de panne, puisque les véhicules du secteur de panne chercheront à s'approvisionner aux stations-services fonctionnelles.

3.3.4.2 Conditions initiales

Dans le cas d'une panne électrique, les conditions initiales qui doivent être définies sont différentes. La démarche se fait cette fois en deux temps.

Dans un premier temps il est nécessaire de définir l'ampleur géographique de la panne électrique. Ainsi il sera possible d'identifier les secteurs affectés par la panne et donc les génératrices qui vont fonctionner. Le portrait permet alors de connaître les types de produits pétroliers utilisés par chaque génératrice. Pour compléter la définition des conditions initiales de perturbation, il est possible de définir la durée prévisionnelle de perturbation et (s'il est connu) le préavis.

Les conditions initiales devant être définies en situation de panne électrique sont donc :

- l'ampleur géographique de la panne ;

- les génératrices utilisées ;
- les types de produits pétroliers utilisés ;
- la durée prévisionnelle de la panne ;
- le préavis.

Dans un deuxième temps il faut pouvoir anticiper les éventuelles perturbations que les éléments critiques de la chaîne d'approvisionnement présents dans le secteur de panne pourraient subir. Pour cela, il est nécessaire d'identifier les éléments critiques de la zone d'étude pouvant être affectés par la panne. Si un tel élément critique est affecté par la panne électrique alors il est possible que les produits pétroliers soient affectés par effet domino. Le portrait permet alors de savoir quels types de produits pétroliers sont acheminés via cet élément critique. Ce sont les types de produits pétroliers potentiellement affectés. Connaissant les types de produits pétroliers potentiellement affectés, le portrait permet d'identifier les types d'activité ou équipements potentiellement affectés.

L'objectif de cette démarche est d'attirer l'attention du gestionnaire sur les effets domino que pourrait générer panne électrique. S'il s'avère qu'un élément critique devient effectivement défaillant à cause de la panne électrique, l'analyse exposée au paragraphe 3-3 est déjà initiée. Les données à recueillir pour compéter les conditions initiales de perturbation en cas de panne sont donc :

- les éléments critiques potentiellement affectés ;
- les types de produits pétroliers potentiellement affectés ;
- les types d'activité potentiellement affectés.

3.3.4.3 Priorisation des approvisionnements

En cas de panne électrique il appartient aux gestionnaires d'urgence de prioriser les approvisionnements afin de limiter la propagation des défaillances par effet domino.

Pour pouvoir fournir des résultats les quantités stockées disponibles à $t=0$ doivent être évaluées. Les courbes d'évolution des stocks en fonction de la durée de perturbation et d'évolution du besoin en approvisionnement supplémentaire en fonction de la durée de perturbation peuvent alors être produites.

Les critères de priorisation proposés dans le cas particulier d'une panne électrique restent les mêmes, soit la gravité des conséquences (évaluée grâce au paramètre de criticité) et l'autonomie (visualisable grâce aux courbes d'évolution du besoin).

Tout comme dans le cas général, les ressources alternatives sont à prendre en compte au moment de la priorisation.

Cette démarche permet de comparer et de prioriser les équipements utilisant des produits pétroliers en cas de panne électrique, soit les génératrices. Or, en cas de panne électrique les besoins courants en produits pétroliers des IE sont maintenus. Cette particularité est à intégrer au résultat car la prise en compte des besoins courant permettra aux gestionnaires d'avoir une vision globale des quantités de produits pétroliers nécessaires à chaque IE pendant la période de panne.

Les résultats qui doivent permettre aux gestionnaires de prioriser les approvisionnements en produits pétroliers en cas de panne électrique sont donc :

- les génératrices ;
- les quantités stockées disponibles à $t=0$;
- la criticité ;
- les courbes d'évolution des stocks et/ou d'évolution du besoin en fonction de la durée de perturbation ;
- les ressources alternatives disponibles ;
- les besoins courants maintenus.

CHAPITRE 4 APPLICATION

Le chapitre précédent a permis d'exposer la démarche issue de ce travail de recherche. Ce chapitre présente une étude de cas réalisée à l'échelle d'une organisation. L'infrastructure étudiée dans ce cas d'application est une infrastructure aéroportuaire fictive. Les données sont inspirées d'un cas réel mais les valeurs fournies ont été modifiées pour des raisons de confidentialité.

4.1 Établissement du portrait

L'organisation à l'étude est une infrastructure aéroportuaire fictive. La zone d'étude considérée correspond à l'ensemble du territoire aéroportuaire. Sur ce territoire 15 services distincts gèrent au total près de 20 types de produits pétroliers différents. Pour simplifier l'étude l'analyse n'a été réalisée que sur 2 services (le service A et le service B).

Dans le cas d'un approvisionnement par pipeline, le lien entre l'élément critique source et l'infrastructure est matérialisé physiquement. L'origine du produit pétrolier peut donc être facilement connue. Dans les autres cas, on considère que l'infrastructure à l'étude n'a aucun contrat permanent avec un fournisseur de produits pétroliers. Les commandes sont essentiellement faites en fonction du besoin. À chaque fois qu'une commande de produits pétroliers doit être faite, une étude de prix est réalisée et la commande est passée au fournisseur proposant les tarifs et les délais de livraison les plus intéressants. Il est donc possible que le fournisseur change à chaque livraison. L'origine du produit pétrolier ne peut donc pas être déterminée de façon systématique. De plus, on considère que l'infrastructure ne réalise pas de commandes à l'échelle globale mais que chaque service fait ses commandes de manière indépendante. En d'autres termes, il se peut que plusieurs fournisseurs approvisionnent en même temps l'IE, chacun pour un service différent.

Le portrait de la zone d'étude, développé selon la démarche proposée dans le chapitre précédent, est disponible en annexe B.

Le service A gère 4 types de produits pétroliers différents :

- du carburant d'aviation (utilisable par les avions) ;
- du diesel ;
- de l'essence ;

- du carburant d'aviation non utilisable pour les aéronefs (CANU).

Ces produits pétroliers sont acheminés via des modes d'approvisionnements différents et le service A dispose d'un réservoir de stockage pour chaque produit. Les stocks de diesel et d'essence du service A sont utilisés pour l'ensemble des véhicules de service et d'urgence du territoire aéroportuaire (même si ces véhicules n'appartiennent pas tous au service A).

Le service B gère un plus grand nombre de types de produits pétroliers. Les stocks de diesel du service B servent exclusivement aux génératrices. Les véhicules d'urgence ou de service du service B roulant au diesel utilisent les stocks de diesel du service A.

Dans les tableaux qui suivent et dans le portrait placé en annexe, AD (à déterminer) signifie que la donnée n'a pas été obtenue pour cette étude.

4.2 Conditions initiales

L'approche par conséquences a permis d'élaborer une démarche basée sur l'analyse des conséquences et non sur des causes particulières. L'avantage de cette approche est que la démarche développée peut maintenant être adaptée à tous types d'événements. À partir du portrait développé, il est possible d'analyser un grand nombre de cas de défaillances. Dans ce mémoire, trois cas sont donnés en exemple (tableau 4-1).

Tableau 4-1 : Conditions initiales pour trois exemples

	Élément critique affecté	Types de produits pétroliers potentiellement affectés	Types d'activité ou équipements potentiellement affectés	Correspondance avec la période du besoin	Durée prévisionnelle de la perturbation	Préavis	Ampleur de la perturbation	Exemple d'événement pouvant générer ce type de conséquences
1	Pipeline A	Carburant d'aviation	Transport par avion	Oui, on est en période de besoin	4 jours	Aucun	Seulement 20% des quantités disponibles	Débit moindre sur le pipeline A
2	Camion-citerne	Diesel service A	Véhicules de service	Oui	3 jours	2 jours	Approvisionnement totalement indisponible	Grève des transporteurs
			Véhicules d'urgence					
		Génératrices	Non	-	-			
		Essence	Véhicules de service	Oui	3 jours	2 jours		
			Véhicules d'urgence					
Diesel service B	Génératrices	Non	AD	AD				
3	Réservoir diesel service A	Diesel	Véhicules de service	Oui	-	Aucun	Stock totalement indisponible	Incendie du réservoir
			Véhicules d'urgence					

Dans le premier cas, on indique que l'élément critique défaillant est le pipeline A. On peut alors identifier dans le portrait quels sont les produits pétroliers qui sont acheminés par ce mode d'approvisionnement. Le pipeline A apparaît une fois dans le portrait et achemine le carburant d'aviation. L'organisation sera donc potentiellement affectée par une pénurie de carburant d'aviation. A priori, les autres types de produits pétroliers ne sont pas affectés. On peut ensuite identifier, à partir du portrait, les types d'activités potentiellement affectés par la pénurie, soit le transport par avion. Par la suite on compare la date à laquelle la perturbation se produit avec la période du besoin. Ici la période du besoin est permanente. Quelle que soit la date de la perturbation, il y aura donc affectation d'un type de produits pétroliers utilisé par l'infrastructure pendant une période de besoin. On peut ensuite fixer la durée prévisionnelle de la perturbation et

le préavis. Dans cet exemple, la durée prévisionnelle de perturbation a été fixée à 4 jours, il est donc prévu que la perturbation soit plus longue que l'autonomie (qui est de 3 jours pour le carburant d'aviation). Pour finir, on définit l'ampleur de la perturbation. Cet exemple pourrait correspondre au pipeline qui ne fournit plus qu'un approvisionnement en quantités moindres (seulement 20% des quantités disponibles).

Dans le deuxième cas, la particularité se situe au niveau de la période du besoin. Si l'approvisionnement par camion-citerne est perturbé, les véhicules d'urgence, les véhicules de service et les génératrices de l'organisation seront potentiellement affectés par une pénurie. Or, les véhicules de service et les véhicules d'urgence utilisent du diesel en tout temps alors que les génératrices ne consomment du diesel qu'en cas de panne électrique. Si la perturbation se produit en situation courante, alors seuls les véhicules de service et véhicules d'urgence seront en période de besoin et donc effectivement affectés. C'est donc sur ce type d'activité qu'il faut orienter l'étude. On peut aussi imaginer que la perturbation soit annoncée avec un préavis que l'on peut préciser dans les conditions initiales. Ce cas pourrait correspondre à une grève des transporteurs routiers affectant l'ensemble des produits pétroliers approvisionnés par camion-citerne.

Dans le troisième cas, ce n'est pas un mode d'approvisionnement qui est affecté mais un réservoir. Les cases du tableau se remplissent malgré tout toujours de la même façon, en se référant au portrait. Ce cas pourrait correspondre à un incendie du réservoir.

4.3 Résultats et éléments de priorisation

Une fois les conditions initiales définies, il est possible de fournir des résultats. D'après la démarche proposée au chapitre précédent, il est nécessaire d'évaluer quantitativement l'approvisionnement disponible. Pour cela il faut identifier dans le portrait les quantités consommées en situation courante et y appliquer la condition d'ampleur. Dans le premier cas 2 000 000 L de carburant d'aviation sont consommés par jour. Si seulement 20% des quantités sont disponibles l'infrastructure ne recevra plus les 2 000 000 L dont elle a besoin par jour. L'approvisionnement journalier ne sera que de 400 000 L.

Les quantités stockées disponibles correspondent à la quantité de stock du type de produits pétroliers perturbé qui est disponible au temps $t=0$, c'est à dire au début du premier jour de perturbation. Cette donnée peut correspondre à la quantité maximale de stock identifiée dans le

portrait, ou à une quantité moindre si une partie du stock a déjà été consommée ou endommagée. Dans le cas 3, les conditions initiales indiquent que plus aucun de stock de diesel n'est disponible pour le service A. Dans les cas 1 et 2, il y a une perturbation au niveau de l'approvisionnement mais la totalité du stock est disponible (tableau 4-2).

Tableau 4-2 : Résultat pour trois exemples

Cas	Approvisionnement disponible en L/j	Quantités stockées disponibles à t=0 (en L)	Type d'activité ou équipement affecté	Criticité	Évolution du stock	Évolution du besoin	Ressources alternatives	
1	400 000	6 000 000	Transport par avion	AD	cf courbes		Non	
2	0	18 000	Véhicules de service	AD			CANU	
			Véhicules d'urgence					
	0	15 000	Véhicules de service	AD				Non
			Véhicules d'urgence	AD				Non
3	6 000	0	Véhicules de service	AD			CANU pour certains véhicules de service	
			Véhicules d'urgence					

Le paramètre de criticité permet alors d'évaluer la gravité des conséquences d'une pénurie de produits pétroliers, c'est le premier critère de priorisation.

D'autre part, les données recueillies permettent de tracer les courbes d'évolution des stocks en fonction de la durée de perturbation et d'évolution du besoin en approvisionnement supplémentaire en fonction de la durée de perturbation. L'objectif de cet outil est de permettre aux gestionnaires de visualiser rapidement combien de temps l'organisation peut continuer à fonctionner grâce aux stocks disponibles et d'évaluer quantitativement l'approvisionnement supplémentaire qui sera nécessaire au cours du temps.

La figure 4-1 représente les courbes d'évolution du stock et d'évolution du besoin correspondant au premier cas. Les courbes concernent exclusivement le type de produits pétroliers affecté soit le carburant d'aviation. À t=0, l'infrastructure dispose de 6 000 000 L de carburant d'aviation en

stock. Après un jour de perturbation il reste 4 400 00 L en stock. L'infrastructure reste autonome et peut continuer à fonctionner sans recevoir d'approvisionnement supplémentaire de l'extérieur. Cette situation dure 3 jours. Au début du quatrième jour de perturbation il reste 1 200 00 L en stock et 400 000 L sont acheminés par le pipeline : 1 600 000 L sont donc disponibles, ce qui ne couvre pas le besoin de 2 000 000 L par jour. L'infrastructure a donc besoin d'un approvisionnement supplémentaire de 400 000 L. Au bout de quatre jours de perturbation, le stock est épuisé et le besoin en approvisionnement supplémentaire est de 1 600 000 L par jour. Grâce à ces courbes, les gestionnaires peuvent donc visualiser et anticiper le besoin en produits pétroliers.

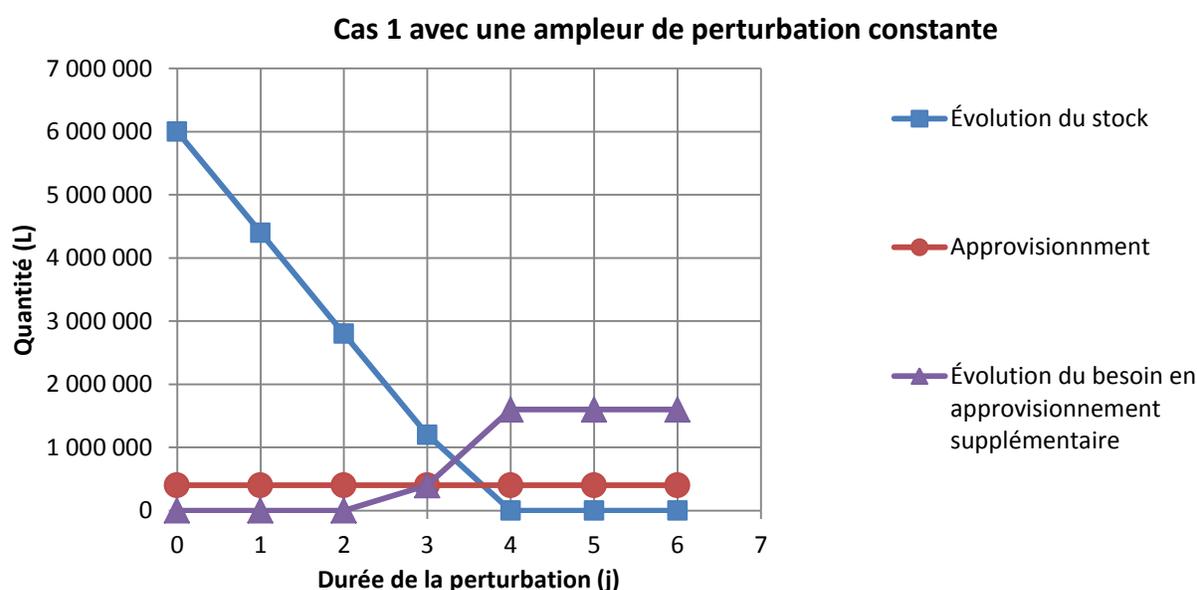


Figure 4-1 : Courbes d'évolution du stock et d'évolution du besoin cas 1 avec ampleur de perturbation constante.

La figure 4-2 représente toujours les courbes d'évolution du stock et d'évolution du besoin correspondant au premier cas, mais cette fois dans le cas d'une ampleur de perturbation variable. On imagine maintenant que l'ampleur de la perturbation n'est plus constante mais qu'elle s'amplifie. La condition initiale d'ampleur correspondant à ce cas pourrait être : approvisionnement de 2 000 000 L le premier jour, puis de 8 000 000 L au début du deuxième jour, puis 400 000 L, 100 000 L et enfin approvisionnement nul au début du cinquième jour. Cet exemple montre que l'outil permet d'intégrer des variations de l'ampleur de perturbation.

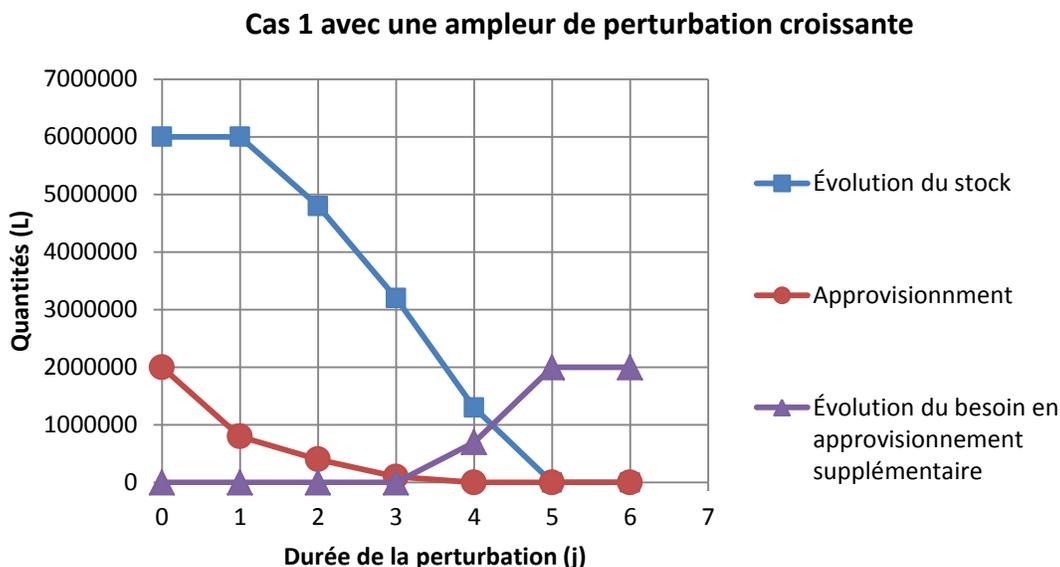


Figure 4-2 : Courbes d'évolution du stock et d'évolution du besoin cas 1 avec ampleur croissante.

On remarque que le stock de carburant d'aviation est suffisant pour répondre au besoin de l'IE pendant les quatre premiers jours représentés sur la figure. Au début du cinquième jour un approvisionnement supplémentaire est nécessaire. Après cinq jours, le stock est totalement épuisé et le besoin en approvisionnement supplémentaire est de 2 000 000 L par jour.

On remarque également sur cette courbe qu'à $t=0$ les quantités reçues par le pipeline sont normales (2 000 000 L reçus). La perturbation (seulement 800 000 L reçu) ne commence qu'au début de deuxième jour dans la représentation. Le premier jour représenté correspond donc à un préavis d'un jour.

On peut alors tracer tous types de courbes d'évolution du stock et d'évolution du besoin selon les conditions initiales de perturbation identifiées. Par la suite, si plusieurs services de l'infrastructure subissent des perturbations pour un même type de produits pétroliers il sera possible de tracer leurs besoins respectifs sur un même graphique pour pouvoir les comparer.

Les ressources alternatives doivent également être identifiées dans les conditions initiales car elles peuvent être utilisées pour pallier au manque de produits pétroliers et augmenter l'autonomie de l'organisation.

4.4 Situation particulière : panne électrique et génératrices

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, une situation de panne électrique est une situation particulière qui modifie les besoins en produits pétroliers de la zone d'étude et pour laquelle la démarche doit être adaptée.

4.4.1 Conditions initiales – cas d'une panne électrique

Dans cet exemple la panne électrique affecte l'ensemble du territoire aéroportuaire. Les six génératrices présentes sur le territoire vont donc fonctionner. Deux d'entre elles appartiennent au service A, les quatre autres appartiennent au service B. Les réservoirs des génératrices A et B ne sont donc pas forcément approvisionnés par le même fournisseur. Le tableau suivant présente les conditions initiales de perturbation.

Tableau 4-3 : Conditions initiales – génératrices

Ampleur géographique	Génératrices utilisées	Types de produits pétroliers utilisés	Durée prévisionnelle de la panne	Préavis
L'ensemble du territoire de l'aéroport	Génératrice A1	Diesel	AD	AD
	Génératrice A2		AD	AD
	Génératrice B1		AD	AD
	Génératrice B2		AD	AD
	Génératrice B3		AD	AD
	Génératrice B4		AD	AD

Afin d'anticiper une éventuelle propagation de la perturbation par effet domino, il est nécessaire d'identifier les éléments critiques de la zone d'étude susceptibles d'être affectés par la panne électrique. Dans ce cas-ci il peut s'agir du pipeline A, des pompes qui acheminent le carburant d'aviation du pipeline aux aéronefs ou encore des pompes utilisées pour acheminer le carburant des réservoirs aux véhicules. Ces données sont présentées dans le tableau 4-4.

Tableau 4-4 : Conditions initiales – éléments critiques potentiellement affectés

Éléments critiques potentiellement affectés	Types de produits pétroliers potentiellement affectés	Type d'activité potentiellement affectés
Pipeline A, pompes du pipeline A	Carburant d'aviation	Transport avion
Pompes des réservoirs et pompes des stations-service	Essence	Véhicules de service
		Véhicules d'urgence
	Diesel	Véhicules de service
		Véhicules d'urgence

4.4.2 Résultats et éléments de priorisation – cas d'une panne électrique

Une fois les conditions initiales définies, il est possible de fournir des résultats. Pour cela on identifie les quantités stockées disponibles à $t=0$ pour chaque génératrice utilisée pendant la panne (tableau 4-5). Le paramètre de criticité permet alors d'évaluer la gravité des conséquences d'une pénurie de produits pétroliers, c'est le premier critère de priorisation. Les données recueillies permettent également de tracer les courbes d'évolution des stocks en fonction de la durée de perturbation et d'évolution du besoin en approvisionnement supplémentaire en fonction de la durée de perturbation.

Tableau 4-5 : Résultat – cas d'une panne électrique

Génératrices utilisées	Quantités stockées disponibles à $t=0$	Criticité	Évolution du stock	Évolution du besoin	Ressources alternatives	Besoins courants maintenus (L/j)
Génératrice A1	900	AD	Cf courbes		Oui : CANU	6 000
Génératrice A2	2 000	AD				
Génératrice B1	4 800	AD				
Génératrice B2	4 800	AD			Non	
Génératrice B3	9 600	AD				
Génératrice B4	9 600	AD				

La figure 4-3 représente la courbe d'évolution des besoins pour les six génératrices. La courbe d'évolution du stock n'est pas représentée sur cette figure.

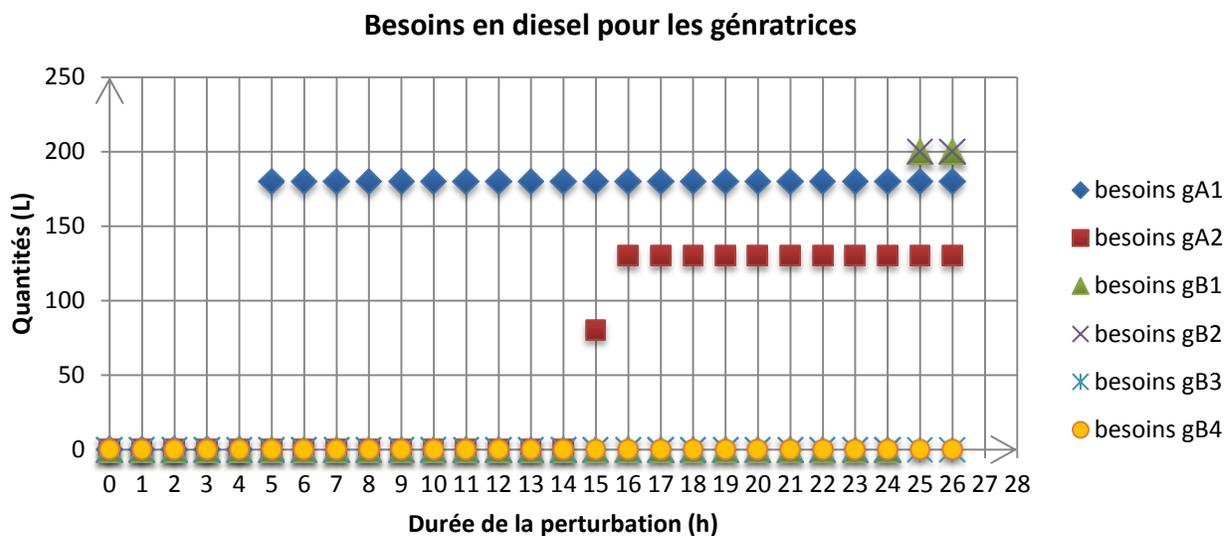


Figure 4-3 : Courbes d'évolution du besoin en approvisionnement supplémentaire des six génératrices.

Six courbes sont donc représentées sur la figure 4-3. Au début de la perturbation le besoin en approvisionnement supplémentaire est nul pour les six génératrices, les courbes sont donc superposées. Au début de la sixième heure de perturbation (et donc de la sixième heure de fonctionnement des génératrices) il faut fournir un approvisionnement supplémentaire à la génératrice gA1 de 180 L/h. Le besoin en approvisionnement supplémentaire des autres génératrices est toujours égal à zéro. Cette courbe montre donc que l'autonomie globale des génératrices de l'organisation à l'étude est de 5 heures. Par la suite, on remarque que la génératrice gA2 dispose de 15 heures d'autonomie. Au début de la seizième heure de perturbation cette génératrice a besoin d'un approvisionnement supplémentaire de 80 L pour fonctionner car il lui reste du stock. À partir de la dix-septième heure son stock est totalement épuisé. Le besoin en approvisionnement supplémentaire de gA2 est alors de 130 L/h. Les génératrices gB1 et gB2 ont une autonomie de 25 heures. Au début de la vingt-sixième heure de fonctionnement le besoin en approvisionnement de ces génératrices est de 200 L/h. La courbe d'évolution du besoin de gB3 et gB4 reste égale à zéro pour toute la durée de perturbation représentée sur la figure. Ces génératrices ont donc au moins 27 heures d'autonomie.

Les six génératrices utilisent le même type de produits pétroliers (diesel). Il est donc possible d'évaluer les besoins cumulés en diesel pour l'ensemble des génératrices (figure 4-4).

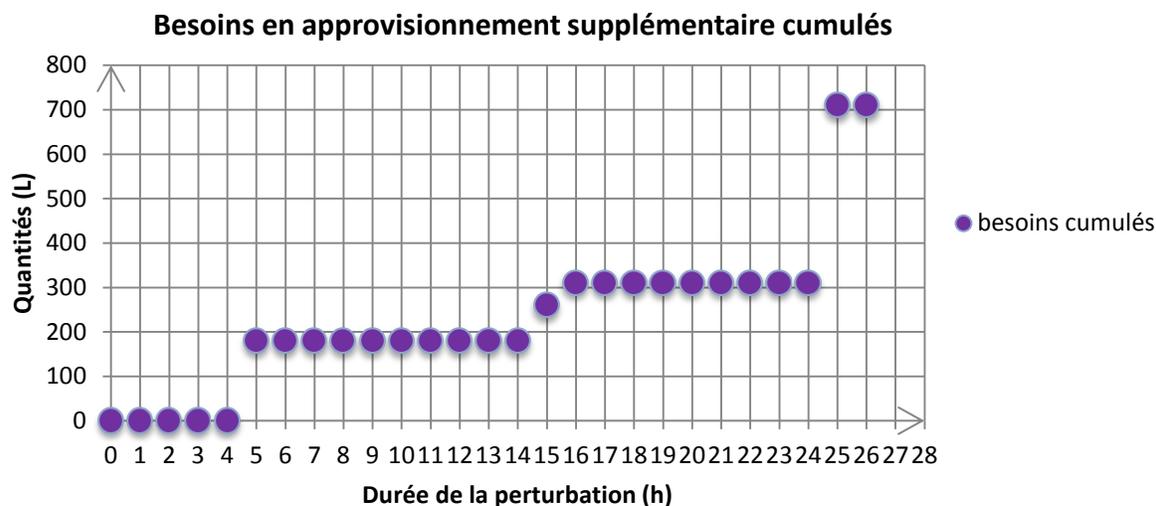


Figure 4-4 : Courbes d'évolution des besoins en approvisionnement supplémentaire cumulés des génératrices.

L'autonomie globale de 5 heures pour l'ensemble des génératrices est visible sur cette figure. Au début de la sixième heure de perturbation (c'est-à-dire de fonctionnement des génératrices), un approvisionnement supplémentaire est nécessaire. La figure 4-3 nous permet de savoir que cela correspond au besoin de la génératrice gA1, qui est la seule à avoir besoin d'un supplémentaire entre la sixième et la quinzième heure de perturbation. Au début de la seizième heure, la génératrice gA2 doit elle aussi être approvisionnée en diesel. Le besoin cumulé de ces deux génératrices est alors de 260 L (180 L pour gA1 et 80 L pour gA2) et passe à 310 L (180 L pour gA1 et 130 L pour gA2) l'heure suivante. Au début de la vingt-sixième heure de perturbation, les génératrices gB1 et gB2 ont-elles aussi besoin d'un approvisionnement supplémentaire en diesel. Un approvisionnement supplémentaire de 710 L (180 L pour gA1, 130 L pour gA2, 200 L pour gB1 et 200 L pour gB2) est donc nécessaire pour assurer le fonctionnement de toutes les génératrices. Cette courbe permet donc aux gestionnaires d'avoir une vision globale des besoins en diesel des génératrices. Il est également possible d'identifier des seuils temporels d'évolution des besoins.

À partir du portrait il est possible de remplir la colonne « ressources alternatives » dans le tableau de résultat (tableau 4-5). Le CANU est une ressource alternative qui peut être utilisé par les génératrices gA1 et gA2. Rien n'indique à priori que le service B utilise la ressource alternative

appartenant au service A. La figure 4-5 représente la comparaison des besoins en approvisionnement supplémentaire des génératrices avec ou sans l'utilisation de la ressource alternative pour gA1 et gA2. Cette figure montre que la démarche proposée permet de prendre en compte les ressources alternatives.

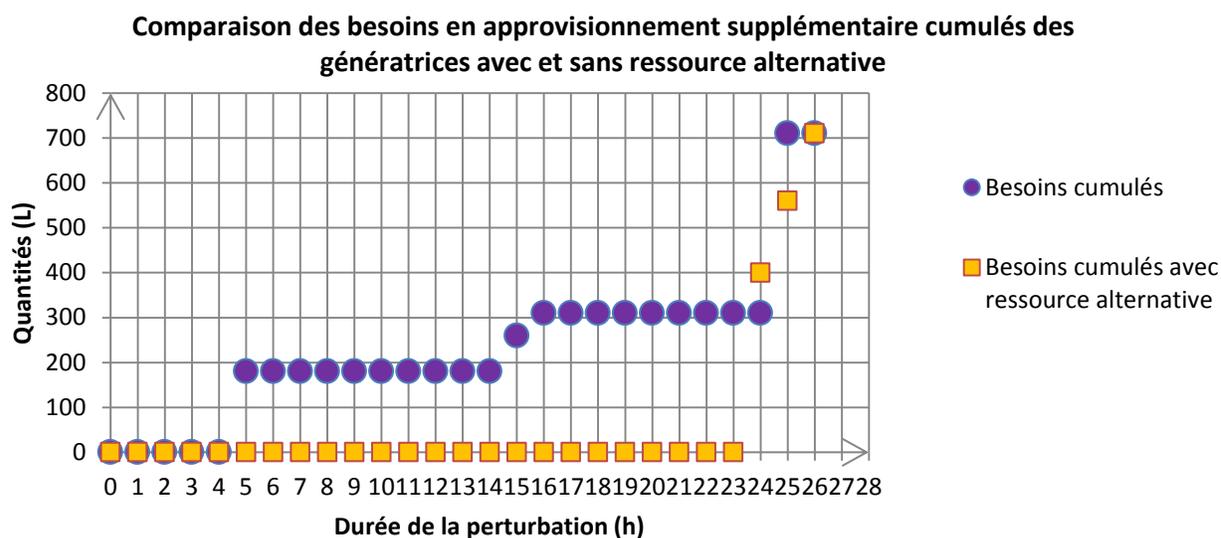


Figure 4-5 : Comparaison des besoins en approvisionnement supplémentaire cumulés des génératrices avec et sans ressource alternative.

La courbe violette « besoins cumulés » est identique à la courbe de la figure 4-4 et permet de faire une comparaison avec la nouvelle courbe jaune obtenue en prenant en compte l'utilisation la ressource alternative. Dans cet exemple, la ressource alternative permet de faire passer l'autonomie globale de 5 heures à 24 heures. En effet, durant le premier jour de perturbation les génératrices gA1 et gA2 n'ont plus besoin d'approvisionnement supplémentaire car elles fonctionnent grâce au stock de CANU. Le besoin en approvisionnement supplémentaire n'apparaît qu'au début de la vingt-cinquième heure de panne électrique.

En plus des courbes d'évolution des stocks et d'évolution du besoin en approvisionnement supplémentaires, il est possible de fournir une autre information aux gestionnaires dans le cas d'une panne électrique. Les paragraphes précédents ont montré que lors d'une telle panne les besoins courants en produits pétroliers sont maintenus. Cette donnée est donc à prendre en compte dans l'évaluation des besoins globaux de l'IE. Le portrait permet de remplir la colonne « besoins courants maintenus » dans le tableau de résultat (tableau 4-5) : 6 000 L de diesel sont

utilisés par jour par les véhicules de l'organisation. À partir des résultats précédents et de cette donnée, il est possible de tracer la courbe du total des besoins en approvisionnement (besoin courants pour les véhicules et besoin supplémentaires pour les génératrices) en cas de panne électrique (figure 4-6).

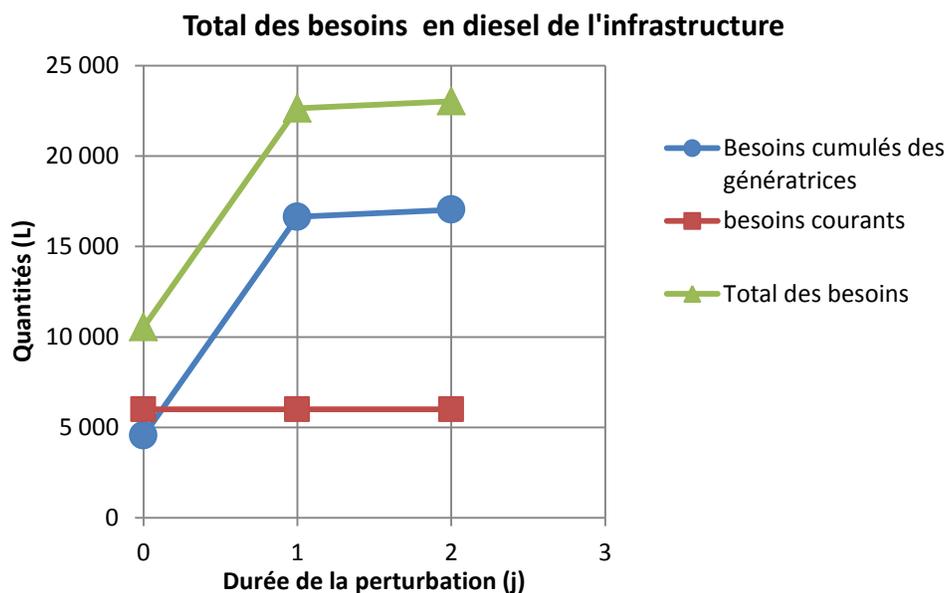


Figure 4-6 : Total des besoins en diesel de l'infrastructure sans ressource alternative.

La courbe rouge représente les besoins courants. La courbe bleue représente les besoins cumulés des génératrices. Cette courbe est identique à la courbe de la figure 4-4 (la durée de perturbation est cette fois représentée en jours) et ne prends donc pas en compte la ressource alternative. La courbe verte représente le total des besoins. Ainsi, pour répondre aux besoins en diesel des génératrices et aux besoins courants des véhicules, 10 540 L de diesel doivent être disponible au premier jour de la panne électrique (4 540 L pour les génératrices et 6 000 L pour les véhicules), puis 22 640 L au début du deuxième jour et 23 040 au début du troisième jour de perturbation.

Les courbes présentées permettent donc aux gestionnaires d'avoir une globale des besoins en diesel au sein de l'IE, pour les génératrices mais aussi en prenant en compte les activités courantes. Ainsi il est possible d'adapter les commandes de diesel en anticipant adéquatement le total des besoins.

Là encore, il est possible d'intégrer les ressources alternatives. Le tableau 4-6 permet de comparer le total des besoins en diesel de l'infrastructure en cas de panne, avec ou sans

l'utilisation de CANU pour les génératrices gA1 et gA2. La colonne « total des besoins sans utilisation de la ressource alternative » regroupe les valeurs numériques issues de la figure 4-6, obtenue en utilisant la courbe « besoins cumulés des génératrices » de la figure 4-4. Les données de la colonne « total des besoins avec utilisation de la ressource alternative » ont été obtenues de la même façon mais en utilisant la courbe « besoins cumulés des génératrices avec ressource alternative » de la figure 4-5.

Tableau 4-6 : Comparaison du total des besoins en diesel avec ou sans ressource alternative

Durée de la perturbation (j)	Total des besoins sans utilisation de la ressource alternative (L)	Total des besoins avec utilisation de la ressource alternative (L)
0	10 540	6 000
1	22 640	22 580
2	23 040	23 040

Ce tableau montre bien que l'utilisation de la ressource alternative diminue la dépendance de l'IE à un approvisionnement supplémentaire en diesel. Dans la colonne « total des besoins avec utilisation de la ressource alternative » la donnée « 6 000 L de diesel doivent être acheminés à l'IE au début du premier jour de panne électrique » est cohérente avec la courbe jaune de la figure 4-5. En effet cette courbe indique que grâce à l'utilisation de CANU, le besoin en approvisionnement supplémentaire des six génératrices est nul pendant le premier jour de perturbation. Les seuls besoins sont donc les besoins courants des véhicules soit 6 000 L. Après deux jours de panne électrique, le stock de CANU est épuisé. Il n'y a donc plus de ressource alternative disponible : le total des besoins est identique dans les deux colonnes.

La démarche proposée peut donc être adaptée pour tracer différents types de courbes qui permettent de fournir différents types d'informations aux gestionnaires. Connaissant la criticité des équipements, leur autonomie et les quantités de produits pétroliers nécessaires au cours du temps, les gestionnaires pourront prendre des décisions afin de limiter l'impact de la perturbation sur la continuité des opérations de l'IE.

CHAPITRE 5 DISCUSSION

Ce travail de recherche a abouti au développement d'une approche permettant la prise en compte des produits pétroliers dans les travaux du CRP. Les outils proposés doivent constituer une aide à la décision pour les gestionnaires de produits pétroliers, en fournissant notamment une évaluation des besoins, les requis de fonctionnement, les quantités stockées disponibles et les ressources alternatives disponibles.

5.1 Analyse des résultats

Les résultats et outils développés au cours de ce travail de recherche ont été soumis aux gestionnaires des Installations d'ADM.

Parmi les gestionnaires techniques à qui ces travaux ont été présentés, tous ne voient pas l'intérêt des outils proposés. Pour certains le mode de gestion actuellement en place au sein des infrastructures aéroportuaires est suffisant pour gérer les pénuries. En effet, il s'avère que les aéroports disposent en général de suffisamment de stocks de produits pétroliers pour faire face à des pénuries majeures pouvant durer plusieurs jours. De plus, dans l'éventualité d'une crise majeure, les opérations des aéroports seraient certainement arrêtées. Dans ces deux situations, il semble que le système de gestion des produits pétroliers actuellement en place convienne.

En revanche, pour d'autres, les outils proposés permettent de se libérer de l'étude systématique du *worst case scenario*. C'est cette possibilité de s'adapter à l'étude d'une défaillance ponctuelle, affectant des équipements particuliers qui est intéressante pour les gestionnaires. En effet, plusieurs situations intermédiaires sont possibles entre la situation d'opération idéale et le *worst case scenario* entraînant un arrêt des opérations.

Les courbes d'évolution des stocks et d'évolution du besoin en approvisionnement supplémentaire présentent également des avantages. Parce qu'elles sont tracées en fonction de la durée de la perturbation, ces courbes permettent d'anticiper les besoins en produits pétroliers. La modélisation à court et moyen termes permet notamment aux gestionnaire de savoir au bout de combien de temps leurs équipements seront affectés par la pénurie. L'évaluation des besoins des différents équipements en fonction du temps peut également faciliter le passage des commandes de produits pétroliers.

Cependant la modélisation à plus long terme présente des limites. En effet, si la perturbation dure, les gestionnaires vont prendre des décisions et mettre en place des mesures d'atténuation. Ainsi, après un certain temps, la modélisation à partir des conditions initiales n'est plus représentative de la réalité car des décisions humaines interviennent.

L'intérêt des gestionnaires se porte aussi sur la vision globale que les outils proposés permettent d'acquérir. Le portrait permet d'abord aux gestionnaires d'avoir une vision globale de l'utilisation des produits pétroliers au sein de leur service, et par la suite d'acquérir une connaissance globale de l'utilisation des produits pétroliers sur l'ensemble de l'infrastructure aéroportuaire. Ainsi, il est possible d'identifier les interdépendances qui existent entre les différents services utilisant des produits pétroliers. Dans l'étude de cas présentée, une perturbation affectant le stock de diesel du service A pourra avoir des conséquences pour les véhicules du service B, puisque le service A fournit du diesel à l'ensemble des véhicules de l'aéroport.

De plus, les outils proposés permettent aux gestionnaires de visualiser rapidement l'ensemble des ressources et moyens disponibles en cas de perturbations, que ce soit à l'interne ou entre les services. Dans l'étude de cas présentés au chapitre précédent, le service A utilise le CANU comme ressource alternative au diesel. En se référant au portrait, le service B pourrait prendre conscience qu'une telle ressource est disponible sur le territoire aéroportuaire et voir si cette ressource pourrait répondre à ses besoins.

Enfin, ces outils permettent de visualiser les impacts d'une pénurie de produits pétroliers sur le fonctionnement de l'infrastructure. L'approche permet d'augmenter le niveau de connaissance des conséquences d'une pénurie de produits pétroliers pour les équipements et activité d'un service, mais aussi en termes d'interdépendances entre les services.

L'ensemble de ces informations permet aux gestionnaires de prioriser les équipements en toute connaissance de cause.

Parce qu'ils apportent une vision globale du système, l'utilisation de tels outils permettrait aux gestionnaires des différents services utilisant des produits pétroliers de s'harmoniser. Cette approche pourrait amener les services à conclure des ententes notamment en ce qui concerne l'accès aux ressources alternatives. Les gestionnaires pourraient également utiliser ces outils pour préparer les plans de contingence ou pour la formation des nouveaux employés.

Les outils proposés dans ce mémoire ne donnent pas de résultats préétablis mais constituent bien des outils d'aide à la décision pour les gestionnaires de produits pétroliers.

5.2 Connaissance et résilience

En termes de résilience, l'approche proposée dans ce mémoire permet d'initier le processus d'acquisition de connaissances de la zone d'étude. Cette connaissance est un concept fondamental de la résilience (Hémond, 2013).

En effet, le développement du portrait permet d'augmenter le niveau de connaissance du système étudié puisqu'il permet :

- d'identifier les unités, infrastructures ou services présents dans la zone d'étude et utilisant des produits pétroliers ;
- d'identifier les acteurs intervenant dans la gestion et l'utilisation des produits pétroliers ;
- de comprendre comment sont utilisés les produits pétroliers de la zone d'étude en termes de ressources utilisées et de ressources fournies.

L'approche proposée permet également d'augmenter le niveau de connaissance des conséquences pouvant résulter d'un manque de la ressource pour le fonctionnement de l'infrastructure. Les courbes permettent d'évaluer au bout de combien de temps le manque de ressource affectera les équipements. Le paramètre de criticité donne une information sur les conséquences de l'interruption d'une activité.

Enfin, les outils proposés permettent d'augmenter le niveau de connaissance des perturbations pouvant survenir au sein de la zone d'étude. L'identification des modes d'approvisionnements et des liens directs entre la ressource et les infrastructures ou services facilite notamment l'identification de perturbations pouvant affecter ces éléments.

Cette démarche est un pas de plus vers une plus grande résilience des organisations face aux problématiques liées à la dépendance aux ressources. Les informations obtenues grâce aux outils permettront de mieux comprendre les interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers et vont permettre de mieux anticiper, répondre et s'adapter.

5.3 Recommandations

Les outils présentés dans ce mémoire fournissent aux gestionnaires de produits pétroliers des informations pertinentes leur permettant d'anticiper les besoins en ressources et de prioriser les équipements. En revanche, les aspects financiers n'ont pas été pris en compte dans ce travail de recherche. Le paramètre financier est pourtant important pour les gestionnaires, qui doivent en tenir compte la plupart du temps. Il aurait été intéressant d'évaluer les coûts du développement et de l'utilisation de tels outils, afin de pouvoir les comparer aux impacts monétaires des conséquences des perturbations. Cette information serait un complément intéressant aux outils d'aide à la décision proposés.

Par ailleurs, l'approche développée dans ce mémoire a été appliquée dans le cadre d'une étude de cas, réalisée sur une infrastructure fictive. Les données étant inspirées de cas réels, cette étude se veut malgré tout réaliste et représentative de situations réelles. Présentés aux gestionnaires du groupe des Installations d'ADM, les résultats obtenus sont satisfaisants et permettent déjà de tirer des conclusions intéressantes. Les outils proposés devraient maintenant être implantés dans une organisation existante, afin de valider l'approche sur un cas réel. Il sera alors possible de proposer des améliorations.

De plus, les travaux présentés dans ce mémoire se basent sur le postulat 2 selon lequel les interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers au sein d'une infrastructure aéroportuaire seront représentatives des interdépendances entre IE à l'échelle municipale. L'approche a donc été développée à l'échelle d'une organisation, en considérant ce système comme représentatif d'une société. Il serait donc intéressant de valider que cette approche est bien transposable, de l'échelle d'une organisation à l'échelle municipale dans un contexte multi-organisationnel impliquant plusieurs IE constituées elles-mêmes de plusieurs infrastructures et équipements. Son implantation dans une ville permettra de vérifier que celle-ci reste valide lors du changement d'échelle.

D'autre part, ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre des travaux du CRP. L'objectif étant d'intégrer les produits pétroliers aux travaux du centre, l'approche et les outils développés doivent maintenant être implémentés dans l'outil DOMINO. Cette implémentation permettra la prise en compte des produits pétroliers dans le traitement des interdépendances.

Enfin, le CRP a récemment mené des travaux sur les analyses de cohérence (Robert, et al., 2013). Les courbes des besoins en ressources alternatives de l'outil DOMINO montrent qu'il arrive que les mesures d'atténuation prévues par les organisations soient en réalité difficiles à mettre en œuvre. Tel que présenté sur la figure 1-7 du premier chapitre de ce mémoire, en cas de panne électrique les IE prévoient d'utiliser des génératrices comme mesure d'atténuation à mettre en place pour maintenir un niveau de fonctionnement acceptable. Or, la plupart de ces génératrices consomment du carburant. Si une panne électrique affecte un large territoire, les courbes indiquent que le besoin cumulé en carburant sera trop important et qu'il ne sera pas possible de répondre à l'ensemble des besoins des infrastructures. Les quantités de carburant nécessaires pour faire fonctionner toutes les génératrices pourront rapidement dépasser la capacité des fournisseurs de carburant.

L'objectif des analyses de cohérence est donc de permettre aux gestionnaires des IE d'accroître leur niveau de coopération en veillant à ce que toutes les mesures d'atténuation identifiées soient compatibles les unes avec les autres. Que ce soit au sein d'une infrastructure, ou entre des IE interdépendantes, les analyses de cohérence permettent d'assurer une certaine harmonisation des plans d'urgence des organisations et la coordination de toutes les actions individuelles, dans le but d'améliorer la réponse collective de ces organisations dans les situations d'urgence.

À l'heure actuelle, la cohérence peut être évaluée grâce à des critères tels que la cohérence dans la compréhension des rôles et des responsabilités de chaque organisation. Les travaux à venir devront permettre d'affiner les analyses de cohérence en développant de nouveaux critères à partir d'indicateurs couramment utilisés par les IE. Or, il apparaît que les outils développés dans ce mémoire permettent d'identifier des disparités potentielles entre les services opérant au sein d'une même infrastructure, et d'acquérir une vision globale du système favorisant la coopération entre ces services. Les gestionnaires des Installations d'ADM ont notamment validé la possibilité d'utiliser ces outils pour que les services puissent s'harmoniser, en particulier au niveau des besoins en ressources alternatives. Les paramètres utilisés dans ce travail de recherche pourraient donc être exploités pour développer des critères d'analyse de cohérence.

CONCLUSION

Les travaux du CRP ont abouti au développement d'un outil de modélisation et de cartographie des interdépendances physiques et géographiques entre IE, permettant d'anticiper la propagation spatio-temporelle des effets domino. À ce jour, l'outil DOMINO permet de traiter les interdépendances entre différentes ressources essentielles mais n'intègre pas encore les interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers. Ce travail de recherche propose une adaptation de la méthodologie du CRP permettant d'inclure cette ressource dans la démarche d'évaluation des interdépendances.

La revue de littérature a permis de mettre en évidence des paramètres permettant de caractériser la ressource. L'identification des modes d'approvisionnement et des liens directs comme interface entre la ressource et les IE utilisatrices permet de se libérer de l'utilisation des zones d'alimentations prédéfinies, non-adaptées à l'étude des produits pétroliers. Développée en contact direct avec les gestionnaires, l'approche présentée dans ce mémoire intègre ces paramètres afin de proposer des outils d'aide à la décision, permettant de mieux comprendre interdépendances reliées à l'utilisation des produits pétroliers. L'approche par conséquent préconisée par le CRP a permis d'adapter la méthodologie dans le cas général d'une pénurie de produits pétroliers, puis dans le cas particulier d'une panne électrique majeure.

Parmi les outils proposés, le portrait permet aux gestionnaires d'augmenter leur niveau de connaissance de la zone d'étude. Défini au moment de l'établissement du portrait de la zone d'étude, le paramètre de criticité permet d'évaluer l'important d'une activité ou d'un équipement en termes de conséquences générées en cas de perturbation. Il appartient au gestionnaire de l'infrastructure d'évaluer la criticité de ses activités ou équipements.

Par la suite la définition des conditions initiales permet d'initialiser les simulations. L'approche par conséquent a permis d'élaborer une démarche basée sur l'analyse des conséquences et non sur des causes particulières. Ainsi, l'approche présentée dans ce mémoire peut être adaptée tous types d'événements.

Enfin deux critères de priorisation ont été proposés. La gravité des conséquences d'une pénurie de produits pétroliers peut être évaluée grâce au paramètre de criticité et constitue le premier critère. Par la suite, les données recueillies permettent de tracer des courbes d'évolution des

stocks en fonction de la durée de perturbation et d'évolution du besoin en approvisionnement supplémentaire en fonction de la durée de perturbation. Ces courbes permettent d'identifier les équipements les plus autonomes et ceux qui sont le plus dépendantes à un approvisionnement supplémentaire. Cette donnée d'autonomie constitue le deuxième critère. Ces courbes indiquent également les quantités supplémentaires nécessaires à chaque équipement au cours de la perturbation et permettent d'intégrer les ressources alternatives.

Partant du postulat que les interdépendances liées à l'utilisation des produits pétroliers au sein d'une infrastructure aéroportuaire seront représentatives des interdépendances entre IE à l'échelle municipale, l'application de l'approche dans le cadre d'un étude de cas réalisée sur une infrastructure aéroportuaire fictive a permis d'obtenir des résultats.

Ainsi il apparaît qu'en cas de perturbation les outils proposés permettent aux gestionnaires d'accéder rapidement à des informations telles que l'évaluation des besoins en produits pétroliers, les requis pour fonctionner, le stock disponible et les ressources alternatives existantes. Les résultats obtenus constituent une aide à la décision pour les gestionnaires qui ont pour missions de prioriser les équipements, d'assurer un approvisionnement supplémentaire adapté, de répartir la ressource entre les équipements ou encore d'adapter la consommation de produits pétroliers.

D'autre part, l'analyse de ces résultats montre que l'approche proposée permet d'identifier les interdépendances liées à l'utilisation des produits pétroliers dans le cas de défaillances ponctuelles affectant les équipements particuliers de la zone d'étude. Par ailleurs, les courbes d'évolution des stocks et d'évolution du besoin en approvisionnement supplémentaire permettent aux gestionnaires d'anticiper les besoins en produits pétroliers à court et moyen terme. En revanche la modélisation à long terme présente des limites puisque des décisions humaines interviennent. Les outils proposés permettent également aux gestionnaires d'acquérir une vision globale des interdépendances liées à l'utilisation des produits pétroliers au sein de l'infrastructure, notamment en termes d'interdépendances, de ressources et moyens disponibles, et d'impacts des perturbations. Enfin, en termes de résilience, l'approche proposée dans ce mémoire permet d'initier le processus d'acquisition de connaissances de la zone d'étude.

Ces outils d'aide à la décision pourraient également permettre aux gestionnaires des différents services utilisant des produits pétroliers de s'harmoniser ou encore être utilisés pour préparer les plans de contingence.

Réalisé dans le cadre des travaux du CRP, ce mémoire pourra ouvrir la voie à d'autres travaux de recherche. L'implémentation des outils à DOMINO, l'implantation de l'approche à l'échelle municipale et le développement de nouveaux des critères d'analyse de cohérence pourront faire l'objet de travaux futurs.

BIBLIOGRAPHIE

Autonomie. (2013). Dans *Larousse*. Consulté de 7 mars 2013, tiré de <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/autonomie>

Association Canadienne des Carburants. (2013). Notre industrie. Tiré de http://canadianfuels.ca/index_f.php?p=5

Accord euro-méditerranéen risques majeurs (EUR-OPA) (2006). Consulté le 21 février 2013, tiré de http://www.coe.int/t/dg4/majorhazards/ressources/Apcat2006/19_earlywarning_fr.pdf

Centre risque & performance (2012). Rapport du sous-comité sur la résilience des systèmes essentiels au Québec. (Document interne)

Criticité. (2013). Dans *Termium Plus*. Consulté le 30 avril, tiré de http://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&srchtxt=criticite%20E9&i=1&index=frt&consrv_prsent=1

Department of Energy & Climate Change. (2011). Summary of response tools in the National Emergency Plan for Fuel. Tiré de <https://www.gov.uk/government/publications/energy-emergency-plans-priority-fuel-allocation>

Établissement de Communication et de Production Audiovisuelle de la Défense. (2013). Pétrole et armées. Consulté le 18 août 2013, tiré de <http://www.ecpad.fr/petrole-et-armee>

Gouvernement du Canada. (2013). Loi d'urgence sur les approvisionnements d'énergie. Consulté le 20 juin 2013, tiré de <http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/E-9/page-1.html#h-2>

Hémond, Y. (2008). *Évaluation de la dépendance des réseaux de support à la vie face au réseau routier*. Thèse de doctorat, École polytechnique, Montréal, Québec.

Hémond, Y. & B, Robert. (soumis). "Assessment process of the resilience potential of critical infrastructures." *International Journal of Critical Infrastructures*. soumis. 2013.

International Air Transport Association. (2006). Guidance on Incident and Crisis Management Planning in the event of a shortfall in aviation fuel at an airport. Tiré de <http://www.iata.org/whatwedo/ops-infra/fuel/Documents/IATA%20Guidance%20on%20Incident%20and%20Crisis%20Management%20Planning%20-%20Aug%202006.pdf>

International Air Transport Association. (2012). The High Price of Disruptions." Tiré de <http://www.iata.org/publications/airlines-international/february-2012/Pages/disruptions.aspx>

Krumdieck, S., Page, S., & Dantas, A. (2010). Urban form and fuel shortage risk assessment: A method to investigate the impact of peak oil on travel demand. Tiré de http://www.ir.canterbury.ac.nz/bitstream/10092/4133/1/12626097_Urban%20form%20and%20fuel%20shortage%20risk.pdf

Ministère de la Défense, République Française. (2013). Service des essences des armées. Consulté le 18 août 2013, tiré de <http://www.defense.gouv.fr/content/view/sitemap/357>

Ministère de l'Énergie du gouvernement d'Ontario. (2012). Protocole de distribution de carburant en cas d'urgence du gouvernement de l'Ontario. Tiré de <http://www.emergencymanagementontario.ca/stellent/groups/public/@mcses/@www/@emo/documents/abstract/ec157733.pdf>

Ministère de la Sécurité publique du Québec. (2009). Concepts de base en sécurité civile. (978-2-550-54253-7). Montréal: Bibliothèque et Archives nationales du Québec.

Ministère de la Sécurité publique du Québec. (2010). Sûreté des infrastructures stratégiques. Tiré de <http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/police/securite-etat/protection-infrastructures.html>

Moteff, J., Copeland, C., Fisher, J. (2003), Critical Infrastructures : What makes an Infrastructure Critical ?, Report for Congress, The library of Congress, Januray 29, 2003. Consulté le 18 juin 2013, tire de <http://www.fas.org/irp/crs/RL31556.pdf>.

Noland, R. B., Polak, J. W., Bell, M. G. H., & Thorpe, N. (2003). How much disruption to activities could fuel shortages cause? - The British fuel crisis of September 2000. *Transportation*, 30(4), 459-481. doi: 10.1023/a:1024790101698

Peerenboom, J. (2001). Infrastructure interdependencies: Overview of concepts and terminology. *Pacific NorthWest Economic Region*. Tiré de http://we-partner.org/onionbelt/wp-content/uploads/2011/06/peerenboom_pdf.pdf

Peerenboom, J. P., & Fisher, R. E. (2007). *Analyzing cross-sector interdependencies*. Communication présentée à System Sciences, 2007. HICSS 2007. 40th Annual Hawaii International Conference on. doi : 10.1109/HICSS.2007.78

Pénurie (2009). Dans *Le nouveau Petit Robert*. Paris : Dictionnaires Le Robert

Ressources Naturelles Canada. (2011). Les réseaux de distribution des produits pétrolier. Tiré de <http://www.rncan.gc.ca/energie/sources/infrastructure/1285>

Ressources Naturelles Québec. (2007). Règlement sur les produits pétroliers, Chapitre II. Consulté le 20 juin 2013, tiré de http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/P_30_01/P30_01R1.htm

Ressources Naturelles Québec. (2013). Raffinage du pétrole. Consulté le 25 juin 2013, tiré de <http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-production-petrole.jsp>

Rinaldi, S. M., Peerenboom, J. P., & Kelly, T. K. (2001). Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. *Ieee Control Systems Magazine*, 21(6), 11-25. doi: 10.1109/37.969131

Robert, B., & Morabito, L. (2008). The operational tools for managing physical interdependencies among critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*, 4(4), 353-367. doi: 10.1504/ijcis.2008.020156

Robert, B., & Morabito, L. (2010-a). An approach to identifying geographic interdependencies among Critical Infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*, 6(1), 17-30. doi: 10.1504/ijcis.2010.029574

Robert, B., & Morabito, L. (2010-b). Dependency on électricity and télécommunications. Dans Z. Lukszo, G. Deconinck and M. P. C. Weijnen (Ed.), *Securing Electricity Supply in the Cyber Age, Exploring the risks of information and communication technology in tomorrow's electricity infrastructure* (Vol. 15, pp. 33-52). Springer.

Robert, B., & Morabito, L. (2011). *Reducing Vulnerability of Critical Infrastructures - Methodological Manual*. Canada : Presses internationales Polytechnique.

Robert, B., de Calan, R., & Morabito, L. (2008). Modelling interdependencies among critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*, 4(4), 392-408. doi: 10.1504/ijcis.2008.020158

Robert, B., Morabito, L., & Cloutier, I. (2012). Modeling and Coordinating Interdependent Critical Infrastructures in Montreal. *The CIP Report*, 10(11), 3-6.

Robert, B., Morabito, L., Cloutier, I. & Hémond, Y. (soumis). Interdependant critical infrastructures: from protection towards resilience. *International journal of critical infrastructures*. soumis. Avril 2013.

Robert, B., Morabito, L. & Debernard, C. (soumis) 'Simulation and anticipation of domino effects among critical infrastructures', *Int. J. Critical Infrastructures*. soumis. 2013.

Robert, B., Morabito, L., & Quenneville, O. (2007). The preventive approach to risks related to interdependent infrastructures. *International Journal of Emergency Management*, 4(2), 166-182. doi: 10.1504/ijem.2007.013988

Sécurité publique Canada. (2012). Infrastructures essentielles. Tiré de <http://www.securitepublique.gc.ca/prg/ns/ci/index-fra.aspx>

Sécurité publique Canada. (2005). Incidence des manifestations de septembre 2000 contre les prix du carburant sur les infrastructures essentielles du Royaume-Uni. Tiré de <http://www.securitepublique.gc.ca/prg/em/ccirc/2005/ia05-001-fra.aspx>

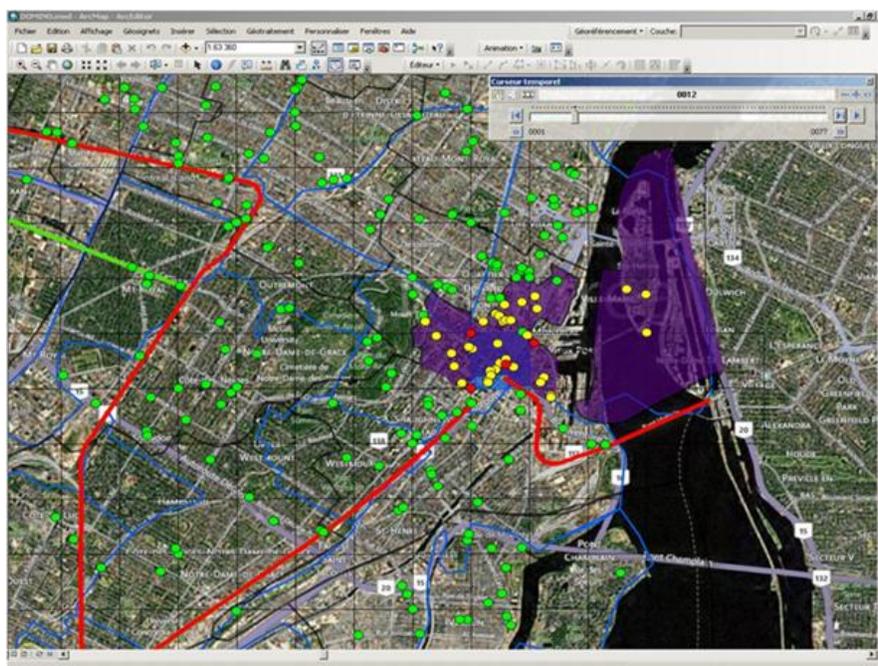
Sécurité publique Canada. (2006). Panne d'électricité en Ontario et aux États-Unis - Impacts sur les infrastructures essentielles. Tiré de http://www.securitepublique.gc.ca/prg/em/_fl/ont-us-power-f.pdf

UE (2004), Protection des infrastructures critiques dans le cadre de la lutte contre le terrorisme, Communication de la Commission au Conseil et au Parlement Européen, juin 2004, Consulté le 18 juin 2013, tiré de <http://europa.eu/scadplus/leg/fr/lvb/l33259.htm>.

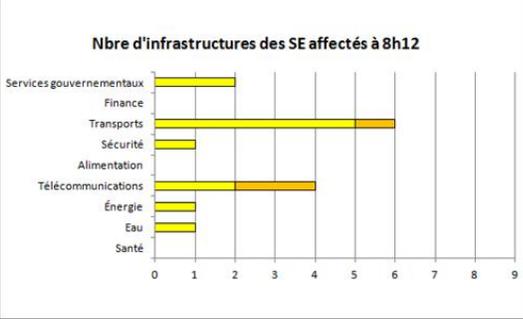
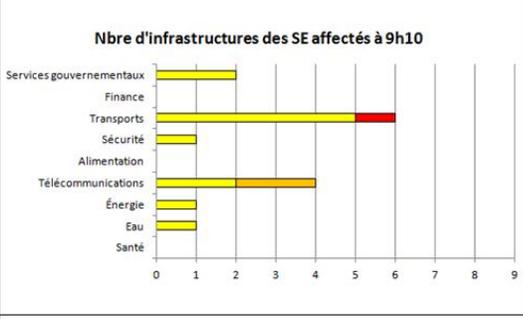
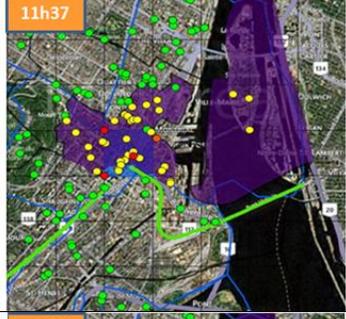
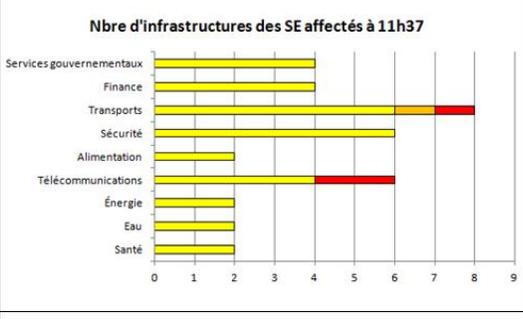
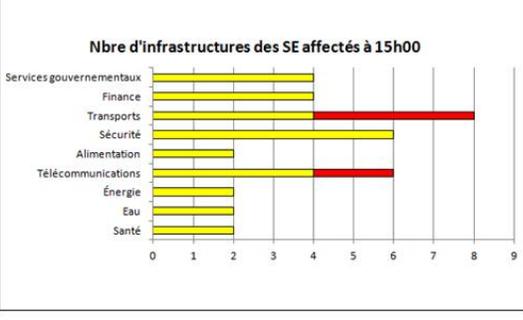
Yeletaysi, S. (2009). *A risk analysis on the continuity of the petroleum supply chain using GIS and systems simulation*. Thèse de doctorat, The George Washington University, Washington, États-Unis.

ANNEXES

ANNEXE A – L'OUTIL DOMINO



Outil DOMINO

Simulation Domino	Identification des SE affectés	Notes																				
<p>8h12</p> 	<p>Nbre d'infrastructures des SE affectés à 8h12</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Catégorie</th> <th>Nbre affectés</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Services gouvernementaux</td><td>2</td></tr> <tr><td>Finance</td><td>0</td></tr> <tr><td>Transports</td><td>6</td></tr> <tr><td>Sécurité</td><td>1</td></tr> <tr><td>Alimentation</td><td>0</td></tr> <tr><td>Télécommunications</td><td>4</td></tr> <tr><td>Énergie</td><td>1</td></tr> <tr><td>Eau</td><td>1</td></tr> <tr><td>Santé</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Catégorie	Nbre affectés	Services gouvernementaux	2	Finance	0	Transports	6	Sécurité	1	Alimentation	0	Télécommunications	4	Énergie	1	Eau	1	Santé	0	<ul style="list-style-type: none"> • Interruption de l'alimentation en eau dans un secteur géographique donné (carré bleu). • Identification des infrastructures des SE potentiellement affectées par cette panne d'eau.
Catégorie	Nbre affectés																					
Services gouvernementaux	2																					
Finance	0																					
Transports	6																					
Sécurité	1																					
Alimentation	0																					
Télécommunications	4																					
Énergie	1																					
Eau	1																					
Santé	0																					
<p>9h10</p> 	<p>Nbre d'infrastructures des SE affectés à 9h10</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Catégorie</th> <th>Nbre affectés</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Services gouvernementaux</td><td>2</td></tr> <tr><td>Finance</td><td>0</td></tr> <tr><td>Transports</td><td>6</td></tr> <tr><td>Sécurité</td><td>1</td></tr> <tr><td>Alimentation</td><td>0</td></tr> <tr><td>Télécommunications</td><td>4</td></tr> <tr><td>Énergie</td><td>1</td></tr> <tr><td>Eau</td><td>1</td></tr> <tr><td>Santé</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Catégorie	Nbre affectés	Services gouvernementaux	2	Finance	0	Transports	6	Sécurité	1	Alimentation	0	Télécommunications	4	Énergie	1	Eau	1	Santé	0	<ul style="list-style-type: none"> • Défaillance d'une infrastructure d'un réseau de transport. • Perturbation du trafic routier.
Catégorie	Nbre affectés																					
Services gouvernementaux	2																					
Finance	0																					
Transports	6																					
Sécurité	1																					
Alimentation	0																					
Télécommunications	4																					
Énergie	1																					
Eau	1																					
Santé	0																					
<p>11h37</p> 	<p>Nbre d'infrastructures des SE affectés à 11h37</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Catégorie</th> <th>Nbre affectés</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Services gouvernementaux</td><td>4</td></tr> <tr><td>Finance</td><td>4</td></tr> <tr><td>Transports</td><td>8</td></tr> <tr><td>Sécurité</td><td>6</td></tr> <tr><td>Alimentation</td><td>2</td></tr> <tr><td>Télécommunications</td><td>6</td></tr> <tr><td>Énergie</td><td>2</td></tr> <tr><td>Eau</td><td>2</td></tr> <tr><td>Santé</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	Catégorie	Nbre affectés	Services gouvernementaux	4	Finance	4	Transports	8	Sécurité	6	Alimentation	2	Télécommunications	6	Énergie	2	Eau	2	Santé	2	<ul style="list-style-type: none"> • Interruption de certains services de télécommunications. • Augmentation de la zone d'impact (couleur violet).
Catégorie	Nbre affectés																					
Services gouvernementaux	4																					
Finance	4																					
Transports	8																					
Sécurité	6																					
Alimentation	2																					
Télécommunications	6																					
Énergie	2																					
Eau	2																					
Santé	2																					
<p>15h00</p> 	<p>Nbre d'infrastructures des SE affectés à 15h00</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Catégorie</th> <th>Nbre affectés</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Services gouvernementaux</td><td>4</td></tr> <tr><td>Finance</td><td>4</td></tr> <tr><td>Transports</td><td>8</td></tr> <tr><td>Sécurité</td><td>6</td></tr> <tr><td>Alimentation</td><td>2</td></tr> <tr><td>Télécommunications</td><td>6</td></tr> <tr><td>Énergie</td><td>2</td></tr> <tr><td>Eau</td><td>2</td></tr> <tr><td>Santé</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	Catégorie	Nbre affectés	Services gouvernementaux	4	Finance	4	Transports	8	Sécurité	6	Alimentation	2	Télécommunications	6	Énergie	2	Eau	2	Santé	2	<p>État de la situation après 7 heures</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perte d'alimentation en eau. • Perturbation des télécommunications. • Affectation de plusieurs réseaux de transport.
Catégorie	Nbre affectés																					
Services gouvernementaux	4																					
Finance	4																					
Transports	8																					
Sécurité	6																					
Alimentation	2																					
Télécommunications	6																					
Énergie	2																					
Eau	2																					
Santé	2																					
<p>Légende : ● Infrastructure perturbée - ● Infrastructure perturbée avec un potentiel de défaillance - ● Infrastructure défaillante</p>																						

SE : *Système Essentiels (Infrastructures Essentielles)*

Source : Robert, Morabito et Cloutier, 2012

ANNEXE B – PORTRAIT DE LA ZONE D'ÉTUDE

Produits pétroliers utilisés	Types d'activité ou équipements	Criticité	Période du besoin	Élément critique par lequel est acheminé le produit pétrolier	Équipements de distribution	Dépôt ou réservoir	Quantités consommées	Quantités Stockées	Autonomie	Ressources alternatives
Service A										
Carburant d'aviation	Transport par avion	AD (À Déterminer)	Permanent	Pipeline A	Camion-citerne ou pompes	Oui	2 000 000 L/J	6 000 000 L	3 j	non
Diesel	Véhicules de service	AD	Permanent	Camion-citerne	Stations-service	Oui	6000 L/J	18000 L	3 j	CANU pour certains véhicules de service
	Véhicules d'urgence	AD								AD
	Génératrice A1	AD	Panne électrique	Camion-citerne	AD	Oui	180 L/h	900 L	-	CANU
	Génératrice A2	AD					130 L/h	2000 L	-	
Essence	Véhicules de service	AD	Permanent	Camion-citerne	Stations-service	Oui	5000 L/j	15000 L	3 j	AD
	Véhicules d'urgence	AD								AD
Carburant d'Aviation Non Utilisable (CANU)	Génératrices ou certains véhicules de service	AD	Pénurie de diesel	AD	AD	Oui	AD	5000 L	AD	non

Pour des raisons de confidentialité, les valeurs fournies dans ce tableau sont fictives.

Produits pétroliers utilisés	Types d'activité ou équipements	Criticité	Période du besoin	Élément critique par lequel est acheminé le produit pétrolier	Équipements de distribution	Dépôt ou réservoir	Quantités consommées	Quantités Stockées	Autonomie	Ressources alternatives
Service B										
Propane	AD	AD	Permanent	AD	AD	oui	AD	4 000 L	AD	AD
Huile à engrenage	Entretien	AD	Permanent	AD	AD	oui	AD	1 000 L	AD	AD
Huile à transmission	Entretien	AD	Permanent	AD	AD	oui	AD	1 000 L	AD	AD
Huile à moteur	Entretien	AD	Permanent	AD	AD	oui	AD	1 000 L	AD	AD
Huile hydraulique	Entretien	AD	Permanent	AD	AD	oui	AD	1 000 L	AD	AD
Huile à chauffage	Chauffage	AD	Permanent	AD	AD	oui	AD	1 000 L	AD	AD
Diesel	Génératrice B1	AD	Panne électrique	Camion-citerne	AD	oui	200 L/h	4 800 L	24 h	AD
	Génératrice B2	AD			AD		200 L/h	4 800 L	24 h	AD
	Génératrice B3	AD			AD		200 L/h	9 600 L	48 h	AD
	Génératrice B4	AD			AD		200 L/h	9 600 L	48 h	AD

Pour des raisons de confidentialité, les valeurs fournies dans ce tableau sont fictives.

Portrait génératrices		
Génératrices	Équipement(s) relié(s)	Fonction(s) de l'équipement
Génératrice A1	Tank farm	AD
Génératrice A2	Bâtiment maintenance et opération	AD
Génératrice B1	Station-service	AD
Génératrice B2	Électricité bâtiment	AD
Génératrice B3	Électricité bâtiment	AD
Génératrice B4	Électricité bâtiment	AD

Pour des raisons de confidentialité, les valeurs fournies dans ce tableau sont fictives.