Améliorer la résilience urbaine par un diagnostic collaboratif, l'exemple des services urbains parisiens face à l'inondation

Marie Toubin

▶ **To cite this version:**

Marie Toubin. Améliorer la résilience urbaine par un diagnostic collaboratif, l'exemple des services urbains parisiens face à l'inondation. Géographie. Université Paris-Diderot - Paris VII, 2014. Français. NNT : . tel-00958279v2

HAL Id: tel-00958279

https://theses.hal.science/tel-00958279v2

Submitted on 28 Mar 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE PARIS.DIDEROT (PARIS 7) SORBONNE PARIS CITE

École doctorale économies, espaces, sociétés, civilisation : pensée critique, politique et pratiques sociales ED 382
Laboratoire PRODIG UMR 8586

THESE DE DOCTORAT
Présentée et soutenue publiquement le 26 février 2014 par

Marie TOUBIN

Pour l'obtention du grade de docteur en géographie de l'Université Paris Diderot – spécialité « dynamique des milieux et risques »

AMELIORER LA RESILIENCE URBAINE PAR UN DIAGNOSTIC COLLABORATIF

L'exemple des services urbains parisiens face à l'inondation

A COLLABORATIVE DIAGNOSIS FOR IMPROVING URBAN RESILIENCE

The case of Paris' urban services coping with flood risks

Jury :

Jean-Paul ARNAUD – Egis France (invité)

Youssef DIAB – professeur, Université Paris Est-Marne la Vallée (président)

Jocelyne DUBOIS-MAURY – professeur, Université Paris Est-Créteil (rapporteur)

Richard LAGANIER – professeur, Université Paris-Diderot (directeur de thèse)

Benoît ROBERT – professeur, École polytechnique de Montréal (rapporteur)

Damien SERRE – HDR, Rescue Solutions (co-directeur de thèse)

Jean-Michel TANGUY – HDR, CGDD, Ministère en charge de l'environnement (examinateur)

REMERCIEMENTS

Je voudrais évidemment remercier en premier lieu mes directeurs de thèse, Richard Laganier et Damien Serre, pour leur accompagnement pendant ces trois ans, pour les riches discussions autour de ces travaux et la bonne humeur dans laquelle s'est déroulée cette thèse.

Merci également aux membres de mon jury : Jocelyne Dubois-Maury, Benoît Robert et Jean-Michel Tanguy pour leur intérêt et le temps consacré à mes travaux, que ce soit depuis les débuts ou non ; ainsi qu'à Youssef Diab, directeur scientifique de l'EIVP, pour ses conseils et son suivi.

Pour les bonnes conditions dans lesquelles j'ai pu effectuer ma thèse, je remercie également le laboratoire PRODIG, l'Université Paris-Diderot et l'ANRT.

Mes remerciements vont également à Jean-Paul Arnaud, mon encadrant au sein d'Egis, pour la confiance qu'il m'a témoignée et pour la culture professionnelle qu'il m'a transmise. Je tiens également à remercier Mireille Raymond, Maud Wan et tous les contributeurs du projet RESILIS au sein de l'EIVP, d'Elioth, IRSTEA, Artelia, au LEESU, REEDS et Fondaterra, ainsi que les personnes au sein d'Egis qui m'ont suivie de près tout en étant loin : Sylvain Petitet, Martial Chevreuil, ou de loin tout en étant près : toute l'équipe d'Egis France à Guyancourt qui m'accepte tous les matins au café sans trop savoir pourquoi je suis là…

Être doctorant c'est aussi se questionner constamment sur une foule de sujets, parfois futiles, mais cela forme l'esprit du chercheur et égaye le quotidien. Pour cela je remercie toute l'équipe des doctorants (et ingénieurs de recherche) de l'EIVP. Pour l'aide théorique, je remercie évidemment Serge Lhomme ; pour l'aide technique concernant les SIG, un grand merci à Saul Gomez ; et pour l'aide concernant l'historique de l'inondation de 1910, Cecilia Campos De Carvalho. À l'EIVP également, je remercie bien sûr l'ensemble des enseignants et chercheurs pour leurs conseils, leurs questions et leur soutien durant ces trois ans.

Je souhaiterais également remercier les personnes que j'ai rencontrées au cours de ces trois ans, au détour de tables rondes ou séminaires sur la ville et les risques : Ludovic Faytre de l'IAU-IdF, Magali Reghezza et l'équipe des géographes de l'ENS, Éric Rigaud et les membres de Resilience Engineering, et bien d'autres encore, pour les discussions qui ont nourri ce travail. Merci également à Thierry Joliveau de l'Université de Saint-Étienne, qui a accepté de me guider dans mes premières recherches et a participé à mon comité de pilotage de thèse.

Pour la réalisation de cette thèse, je ne peux pas omettre de remercier chaleureusement Éric Defretin de la Ville de Paris, pour avoir facilité les relations avec les gestionnaires de services urbains, et avoir cru en mon travail. Je suis également reconnaissante envers les gestionnaires qui ont accepté de jouer le jeu, me recevoir et participer aux ateliers. Merci pour votre intérêt et votre confiance.

Une partie de ces rencontres a été permise par mes camarades de la promotion 49 de l'EIVP et je les en remercie. Ces amis m'ont exprimé leur intérêt pour mes travaux sur ce sujet qui intrigue, c'est précieux ! J'espère avoir répondu à leur curiosité et les remercie de contribuer à mon bon moral toute l'année. À ce titre je remercie enfin toute ma famille, je ne crois pas avoir été trop pénible mais vous étiez là quand il fallait et n'oubliez pas que je ne suis que la première…

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE **9**

PARTIE 1 : APPRÉHENDER LA RÉSILIENCE DES SERVICES URBAINS PAR LES APPROCHES COLLABORATIVES **13**

Introduction de la partie 1 **15**

Chapitre 1 : La ville, les services urbains et les risques, un triptyque classique dont l'analyse reste à améliorer **17**
1.1. La résilience urbaine, une réponse opérationnelle ? 18
1.2. Une analyse du triptyque ville-réseaux-risques encore trop sectorielle 34
1.3. De la nécessité des approches collaboratives 43
1.4. Synthèse du chapitre 51

Chapitre 2 : Les approches collaboratives pour faciliter une approche transdisciplinaire **53**
2.1. Contexte et enjeux des approches collaboratives 54
2.2. Méthodes et outils 60
2.3. Identification d'un problème entre experts et décideurs 68
2.4. Synthèse du chapitre 73

Chapitre 3 : La recherche-action avec les gestionnaires parisiens **75**
3.1. Spécificités du contexte urbain parisien face aux risques 76
3.2. Le cadre existant n'est pas efficient 98
3.3. Co-construction de la démarche avec les gestionnaires 110
3.4. Synthèse du chapitre 116

Conclusion de la partie 1 **117**

PARTIE 2 : MODÉLISER L'INTERDÉPENDANCE DES SERVICES URBAINS **119**

Introduction de la partie 2 **121**

Chapitre 4 : Construction du modèle d'interdépendance **123**
4.1. Le diagnostic, principe et utilisation 124
4.2. Construction de l'outil d'aide au diagnostic 134
4.3. Expérimentation avec les services urbains parisiens 142
4.4. Synthèse du chapitre 159

Chapitre 5 : Analyse collaborative des interdépendances au niveau supérieur **161**
5.1. Difficultés techniques, organisationnelles et extérieures 162
5.2. Typologie des interdépendances 169
5.3. Solutions pour la gestion des interdépendances 175
5.4. Synthèse du chapitre 189

Conclusion de la partie 2 **191**

PARTIE 3 : ANALYSER LA RÉSILIENCE DES SERVICES URBAINS 193

Introduction de la partie 3 195

Chapitre 6 : Construction du modèle spatial 197
6.1. De la nécessité d'inclure les dimensions spatiales et temporelles des interdépendances 198
6.2. Collecte et construction des données 208
6.3. Modélisation de l'évènement 218
6.4. Synthèse du chapitre 225

Chapitre 7 : Analyse collaborative des interdépendances au niveau intermédiaire 227
7.1. Résultats cartographiques 228
7.2. Intérêts et limites de l'approche spatiale pour l'analyse des interdépendances 233
7.3. Bilan de la démarche 238
7.4. Synthèse du chapitre 249

Conclusion de la partie 3 251

PARTIE 4 : ÉVALUER LA PORTÉE DE LA DÉMARCHE 253

Introduction de la partie 4 255

Chapitre 8 : Les conditions de la résilience de Paris sont-elles réunies ? 257
8.1. Au niveau des services urbains 258
8.2. Au niveau territorial 271
8.3. Autres facteurs à prendre en compte 279
8.4. Synthèse du chapitre 291

Chapitre 9 : Perspectives de recherche 293
9.1. Opérationnaliser la démarche 294
9.2. Discuter les concepts 309
9.3. Synthèse du chapitre 318

Conclusion de la partie 4 319

CONCLUSION GÉNÉRALE 321

BIBLIOGRAPHIE 325

ACRONYMES 341

TABLE DES MATIÈRES 343

TABLE DES ILLUSTRATIONS 351

TABLE DES TABLEAUX 356

ANNEXES 357

1- Description des services urbains **359**
1. Services de distribution d'énergie 359
2. Services d'eau et de déchets 371
3. Services de télécommunications 386
4. Services de déplacements 392

2- Support du premier atelier collaboratif **403**

3- Questionnaire-bilan de l'expérimentation **404**

4- Présentation du projet Resilis **407**

RÉSUMÉ **408**

ABSTRACT **408**

INTRODUCTION GENERALE

> Conçoit-on bien une cité comme Paris, où, dans les quartiers les plus peuplés, dans ceux où l'industrie est la plus florissante, il n'y a plus ni circulation possible, ni boutiques ouvertes ; c'est le dimanche londonien transféré à Venise, pluies et ciel inclément compris, c'est la perturbation la plus extraordinaire pour des milliers de gens, perturbation plus grave peut-être en ses conséquences qu'un danger plus notoire. C'est l'anxiété, masquée par l'invincible bonne humeur, ce sont des difficultés nouvelles, de transport, de ravitaillement, d'accomplissement du travail régulier, de renchérissement venant s'ajouter à toutes celles que la vie normale connaît en assez grand nombre déjà.
>
> (Le journal des débats, 1910)

CONTEXTE DE LA RECHERCHE

L'inondation de Paris en 1910 fait partie de l'imaginaire collectif francilien grâce aux nombreuses photos d'époque, souvent cocasses et toujours marquantes. Les vues de Paris inondé renvoient aujourd'hui une image spectaculaire de la vie quotidienne bouleversée (Le journal des débats, 1910). Si les victimes à déplorer lors de telles inondations sont rares, la situation n'est pour autant pas souhaitable aujourd'hui tant les impacts à long terme seraient importants. En effet, les impacts sur le patrimoine, l'activité économique, la qualité de l'environnement ou le tissu social seraient suffisants pour perturber durablement le fonctionnement de la capitale mais également du reste du pays (Reghezza, 2006). Le risque d'inondation centennal en Île-de-France est donc aujourd'hui l'un des risques les plus préoccupants pour le pays de même qu'avec une crue majeure de la Loire et un séisme dans la région de Nice. Cependant, les réponses apportées depuis plusieurs décennies semblent insuffisantes pour prendre en compte les aspects non-humains des impacts de ces risques.

Or, la gestion des risques est un enjeu majeur de la gestion urbaine aujourd'hui, avec de nombreuses perturbations endogènes et exogènes (Dubois-Maury et Chaline, 2004), des populations exposées et dépendantes, des enjeux publics et privés menacés, etc. Le pouvoir de police du maire fait de lui le responsable de la sécurité des biens et des personnes sur son territoire mais le transfert des compétences d'aménagement vers les structures intercommunales tend à limiter ses prérogatives en matière d'aménagement. Et pourtant, les autorités et les scientifiques reconnaissent aujourd'hui le rôle majeur des décisions d'aménagement et de gestion urbaine dans les catastrophes dites « naturelles » (Pigeon, 2010). Alors, la déconnexion entre politique d'aménagement et politique de gestion des risques limite nécessairement l'intégration des deux problématiques. Ainsi, dans le milieu urbain complexe, sujet déjà à de nombreux enjeux économiques, sociaux et politiques, la prise en compte des risques ajoute aux jeux de pouvoirs entre acteurs aux intérêts divergents (Rebotier, 2012). Le risque devient, ou devrait devenir, un facteur aussi important que le facteur économique ou social dans la manière de faire et gérer la ville, mais la réalité est toute autre.

Le rôle majeur de l'État dans l'élaboration de la stratégie nationale de gestion des risques, mais aussi dans l'implémentation de stratégies locales à travers les plans de prévention des risques ou la gestion de crise, contribue à ce manque de prise en compte intégrée du risque. Garant de l'équité entre territoires, l'État se trouve en effet souvent confronté aux problématiques locales de développement (Veyret et Laganier, 2013). À l'inverse, certains territoires sont moteurs dans la gestion de leurs risques et dépassent largement les attentes réglementaires. Ils font alors de la gestion des risques un atout, un élément structurant de leur projet de territoire, démontrant qu'il est possible de concilier développement et prévention. Si la gestion des risques reste aujourd'hui le parent pauvre des politiques urbaines, la reconnexion de ces stratégies à des enjeux économiques et sociaux permettrait de justifier la prise en compte des risques par des objectifs de continuité

d'activité et d'attractivité du territoire qui intéressent les collectivités. Ce sont les principaux arguments qui ont donné naissance à l'application du concept de résilience en gestion des risques (Serre, 2011). Définie comme la capacité à absorber une perturbation et à récupérer ses fonctions à la suite de celle-ci (Lhomme *et al.*, 2010), la résilience permet d'identifier les caractéristiques d'une ville apte à faire face à une perturbation en limitant les effets négatifs sur son fonctionnement, à court et long terme.

La résilience n'est toutefois pas une propriété intrinsèque des villes. Si elles sont (presque) toutes suffisamment résilientes pour avoir perduré au fil des siècles malgré les guerres, les épidémies, les incendies ou les inondations (Vale et Campanella, 2005), certaines aujourd'hui se relèvent plus facilement d'une perturbation que d'autres. Il semble donc plus pertinent d'analyser le processus qui fait une ville plus résiliente par le biais du maintien de son identité et de ses fonctions (Gersonius *et al.*, 2012). Cette vision est ainsi adaptée aux systèmes sociotechniques comme la ville. Elle permet de mettre en avant les notions subjectives d'acceptabilité et le besoin de compromis dans la prise en compte des interactions complexes entre développement urbain, risque et attractivité du territoire. L'amélioration de la résilience est donc une perspective intéressante pour les villes, mais dont l'opérationnalité commence seulement.

OBJECTIFS ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE

L'objectif de cette recherche est donc de développer une méthodologie d'amélioration des conditions de la résilience urbaine afin de répondre à ce vide pratique. Ces travaux s'appuient en cela sur les trois ans du projet ANR RESILIS[1] qui visait à développer des méthodes et outils à destination des collectivités pour l'amélioration de la résilience. Le champ de recherche très vaste de ce projet a donc nourri et a été nourri par cette recherche dont l'entrée par l'analyse des réseaux techniques urbains apporte un cadre conceptuel pertinent. D'une part, les réseaux techniques sont étroitement liés à la formation de la ville et au développement urbain, d'un point de vue géographique (Dupuy, 2008), mais également économique. D'autre part, ils jouent un rôle particulier face aux risques car leur forme les expose particulièrement alors qu'ils sont essentiels pour la gestion de crise et le rétablissement (Blancher, 1998). Cette recherche part donc de l'hypothèse que la résilience des réseaux techniques constitue un préalable nécessaire, mais pas suffisant, à la résilience de la ville (Lhomme, 2012a). La méthodologie proposée dans cette recherche porte donc sur la résilience des services urbains au sens où les aspects techniques du support physique et les aspects organisationnels du service sont considérés conjointement (Robert *et al.*, 2009). En effet, les aspects techniques ne sont pas les seuls à intervenir dans la résilience urbaine. Les gestionnaires font partie des nombreux acteurs de la ville dont les décisions et les stratégies sont parfois contradictoires et nécessitent des compromis (Kuhlicke *et al.*, 2011).

Comme de nombreux problèmes urbains complexes et mal définis, l'amélioration de la résilience urbaine nécessite donc la collaboration des parties prenantes afin d'identifier les points bloquants et les marges de manœuvre de chacun (Joerin et Cloutier, 2011) puis d'en déduire une stratégie commune contribuant à la résilience. Une méthodologie collaborative est donc co-construite ici avec les gestionnaires de services urbains sur le principe de la théorie de la traduction (Callon *et al.*, 2001). Les spécificités du terrain d'expérimentation, Paris, permettent ensuite d'identifier les biais de la méthodologie afin de les corriger pour proposer une généralisation de la démarche à tout territoire. Ainsi, la démarche repose d'abord sur une analyse sectorielle du fonctionnement des services urbains, puis sur une analyse globale des interdépendances afin d'étudier les conditions du fonctionnement des services, quelle que soit la perturbation envisagée. Elle est ensuite complétée par une analyse spatialisée des interdépendances et des stratégies de réponse face à un risque donné, l'inondation centennale, afin d'identifier les marges de manœuvre des acteurs de la ville pour le maintien des fonctions urbaines. Cette étape particulièrement liée au contexte de l'expérimentation illustre les interactions entre Paris, ses réseaux et le risque d'inondation au niveau local. Sa généralisation est envisagée dans les perspectives d'approfondissement de la recherche. Les résultats appuient déjà des réflexions plus larges en termes de difficultés à la mise en œuvre de la résilience des services urbains puis de la ville. Ainsi, la

[1] Le projet ANR RESILIS (référence ANR-09-VILL-0010-VILL) a été mené par Egis entre avril 2010 et mars 2013, en collaboration avec huit partenaires dont l'EIVP comme coordinateur scientifique.

démarche d'abord globale puis fondée sur une situation de risque particulière augmente la connaissance du fonctionnement du système de systèmes urbains. Cette connaissance permet une meilleure préparation face à tout type de perturbation, par la réhabilitation ou la conception de services urbains résilients.

Ces travaux de recherche sont appuyés sur des rencontres nombreuses avec les acteurs de terrain, facilitées par l'appui de la Ville de Paris dans le cadre du projet Paris Résiliente[2]. Les principaux services urbains présents à Paris ont été rencontrés entre août 2011 et octobre 2012, d'abord isolément afin de collecter les données et dresser un portrait de chaque service. Les gestionnaires ont ensuite été rassemblés à l'occasion de trois ateliers collaboratifs organisés avec l'appui de la direction de la prévention et de la protection. D'autres rencontres avec divers acteurs de la gestion des risques en Île-de-France (zone de défense et de sécurité, DRIEE, IAU-Île-de-France), ainsi que la participation à plusieurs colloques concernant la gestion du risque (séminaire économique inondation de l'Agence régionale de développement, séminaires de l'Association française pour la prévention des catastrophes naturelles, mission de restitution de la mission Sandy par le Haut Comité français pour la défense civile, premières assises nationales du risque naturel, etc.) ont fourni le reste du cadre nécessaire à la compréhension des enjeux de la résilience. Le travail qui en résulte présente donc une démarche innovante expérimentée au sein du territoire parisien dont la situation face au risque d'inondation centennale est relatée ici. Le ton se veut objectif et fondé sur les éléments collectés auprès des acteurs de terrain. Il peut parfois être critique quant au fonctionnement actuel tout en essayant d'être ni alarmiste, ni optimiste.

STRUCTURE DU MEMOIRE

La première partie cadre l'approche de la résilience par les services urbains choisie dans ces travaux. L'analyse du triptyque ville-réseau-risques reste incomplète car de nombreux aspects territoriaux, techniques et sociologiques sont en jeu (chapitre 1). En particulier, les dépendances entre systèmes techniques et entre acteurs sont mises en avant. Il est donc utile d'évaluer l'apport des approches collaboratives puisqu'elles sont largement utilisées dans le champ de l'environnement et de l'aménagement (chapitre 2). Les approches collaboratives correspondent en effet à une réalité politique et de gouvernance censée répondre aux enjeux des problématiques actuelles : multiplicité d'acteurs et d'enjeux, implication des acteurs, prise en compte des interactions entre échelles temporelles et spatiales. Une démarche collaborative est donc expérimentée sur un territoire à risque : Paris dont les spécificités géographiques, techniques, sociales et de gouvernance sont analysées (chapitre 3). Ces spécificités appuient la co-construction avec les gestionnaires d'une démarche adaptée au contexte mais elles permettent également d'envisager ensuite la généralisation de la démarche.

La problématique identifiée dans la partie 1 met en avant la nécessité d'augmenter la connaissance et la collaboration concernant la gestion des interdépendances des services urbains. La partie 2 présente donc une méthode d'analyse globale du fonctionnement du système de systèmes constitué par les services urbains. Une méthode d'autodiagnostic est conçue pour la collecte de données concernant l'interdépendance des services urbains. La vision sectorielle qui en découle est traitée à l'aide de la théorie des graphes pour appuyer une analyse systémique des interactions entre services urbains (chapitre 4). Ces résultats présentés lors d'un atelier collaboratif permettent ainsi la discussion de problèmes rencontrés par les gestionnaires dans le fonctionnement de leur service (chapitre 5). Cette étape appuie ensuite l'identification de solutions à la fois techniques et organisationnelles de gestion des interdépendances.

Cependant, cette première étape souligne également la nécessité d'analyser plus finement les interdépendances afin d'élaborer des stratégies de réponse pertinentes, tenant compte des dépendances dans le temps et dans l'espace. Elle est donc complétée dans la partie 3 par une deuxième étape à un niveau plus fin intégrant une dimension temporelle et spatiale. Un outil SIG est choisi pour ses capacités de mise en forme et de traitement des données concernant les interdépendances, mais également le risque et ses impacts (chapitre 6). Le scénario ainsi modélisé est à nouveau soumis aux gestionnaires qui peuvent identifier des

[2] Le projet Paris résiliente (appel à projet Paris 2030) a été mené par l'EIVP et l'université Paris-Diderot entre 2010 et 2012.

décalages entre les stratégies prévues et la réalité modélisée (chapitre 7). Cependant, les limites de cette approche sont nombreuses, notamment la focalisation sur un évènement scénarisé et planifié, mais la démarche a déjà l'intérêt d'impulser la collaboration entre les acteurs.

La riche matière produite par ces deux étapes permet de discuter le niveau de résilience, à différentes échelles, du système urbain parisien dans la partie 4. À partir du cadre théorique de la partie 1, les stratégies de résilience des services urbains sont analysées. Elles enrichissent des réflexions aux niveaux plus larges de la ville, de l'agglomération puis du temps long (chapitre 8). Ces résultats permettent donc de revenir aux concepts théoriques de départ afin d'en discuter la pertinence et d'identifier les pistes d'approfondissement soulevées par cette expérimentation (chapitre 9). En particulier, la généralisation de la démarche appuyée sur un deuxième cas d'étude plus succinct est abordée. Elle laisse entrevoir les évolutions nécessaires, tant en termes techniques que de gouvernance, qui permettront la mise en œuvre d'une stratégie de résilience à l'échelle du territoire urbain.

PARTIE 1 :

APPREHENDER LA RESILIENCE DES SERVICES URBAINS PAR LES APPROCHES COLLABORATIVES

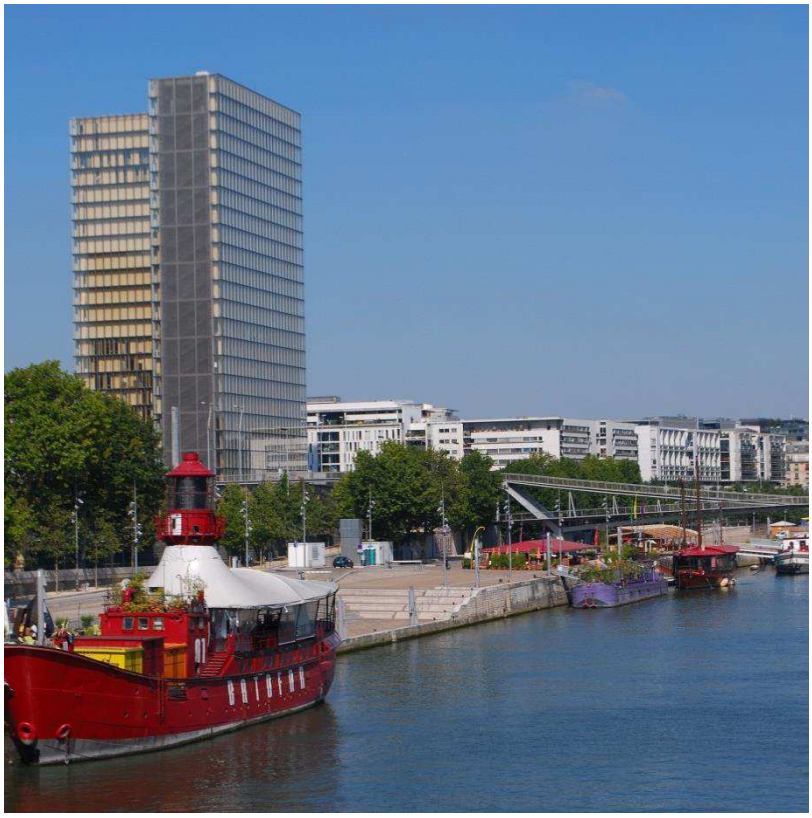


Photo 1 : Les quais de Seine à la Bibliothèque nationale de France, site François-Mitterrand

INTRODUCTION DE LA PARTIE 1

> Cet objet d'étude, qu'est l'urbain et l'urbanisation, doit être examiné sous toutes les coutures et convoquer toutes les disciplines et pratiques professionnelles afin de révéler ses mystères.
>
> (Paquot, 2008)

La ville est un objet transdisciplinaire par essence, au même titre que les autres objets de recherche majeurs de ces travaux : la résilience (Brand et Jax, 2007) et les réseaux (Dupuy et Offner, 2005). Il est donc nécessaire d'aborder la résilience urbaine par le biais de problématiques transdisciplinaires comme l'articulation entre l'urbanisme et les risques, les réseaux face aux risques ou le rôle des acteurs. Ces problématiques touchent plusieurs domaines scientifiques et ne correspondent pas nécessairement à la compétence d'un seul acteur de la ville. L'une des réponses possibles à de tels problèmes mal structurés, impliquant de nombreuses parties prenantes, est la mobilisation directe des acteurs à travers une approche collaborative (Callon *et al.*, 2001). Alors l'implication des acteurs de la ville, des réseaux et des risques permet d'identifier les enjeux de la mise en œuvre d'une démarche d'amélioration de la résilience au sein du territoire (Walker *et al.*, 2002). En particulier, la connaissance commune du fonctionnement urbain est améliorée et les conflits entre les différents acteurs ou usages de la ville sont identifiés. Les conditions sont alors réunies pour une meilleure prise de décision et une meilleure implication des acteurs qui portent ensuite les actions et les évolutions à plus long terme (Koninckx et Teneau, 2010). Une approche collaborative de l'amélioration de la résilience urbaine est donc largement ancrée dans le territoire rassemblant les acteurs autour d'une problématique commune.

Le premier chapitre de cette partie introductive analyse de manière générale les interactions entre la ville, les réseaux et les risques afin d'identifier les enjeux de leur gestion intégrée. Les questionnements de recherche liés à ce triptyque montrent un certain nombre de manques qui suggèrent le recours aux approches collaboratives. Le deuxième chapitre démontre qu'en effet les approches collaboratives répondent à de nombreuses problématiques liées à l'environnement. Alors, l'amélioration de la résilience urbaine, qui n'est finalement qu'une problématique spécifique de l'environnement urbain, bénéficierait des apports de la collaboration. La démarche doit pour cela être ancrée dans le territoire dont le contexte urbain, de risque et de gouvernance joue un rôle majeur. Le troisième chapitre présente donc les spécificités du territoire choisi, Paris, afin de construire une démarche collaborative adaptée à ses enjeux.

Chapitre 1 : La ville, les services urbains et les risques, un triptyque classique dont l'analyse reste a ameliorer

De nombreux regards sont portés par la recherche sur la ville. Malgré la variété des points de vue, tous reconnaissent la complexité de cet objet d'étude qui joue un rôle prépondérant, de l'échelle individuelle à l'échelle mondiale, de l'instantané des technologies à l'histoire des civilisations. Toute recherche sur la ville doit donc articuler différentes approches pour en saisir la complexité. En géographie par exemple, la ville est un territoire particulier avec un nombre élevé d'éléments, des interactions à de multiples niveaux, des dynamiques temporelles, des comportements, des éléments non-rationnels et des facteurs aléatoires ou exogènes (Leloup, 2010). Pour réduire la complexité, la ville peut être appréhendée comme un système (de Rosnay, 1975), un méta-objet constitué d'objets techniques assurant les fonctions parcellaires (secondaires) de la fonction finale de la ville (Gey, 2012) : habiter, au sens d'« être-présent-au-monde » (Paquot, 2011).

Cette vision, qui peut sembler réductrice, permet de comprendre immédiatement les enjeux de la perturbation d'une ville faisant face à divers risques hybrides, combinaison de facteurs humains, environnementaux, sociaux et techniques. En effet, cette fonction principale est remise en cause directement par la destruction des composants bâtis. Mais la fonction « habiter » peut également être perturbée indirectement par la dégradation des fonctions secondaires comme l'économie, la gouvernance, la culture mais aussi les approvisionnements. L'approvisionnement de la ville repose sur le service urbain en tant que support et organisation de la distribution ou la mise à disposition d'un service tel que l'énergie, l'eau, la salubrité, les déplacements, les télécommunications. Le réseau permet alors d'appréhender la complexité ; il devient une grille d'observation, une boite à outils (Dupuy et Offner, 2005) pour comprendre ce qui fait la persistance du système urbain.

La capacité des villes à faire face à différents risques devient un enjeu majeur pour les acteurs de la ville et nécessite de nouvelles approches dans la manière de concevoir et gérer la ville (Serre, 2011). En effet, la perturbation de ces fonctions urbaines par un aléa impacte le fonctionnement de la ville, mais les causes et les conséquences sont étroitement liées. La maîtrise des articulations entre ville, réseaux et risques est donc un problème complexe auquel de nombreux travaux ont été dédiés. Les réponses actuelles semblent toutefois limitées à des approches sectorielles ou à des objectifs trop théoriques qui ne répondent pas aux besoins des acteurs de la ville. Cette recherche vise à contribuer à la compréhension des articulations entre ville, réseaux et risques afin de proposer des pistes opérationnelles de conception et de gestion d'une ville adaptée aux changements majeurs : une ville résiliente. Pour cela, il est nécessaire de développer une approche collaborative rassemblant l'ensemble des acteurs de la ville autour des grands enjeux de la résilience urbaine.

1.1. LA RESILIENCE URBAINE, UNE REPONSE OPERATIONNELLE ?

Les catastrophes naturelles sont le révélateur des liens complexes entre la ville, ses services urbains et leurs interactions avec l'environnement urbain et naturel. Les facteurs anthropiques et environnementaux s'imbriquent à tel point que cette appellation erronée de « risque naturel »[3] semble construite pour innocenter l'homme. Or l'étude de retours d'expérience montre les effets des construits humains et notamment des réseaux dans la capacité des villes à faire face, puis se remettre d'une catastrophe. Il est donc nécessaire d'analyser plus précisément le rôle des services urbains, leurs spécificités et leur évolution. La complexité de la ville et des services urbains face aux risques ainsi mise en lumière, pourrait alors être abordée par un concept appuyé sur l'approche systémique et la complexité : la résilience.

1.1.1. DES RESEAUX TECHNIQUES COMPLEXES ESSENTIELS AU FONCTIONNEMENT DE LA VILLE

CE QUE MONTRENT LES RETOURS D'EXPERIENCE

Les bilans des catastrophes passées mettent l'accent sur le nombre de victimes, de bâtiments détruits, mais aussi sur les dommages aux réseaux techniques et le nombre d'usagers privés d'électricité, de téléphone ou d'eau potable. Dans les sociétés urbaines modernes, la défaillance des réseaux lors d'une perturbation est un indicateur majeur de l'ampleur de la catastrophe mais également de l'impact à long terme. En effet, même s'ils sont endommagés, ils sont parfois les seuls survivants construits de la ville et assureront donc la persistance de la ville[4] (Campanella, 2006). Les catastrophes naturelles touchent toutefois durement les réseaux, qu'ils soient aériens ou enterrés, filaires ou ponctuels. L'extension géographique des réseaux les expose sur de larges portions aux aléas. Leur connexité favorise la propagation d'une perturbation (pollution par exemple) mais permet également la mise en place d'alternatives (en cas de rupture). Enfin, leur complexité de fonctionnement et de gestion entrave la mise en œuvre de stratégies globales requises par ces systèmes (Blancher, 1998).

Lors de l'ouragan Sandy qui s'est abattu sur New York le 29 octobre 2012, les réseaux ont été durement touchés, notamment l'électricité et le métro (Guillois, 2012). Les 7 tunnels de traversée de l'East River sont ennoyés ainsi que 8 stations, la gare de triage de North's Harmon Yard et 6 dépôts de bus. Les équipes de la New York City transit, filiale de la Metropolitan transit authority (MTA), déploient des moyens de pompage colossaux pour évacuer l'eau. Mais l'eau salée a fait beaucoup de dégâts sur les équipements, notamment électroniques. Si le service est rétabli à 80 % en 5 jours (Figure 1-1 et Figure 1-2), la ligne R reste inexploitée après 13 jours et le service reste dégradé dans son fonctionnement pendant plusieurs semaines. Deux tunnels restent fermés (celui de la ligne R rouvre le 21 décembre, celui de la ligne A sous Jamaica Bay n'est pas rétabli (le service est remplacé par une navette gratuite) et la régulation est durablement impactée, notamment car la conduite des métros se fait « à vue ». Aucune date de remise en service à son niveau maximal n'est donnée à ce jour. Les dégâts se sont élevés à 5 milliards de dollars (3,8 milliards d'euros). Ainsi, les New-Yorkais subissent encore, plusieurs mois plus tard, un service dégradé avec des temps de trajet plus longs. En effet, la réparation des infrastructures ne suffit pas, de nombreux systèmes annexes doivent être remplacés, parfois entièrement.

[3] Les anglo-saxons parlent de *man-made hazards*.
[4] « Layered networks of urban infrastructure also make the modern urban site "sticky". »

Figure 1-1 : Carte du rétablissement du métro new-yorkais au 1er novembre 2012 (en grisé, les lignes interrompues, principalement au Sud de Manhattan) (source : MTA)

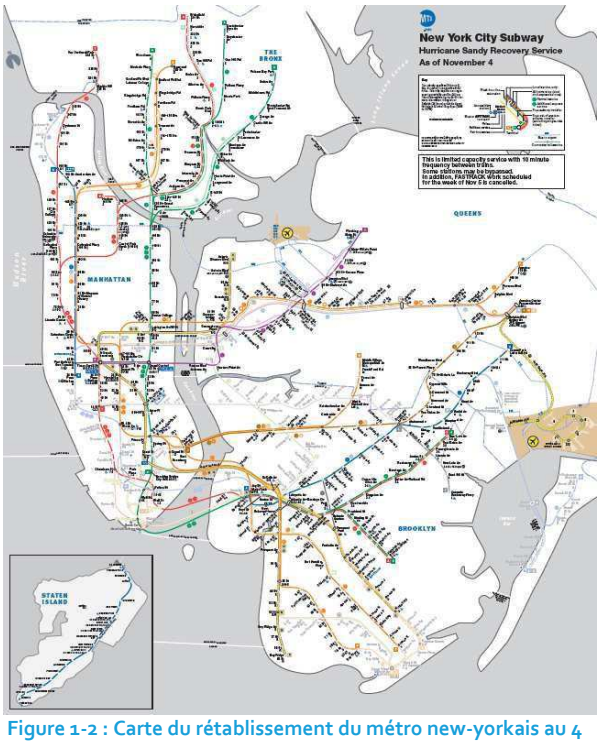


Figure 1-2 : Carte du rétablissement du métro new-yorkais au 4 novembre 2012 (en grisé les lignes interrompues et mention du service dégradé en termes de fréquence et de desserte) (source : MTA)

En 2005, l'ouragan Katrina avait déjà secoué les États-Unis : 80 à 90 % des moyens vitaux sont détruits en moins de 3 h, aboutissant à 1,1 millions de personnes privées d'électricité. 3 millions de lignes téléphoniques sont interrompues et les autres réseaux sont impactés immédiatement par la perte de l'électricité (Guihou *et al.*, 2006). En effet, la forte dépendance à l'électricité peut propager les effets d'une défaillance sur les autres services. D'autres interdépendances moins évidentes jouent un rôle majeur dans la capacité de la ville à faire face à la perturbation car les activités de gestion de crise, puis de rétablissement, reposent sur ces réseaux (Felts, 2005 ; Vigneron *et al.*, 2006). Les réseaux eux-mêmes peuvent devenir source de perturbation, non seulement du fait de la dépendance des populations et des activités à ces services, mais également par le rôle de propagateurs ou générateurs de perturbation (Blancher, 1998).

Qu'appelle-t-on reseaux techniques ?

Un réseau technique est un « réseau régulé de lignes matérielles (canalisations, voies, tuyaux), servant au transport d'une réalité quelconque » (Lévy et Lussault, 2003). Cette première définition objective et descriptive fait apparaître immédiatement la dimension structurelle du réseau composé de lignes, éventuellement intersectées au niveau de points, d'où l'étymologie de « ret », « filet » (Parrochia, 2005). Cette métaphore textile s'est rapidement appliquée aux réseaux de routes et de canaux, puis à l'économie ou aux individus. La deuxième notion importante incluse dans cette définition est le transport, ou flux, porté par ces lignes. C'est une nouvelle analogie, avec la circulation sanguine cette fois (Parrochia, 2005), qui met en avant la fonction de transporteur du réseau. On peut donc distinguer la dimension topologique (la structure) du réseau et sa dimension rhéologique (les flux) auxquelles s'ajoute la dimension stochastique (processus de transition, réservoirs et consommations) (Parrochia, 2005). Ainsi pour la ville, les réseaux transportent diverses ressources : des véhicules, de l'électricité, de l'information, de l'eau, des déchets, de la chaleur, etc.

Les réseaux sont alors composés de lignes : tronçons de canalisations, de câbles, de routes, mais aussi de centres de production (usine de production d'eau potable, centrale électrique), de centres de transfert ou de stockage (réservoirs, transformateurs électriques, postes de détente) et enfin de centres de consommation (clients, consommateurs, usagers). Cette vision arborescente est pertinente pour les réseaux de distribution,

mais une autre vision des réseaux préconise la mise en relation la plus exhaustive possible de l'ensemble des points de la ville. Cette vision correspond alors davantage aux réseaux de transport ou d'information dans lesquels l'ensemble des points sont à la fois émetteurs et récepteurs. Il faut noter que les réseaux d'assainissement ou de déchets par exemple peuvent également être décrits comme des réseaux arborescents inversés : les producteurs sont les usagers et les flux convergent vers le site de consommation : l'usine de traitement. Cependant, cette distinction distribution-connexion est de moins en moins pertinente du fait des évolutions récentes des systèmes en réseaux (cf. 1.1.2).

De plus, cette vision horizontale des réseaux, de par leur structure, ne doit pas faire oublier les liaisons verticales existant entre les réseaux : ils sont interconnectés. En effet, certains composants nécessitent des ressources extérieures pour fonctionner. De manière évidente de nombreux composants ont besoin d'électricité bien souvent, mais également d'eau ou de gaz par exemple : ce sont des interdépendances fonctionnelles. On peut y ajouter les interdépendances cybernétiques ou logiques lorsque de l'information (une donnée, un ordre) est nécessaire pour réaliser la fonction du composant (Robert et Morabito, 2009). D'autres types d'interdépendances peuvent être caractérisés et évalués ; de nombreux travaux portent sur cette problématique et proposent des découpages différents (Rinaldi *et al.*, 2001 ; Eusgeld *et al.*, 2011 ; Ouyang et Dueñas-Osorio, 2011). La différenciation entre les interdépendances fonctionnelles et les interdépendances géographiques ou spatiales (Zimmerman, 2002) est la seule retenue ici. Alors les interdépendances cybernétiques et logiques sont incluses dans les interdépendances fonctionnelles puisqu'elles correspondent bien à l'échange d'une réalité (une donnée informatique) portée par un réseau urbain : un réseau de fibre optique, de cuivre ou d'antennes transmettant des ondes. À l'inverse, les interdépendances géographiques sont dues à la proximité (éventuellement le partage) des infrastructures (Blancher, 1998). En effet, la densité du milieu urbain et la multiplication des réseaux augmentent la promiscuité entre des infrastructures (Blunier, 2009) et les équipements sont parfois mutualisés (tranchées, conduites, locaux). Dans un contexte de risques, ces interdépendances peuvent s'avérer critiques pour la continuité des services. Elles constitueront donc un enjeu majeur de la résilience urbaine (cf. 1.1.3).

La science étudiant les réseaux dans son aspect topologique est la théorie mathématique des graphes (Figure 1-3) alors que l'analyse conjointe des trois aspects topologique, rhéologique et stochastique est issue du génie urbain.

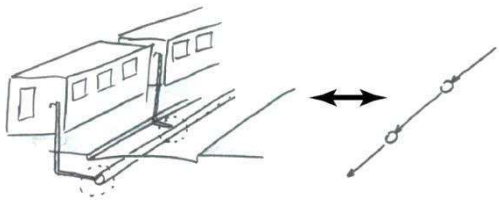


Figure 1-3 : Analogie entre le réseau et le graphe

En tant qu'« approche unitaire et globale de la voirie, des réseaux divers (VRD) et des transports, le génie urbain cherche à améliorer la productivité et l'efficacité des aménagements et services urbains en associant des pans de l'analyse urbaine jusque-là séparés : choix techniques, structure spatiale, intercommunalité, etc. » (Merlin et Choay, 2010). Cette définition ajoute alors à la dimension technique pure des notions d'aménagement urbain et de gouvernance.

UNE DIMENSION ORGANISATIONNELLE AJOUTANT A LA COMPLEXITE

Ainsi, la première description matérielle peut être complétée par une vision plus subjective dans laquelle le réseau est un « ensemble d'équipements interconnecté, planifié et géré de manière centralisée à une échelle tantôt locale tantôt plus large et offrant un service plus ou moins homogène sur un territoire donné qu'il

contribue ainsi à solidariser » (Coutard, 2010). Apparait ici la dimension du service rendu, incluant donc une vision plus sociale des réseaux (Dupuy et Offner, 2005). En effet, derrière l'objet technique, déjà largement étudié, se trouve un service avec son organisation, son modèle économique, ses techniciens, ses managers, ses clients et son image de marque. On peut alors parler des réseaux comme de « dispositifs sociotechniques de maîtrise de l'environnement (ressources, milieux) afin de satisfaire les besoins et les exigences des activités humaines. » (Le Bris et Coutard, 2008).

Le terme « service urbain » est donc dorénavant utilisé pour désigner l'ensemble du dispositif sociotechnique des services techniques en réseau, incluant les dimensions humaines et organisationnelles. Certains services publics sont parfois désignés sous le terme services urbains : l'éducation, la santé, la poste, la police ou les secours. Ils ne reposent toutefois pas sur un réseau technique tel que défini plus haut, aussi ils ne seront pas étudiés dans cette recherche. Il est intéressant de noter toutefois qu'ils reposent eux-mêmes sur les services urbains (cf. 1.1.3). Cette définition recoupe également l'acception du terme réseau proposé par le *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement* (Merlin et Choay, 2010) : « ensemble de fonctions, de services et d'objets techniques généralement essentiels à la vie urbaine ». Toutefois, sous cette définition plus générale, se cachent toujours des disparités fortes entre réseaux, tant au niveau technique qu'organisationnel. Une décomposition du service urbain en cinq composants (Figure 1-4) est proposée pour expliciter ces disparités et permettre la généralisation de l'étude des services urbains.

- L'infrastructure est le réseau au sens premier du terme constitué des lignes et des nœuds (Figure 1-3).
- Le pilotage est le dispositif, reposant généralement sur les technologies de l'information, permettant l'optimisation, le contrôle à distance ou la surveillance du réseau.
- Les sites d'exploitation accueillent les agents et sont répartis sur le territoire desservi (et parfois au-delà).
- Le personnel regroupe l'ensemble des métiers techniques nécessaires à l'exploitation du réseau, ainsi que les fonctions supports indispensables à toute organisation (management, ressources humaines, communication, services financiers, etc.).
- Le service urbain regroupe enfin les échelons supérieurs, par exemple le groupe propriétaire ou exploitant du réseau, et inclut donc des contraintes spécifiques en termes d'économie, d'organisation, d'image, etc.).

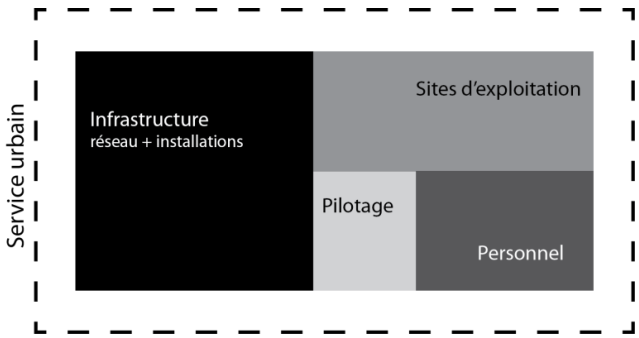


Figure 1-4 : Le service urbain composé de cinq composants en interaction (Toubin *et al.*, 2013d)

Tous les services urbains ne sont pas nécessairement constitués de tous les composants précédents. Par exemple, un service de collecte de déchets ne repose pas à proprement parler sur une infrastructure. Le service est constitué des sites d'exploitation, abritant des véhicules et du matériel, et un effectif très important de personnel. Les véhicules de collecte empruntent le réseau viaire mais la voirie relève d'un autre service urbain. À l'inverse, un réseau de télécommunications ne repose que très peu sur le personnel et les sites d'exploitation. En revanche, il dispose d'une infrastructure très étendue et dense, et d'un pilotage bien souvent

indispensable. Ces différenciations sont illustrées plus en détail à l'aide du cas d'étude au chapitre 3 et également en annexe 1.

D'autres disparités fortes complexifient encore les essais de généralisation : le périmètre de compétence, le statut, les objectifs propres, voire les postures des décideurs de chaque service. Il convient de préciser ici quelques notions concernant ces caractéristiques car on peut supposer qu'elles influencent le service, y compris en cas de perturbation. Tout d'abord, le périmètre de compétence dépend de l'opérateur : les réseaux d'eau, d'assainissement, de voirie, de transport ou de déchets relèvent bien souvent de la compétence de la collectivité (commune ou groupement de commune). La collectivité peut décider de l'exploiter en régie ou de déléguer le service public (affermage, concession ou régie intéressée). D'autres réseaux relèvent des opérateurs publics historiques comme l'électricité, le gaz ou les télécommunications. Alors la gestion de ces services est bien souvent régionalisée, mais les interactions avec l'échelon national sont importantes. Toutefois, de nouveaux opérateurs privés apparaissent avec la dérégulation des services publics. La répartition des compétences entre producteur, transporteur, distributeur ou vendeur d'un service devient donc complexe. Il faut préciser que les collectivités restent en tout cas propriétaires des infrastructures et responsables de la continuité de ces services publics. Les évolutions récentes touchant les services urbains semblent donc jouer un rôle majeur dans leur fonctionnement.

1.1.2. Des systemes en reseaux en constante evolution

Évolutions techniques

Les réseaux techniques sont dépendants les uns des autres car ils ont besoin de ressources fournies par d'autres réseaux pour fonctionner. Ces interdépendances sont donc bénéfiques pour le fonctionnement optimisé des services urbains, mais elles sont également amplificatrices du potentiel de perturbation (Ouyang et Dueñas-Osorio, 2011). En effet, la défaillance d'un système peut se répercuter sur les systèmes dépendants. Si elle n'est pas nouvelle, cette interdépendance s'accroit, notamment du fait de l'introduction des technologies de l'information et de la communication (TIC) (Coutard, 2008) et des impératifs d'optimisation, que ce soit en temps, en ressources ou en espace. La dépendance à l'électricité durant la crue de la Seine en 1910 est à ce titre un exemple intéressant (cf. chapitre 3). D'après le rapport Picard (Picard, 1910), les impacts liés à la défaillance de l'électricité ont été mineurs par rapport à ceux de la défaillance du gaz ou des transports. En effet, à l'époque, peu d'usagers utilisaient l'électricité : les tramways et le métro disposaient de leur propres sources, le chauffage et l'éclairage public se faisaient principalement au gaz, les ascenseurs fonctionnaient grâce au réseau d'air comprimé, les télécommunications pouvaient être alimentées manuellement par la force des hommes. Aujourd'hui, l'intégralité des équipements a besoin d'énergie et celle-ci est bien souvent prise au plus proche et au moins cher en se raccordant au réseau électrique. La dépendance aux télécommunications s'est également généralisée dans l'optique de limiter les coûts. Les TIC permettent l'optimisation de la production en fonction de la consommation (quasiment en temps réel pour certains services). Les équipements peuvent également être pilotés à distance pour optimiser les flux ou les réorienter afin de réagir au plus vite et éviter les déplacements. D'autres dépendances moins évidentes existent cependant comme c'est le cas entre les réseaux de télécommunications et l'eau potable par exemple, ou entre le réseau de chaleur et l'assainissement. Finalement, ces interdépendances créent un système de systèmes, aux interactions horizontales et verticales nombreuses, variables dans le temps, et plus ou moins critiques lors d'une perturbation.

S'ajoutent à cette complexité technique et organisationnelle, des évolutions profondes du rôle et du fonctionnement des services urbains. En effet, du paradigme du réseau universel et intégrateur, forme la plus performante de fourniture des services urbains, on est passé à une situation de dépendance totale. Or cette dépendance s'accompagne d'une fracture (Figure 1-5) lorsque l'inégalité de desserte entraine un réel désavantage (principalement concernant l'accès au numérique ou aux transports) (Dupuy, 2011). Dans ces cas,

le principe d'universalité n'est plus la norme car le raccordement massif des usagers a déjà été réalisé et il ne reste que les raccordements les plus difficiles, techniquement et économiquement. La dépendance aux réseaux est inévitablement un facteur de perturbation pour la ville en cas de rupture du service (cf. 1.1.1), mais la fracture n'a pas non plus un effet positif. Les usagers non raccordés restent privés d'un service qui pourrait les aider à faire face à une perturbation. Ainsi ces usagers ne seront pas affectés directement par la rupture du service mais la fracture pourra s'accentuer si le service (par exemple la capacité à communiquer ou s'informer grâce au réseau internet) se révèle bénéfique durant ou après la perturbation.

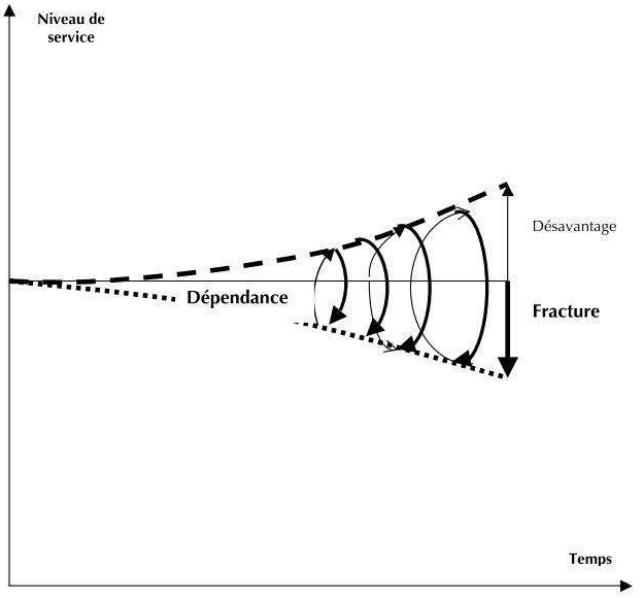


Figure 1-5 : Désavantage entre populations raccordées et populations non raccordées devient fracture lorsque la dépendance augmente (Dupuy, 2011)

Il est démontré que le modèle économique actuel des services urbains amène nécessairement à ce phénomène conjoint de fracture et de dépendance, mais il est possible d'agir sur le système en lui-même pour rendre moins uniforme la désirabilité de la connexion (Dupuy, 2011). Cette évolution est déjà en cours par le renversement du paradigme du réseau distributeur où les consommateurs peuvent à leur tour devenir producteurs (Le Bris et Coutard, 2008) : revente d'électricité produite par panneaux photovoltaïques, réutilisation d'eau de pluie, compostage des déchets. Dans ce nouveau paradigme, la dépendance n'est plus aussi forte et la fracture peut être réduite par des fonctionnements plus locaux et décentralisés du réseau global. L'autonomie complète des usagers n'est pour l'instant pas une réponse durable puisque le réseau a bien émergé du besoin de mutualisation des ressources. La mise en réseau permet en effet d'optimiser ces ressources et de réduire les externalités négatives sur l'environnement. On voit donc plutôt émerger des systèmes composites combinant des éléments de grands réseaux conventionnels et des systèmes sociotechniques alternatifs (Le Bris et Coutard, 2008). Il serait alors intéressant d'évaluer en quoi ces systèmes, a priori plus complexes dans leur gestion et leurs techniques, limiteraient les impacts négatifs des perturbations sur les populations et les activités. De tels systèmes sont toutefois relativement récents et le cas d'étude proposé dans cette recherche ne permet pas d'appuyer de réelles évaluations, tout au plus quelques conjectures. Quoi qu'il en soit, ces évolutions s'accompagnent inévitablement de changements organisationnels et réglementaires déjà à l'œuvre.

ÉVOLUTIONS ORGANISATIONNELLES

La libéralisation généralisée de l'économie n'épargne pas les services urbains. Autrefois privés (on dénombrait pas moins de six compagnies concessionnaires d'électricité jusqu'en 1914 (Picard, 1910)), ils ont été regroupés par la puissance publique et confiés à des autorités publiques. Ces opérateurs, parfois nationaux (EDF, GDF,

France Telecom), ont donc détenu un monopole territorial, avant que le service ne soit nouveau ouvert à la concurrence en accord avec les politiques européennes (Coutard et Pflieger, 2002). « Le réseau hybride les modes de coordination » (Dupuy et Offner, 2005) et permet de penser l'antagonisme entre concurrence et complémentarité. Sans discuter du bien fondé de telle ou telle vision (des services publics essentiels non marchands contre des services (non essentiels ?) marchands), le constat est qu'une myriade de gestionnaires cohabite au sein de la ville (Toubin *et al.*, 2011b). Ces gestionnaires sont en charge de services ou portions de service et ont un statut plus ou moins privé (on peut au moins admettre qu'ils ne sont plus entièrement publics). Ils sont donc soumis aux contraintes propres aux entreprises : recherche de rentabilité, diminution des moyens, besoin d'innover, importance de l'image de marque, etc. Cela altère nécessairement le fonctionnement des services urbains, positivement ou négativement.

Cette évolution vers une gestion libérale des services urbains amène également un changement du statut de l'usager vers le statut de client ou consommateur. De l'adhésion des populations à l'idéal universel, solidaire et fédérateur du réseau jusqu'aux années 1980 (Coutard et Pflieger, 2002), on est passé à une vision plus individualiste dans laquelle la continuité du service est évidente. Alors l'intérêt des usagers n'est éveillé qu'en cas de dysfonctionnement (Barbier et Bedu, 2008) ou d'évolution tarifaire. Si l'usager est un client comme un autre pour un opérateur de service urbain, est-il traité comme tout client, en fonction de sa dépense ? C'est-à-dire, l'utilisateur qui paie le plus cher est-t-il prioritaire en cas de dysfonctionnement ? Si la réponse est évidemment non car les opérateurs restent soumis aux impératifs du service public, la réalité n'est pas si évidente. Il sera donc nécessaire de prendre en compte ces évolutions organisationnelles pour comprendre l'impact de la perturbation des services urbains sur la ville et les usagers.

ÉVOLUTIONS REGLEMENTAIRES

La libéralisation des services en réseaux, parfois même vus comme le terrain de jeu des néolibéraux, modifie la vision originelle des services publics en réseaux. Elle reste cependant limitée par d'autres processus sociopolitiques (Coutard, 2008). En particulier, en France, un certain nombre de réglementations impose des niveaux de service minimaux aux gestionnaires de réseaux, suivant diverses situations. Tout d'abord, d'un point de vue général, la délégation des services publics et le fonctionnement en régie sont réglementés par le Code général des collectivités territoriales (articles L1411-1 et L1412-1). Toutefois, la règlementation ne concerne dans ce code que le périmètre, la durée (article L1411-2) et la procédure de passation des marchés de délégation ; et non les obligations de chacune des parties. Le Code général des collectivités territoriales instaure les commissions consultatives des services publics locaux chargées de contrôler la bonne gestion de ces derniers (article L1413-1).

Les conditions de service, en particulier les raccordements, les tarifs, les interruptions et indemnisations, sont décidées bilatéralement entre le délégant et le délégataire dans un règlement du service. Ces règlements doivent être conformes aux réglementations locales, nationales et européennes, en termes de protection de l'environnement notamment. Ainsi, à Paris pour les déchets par exemple, les services municipaux de collecte des déchets (délégués ou en régie) respectent les arrêtés municipaux cadrant les « règles du jeu » (présentation et collecte des ordures ménagères). Ces arrêtés à l'échelle communale sont conformes au règlement sanitaire départemental (arrêté du 23 novembre 1979 portant règlement sanitaire du département de Paris), qui doit lui-même être compatible avec le Code de l'environnement (Titre IV Déchets) et la directive européenne déchet de 2008. Le texte européen, transcrit en loi française, donne principalement des directives en termes d'objectifs de réduction des déchets. Mais finalement, peu de dispositions concernent la continuité ou la défaillance d'un service en cas de catastrophe. La plupart des règlements de service écartent même leur responsabilité : « Eau de Paris ne peut être tenu responsable d'une perturbation de la fourniture d'eau due à un

cas de force majeure ou à une situation d'urgence y compris l'interruption de fourniture due au gel, à une pollution ou aux ruptures de canalisations. » (règlement du service de l'eau potable de la ville de Paris[5]).

Certains services urbains font cependant l'objet d'un code spécifique : la distribution d'électricité et de gaz avec le Code de l'énergie ; les télécommunications avec le Code des postes et des communications électroniques. Pour l'électricité, par exemple, des décrets datant de 2007 fixent les seuils de qualité à respecter pour le nombre et la durée des coupures (Figure 1-6). La commission de régulation de l'énergie (CRE) est chargée du contrôle de la continuité du service de distribution d'électricité (Figure 1-7). À noter que l'année 1999 n'apparait pas sur le diagramme mais aurait fait exploser la colonne puisque les tempêtes Lothar et Martin ont durement touché la France entière. Suite à l'évènement, la force d'intervention rapide électricité (FIRE) a d'ailleurs été créée et a prouvé ses capacités de réaction en 2009 (Bellec *et al.*, 2010).

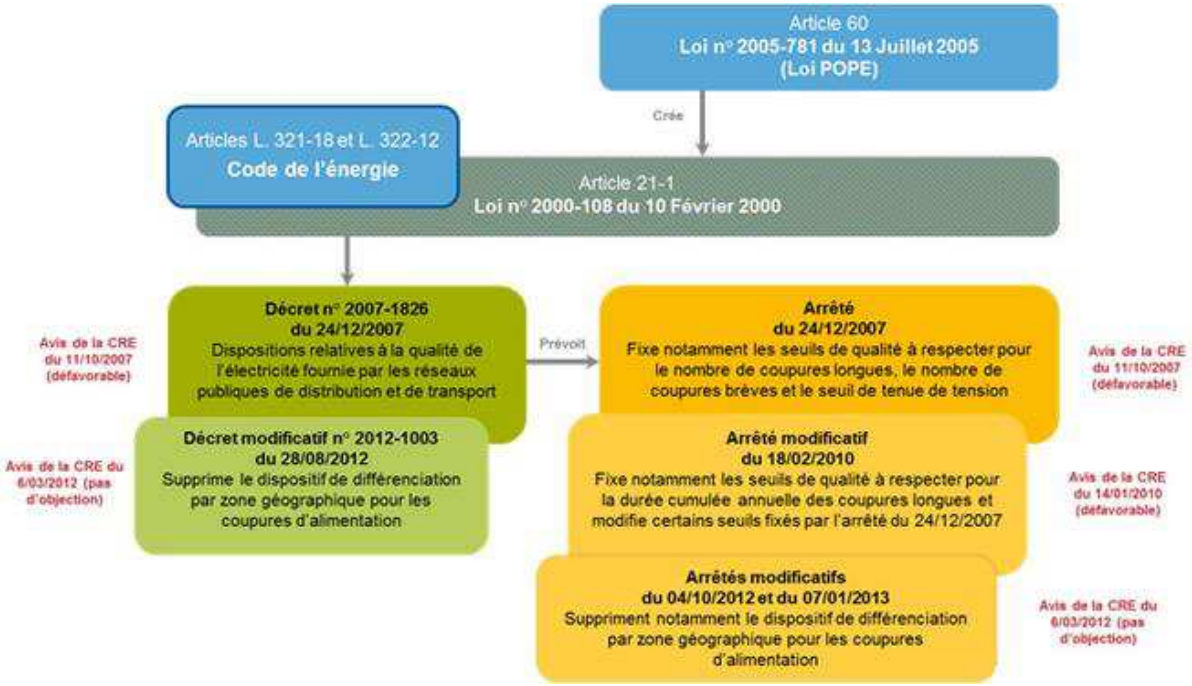


Figure 1-6 : Réglementations liées à la distribution de l'énergie (source : Commission de régulation de l'énergie[6])

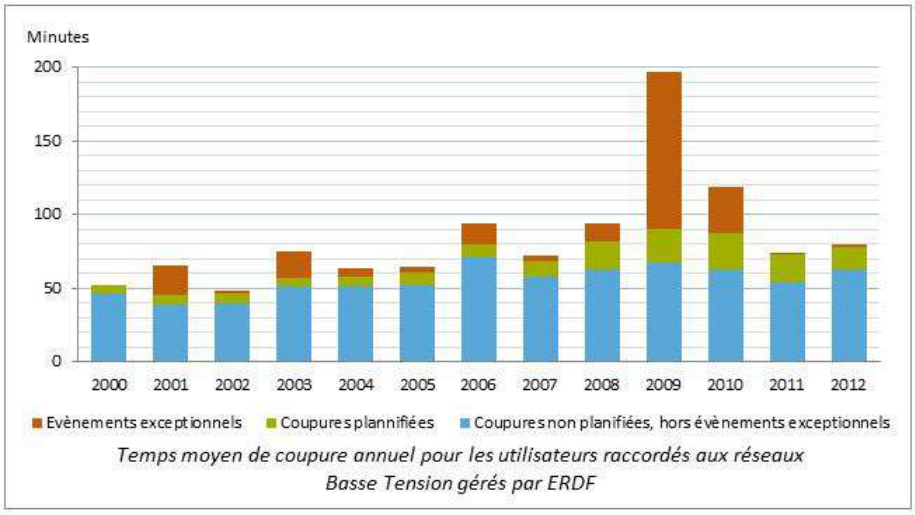


Figure 1-7 : Continuité du service de distribution d'électricité (basse tension) (source : Commission de régulation de l'énergie[6])

[5] http://www.eaudeparis.fr/page/abonne/demarches/reglement-du-service-public-de-l-eau?page_id=242
[6] http://www.cre.fr/reseaux/reseaux-publics-d-electricite/qualite-de-l-electricite

Les évènements récents et l'importance des services urbains ont ainsi démontré la nécessité d'inclure les services urbains dans la gestion des crises. Pour compléter les réglementations existantes, mais peu contraignantes en termes de continuité, et se rapprocher des obligations pesant sur les distributeurs d'énergie, la loi n°2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile précise les orientations de la politique de sécurité civile, notamment concernant l'engagement des moyens (troisième point) :

> Avec les opérateurs de services publics (transports, énergie, eau, télécommunications, autoroutes…), une collaboration permanente est prescrite par la loi pour gérer de façon satisfaisante les trois aspects suivants :
>
> – leurs propres vulnérabilités aux risques ou aux actes de malveillance et l'organisation des secours pour leur protection ;
>
> – leur capacité à engager, dans le cadre d'une nouvelle planification, les moyens généraux dont ils disposent en vue de la gestion de la crise ;
>
> – les conditions du maintien ou du rétablissement rapide d'un niveau minimal de services (eau, énergie, service de santé, communications) destiné à garantir la continuité du fonctionnement des activités essentielles à la population, même en situation de crise.
>
> Cette nouvelle relation entre les opérateurs et les pouvoirs publics passera par une révision des cahiers des charges au fur et à mesure de leur échéance, mais plus encore par une association effective, au niveau local, à tous les travaux de préparation (prévention, planification, exercices). [extrait de l'article annexe]

Cette orientation se traduit dans le Code de la défense qui inclue dans son volet économique la notion d'opérateurs d'importance vitale (OIV) :

> Les opérateurs publics ou privés exploitant des établissements ou utilisant des installations et ouvrages, dont l'indisponibilité risquerait de diminuer d'une façon importante le potentiel de guerre ou économique, la sécurité ou la capacité de survie de la nation, sont tenues de coopérer à leurs frais dans les conditions définies au présent chapitre, à la protection desdits établissements, installations et ouvrages contre toute menace, notamment à caractère terroriste. Ces établissements, installations ou ouvrages sont désignés par l'autorité administrative. [article L1332-1]
>
> Les opérateurs dont un ou plusieurs établissements, installations et ouvrages sont désignés en application du présent chapitre réalisent pour chacun d'eux les mesures de protection prévues à un plan particulier de protection dressé par l'opérateur et approuvé par l'autorité administrative. Ces mesures comportent notamment des dispositions efficaces de surveillance, d'alarme et de protection matérielle. En cas de non-approbation du plan et de désaccord persistant, la décision est prise par l'autorité administrative. [article L1332-3]

Ces dispositions récentes, dont les effets se font maintenant sentir, améliorent la préparation des gestionnaires désignés OIV[7] à une possible crise. Mais la question de la continuité de service évoquée dans la loi de modernisation de la sécurité civile peine à se concrétiser. De plus, la gestion des interdépendances (cf. 1.1.1) n'est pas encore abordée : les obligations restent sectorisées comme si les services urbains

[7] Les arrêtés désignant les OIV ne sont pas publiés, aussi la liste exhaustive n'est pas disponible, mais les grands opérateurs tels qu'ERDF, GRDF, SNCF, RATP, Orange, Véolia, Suez, ainsi que certains opérateurs locaux en font partie.

fonctionnaient indépendamment les uns des autres. La vision est centrée sur la protection locale et n'incite aucunement à la prise en compte de ces interdépendances dans un plan de continuité d'activité. Enfin, certains services ne sont pas concernés par ces obligations. Il conviendra donc d'identifier s'ils jouent un rôle dans le fonctionnement des autres services et dans la résilience globale du système urbain.

1.1.3. LA RESILIENCE DES RESEAUX EST UN PREALABLE NECESSAIRE A LA RESILIENCE DE LA VILLE

RESILIENCE DES SYSTEMES

Au départ capacité d'un matériau à subir une pression sans se rompre, le concept de résilience a été étendu aux systèmes écologiques comme la persistance des interactions au sein d'un système et la mesure de la capacité de ces systèmes à absorber des changements de variables ou de paramètres, tout en persistant[8] (Holling, 1973). Le concept de résilience est donc intimement lié à celui de système ; il permet d'étudier les caractéristiques systémiques qui font la robustesse (Turner II, 2010). La robustesse est la non sensibilité aux incertitudes (Mens *et al.*, 2011) ou le décalage entre les performances du système en fonctionnement normal et du système sous contraintes (Anderies *et al.*, 2004) (ce qui intègre la notion de performance, ou efficacité). L'intérêt du concept de résilience est alors la possible appréhension de la complexité par l'analyse des interactions multi-échelles, des interdépendances et des incertitudes (Berkes, 2007 ; Boin *et al.*, 2010 ; Folke *et al.*, 2002 ; Kuhlicke, 2010). Pour l'étude de la ville et des réseaux face aux risques, la prise en compte de ces difficultés s'avèrerait donc intéressante. Cependant, si le concept semble pertinent et s'est étendu à de nombreuses disciplines (psychologie, économie, ingénierie, management), il est également vivement critiqué pour ce flou qui fait justement sa puissance transdisciplinaire, mais gêne son opérationnalité (Brand et Jax, 2007). En effet, suivant les acceptions que chaque discipline, voire chaque groupe de recherche au sein d'une même discipline, donne au concept, les implications qui découlent de son utilisation sont très variées (Djament-Tran *et al.*, 2011). Le débat porte notamment sur l'application du concept à des systèmes conçus ou auto-organisés, techniques, sociaux ou écologiques, pour lesquels chaque chercheur propose une définition fondée sur des notions proches comme la robustesse, l'efficacité, l'adaptabilité, la durabilité, etc.

La résilience, de par son origine première issue de la physique des matériaux, est une propriété et non un processus. Cependant, la résilience d'un système s'évalue face à une situation donnée : résilience de quoi à quoi (Carpenter *et al.*, 2001). Ainsi, cette propriété est dynamique, elle varie dans le temps, dans l'espace, en fonction du périmètre du système considéré et de la perturbation étudiée (Figure 1-8).

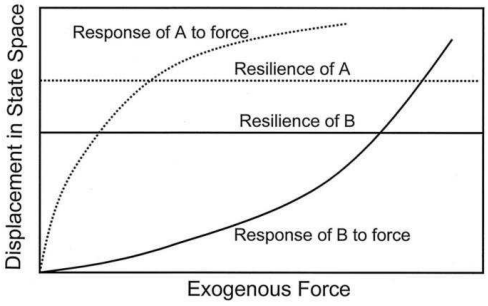


Figure 1-8 : La résilience d'un système comme la capacité de réponse à une contrainte avant le dépassement du seuil de résilience (intersection des courbes) et l'écart de l'état d'équilibre (Carpenter *et al.*, 2001)

La résilience d'un système est donc difficilement évaluable, ce qui est problématique pour l'opérationnalisation de ce concept. Cependant, certaines capacités fréquemment reliées à la résilience

[8] « Resilience determines the persistence of relationships within a system and is a measure of the ability of these systems to absorb changes of state variables, driving variables, and parameters, and still persist. »

pourraient permettre de tendre vers une caractérisation de la résilience d'un système (Dauphiné et Provitolo, 2007). Par exemple, la capacité d'un système à absorber une perturbation apparait dans la première définition donnée par Holling. On retrouve également dans les travaux des écologistes la capacité adaptative comme composant de la résilience reflétant l'aspect d'apprentissage du système (Robinson et Berkes, 2011). Sur la base de cette capacité à s'adapter pour persister, les ingénieristes ont ensuite inclus la notion de limitation des dommages et de rétablissement (Pimm, 1984). Le niveau de fonctionnement récupéré peut éventuellement être différent de l'état initial, s'il est jugé acceptable pour maintenir le système.

Ainsi, s'il était possible de caractériser et éventuellement évaluer ces capacités : absorption, adaptation, apprentissage, réduction des dommages et rétablissement, il serait possible d'identifier, non pas dans l'absolu mais en fonction des contraintes et des objectifs propres aux systèmes, un processus permettant d'aller vers une meilleure résilience, a priori. A priori seulement car la résilience ne peut être connue qu'a posteriori (après une perturbation), sur des critères qu'il reste à déterminer : quelle amplitude de perturbation a été absorbée ? quelle amplitude d'adaptation est acceptée ? quel est le niveau de dommages acceptable ? quel est le temps de rétablissement acceptable ? à quel niveau de fonctionnement ? puis, après un deuxième évènement, quel est le niveau d'apprentissage du système ?

L'approche identité (*identity-based*) correspondrait mieux à l'analyse des systèmes sociotechniques comme la ville. Les interactions entre systèmes physiques, d'acteurs et de règles définissent alors des seuils d'acceptabilité modifiant les paramètres qui forment l'identité du système (Gersonius *et al.*, 2012). La dimension subjective de ces seuils d'acceptabilité pourrait alors permettre de négocier avec les parties prenantes, les objectifs partagés d'amélioration de la résilience de la ville. Ce faisant, le concept de résilience ne se pose plus comme une injonction normative, fréquemment rapprochée des politiques néolibérales (Joseph, 2013). La résilience se traduit par un processus d'amélioration continue, spécifique au contexte et aux acteurs, qui ne nie pas les questions de pouvoirs et d'intérêts divergents comme cela a pu lui être reproché (Kuhlicke, 2010). Pour répondre aux difficultés de la problématique de cette recherche, cette approche devrait s'avérer plus opérationnelle (cf. 1.1.3), mais il convient alors de l'étendre à la ville.

Resilience urbaine

La ville peut être considérée comme un système dans lequel « les interactions entre les individus et les organisations, par l'intermédiaire de moyens de communication, permettent d'assurer les grandes fonctions du système urbain : utilisation d'énergie et élimination des déchets ; production, consommation et administration ; culture et loisir, information; communications et transports ; protection et sécurité » (de Rosnay, 1975). Cette vision certes ancienne reste aujourd'hui de mise dans les nombreux travaux sur le métabolisme urbain qui décrivent la ville comme un écosystème (Newman, 1999). Ce modèle plaquant une vision holiste et organique sur la ville (Kirchhoff *et al.*, 2010) est critiqué car l'action collective et coordonnée des individus constituant la ville peut être discutée. Cependant, l'analyse de la ville par le prisme des réseaux urbains (cf. 1.1.1) confirme la définition de Joël de Rosnay et permet de saisir ce concept de résilience urbaine. En effet, si le système urbain (Figure 1-9) a pour objectif d'assurer ces fonctions et si la résilience est la persistance par l'absorption et l'adaptation à une perturbation, alors la résilience urbaine est « la capacité d'une ville à absorber une perturbation et à récupérer ses fonctions à la suite de celle-ci » (Lhomme *et al.*, 2010).

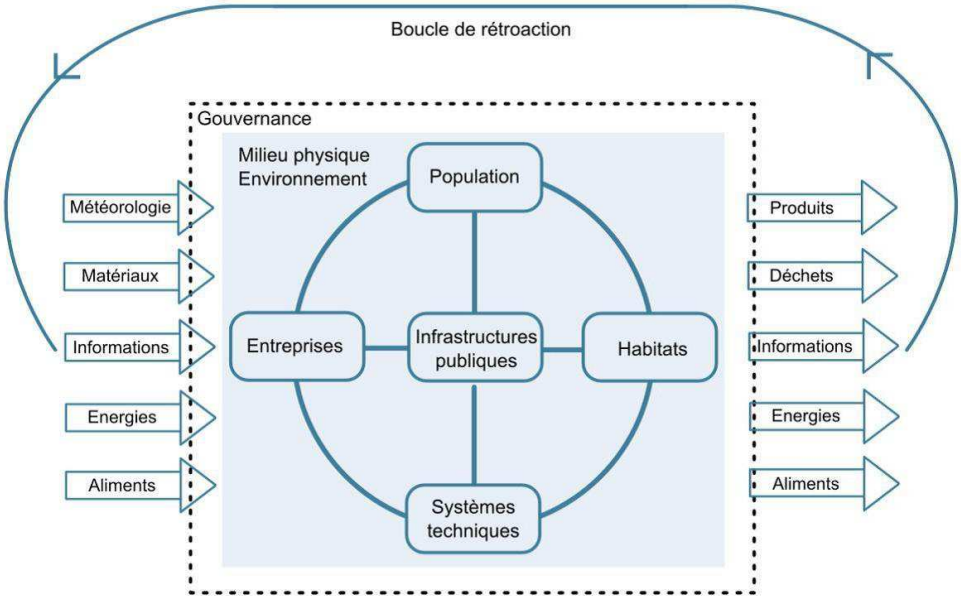


Figure 1-9 : Modélisation systémique simplifiée de la ville (Lhomme *et al.*, 2010)

On peut alors arguer que bien peu de villes ne sont pas résilientes et n'ont pas réussi à maintenir leurs fonctions urbaines à la suite d'une perturbation. En effet, l'histoire des villes est marquée par la survie de nombreuses cités détruites, plusieurs fois, dont la population a été décimée ou déplacée, et qui pourtant figurent toujours aujourd'hui sur la scène mondiale : Beyrouth, Varsovie, Chicago, Tokyo (Vale et Campanella, 2005). Cependant il apparait également que certaines villes font face aux perturbations avec plus ou moins d'impacts négatifs sur leur fonctionnement (cf. 1.1.1). Tout dépend donc de l'indicateur de mesure choisi. Les économistes proposent ainsi des indicateurs tels que le PIB ou le classement dans la hiérarchie mondiale pour évaluer si une ville a chuté puis a rétabli son niveau antérieur suite à un choc. Ainsi, la perte de PIB du Japon suite au tremblement de terre et au tsunami de 2011 a été évaluée à 4 % et les catastrophes naturelles ont « considérablement perturbé la croissance économique et les efforts de développement au cours des dix dernières années »[9]. La ville de Tokyo figure cependant toujours au sommet du classement des villes mondiales établi par le GaWC[10] et fondé sur la présence de firmes internationales dans le domaine de la comptabilité, du divertissement, des banques et de la justice (Beaverstock *et al.*, 1999). La question du périmètre d'analyse et de l'indicateur de mesure n'est donc pas simple.

Il convient donc de traduire la définition choisie en termes opérationnels, en indicateurs et en objectifs qui pourront être atteints en mettant en œuvre une stratégie de résilience au niveau de la ville. Là encore, les difficultés d'opérationnalisation se font sentir car les propriétés de la ville résiliente semblent bien souvent contradictoires : redondance et efficacité, diversité et interdépendance, robustesse et flexibilité, autonomie et collaboration, planification et adaptabilité (Godschalk, 2003). La systémique propose également quelques pistes intéressantes par le biais des dix commandements de la prospérité des systèmes (de Rosnay, 1975) qu'il faut également opérationnaliser :

1- conserver la variété ;
2- ne pas « ouvrir » des boucles de régulation ;
3- rechercher les points d'amplification ;
4- rétablir les équilibres par la décentralisation ;

[9] Article publié sur le site Catnat.net, d'après des sources de l'ONU : http://www.catnat.net/gestion-des-risques/veille-gestion-globale-des-risques/17004-l-am%C3%Aglioration-de-la-r%C3%Asilience-face-aux-catastrophes-naturelles-passe-par-l-att%C3%Anuation-de-leurs-impacts-%C3%Aconomiques
[10] http://www.lboro.ac.uk/gawc/gawcworlds.html

5- savoir maintenir des contraintes ;
6- différencier pour mieux les intégrer ;
7- pour évoluer: se laisser agresser ;
8- préférer les objectifs à la programmation détaillée ;
9- savoir utiliser l'énergie de commande ;
10- respecter les temps de réponse.

Malgré ces difficultés, le concept est largement utilisé dans le monde depuis plusieurs années, et plus récemment en France, comme nouvelle approche de la gestion des risques. Puisque la résilience caractérise la capacité d'une ville à faire face à une perturbation, le concept a plus rapidement été appliqué aux risques de « temps court » : accidents industriels, catastrophes naturelles, épidémies, etc. Il est également largement invoqué par les mouvements tentant de faire face à des risques de plus long terme comme le changement climatique ou la crise pétrolière, avec les *transition towns* par exemple. La gestion des risques a été marquée en France par de nombreuses approches au fil de l'histoire. Ces politiques publiques répondaient bien souvent à des objectifs ou des contextes politico-économiques bien plus larges que la seule gestion d'un risque local (Veyret, 2004). Ainsi aujourd'hui, les potentialités du concept de résilience suggèrent un changement de paradigme dans la gestion des risques qu'il est délicat d'expliquer par des facteurs socio-économiques (Gilbert, 2003 ; Gilbert, 2008). Prenons simplement comme hypothèse que le concept de résilience permet de passer d'une approche axée sur l'endommagement et la réponse technique vers une approche tournée vers l'acceptabilité des défaillances (Dauphiné et Provitolo, 2007), la continuité d'activité et la participation de tous (Ahern, 2011).

La résilience peut alors être vue comme un concept intégrateur dans lequel sont inclus de nombreux processus ex-ante visant à améliorer la capacité d'un système à rebondir/repartir/renaître après un choc traumatisant (définition de l'UMI Résiliences)[11]. Cette approche porte alors davantage sur le processus de maintien des fonctions, et donc de l'identité d'un système, que sur le maintien du système lui-même. Par abus de langage, on parle donc souvent d'évaluer/améliorer la résilience d'un système alors qu'il s'agit en réalité d'évaluer et mettre en place les *conditions* de la résilience face à une perturbation donnée ou non. La gestion des risques en France devrait donc se tourner vers le maintien des fonctions urbaines en cas de perturbation et se traduire dans la conception, l'exploitation et la gouvernance de la ville (Toubin *et al.*, 2013a). Mais quelles fonctions prendre en compte ? Selon que l'on est un entrepreneur, un élu, un ingénieur, un sociologue ou un habitant, la réponse varie grandement. Faut-il maintenir les échanges commerciaux, l'éducation, le traitement des déchets, les communications entre ministères, la santé, etc. ? Toutes ces fonctions font l'urbanité de la ville et sont les conditions de sa résilience, mais il est impossible de les traiter toutes dans cette recherche. Les services urbains sont l'un des contributeurs majeurs de la résilience de ces fonctions.

CONTRIBUTION DES SERVICES URBAINS A LA RESILIENCE URBAINE

L'étude de quelques retours d'expérience (cf. 1.1.1) a montré l'impact critique des catastrophes sur les réseaux techniques et les impacts indirects sur la ville n'ont été qu'évoqués. Cependant de nombreux travaux ont montré l'importance des réseaux dans la capacité de la ville à maintenir son fonctionnement : les réseaux sont la colonne vertébrale du fonctionnement urbain (Bruneau *et al.*, 2003) puisque « la ville [...] est fondamentalement mouvement, circulation » (Thibault, 2000). En effet, toutes les fonctions urbaines reposent en partie sur les services urbains (Figure 1-10).

[11] Ce faisant, il est compréhensible d'intégrer sous ce terme un grand nombre de politiques publiques qui visent à améliorer la résilience : sécurité alimentaire, adaptation au changement climatique, *empowerment* des populations, gestion des risques, etc.

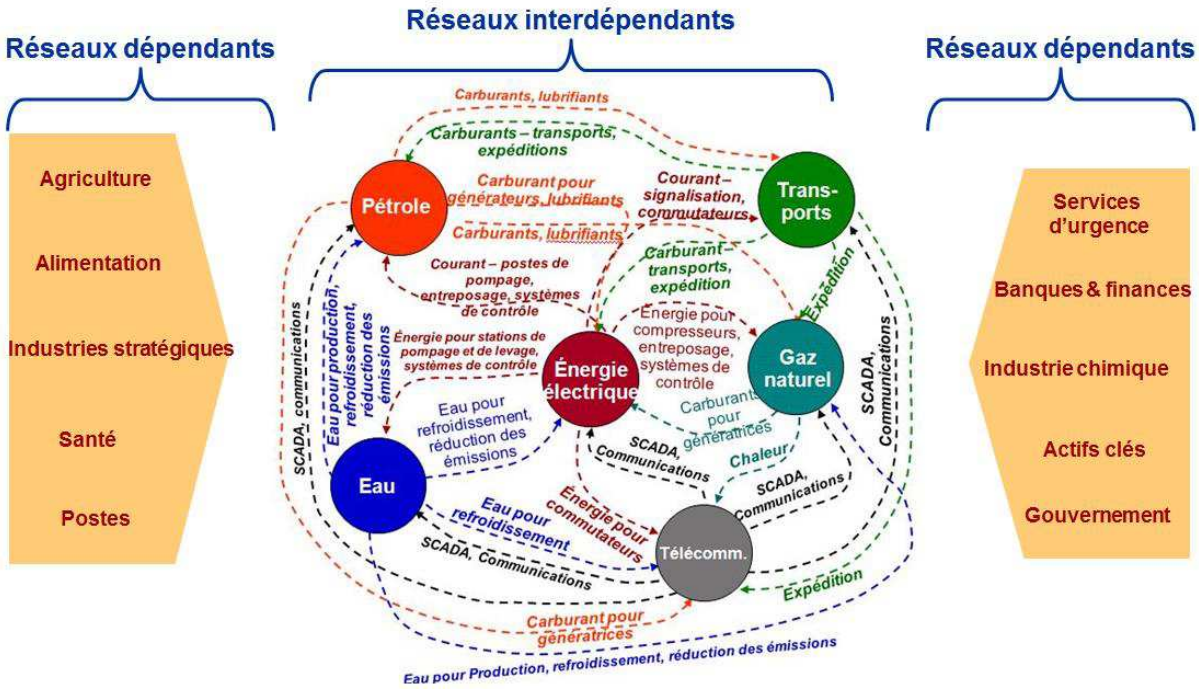


Figure 1-10 : Interdépendances et infrastructures critiques (source : extrait de la présentation de l'exercice de l'OSCQ cite in (Pinel, 2009) adapté de (Rinaldi *et al.*, 2001))

Les organes décisionnels ont besoin d'accéder à l'information et de transmettre des ordres aux différentes institutions via les réseaux de télécommunications. Les activités commerciales reposent sur les échanges physiques (réseaux de transports) et informationnels (réseaux de télécommunications). Les habitants ont besoin de nombreux services vitaux (eau potable, assainissement, éclairage, etc.). Les services urbains interviennent ainsi jusqu'aux fonctions les plus complexes du système de santé avec par exemple la dépendance forte de la dialyse aux réseaux d'électricité, d'eau potable et de télécommunications (Kanno *et al.*, 2011).

Ce rôle majeur des réseaux est d'autant plus prégnant en cas de perturbation puisque les services urbains deviennent des enjeux critiques. Par exemple, le réseau de voirie est indispensable à l'organisation d'une évacuation. Il faut connaître la capacité, la structure, l'endommagement et la congestion potentiels du réseau routier dans une situation de risque afin d'adapter la stratégie de gestion de crise aux capacités réelles de l'infrastructure (Chen *et al.*, 2011 ; Demoraes, 2009). Dans le sens opposé à l'évacuation, le positionnement des moyens, l'accessibilité des secours puis des équipes de rétablissement et de reconstruction après-crise, sont également tributaires du réseau de voirie. En gestion de crise toujours, la dépendance aux télécommunications (principalement la radio, le réseau mobile, l'internet et les communications par satellite) est critique pour les autorités. Elles doivent pouvoir être en lien avec le terrain, bénéficier de remontées d'informations fiables et rapides afin d'organiser au mieux l'action des différents services (Smith et Simpson, 2009) et d'informer la population des bons comportements. La gestion des déchets devient également un problème aujourd'hui mal maîtrisé du fait de la grande quantité de déchets produite et des dommages éventuels aux infrastructures qui réduisent les capacités de traitement (Beraud *et al.*, 2012 ; Brown *et al.*, 2011). Finalement, les services urbains contribuent positivement ou négativement à la résilience de la ville par :

- ~ l'aggravation d'une perturbation du fait de la dépendance des usagers privés du service ;
- ~ la propagation d'une perturbation au-delà de la zone d'impact initial ;
- ~ la facilitation ou la gêne des activités de gestion de crise (évacuation, maintien de l'ordre, communications) ;

~ l'accélération ou le ralentissement des activités de rétablissement (nettoyage, reconstruction).

La résilience des réseaux techniques est donc une condition nécessaire, mais non suffisante, de la résilience urbaine (Lhomme, 2012a). La focalisation sur les services urbains (incluant les dimensions humaine et organisationnelle) devrait donc permettre de traduire le concept de résilience urbaine en stratégies et méthodes appropriables par les collectivités dans leur approche de la gestion des risques. Cette approche a alors l'intérêt de relier la structure urbaine (au sens matériel) à ses fonctions et processus, ce qui est généralement utilisé en écologie mais encore peu en théorie urbaine (Pickett *et al.*, 2004). En effet, l'articulation forte entre les services urbains, les risques, le développement du territoire et sa gouvernance nécessite une analyse transversale intégrant les particularités de chaque niveau (Figure 1-11).

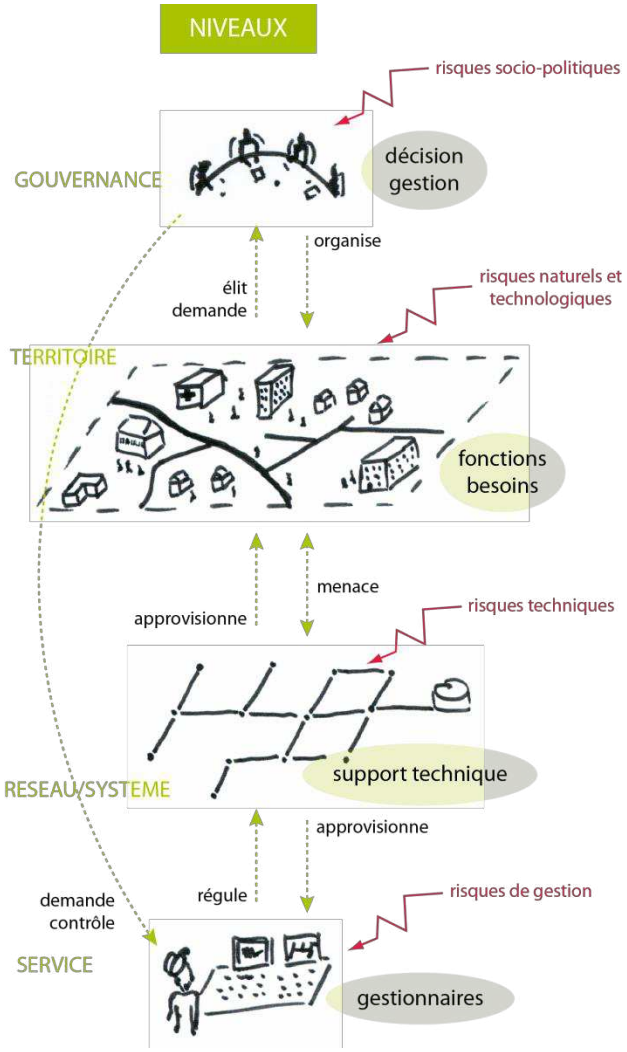


Figure 1-11 : Interactions entre gouvernance, territoire, réseau et service : des échelles et des contraintes différentes (Serre *et al.*, 2013b)

Synthèse

Les impacts subis par les services urbains lors des dernières grandes catastrophes urbaines comme Sandy et Katrina aux États-Unis, montrent l'importance des services urbains pour les villes. La dimension technique des services urbains ne suffit toutefois pas à appréhender les interactions entre la ville et ses services urbains. La dimension organisationnelle est elle

aussi essentielle et subit autant d'évolutions profondes. Il apparait donc difficile d'identifier les solutions à apporter pour gérer ces interactions multiples dans le but d'améliorer la réponse des villes face aux risques. La vision systémique de la ville appuyée sur un système de réseaux techniques suggère l'utilisation d'un concept nouveau : la résilience. Au départ propriété d'un système à retrouver un état initial après une perturbation, le concept de résilience s'appliquerait à la ville soumise à des contraintes. Le maintien des fonctions urbaines et de l'identité de la ville par le biais des capacités d'absorption, de récupération et d'apprentissage est alors un objectif d'amélioration de la résilience pour les acteurs de la ville. Les services urbains sont alors l'un des premiers leviers d'action qui permet d'opérationnaliser le concept de résilience et proposer des pistes concrètes aux collectivités.

1.2. UNE ANALYSE DU TRIPTYQUE VILLE-RESEAUX-RISQUES ENCORE TROP SECTORIELLE

La dimension sociotechnique de la ville, mise en avant par les services urbains et les risques notamment, appelle à l'interdisciplinarité. « Cet objet d'étude, qu'est l'urbain et l'urbanisation, doit être examiné sous toutes les coutures et convoquer toutes les disciplines et pratiques professionnelles afin de révéler ses mystères » (Paquot, 2008). Ainsi, pour comprendre ce triptyque ville-réseaux-risques, on peut adopter une approche centrée sur le territoire et sa formation, en interaction avec les risques, ou bien porter un regard technique sur la ville et ses composants, ou encore questionner sa dimension sociale. Ces différentes approches visent à répondre à des questionnements et des objectifs qui leur sont spécifiques mais qui ne répondent pas entièrement à la problématique d'amélioration de la résilience urbaine.

1.2.1. APPROCHES TERRITORIALES

CO-EVOLUTION RISQUE-DEVELOPPEMENT URBAIN

La ville a fait l'objet de nombreux travaux dans le champ de la géographie. L'étude de la formation du territoire a donc nécessairement mené les géographes à étudier l'influence des risques sur le développement des villes. Ils se sont interrogés sur l'évolution de la ville et des risques, depuis l'arbitrage entre des avantages (localisation, climat, ressources, fertilité des terres) et des inconvénients (évènements extrêmes, destructions, reconstructions) jusqu'à une supposée diminution de l'acceptabilité des risques (pour une discussion sur ce point, voir les travaux de Jean-Baptiste Fressoz). Du point de vue de la formation du territoire, l'histoire des villes serait donc intimement liée à celle des risques qui l'entourent, puis qu'elle génère. Ainsi, le risque peut affecter physiquement le territoire ; le risque peut être un résultat de la territorialisation (urbanisation par exemple) ; ou la territorialisation peut être un résultat du risque (usage et valeur des sols, paysages, réglementations) (Rebotier, 2012). On voit donc apparaître le rôle du politique (politiques publiques, dispositions réglementaires), du social (décisions individuelles et collectives) et de l'économique (valeur et attractivité) au travers de cette interaction (November, 2012) qui pouvait au départ sembler purement physique (exposition de la ville au risque).

Les approches territoriales permettent donc d'intégrer les notions de risque et de développement urbain afin de mettre en lumière le rôle majeur des facteurs politico-économiques (Beucher, 2007). Les géographes proposent des outils d'analyse de l'interaction entre ces notions comme la courbe de Farmer (Figure 1-12) pour représenter le rapport entre l'urbanisation (courbe rouge), les risques (courbe verte) et les politiques de développement durable (Pigeon, 2010). Cet outil permet d'analyser les interactions entre les stratégies de protection, à court terme, contre des catastrophes peu probables mais extrêmes (D1 et D2), et des stratégies plus globales relevant du développement durable visant à gérer des situations de perturbation d'intensité faible mais fréquentes (partie gauche du graphique).

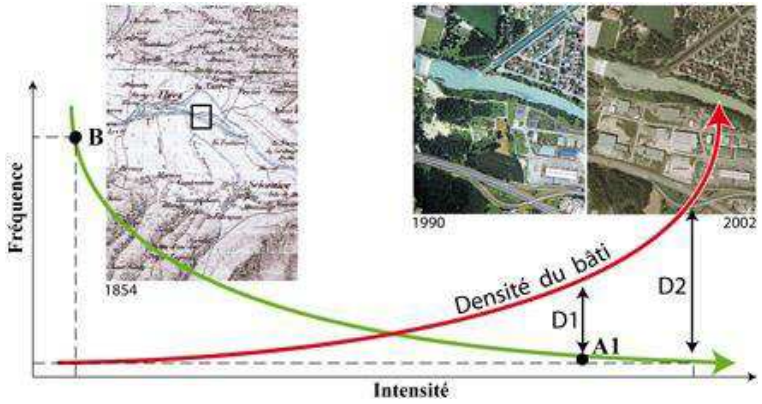


Figure 1-12 : Utilisation de la courbe de Farmer illustrant la préparation de la catastrophe sur la durée : l'exemple de la vallée de l'Arve à Scionzier (Haute-Savoie, France) (Pigeon, 2010)

Ainsi, ces travaux analysent bien les interactions entre échelles d'actions, dans le temps et l'espace, qui font la complexité du binôme ville-risques. Il faut cependant inclure également le troisième enjeu étudié dans cette recherche : les réseaux. En effet, la formation de la ville est intimement liée à celle des réseaux (Pumain, 2001) ; le développement urbain doit donc être analysé en corrélation avec les risques pour prendre en compte les nombreux phénomènes liés aux réseaux, influant sur la perception et la prise en compte des risques (cf. 1.1.2).

RESILIENCE EN GEOGRAPHIE

Étant donnés les questionnements des géographes autour de la formation des territoires urbains et des risques, le concept de résilience a rapidement été appliqué dans ce champ scientifique. Ainsi, la résilience dépendrait de l'adéquation de l'homme avec son environnement, ou plus précisément du processus d'information de l'homme et du taux de changement de l'environnement (van der Leeuw et Aschan-Leygonie, 2000), ici encore supposé s'accélérant (Figure 1-13). L'on peut s'interroger sur la pertinence de cette vision pour un « environnement » comme la ville, construit et régi (dans quelle mesure ?) par l'homme. Cette approche a cependant l'intérêt de faire apparaître la notion de processus d'information (connaissance, transmission, erreurs, décalages) qui dessine une piste concrète d'amélioration de la résilience.

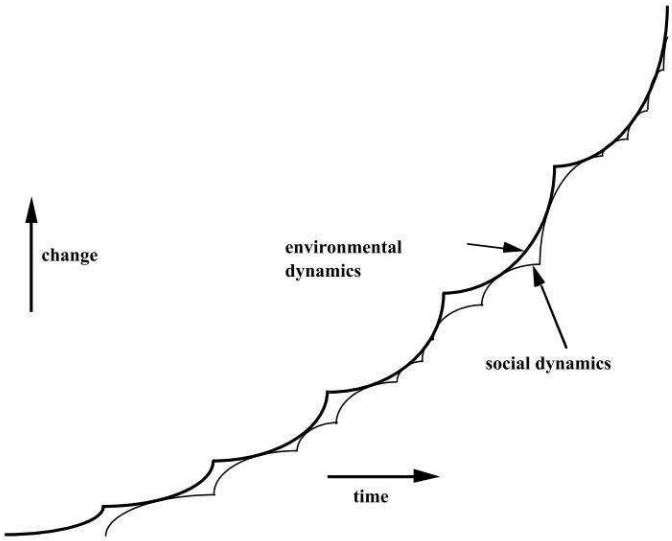


Figure 1-13 : Adaptation des dynamiques sociales aux dynamiques environnementales par l'amélioration des processus d'information (van der Leeuw et Aschan-Leygonie, 2000)

Malgré l'intérêt théorique de l'étude de la résilience des territoires par les méthodes géographiques, les difficultés d'opérationnalisation déjà évoquée ne sont toujours pas solutionnées. Les approches territoriales permettent de décrire les processus à l'œuvre derrière l'intégration des politiques de gestion du risque dans l'aménagement urbain et éventuellement le recours au discours lié à la résilience. Le renouvellement urbain de l'Est londonien par exemple s'est appuyé sur la notion de résilience (et de développement durable) pour concilier prévention des risques et développement urbain (Beucher, 2008). Si ces approches, inductives ou déductives, fondées sur l'analyse de « terrains », la comparaison, l'analyse spatiale ou statistique, sont précieuses pour la compréhension des phénomènes, elles n'ont pas pour objectif premier d'apporter des solutions aux parties prenantes. Or, la résilience urbaine est un enjeu pour les collectivités et les acteurs de la ville mais sa caractérisation et son amélioration sont difficiles à cerner et encore plus à implémenter. Il semble donc utile maintenant de dépasser les approches descriptives et analytiques qui étaient nécessaires dans un premier temps, pour aller vers une démarche plus opérationnelle tournée vers les acteurs de la résilience urbaine.

Au niveau de la ville, l'adéquation des dynamiques sociales avec l'environnement urbain pose la question des échelles de gouvernance, problème quotidien des opérationnels. On peut penser à l'adéquation entre les périmètres des bassins de risque et les périmètres de gestion des risques, mais également à l'adéquation entre les périmètres de gestion des services urbains et les périmètres réels de consommation (morphologie et démographie des quartiers) ou les périmètres d'approvisionnement de la ressource distribuée (eau, hydrocarbures, énergie, déchets, etc.). Cette difficulté opérationnelle est inhérente à la problématique de la résilience, par définition multi-échelle, mais elle trouve quelques réponses dans les approches techniques et socio-organisationnelles.

1.2.2. Approches techniques

Articulation reseaux-risques : approche par les infrastructures critiques

L'un des champs de recherche les plus féconds dans l'étude du binôme réseaux-risques est l'étude des infrastructures critiques. La notion apparait dans les années 1990-2000 à la suite d'évènements révélateurs de leur importance et de leur vulnérabilité, aux États-Unis notamment (Galland, 2010). Les définitions et acceptions en sont multiples mais on y retrouve toujours les notions d'impact majeur sur le potentiel de défense ou économique du pays (y compris dans la définition française des points d'importance vitale donnée au 1.1.2). Les réseaux d'énergie, de télécommunications, d'eau, de transport, les infrastructures de santé, financières, de maintien de l'ordre et de prise de décision, etc. sont ainsi des infrastructures critiques. Alors l'analyse de leur capacité à continuer à assurer leurs fonctions en cas de perturbation contribue à l'analyse de la résilience de la ville. En effet, l'ensemble des fonctions faisant l'importance de la ville sont comprises dans la notion d'infrastructure critique, y compris les services urbains, qui ne sont finalement que des systèmes d'infrastructures critiques à l'échelle urbaine, dépendants des réseaux nationaux d'infrastructures critiques. Ainsi, les interdépendances sont l'enjeu majeur de la gestion des infrastructures critiques ; on en caractérise différents types (Eusgeld *et al.*, 2011 ; Rinaldi *et al.*, 2001). Les travaux sur les infrastructures critiques tentent également de les modéliser, de manière structurelle (Ouyang et Dueñas-Osorio, 2011) ou en incluant les flux (Holden *et al.*, 2013), et d'en évaluer la vulnérabilité face à des attaques ciblées (Holme *et al.*, 2002), face aux défaillances en chaine (Roe, 2010), etc.

Le problème de l'interdépendance des infrastructures critiques est complexe car leur défaillance est mal connue. Alors la plupart de ces travaux se focalisent sur la modélisation des interdépendances et l'évaluation de scénarios de propagation puis d'impacts sur le fonctionnement. Très peu sont tournés vers les modes de gestion, l'impact des décisions ou des comportements ou l'interaction avec le territoire. Et pourtant, l'approche aurait pu être l'occasion d'analyser et de formaliser le « partage des compétences et des responsabilités entre les secteurs publics et privés vis-à-vis de la sécurité de réseaux de plus en plus

interconnectés » (Galland, 2010). Quelques travaux ont cependant abordé les questions d'articulation avec le territoire pour tenter de réintégrer la problématique dans le champ de la géographie et surtout approcher les solutions passant nécessairement par les acteurs territoriaux. En effet,

> en utilisant l'approche spatiale systémique, il est possible de délimiter les territoires des infrastructures critiques. Ils varient en fonction des acteurs, de l'échelle, du contexte géographique et temporel. Ils présentent les caractéristiques des territoires réticulaires et peuvent être superposés aux territoires de compétence administratifs. (Bouchon, 2006)

On passe ainsi d'une approche techno-centrée ne correspondant finalement à aucune échelle d'action (quel est l'acteur légitime pour gérer le système de systèmes d'infrastructures critiques tel que modélisé par les approches précédentes ?) à une échelle d'analyse pouvant impliquer les acteurs du territoire et donc tournée vers la résolution des difficultés.

Même si les services urbains peuvent être vus comme des infrastructures critiques locales, les travaux actuels restent souvent à l'échelle régionale. Ils ne prennent pas en compte le contexte urbain qui ajoute encore à la complexité du problème. Et pourtant, certains travaux mettent en lumière les questions socio-économiques liées aux infrastructures critiques (Heilemann *et al.*, 2013 ; Kröger, 2008) qui sont d'autant plus exacerbées en milieu urbain : vulnérabilité (notamment financière) de l'usager final, niveaux de menace pris en compte, gestion des compromis, programmes d'investissement, intégration de nouvelles technologies, etc. Il serait donc intéressant de mobiliser ce type de démarche, notamment celles impliquant les acteurs du territoire, pour mieux gérer l'interaction réseaux-risques, en ville.

RESILIENCE ENGINEERING

Le courant opposé à la résilience écologique, sur laquelle s'est fondée la résilience en géographie, est la *resilience engineering*. Ce terme peut se traduire par « ingénierie de la résilience » ou « résilience des ingénieurs » ; elle devrait donc logiquement s'appliquer au génie urbain. Ainsi, les préceptes de la *resilience engineering* devraient répondre aux enjeux de complexité particuliers du système urbain face aux risques : « anticipation, surveillance, réponse et apprentissage »[12] (Hollnagel *et al.*, 2011). L'ingénierie est l'application des sciences physiques aux problèmes humains[13] (Yarnal, 2007), en particulier, le génie urbain vise à optimiser l'adéquation entre les services produits et les besoins du territoire. D'une vision au départ très technique (desserte, dimensionnement), le génie urbain s'étend aujourd'hui à la prise en compte des usagers, des ressources locales, des gestionnaires, des décideurs pour trouver des solutions à des problèmes mal identifiés et changeants (cf. 1.1). La vision des ingénieurs capables d'évaluer objectivement le risque et d'en définir un seuil acceptable est à présent remise en cause (Callon *et al.*, 2001). Ce changement de paradigme a mené en particulier les ingénieurs à s'approprier la notion de résilience dans le but de répondre à cette incertitude latente, quand les sociologues auraient plus volontiers fait appel à l'enrichissement mutuel de la connaissance experte et profane (Turner II, 2010). Finalement, à une remise en cause de la démarche technique de l'ingénieur, les ingénieurs ont apporté une réponse technique, qui à trop vouloir prendre en compte l'incertitude et la complexité, devient floue et inopérante.

En effet, face à la complexité du système urbain, à la multiplicité des acteurs et des usages, les démarches d'amélioration de la résilience fondées sur l'évaluation du niveau de performance d'une infrastructure[14] ont aussi peu de chances d'être implémentées que les approches traditionnelles. Elles sont en effet très lourdes à mener (Figure 1-14). Par ailleurs, les caractéristiques sous-jacentes de minimisation des dommages et

[12] *anticipation, monitoring, responding and learning*
[13] « Engineering is in some ways the application of physical sciences to human problems. »
[14] « Resilience is defined as a function indicating the capability to sustain a level of functionality or performance for a given building, bridge, lifeline networks, or community, over a period defined as the control time. » (Cimellaro *et al.*, 2010)

rétablissement rapide (Bruneau *et al.*, 2003), posent question. Elles reposent en effet sur le parti pris discutable, et qui doit être discuté, de la protection ou du renforcement qui impactent nécessairement la capacité du service à fonctionner en mode dégradé.

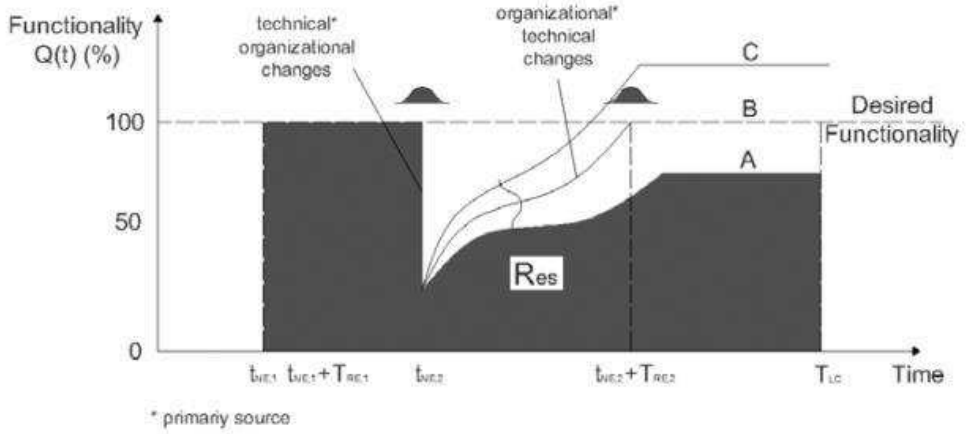


Figure 1-14 : Représentation de la résilience d'un système (Cimellaro *et al.*, 2010) issue du triangle de la résilience (Tierney et Bruneau, 2007)

Il apparait donc plus pertinent de se diriger vers des démarches impliquant les gestionnaires de la ville, appuyées par les concepts techniques de la *resilience engineering* :

- anticipation des possibilités de défaillance ;
- surveillance des dysfonctionnements et des interdépendances ;
- réponse des systèmes tournée vers la continuité des services ou la réduction des dommages pour un rétablissement rapide ;
- apprentissage des acteurs pour l'amélioration continue.

Il apparait donc nécessaire de combiner les aspects techniques et organisationnels jouant un rôle dans la résilience des services urbains. Ainsi, une vision systémique des services urbains, impliquant les gestionnaires de la ville devrait permettre d'appréhender la complexité du fonctionnement de la ville, la multiplicité des responsabilités, les objectifs différents et parfois opposés des acteurs (Blancher, 1998). Pour cela, les approches socio-organisationnelles apportent des éclaircissements sur les perceptions de la ville et des risques sous-jacentes aux objectifs que vont négocier les acteurs de la ville dans leur gestion du triptyque ville-réseaux-risques.

1.2.3. Approches socio-organisationnelles

Lien social et perception des risques

Pour les sociologues étudiant la ville, l'une des caractéristiques de l'urbain est la maximisation des opportunités permise par la densité de la population et des échanges (Roncayolo, 1997). Cette intensité urbaine repose donc en grande partie sur les services urbains (cf. 1.1.1) ; elle est acceptée, voire recherchée, même si elle génère parallèlement un certain nombre de nuisances (cf. 1.2.1). Ainsi, la ville pourrait être caractérisée par cet équilibre entre intensité et sécurité, bien que l'on puisse également considérer que « l'urbain c'est le déséquilibre devenu la règle et non pas l'exception » (Paquot, 2011). Quoiqu'il en soit, une perturbation venant modifier cet équilibre remet en cause la vision de la ville généralement admise. Elle met surtout en danger les attentes d'un grand nombre de personnes, ce qui peut constituer une catastrophe, d'où l'importance de se concentrer sur les services fondamentaux pour la ville (Lorenz, 2010).

Cette approche n'est toutefois pas suffisante, comme le montre l'étude du processus de reconstruction, mais surtout de renouveau, de la Nouvelle-Orléans après l'ouragan Katrina (Hernandez, 2010). En effet, la ville est avant tout un assemblage de communautés de personnes ayant une identité commune, créant un sentiment d'appartenance et une volonté de maintenir la cohésion urbaine, même après une rupture majeure. Ainsi à la Nouvelle-Orléans, la destruction massive du tissu urbain, des réseaux techniques puis la désorganisation généralisée des services ralentissent le processus de reconstruction et limitent fortement sa cohérence. Cette rupture amène surtout les communautés à se replier sur leur identité propre de sorte que le « processus extrêmement fin et complexe de tissage d'un rapport aux autres et à la ville, [qu'est] la refonte de cette urbanité, déjà travaillée de multiples tensions avant le passage de l'ouragan, apparaît comme un enjeu crucial dans l'analyse de la résilience de la ville sur le long terme » (Hernandez, 2009). Du point de vue des sciences sociales, étudier la résilience de la ville c'est donc étudier le rôle des liens entre communautés, quartiers, institutions et environnement dans la reconstruction de la ville et de son identité, le tout à l'échelle de l'ensemble de la ville. Or, ces liens s'appuient sur les services urbains.

Cette approche est importante pour cadrer les objectifs d'une démarche d'amélioration de la résilience urbaine, même s'ils semblent difficilement quantifiables. Le risque serait en effet de se limiter à une reconstruction physique de la ville, négligeant ou même compromettant la reconstruction du tissu social. Il est important pour cela de connaître la perception que peuvent avoir les différentes populations de leur ville, de leur quartier, de leurs besoins et des risques auxquels ils sont exposés. L'acceptabilité est donc intimement liée à la résilience puisque c'est sur cette marge de « dégradation acceptable » que l'on va jouer : tenter de l'agrandir en informant et sensibilisant du côté des populations, et du côté de la ville en réduisant la dégradation du niveau de fonctionnement. Pour les services fournis aux populations par les réseaux techniques, l'adéquation entre le besoin et le niveau de fonctionnement (Figure 1-15) peut être amélioré par les opérateurs, mais également par les populations qui peuvent être résilientes à moindre coût (Rose, 2011).

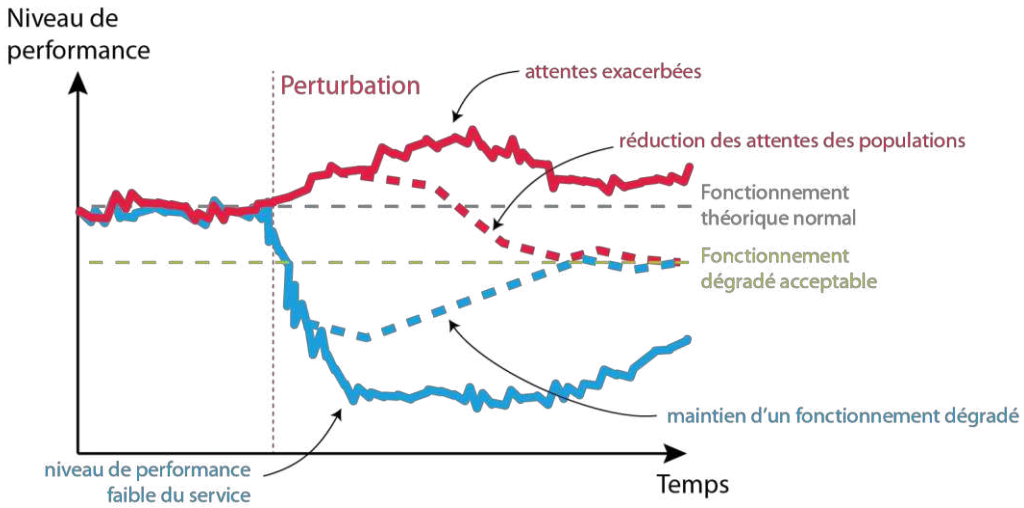


Figure 1-15 : Décalage entre attentes et service rendu, en haut un niveau de fonctionnement correspondant aux besoins, en bas, lors d'une perturbation, des attentes exacerbées et un service dégradé

Or il apparait qu'aujourd'hui, cette marge soit quasi nulle et difficilement augmentable en cas de perturbation (cf. 1.1.3). En effet, plusieurs travaux portant sur la perception des risques montrent une faible acceptabilité (Dourlens, 2003 ; de Vanssay, 2006) et ceux portant sur la perception des usagers des services urbains montrent le sentiment d'acquis, d'évidence (Coutard et Pflieger, 2002). Ces travaux n'abordent toutefois pas la manière d'améliorer cette acceptabilité du risque ou d'une dégradation possible du service. Or, c'est l'une des questions à se poser pour améliorer la résilience urbaine par le biais de la capacité à faire face (*coping capacity*). Si les individus intègrent dans leurs attentes une possible perturbation du niveau de satisfaction de leurs attentes, alors le désastre n'en est plus vraiment un (Lorenz, 2010). Certains travaux préconisent donc des

approches plus participatives de la gestion des risques pour améliorer la résilience sociale (Kuhlicke *et al.*, 2011). Cette recherche se limite à l'un des leviers : réduire la dégradation du service, tout en essayant d'analyser l'influence du comportement des usagers sur celui-ci et leur perception du risque qui pourrait influer sur les stratégies de long terme.

La perception des usagers n'est pas la seule à jouer un rôle majeur dans la résilience de la ville ; celle des gestionnaires et des décideurs est également essentielle (Lhomme *et al.*, 2011). C'est par le prisme de leur expérience, de leur connaissance et de leur jugement qu'ils vont orienter la stratégie de résilience d'une ville, en fonction des objectifs qu'ils estiment acceptables et réalisables. En particulier, leur perception de la situation, des attentes des populations ou des objectifs propres de leur organisation s'opposent ou se conjuguent pour les porter vers telle ou telle stratégie. Ainsi, les sciences des organisations sont elles aussi essentielles pour comprendre les processus à l'œuvre dans l'amélioration de la résilience.

Resilience organisationnelle

Les sciences des organisations mettent en avant la notion de résilience du point de vue de l'individu, du décideur dans une organisation, ce qui pourrait permettre d'aller vers plus d'opérationnalité du concept de résilience (Hutter, 2011). Cette approche permet en effet de questionner le rôle des comportements individuels, les jeux de pouvoir (Kuhlicke, 2010), les structures de gouvernance (Lebel *et al.*, 2006) mais aussi le rôle de l'innovation dans l'amélioration de la résilience urbaine (Allen et Holling, 2010). La prise en compte de ces facteurs dans l'étude du triptyque ville-réseaux-risques apporte un éclairage supplémentaire rarement abordé dans les approches territoriales ou techniques. Elle pourrait permettre de comprendre les données influençant la prise de décision d'un gestionnaire, la manière dont ils interagissent entre eux et les conséquences qui en résultent sur le système global (Carmeli *et al.*, 2013).

Sans aller jusqu'aux sciences cognitives (Comfort *et al.*, 2010) et à la psychologie, l'approche de la résilience organisationnelle, proche du management du changement, apporte quelques notions précieuses pour cette recherche. La résilience serait une « une capacité qui résulte d'un processus dynamique évolutif » (Koninckx et Teneau, 2010), ce qui correspond à l'acception donnée au 1.1.3. La résilience résulte de facteurs individuels, de facteurs familiaux et de facteurs ambiants dont certains sont liés à la communauté ou l'organisation, et d'autres au processus (Koninckx et Teneau, 2010) :

- une large participation ;
- un bon système de communication ;
- une concurrence minimale entre les groupes d'intervenants ;
- une perception juste de la collectivité ;
- des bénéfices possibles pour la majorité des individus ;
- des liens avec d'autres organisations à l'extérieur de la communauté ;
- une récolte systématique de l'information ;
- une implication rapide des organismes déjà en place ;
- un accès à une assistance technique ;
- une émergence continue de leaders ;
- un contrôle de la communauté sur la prise de décisions ;
- un bon équilibre au niveau des ressources disponibles.

Ainsi, pour améliorer la capacité d'une organisation à gérer correctement un changement (c'est-à-dire sa résilience), le processus de management ou de pilotage du changement doit s'appuyer sur les points précédents. Notamment, il est démontré qu'une bonne connectivité entre les membres d'une organisation augmente la résilience face au changement en facilitant l'identification des opportunités (Carmeli *et al.*, 2013).

Qu'en est-il alors des organisations - les services urbains - et des changements - les risques - étudiés dans ce travail ? Tout d'abord, *les* organisations considérées ne forment a priori pas *une* organisation puisque les gestionnaires de réseaux ont leurs propres structures, contraintes, objectifs (cf. 1.1.2). Les principes du management des organisations peuvent-ils donc s'appliquer à cet objet d'étude ? Ensuite, les risques correspondent-ils à un changement, qui peut être certes brutal, ou à une perturbation avérée et potentiellement rapide ? Ici la réponse est plus aisée : puisque le management des risques apporte des réponses aux deux situations, ces réponses pourront être utilisées dans le cas d'une perturbation majeure et rapide comme un risque, mais également pour la gestion courante des services urbains, continuellement soumis aux changements environnementaux, économiques, sociaux, politiques.

La question précédente portant sur la désorganisation des services urbains soulève la question de la coopération entre entités aux objectifs a priori différents, ce qui amène à considérer l'apport des approches collaboratives qui sont détaillées dans le chapitre 2. Les enjeux (cf. 1.1) et les manques dans les réponses actuelles (cf. 1.2) sont d'abord récapitulés afin de définir une approche plus globale, collaborative et systémique. Cette approche se fonde sur l'articulation des fondements scientifiques précédemment évoqués pour appréhender la complexité et la transdisciplinarité des réseaux urbains face aux risques (Figure 1-16).

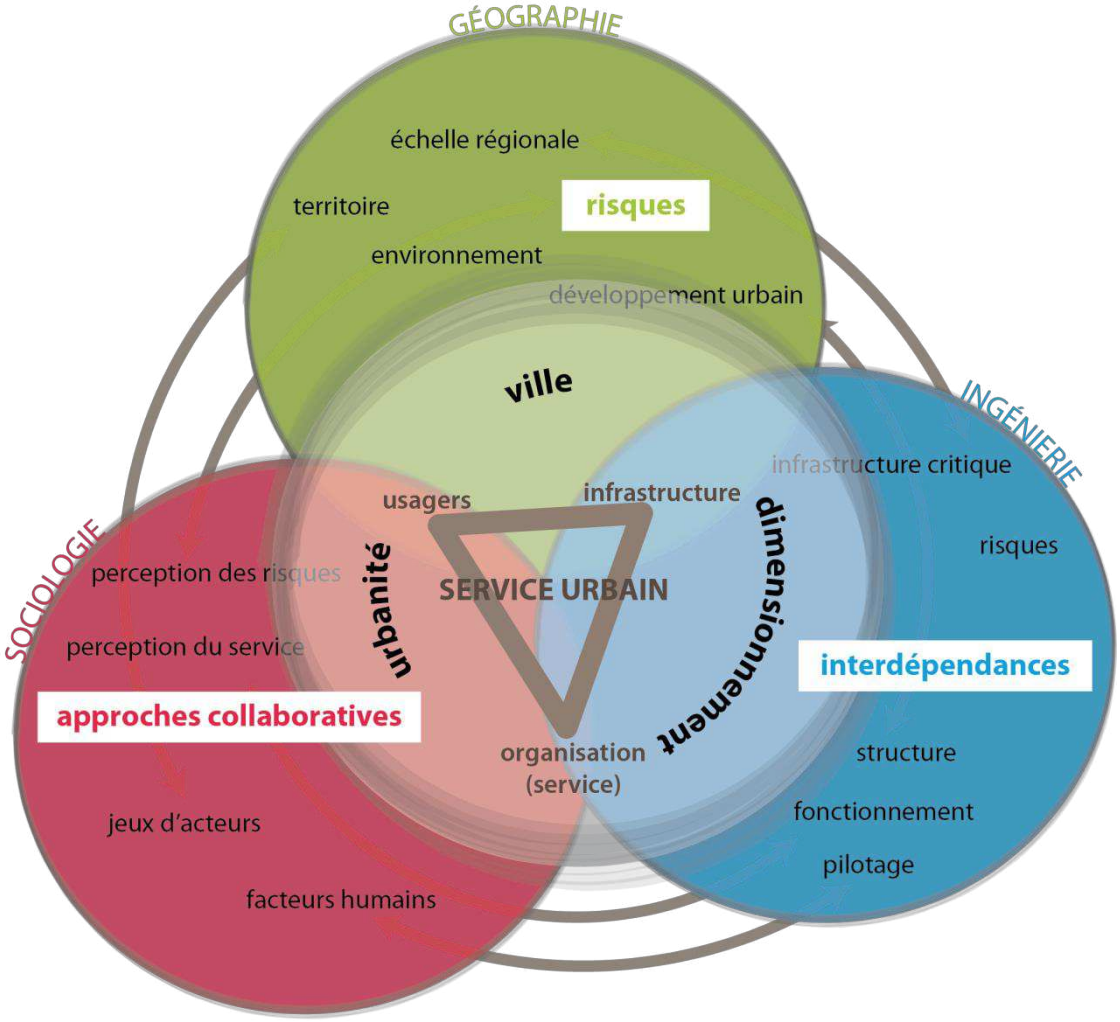


Figure 1-16 : Les services urbains à l'interface des approches territoriales, techniques et socio-organisationnelles

Synthèse

Les approches territoriales permettent d'identifier les interactions entre la formation du territoire et les risques auxquels il est exposé. Elles mettent donc en avant le rôle du contexte socio-politique et notamment les positions des acteurs dans l'appréhension de la ville. Cependant, elles incluent difficilement les dimensions techniques qui jouent pourtant un rôle majeur. L'adéquation entre le territoire et son environnement, n'est pas questionnée à travers le prisme des services urbains par exemple. De plus, l'approche territoriale reste largement tournée vers l'analyse théorique et descriptive sans donner de clés opérationnelles pour les décideurs. À l'inverse, les approches techniques sont souvent pensées en lien étroit avec le monde des ingénieurs et des acteurs du territoire. L'approche par les infrastructures critiques vise à produire des outils, souvent sophistiqués, d'analyse des interdépendances. Leur technicité rend cependant difficile l'appropriation par les décideurs et exclue de fait les usagers. Enfin, la vision socio-organisationnelle de la ville questionne la perception des habitants au regard de l'environnement urbain, des risques et des services urbains. Cette analyse fournit des éléments de réflexions importants pour une prise en compte de toutes les parties prenantes. Les travaux concernant la résilience des individus et des organisations mettent en avant des processus qui semblent importants dans la mise en place d'une démarche collaborative. Cela nécessite toutefois de considérer une organisation, au sens management du terme.

1.3. De la necessite des approches collaboratives

L'analyse des particularités du triptyque ville-réseaux-risques et des différentes méthodologies pour l'appréhender mettent en avant un certain nombre de manques. Ces manques sont notamment justifiés par des difficultés méthodologiques ou conceptuelles qu'il est maintenant nécessaire de résoudre pour appréhender la résilience urbaine de manière intégrée et opérationnelle. Les grands enjeux de l'approche transdisciplinaire, de l'analyse multi-échelles et de la désectorisation démontrent le besoin d'une approche collaborative.

1.3.1. Favoriser une vision transdisciplinaire

Prendre en compte la complexite et les incertitudes

Face aux enjeux multiples du système ville-réseaux-risques, à la complexité des interactions entre les services urbains, la gouvernance, le territoire, les risques et les populations, il est indispensable d'adopter une vision transdisciplinaire (Serre, 2011). L'objectif est bien d'appréhender de manière globale les différents questionnements liés à la résilience urbaine (Figure 1-17) :

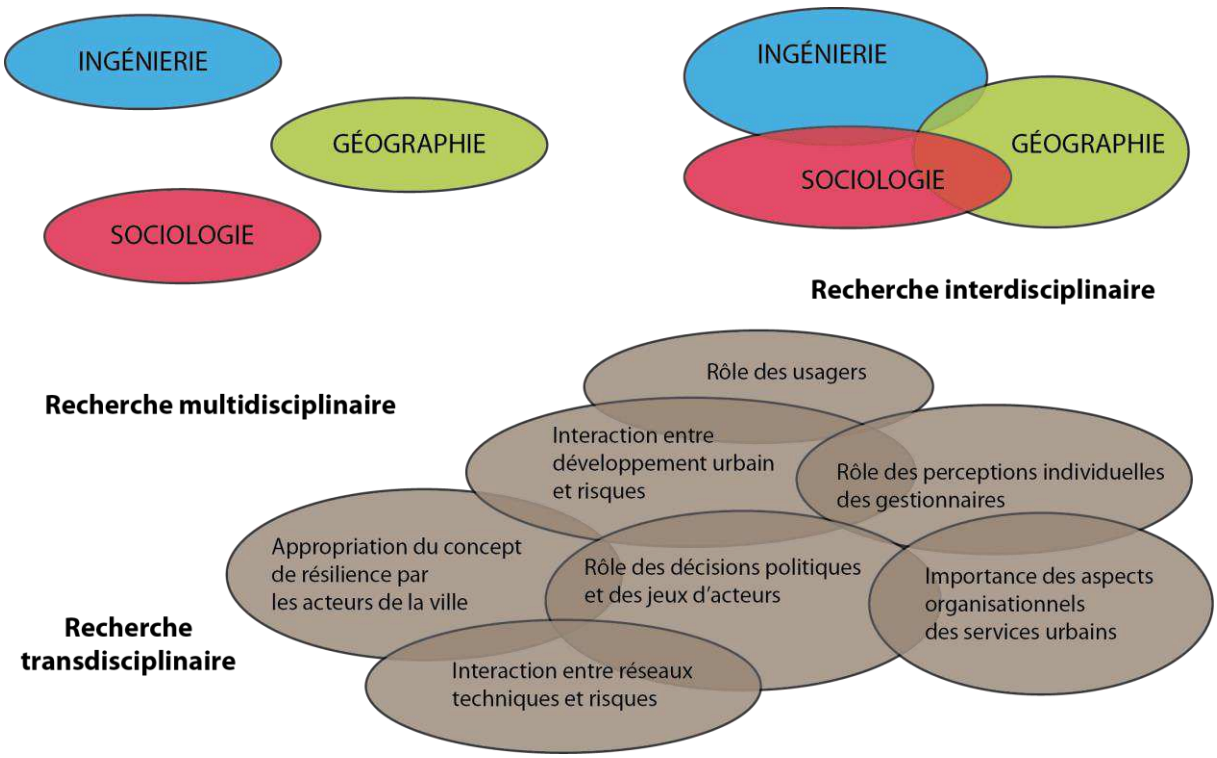


Figure 1-17 : Recherche multidisciplinaire, interdisciplinaire ou transdisciplinaire pour la résilience des services urbains, adapté de Lyall, repris par Melbourne Sustainable society Institute[15]

Les interactions complexes entre ces enjeux créent un contexte d'incertitude fort qui rend délicate la prise de décisions par un gestionnaire souhaitant améliorer la résilience de son organisation ou de son territoire. Le concept de résilience est censé répondre à ce contexte d'incertitude non pas par la quantification mais par la reconnaissance du rôle de l'incertitude. Accepter une part d'incertain et d'improvisation dans l'ensemble des questionnements ci-dessus est nécessaire mais cette part doit également être réduite par la mise en commun des savoirs et le partage des décisions. En effet, l'opérationnalisation du concept de résilience passe par la

[15] http://www.sustainable.unimelb.edu.au/content/pages/what-interdisciplinary-research

recherche transdisciplinaire impliquant à la fois les scientifiques et les acteurs de terrain pour mieux cerner et accepter les zones d'incertitude (Ahern, 2011).

Faire apparaitre et resoudre les conflits

Une partie de la complexité des questions liées à la résilience vient de la contradiction entre les objectifs des différentes parties prenantes, qu'elle soit réelle ou issue d'une mauvaise compréhension mutuelle. Concernant la ville et les services urbains (cf. 1.1), les interdépendances sont telles qu'une contradiction entre les objectifs des gestionnaires engendre nécessairement des tensions et des difficultés lorsque la décision de l'un remet en cause la stratégie de l'autre. Alors une vision transdisciplinaire, fondée sur les enjeux communs identifiés par les parties prenantes elles-mêmes, doit mettre en lumière les conflits potentiels et expliciter les positions de chacun. Si la résolution de ces conflits n'est pas immédiate, la compréhension mutuelle et la collaboration initiée doit favoriser la discussion et l'élaboration de stratégies contribuant à la résilience globale de la ville, et pas seulement d'un service ou d'une organisation.

Si le génie urbain a déjà pour objectif de gérer les conflits entre infrastructures et populations par la recherche de l'adéquation entre les réseaux et les besoins du territoire (Blancher, 1998), de nombreux autres points de vue doivent être inclus dans l'approche transdisciplinaire. En particulier, la notion de développement urbain durable apporte des réponses pour une vision plus intégrée de la ville afin d'en résoudre les conflits, pour peu que l'on accepte dans le même temps son caractère utopique (Mathieu, 2006). Différentes approches transdisciplinaires, la systémique (Voiron-Canicio, 2005) et la « mécanologie » (Gey, 2012) notamment, proposent une vision fonctionnelle de la ville et de ses systèmes. Ces approches globales permettent de mettre en avant le manque de cohérence, voire les incompatibilités générées par la superposition de fonctions. Alors c'est l'identification et l'intégration de ces fonctions, en tenant compte des externalités négatives notamment, qui doivent favoriser la synergie fonctionnelle de la ville et tendre vers le développement urbain durable (Gey, 2012).

Une forme particulière de conflit qui pourrait à la fois appuyer ou empêcher la mise en œuvre de la résilience est le conflit d'usage, éventuellement généré par ces synergies fonctionnelles. L'idée est qu'un même composant puisse servir à deux usages distincts qui peuvent s'avérer contradictoires, en particulier en situation de perturbation. Par exemple, les lacs réservoirs du bassin versant de la Seine ont à la fois un rôle d'écrêteurs de crue et de soutiens d'étiage (cf. chapitre 3). Cette optimisation des infrastructures bien souvent liée aux impératifs de durabilité, est un facteur de résilience sur le long terme : retour sur investissements plus rapide, économies d'énergie ou protection de l'environnement. Mais c'est également un facteur de vulnérabilité : augmentation de la complexité, y compris organisationnelle, arbitrages en situation d'urgence. Par exemple, dès novembre et en prévision de l'été, les lacs-réservoirs sont remplis, ce qui réduit les capacités d'amortissement en cas de crue. Ce type de conflit concerne de nombreuses infrastructures urbaines : rail servant au transport des voyageurs et au fret, égouts accueillants les eaux usées mais aussi d'autres réseaux, etc. La consommation de diverses ressources : eau, énergie, carburants, dont les différents utilisateurs ont un besoin variable, dans le temps et dans l'espace, nécessite également des priorisations en cas de pénurie. Alors pour un arbitrage contribuant à la résilience de la ville, il faut connaître les conflits d'usage (Figure 1-18) et les conséquences des compromis pour les usagers ou les services (Yarnal, 2007). Pour ce faire, à nouveau, l'implication des parties prenantes semble essentielle.

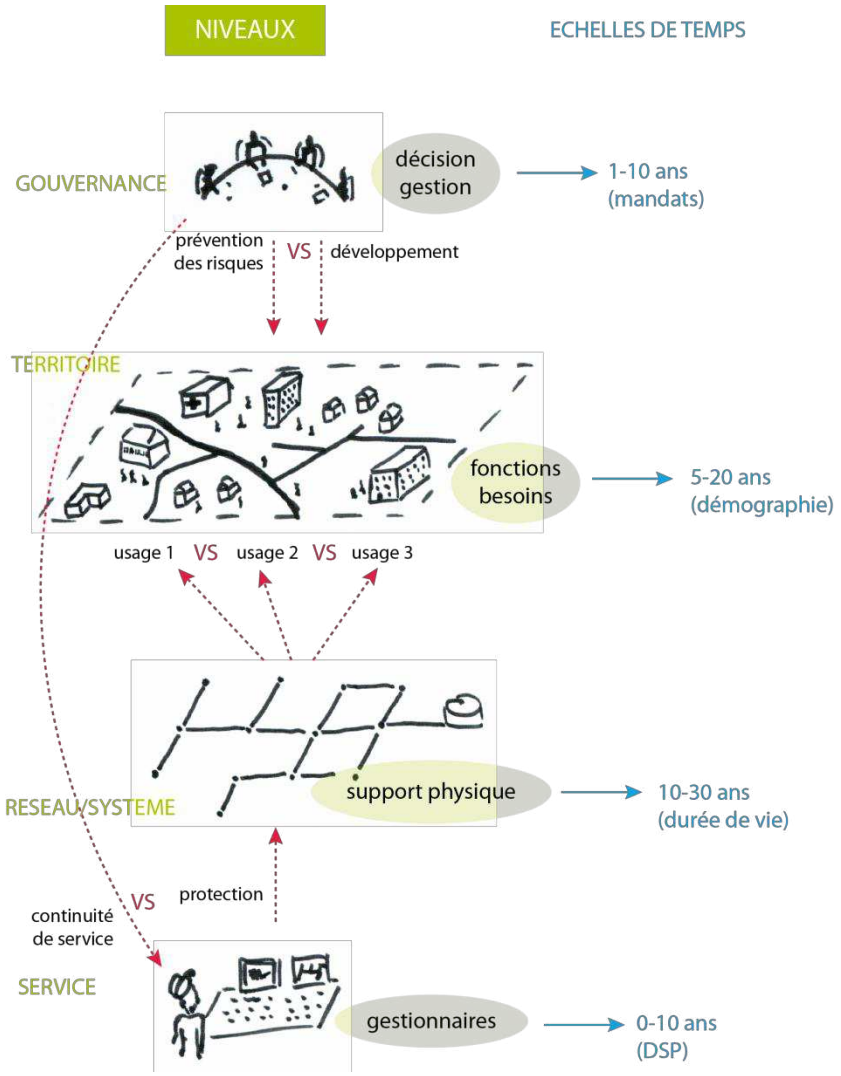


Figure 1-18 : Différents niveaux du milieu urbain et potentiels de conflit, adapté de (Serre *et al.*, 2013b)

Considérant le potentiel de conflit entre les services urbains, la gouvernance de la ville, les besoins des populations, la gestion des risques ou le développement urbain, les approches systémiques pourraient donc répondre au besoin de transdisciplinarité. Ce travail de recherche se limite toutefois aux services urbains dans un premier temps : interactions fonctionnelles entre services (cf. 1.1.1) et avec d'autres composants de la ville (gouvernance, population, environnement).

1.3.2. Travailler a plusieurs echelles

Prendre en compte l'articulation avec les echelles superieures

La vision systémique a l'avantage de pouvoir modéliser et prendre en compte les articulations avec d'autres échelles temporelles et spatiales. La systémique est utile à la compréhension du territoire notamment (Moine, 2006) et devrait également être intéressante pour les services urbains. En effet, les niveaux de gestion des services urbains sont complexes ; leurs différents statuts mais également les dynamiques d'évolution modifient la technique et la gouvernance (cf. 1.1.2). Si ces facteurs sont déterminants pour la résilience urbaine, il convient donc de les inclure dans l'analyse sans se limiter aux modèles uniquement techniques ou aux analyses uniquement territoriales. Ainsi l'approche systémique ne se limite pas aux articulations techniques directes, elle inclut également la dimension territoriale et politique du service urbain. Les

interdépendances fonctionnelles et géographiques (cf. 1.1.1) avec des échelles plus petites[16] et les interdépendances « décisionnelles » avec des organes de gouvernance ou de gestion supérieurs peuvent être représentées comme des liens avec des systèmes extérieurs. À l'inverse, l'approche systémique permet de faire abstraction des interactions à grande échelle en s'arrêtant à un niveau supérieur qui peut toujours être « zoomé » puis décomposé pour être analysé en détail (Figure 1-19).

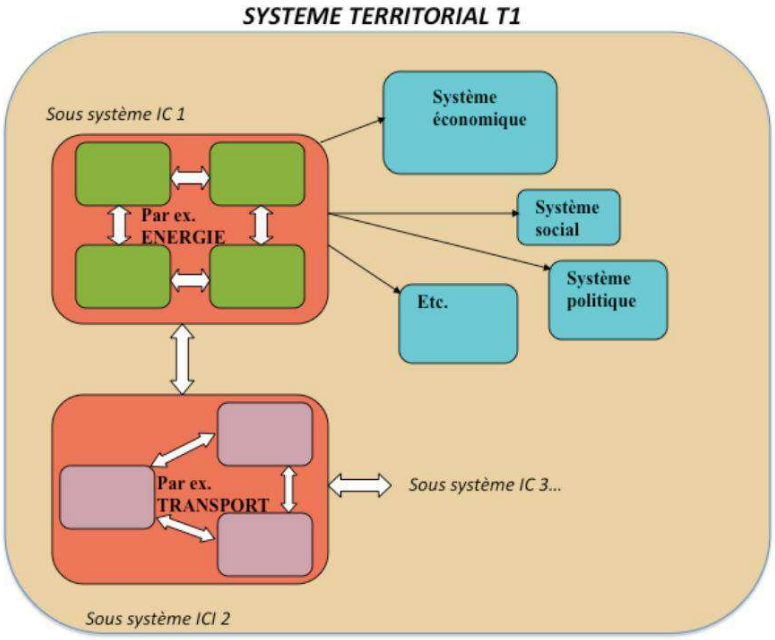


Figure 1-19 : Vision fractale et décomposable des réseaux incluant les aspects sociaux, économiques et politiques (Bouchon, 2011)

Dans ses travaux sur les infrastructures critiques européennes, Sara Bouchon expose l'intérêt de cette approche systémique territoriale. Elle permet en effet de prendre en compte les enjeux techniques et les interactions avec le territoire sous tous ses aspects, démontrant alors qu'« il n'existe pas d'infrastructure critique en soi, mais des infrastructures critiques par rapport à un contexte géographique, politique, socio-économique et culturel » (Bouchon, 2011). Si l'échelle des infrastructures critiques est régionale, les grands principes de la démarche sont applicables aux services urbains dont les interactions avec les aspects économiques, géographiques, sociaux, politiques sont similaires et nécessitent simplement d'être spécifiés (cf. 1.1).

Les travaux de Sara Bouchon ont accompagné les discussions de la Commission Européenne et des pays membres pour l'élaboration de la directive 2008/114/EC sur les infrastructures critiques, illustrant l'importance de la communication entre gestionnaires de systèmes interdépendants. Elle pointe par exemple les difficultés dans la définition des seuils définissant les infrastructures critiques, « révélateur des rapports de force existant entre l'Union Européenne comme institution et les États membres » (Bouchon, 2011). Ainsi, dans un contexte urbain rassemblant également de nombreux acteurs aux objectifs et perceptions a priori différents, la collaboration pour l'identification des enjeux et des réponses à apporter semble indispensable.

Combiner les savoirs techniques et organisationnels

L'approche systémique territoriale des infrastructures critiques cherche à répondre aux manques des approches actuelles trop tournées vers la technique (cf. 1.2.2). Ainsi, les aspects territoriaux (politiques, économiques, sociaux, culturels) doivent être combinés pour produire une analyse plus complète (Blackmore et Plant, 2008) et surtout plus opérationnelle (Bouchon, 2011). Cet enjeu est d'autant plus prégnant pour les

[16] Plus petite au sens géographique, c'est-à-dire que le territoire observé est plus grand.

services urbains qui sont des objets sociotechniques interagissant fortement avec le territoire urbain (cf. 1.1). Il s'agit donc de réunir deux champs de recherche généralement déconnectés : la technique et l'organisation. Ainsi, il faut compléter la vision technique de la résilience des réseaux (cf. 1.1.3) assise sur les trois capacités de résistance, d'absorption et de récupération (Lhomme, 2012b) par des aspects organisationnels liés à la dimension « service » du service urbain et à son interaction avec la ville et ses habitants. La notion de vulnérabilité fonctionnelle (Gleyze et Reghezza, 2007) permet déjà d'inclure l'idée de dysfonctionnement dans la mission du service urbain dû à un endommagement matériel ou une modification structurelle (Figure 1-20). Mais il est également nécessaire d'inclure les interactions avec l'organisation, les facteurs humains et les facteurs externes tels que la gouvernance ou la population. Alors les capacités d'absorption, de résistance et de récupération qui fondent la résilience des services urbains peuvent être favorisées par des solutions techniques, mais également des stratégies organisationnelles et des leviers culturels.

Figure 1-20 : Les trois capacités de résilience face aux défaillances des services urbains, opérationnalisées par la combinaison des approches techniques, organisationnelles et culturelles, adapté de (Serre *et al.*, 2013b)

Si ces aspects semblent déconnectés dans les disciplines de recherche (cf. 1.2), la réalité des gestionnaires de la ville est largement imprégnée de ces trois dimensions. Ils sont quotidiennement confrontés à la gestion des problèmes techniques, des exigences des usagers et des politiques, dépendant de leurs propres contraintes d'organisation. Il semble donc utile de s'appuyer sur leurs connaissances et leurs méthodes afin, d'une part de mieux appréhender l'ensemble des contraintes s'appliquant aux services urbains, et d'autre part de développer des méthodes répondant à leur manière de fonctionner. Ainsi, même en dehors d'un contexte de perturbation, les enseignements tirés d'une démarche d'amélioration de la résilience, fondée sur la connaissance experte des gestionnaires de services urbains, contribuent à la gestion quotidienne des réseaux. Ces résultats pourraient également contribuer à la conception de nouveaux systèmes incluant déjà les solutions de résilience.

1.3.3. DESECTORISER POUR AMELIORER LES CONDITIONS DE LA RESILIENCE

AUGMENTER LA CONNAISSANCE POUR FACILITER LA PRISE DE DECISION

L'idée de s'appuyer sur le savoir des personnes directement concernées par une problématique n'est pas nouvelle. Elle a déjà prouvé son intérêt dans l'approche des problèmes complexes qui requièrent l'« exploration du monde des possibles » (Callon *et al.*, 2001). L'apprentissage résultant des échanges croisés entre savoirs des spécialistes et savoirs profanes doit permettre la construction d'un monde commun grâce à la théorie de la traduction, aux forums hybrides et à l'action mesurée. Pour les grandes controverses

sociotechniques analysées dans les travaux de Bruno Latour et Michel Callon, l'apport des connaissances profanes est démontré lorsque l'incertitude ne peut être levée uniquement par les scientifiques et que la décision en est donc contestée. Les décisions liées à la résilience urbaine présentent des caractéristiques similaires aux controverses sociotechniques dans la mesure où l'incertitude reste prédominante et l'information incomplète. Par ailleurs, les populations en ressentent nécessairement les impacts mais ne sont que peu impliquées dans la gestion des risques (Kuhlicke *et al.*, 2011) ou la gestion des services urbains (Barbier et Bedu, 2008).

Donc, suivant les principes de la connaissance hybride, l'implication des parties prenantes dans la construction d'une vision commune devrait faciliter l'élaboration de stratégies de résilience (Toubin *et al.*, 2012c). En effet, la ville face aux risques est également un contexte où de nombreux systèmes locaux superposés partagent des problèmes communs mais avec des systèmes de gouvernance en compétition et dans lequel les perspectives de la décision à l'échelle régionale sont extrêmement problématiques[17] (Walker *et al.*, 2002). Partant d'une description du système réalisée avec les acteurs et les parties prenantes, différents scénarios de perturbation et d'évolutions sont discutés pour analyser la résilience globale du système. Le processus complet et ses résultats sont évalués par les participants dans le but de réussir l'implémentation des stratégies et affiner la démarche de manière itérative (Figure 1-21).

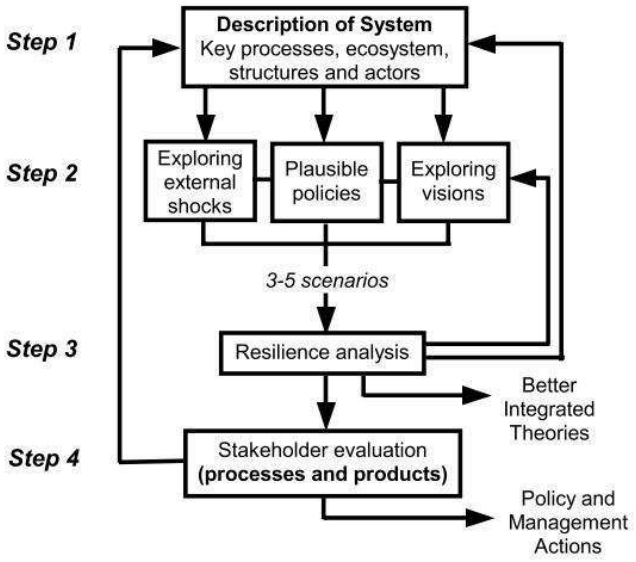


Figure 1-21 : Cadre d'analyse de la résilience d'un système socio-écologique, transposable aux systèmes urbains (Walker *et al.*, 2002)

La structure de cette approche est envisagée pour traiter la question de la résilience des services urbains (cf. 3.3.2), mais pour ce faire, il faut d'abord parvenir à désectoriser une gestion urbaine relativement segmentée, ou en silo (Voiron-Canicio, 2005). Les décideurs politiques, les services techniques, les gestionnaires de chaque réseau, les usagers sont rarement amenés à collaborer, y compris entre deux services de la même entité. De plus, les relations entre entités sont très formalisées (processus de concertation, consultation ou demande, délégation, service consommateur, etc.). Elles laissent peu de place à l'échange approfondi et transparent d'informations. Les sciences de l'organisation et du management apportent alors quelques pistes pour l'amélioration de la résilience d'une organisation (cf. 1.2.3).

[17] « We would like to build on this approach for work in contexts where there are many overlapping local systems with shared problems, but with competing systems of governance, where the prospect of regional-scale decision making is extremely problematic. »

FAVORISER L'APPROPRIATION POUR PREPARER A LA CRISE

Un aspect majeur de la collaboration des parties prenantes autour des enjeux de résilience est l'appropriation des problèmes et solutions soulevés. C'était l'un des manques identifiés dans les approches actuelles (cf. 1.2) mais également l'un des enjeux de la résilience dans sa dimension d'apprentissage et d'amélioration continue (cf. 1.1.3 et 1.3.1). La résilience impliquerait donc un changement majeur dans la manière de concevoir et gérer la ville et les services urbains (c'est ici une supposition qu'il conviendra de confirmer ou infirmer). Alors le développement de nouvelles techniques ou stratégies permettant de la réaliser doit être co-construit avec les acteurs de la ville, de manière à ce qu'ils soient en mesure de les appliquer en amont ou lors d'une crise (Serre *et al.*, 2013a). En effet, si la résilience se mesure bien après une perturbation, les mesures ne peuvent pas se limiter à l'improvisation pour la gestion de crise, au risque de manquer de moyens, de relais locaux, ou pire de provoquer des réactions réduisant la résilience aux futures perturbations. Les acteurs de la ville doivent donc être impliqués bien en amont pour définir les objectifs et les moyens d'améliorer la résilience après une crise.

Les travaux du Centre risque et performance (CRP) de l'École polytechnique de Montréal démontrent l'efficacité du travail collaboratif avec les acteurs de la gestion de crise. Le concept de résilience organisationnelle développé par Benoit Robert et son équipe (Robert *et al.*, 2009) s'appuie sur différents modes de gestion, en fonction du niveau de perturbation subi, ou écart au niveau de fonctionnement nominal (Figure 1-22). Le concept et la méthodologie ont été expérimentés avec les services vitaux du gouvernement de Québec (Robert et Morabito, 2009).

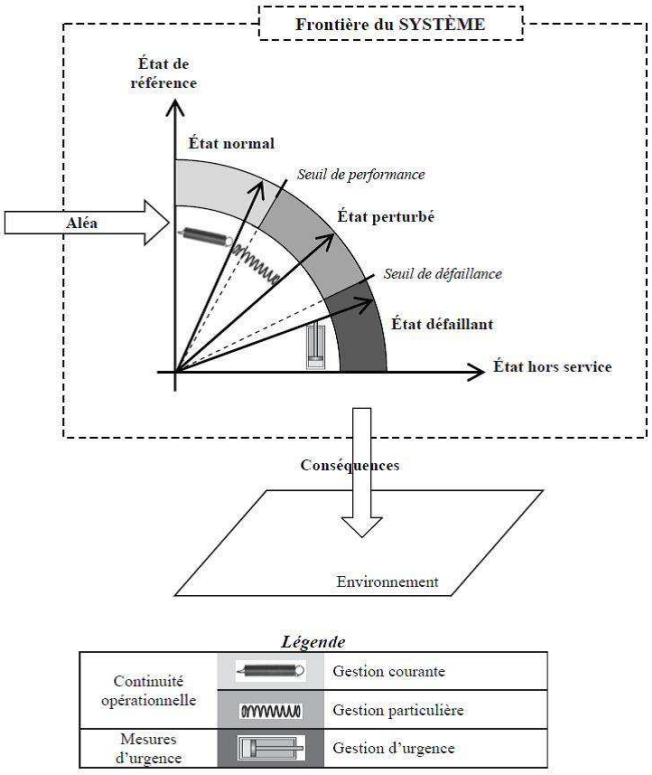


Figure 1-22 : Analogie entre la résilience d'un système et le ressort (Robert *et al.*, 2009)

Le travail avec les gestionnaires québécois s'est avéré précieux, d'une part pour valider et affiner les approches développées au sein du CRP et d'autre part pour concevoir un outil de gestion des interdépendances (DOMINO) répondant aux besoins des acteurs de la gestion des risques (Pairet, 2009 ; Pellet, 2009). L'expérimentation sur le terrain a avant tout impulsé une dynamique de collaboration entre les parties prenantes qui se poursuit depuis plusieurs années. De nombreux exercices et simulations ont amené les gestionnaires à investir dans l'amélioration de leur réseau. Des activités de formation ont été conçues (Pinel,

2009) pour accompagner le processus et disséminer la connaissance à l'ensemble des organisations concernées. Ce travail de recherche s'appuie sur l'expérience du CRP tout en tâchant d'en pallier les manques.

Synthèse

Les enjeux multiples et transversaux qui sous-tendent l'amélioration de la résilience urbaine nécessitent de mobiliser l'ensemble des connaissances et des acteurs de la ville. La compréhension des interactions complexes est en effet facilitée par la contribution de toutes les parties prenantes. Elle permet également de reconnaître et admettre les incertitudes et les potentiels conflits que ces interactions génèrent. Les difficultés des interactions entre échelles de temps et d'espace sont plus facilement prises en compte grâce aux approches systémiques et collaboratives. En effet, elles permettent de formaliser les échanges et les difficultés, en particulier en combinant les savoirs techniques et organisationnels. Ces deux aspects fortement liés dans la ville sont souvent traités séparément et accentuent la gestion en silo de la ville. Or la gouvernance de la ville, notamment en situation de crise, nécessite une connaissance approfondie et partagée des impacts d'une décision sur l'ensemble du système urbain. La collaboration permet alors de faciliter l'acceptation et l'appropriation des mesures mises en place, y compris en amont de la crise pour concevoir et gérer une ville plus résiliente.

1.4. SYNTHESE DU CHAPITRE

Dans les sociétés industrialisées et urbaines, les services urbains sont des témoins majeurs des perturbations subies par les villes. Le nombre d'usagers privés de courant, les dommages aux réseaux de transport, la pollution générée par les eaux usées ou les déchets, le temps de rétablissement du chauffage urbain sont autant de signes d'une fragilité importante des réseaux, mais également d'une dépendance forte des populations. Les services urbains constituent donc un enjeu majeur de l'attractivité des villes, en particulier face à des perturbations.

Pourtant, les services urbains, organisations publiques ou privées appuyées sur des infrastructures en réseau, évoluent rapidement, se complexifient, tant au niveau technique qu'organisationnel, et accentuent ainsi la vulnérabilité des villes. Un important corpus réglementaire tente de cadrer ces évolutions et d'imposer des obligations aux gestionnaires. La continuité des services en réseaux, dans un contexte de risque, reste cependant une difficulté majeure, notamment du fait de l'insuffisante prise en compte de leur interdépendance. Dans l'optique d'améliorer la capacité des villes à faire face à une perturbation, la focalisation sur les services urbains permet d'une part de soutenir l'ensemble des autres fonctions urbaines, d'autre part de développer un levier d'action pour les collectivités. Alors la complexité des services urbains, dans leur fonctionnement interne, dans leurs interdépendances, dans leurs interactions avec le territoire urbain et les risques peut être appréhendée par le concept de résilience.

Fondé sur la notion de système capable d'absorber une perturbation et de se maintenir, le concept de résilience s'est largement étendu à de nombreuses disciplines. Sur la base des caractéristiques fréquemment attribuées à un système résilient : absorption, adaptation, apprentissage, réduction des dommages et rétablissement, l'objectif est de définir non pas la ville résiliente mais les conditions de sa résilience. Alors si la résilience urbaine est « la capacité d'une ville à absorber une perturbation et à récupérer ses fonctions à la suite de celle-ci » (Lhomme *et al.*, 2010), les réseaux supportant les fonctions urbaines sont un préalable indispensable à la résilience de la ville. Mais cette hypothèse ne permet toujours pas d'opérationnaliser le concept pour que les collectivités et les acteurs du territoire puissent s'en saisir.

L'une des difficultés est la segmentation des approches tournées soit vers le territoire, soit vers l'ingénierie, soit vers les organisations. Ainsi l'analyse des questionnements portant sur les interactions entre la ville, les services urbains et les risques, met en avant des manques, mais également des pistes de solutions. Les approches territoriales permettent d'intégrer à la fois les dimensions physiques du territoire et les facteurs sociaux, politiques, économique ou culturels qui influencent fortement la gestion des services urbains. Cependant cette approche analytique et descriptive n'est pas tournée vers la recherche de solutions, même si les leçons tirées de l'étude de terrain sont précieuses pour la compréhension des processus d'évolution entre la ville, les services urbains et les risques. Les approches techniques approfondissent l'étude du fonctionnement des systèmes urbains et tendent à intégrer de plus en plus les contraintes inhérentes aux services urbains : poids de l'organisation, de l'économique, du politique, lien avec le développement urbain et les usagers. Les réponses de la *resilience engineering* restent toutefois trop techniques et peinent à impliquer les parties prenantes dans une démarche souvent tournée vers la modélisation. Enfin, les approches socio-organisationnelles appréhendent le rôle de la perception, de la culture et de l'expérience des individus, tant au niveau des populations que des gestionnaires. Cette dimension s'avère essentielle dans l'étude des interactions entre ville, risques et services urbains, mais également dans le processus d'amélioration de la résilience. La résilience organisationnelle pose les bases de l'apprentissage collectif et de la gestion du changement indispensables à une telle démarche, mais elle sera probablement difficile à appliquer à une somme d'organisations aux objectifs a priori différents.

L'analyse des spécificités de la résilience urbaine et des services urbains, combinée avec l'analyse des réponses actuelles par le biais de leurs questionnements, leurs intérêts et leurs limites définit un certain nombre

d'enjeux pour l'amélioration de la résilience. Considérant les différents aspects de l'interaction entre ville, risques et services urbains, une approche transdisciplinaire combinant différents champs disciplinaires autour d'enjeux communs est indispensable. Elle doit permettre de mieux appréhender la complexité du système ville et délimiter les incertitudes, si elle n'a pas la prétention de les lever. Les conflits entre des objectifs différents issus d'une vision différente du problème de la résilience urbaine, peuvent ainsi être mis à jour et discutés afin de repousser les incertitudes dues aux décisions des uns et des autres. En particulier, l'intégration des différentes échelles de territoires, de services urbains et de gouvernance dans une vision systémique, simplifie la compréhension de ces conflits. La combinaison des savoirs techniques et organisationnels des différents acteurs est également importante pour agir sur l'ensemble des leviers d'action et ne pas compromettre la résilience globale. Pour cela, l'implication des parties prenantes est essentielle afin d'augmenter la connaissance, prendre en compte les objectifs de chacun et faciliter la décision contribuant à la résilience globale. Du même coup, les stratégies choisies sont mieux acceptées, voire appropriées par les parties prenantes mettant en œuvre la résilience urbaine.

Chapitre 2 : Les approches collaboratives pour faciliter une approche transdisciplinaire

D'après certains auteurs, les problèmes auxquels l'homme fait face seraient de plus en plus complexes et nécessiteraient la combinaison de plusieurs compétences pour être appréhendés. Pour d'autres, l'homme en prendrait seulement conscience aujourd'hui avec une réflexivité accrue, notamment sur l'environnement qui l'entoure. Pour certains, cette réflexivité a toujours existé et ne sert que la justification de certains discours politiques ou économiques. L'observation du monde industriel, montre effectivement de grandes phases marquées par des modèles forts (Rigaud, 2011) :

- la société préindustrielle avec peu de composants et de conséquences sérieuses ;
- la première révolution industrielle et le développement de processus plus importants, avec une sensibilisation progressive aux enjeux de la maîtrise des risques ;
- les années 1930-40 avec l'apparition de la sûreté de fonctionnement, une vision séquentielle des accidents reposant sur un ordre fixe et logique ;
- les années 1980-90 avec la reconnaissance du rôle de l'homme, de la fiabilité humaine, des défaillances organisationnelles et une vision plus épidémiologiques des accidents par combinaisons de défaillances actives ;
- et aujourd'hui, la prédominance des systèmes sociotechniques complexes qui se cherchent encore un modèle.

Cette évolution est-elle également sensible concernant l'environnement, en particulier concernant l'impact de l'homme sur son environnement et la perception qu'il en a ? Sans en discuter la légitimité, il semble que oui puisque dans ce champ en particulier ont émergé les approches collaboratives. Le premier chapitre aborde la ville comme un système complexe interagissant fortement avec son environnement, et produisant notamment divers risques. Les services urbains en particulier contribuent à cette complexification. Ils favorisent en effet la mutualisation des ressources, en connectant toutes les parties du territoire puis en alimentant des échanges très denses à l'intérieur de la ville et avec les autres systèmes mondiaux. L'évolution des services urbains suit également la même évolution que les processus industriels avec aujourd'hui la reconnaissance de la complexité sociotechnique et l'exigence de fiabilité.

Alors, puisque l'urbain implique de nombreux acteurs dont chacun maîtrise une part du fonctionnement (Blancher, 1998) (y compris les habitants), ce changement d'approche vers plus de collaboration s'appliquerait-il donc également à la ville ? Pour répondre à cette question et poursuivre le développement de cette recherche, les facteurs ayant motivé le recours aux approches collaboratives dans le champ de l'environnement sont d'abord identifiés. Puis en effectuant un état de l'art des méthodes et outils utilisés, il est possible d'identifier les outils adaptés aux enjeux de la mise en œuvre de la résilience urbaine.

2.1. CONTEXTE ET ENJEUX DES APPROCHES COLLABORATIVES

Les approches collaboratives sont apparues dans les années 1970-80 pour répondre à de nouveaux enjeux de la gestion du territoire. Si la problématique de cette recherche nécessite de rassembler les acteurs de la ville pour identifier les stratégies d'amélioration de la résilience, il est intéressant d'analyser l'apparition et l'utilisation des approches collaboratives dans le champ de l'environnement. Qu'est-ce qui a motivé ce recours ? Comment s'est-il traduit au niveau de la gouvernance ? Quels sont les champs couverts ? Quels sont les objectifs des initiateurs de ces démarches et qui sont les parties impliquées ?

2.1.1. ORIGINE DES APPROCHES COLLABORATIVES

UNE SUPPOSEE EMERGENCE DE LA CONSCIENCE ENVIRONNEMENTALE ET DES RISQUES

Depuis quelques décennies, les sociétés prendraient conscience de leur impact sur l'environnement et tenteraient de développer de nouvelles manières de gouverner afin de mieux respecter les intérêts de chacun, y compris des générations futures. C'est le principe d'équité territoriale et générationnelle du développement durable (Laganier *et al.*, 2002). Cette notion, à l'époque aussi floue et à la mode que la résilience aujourd'hui, repose sur la conjonction de trois piliers fondamentaux : l'économique, le social et l'environnemental. L'interdisciplinarité semble donc évidente pour la mise en œuvre du développement durable. Alors pour permettre la concrétisation de la durabilité dans de multiples domaines, les chercheurs auraient développé une nouvelle manière d'aborder la résolution de problèmes complexes. La science post-normale (Funtowicz et Ravetz, 2003) porte sur des problèmes au contexte incertain, impliquant de nombreux points de vue légitimes et chargés de valeurs. Le terme vient de l'idée qu'il n'y a plus de normalisation dans les politiques de gestion de l'environnement et de la durabilité, et qu'il convient donc d'intégrer les facteurs de particularités dans chaque démarche. Pour cela, les approches participatives ou collaboratives (la distinction sera explicitée plus loin) permettent d'exprimer et prendre en compte l'ensemble des points de vue, dans le but de parvenir à une solution acceptable par tous.

Ce changement de paradigme semble particulièrement prégnant dans la gestion des ressources naturelles (eau, matières premières, sol, poisson, etc.) dont la dégradation a été un déclencheur (Olsson *et al.*, 2004). Apparait ainsi la notion de gouvernance des ressources communes[18] d'Elinor Ostrom puis la notion de service écosystémique lorsque ces ressources sont pensées comme des services à l'humanité (Millenium ecosystem assessment, 2005). En particulier dans le cadre urbain, souvent accusé des plus grands dommages à l'environnement, les services écosystémiques *de* la ville et *pour* la ville pourraient constituer un nouveau mode de gestion plus résilient (Jansson, 2012). La réussite d'une telle approche repose alors sur l'implication des parties prenantes, notamment dans la gestion des compromis et des externalités qui en découlent.

Cette supposée émergence de la conscience environnementale se traduirait également dans l'appréhension des risques avec un passage des risques majeurs « classiques » à des risques potentiels plus globaux, latents et méconnus. Les risques classiques requièrent l'analyse de la perception des risques et leur acceptabilité, en lien avec les notions de sécurité, qui n'étaient pas nécessairement fondées uniquement sur des normes, mais également sur la reconnaissance de l'instabilité des organisations, du rôle des compromis, etc. (Gilbert, 2008). À l'inverse, les risques globaux amènent le développement de nouvelles approches pour résoudre ces controverses sociotechniques : forums hybrides, coproduction de connaissance, etc. (Callon *et al.*, 2001). Cette dichotomie a largement accentué le décalage entre les discours conventionnels de maîtrise des risques et le fonctionnement réel des activités dangereuses ou des organisations liées aux risques, quels qu'ils soient. Elle a limité du même coup l'appropriation des nouveaux paradigmes, publiquement inacceptables par les professionnels qui ne peuvent admettre publiquement leurs incertitudes et difficultés (Gilbert, 2008) (en est-il

[18] *governance of the commons*

de même pour le paradigme de la résilience ?). Ainsi, la recherche en sociologie sur les risques s'est principalement tournée vers les risques non classiques et les approches participatives comme réponse à ce monde de complexité et d'incertitude. Comment l'étendre maintenant aux risques quotidiens tels que les risques majeurs ?

UNE TRADUCTION RECENTE DANS LES MANIERES DE GOUVERNER ET DECIDER

Si ce changement de paradigme, tant au niveau de la gestion des risques qu'au niveau de la gestion des ressources peut être discuté (Fressoz, 2011), le fait est qu'il se traduit aujourd'hui dans les politiques publiques. Le premier signe majeur est l'obligation de concertation, dans son sens le plus large (Mermet, 2006), lors de projets urbains ou d'aménagement du territoire, récemment introduite dans les codes : loi solidarité et renouvellement urbain (SRU) et démocratie de proximité en 2002, quatrième principe fondamental (2002) du code de l'Environnement (titre II du livre 1er entièrement consacré à « l'information et la participation des citoyens »). Dans le cadre de la gestion de la ressource en eau, la directive-cadre européenne sur l'eau (2000/60/CE, dite DCE), préconise un nouveau mode de gestion impliquant tous les usagers de la ressource à l'échelle du bassin versant. « Les États membres encouragent la participation active de toutes les parties concernées à la mise en œuvre de la présente directive, notamment à la production, à la révision et à la mise à jour des plans de gestion de district hydrographique. » (article 14 - Information et consultation du public, DCE). Ainsi, le projet HarmoniCOP, par exemple, propose des outils et méthodes pour faciliter cette implication massive des parties prenantes et développer l'apprentissage collectif (Ridder *et al.*, 2005). Le projet se fonde sur plusieurs études de retours d'expérience sur le terrain comme la création d'EPIDOR, établissement public territorial de bassin de la Dordogne (Barraqué *et al.*, 2004).

En effet, comme pour la ressource en eau, l'évolution vers une meilleure prise en compte de l'environnement et des usagers se traduit souvent par la création de nouvelles structures de gouvernance. Or l'adéquation entre les différents espaces de gestion pose question pour la résilience du territoire (cf. 1.2.1). Il faudrait donc être capable de déterminer si ces nouvelles structures sont aptes à gérer les problèmes complexes auxquels elles sont confrontées (cf. 2.1.2). Ainsi, une institution de partage des ressources robuste serait celle dans laquelle les utilisateurs de la ressource et les fournisseurs de l'infrastructure publique sont composés des mêmes individus qui sont capables de gérer au quotidien, résoudre en interne leurs problèmes, s'autoréguler, et ainsi garantir la légitimité des règles établies (Anderies *et al.*, 2004). Plusieurs exemples sont donnés mais il apparait difficile d'identifier des structures fonctionnant effectivement suivant les principes de conception d'une telle institution, notamment en Europe et en France. Les volontés des directives européennes restent souvent des vœux pieux.

On trouve toutefois dans la littérature une approche apparemment réussie de changement de paradigme et de manière de décider et planifier : les villes et l'aménagement urbain *water sensitive*. Ce terme est difficilement traduisible mais inclue l'idée d'accepter l'eau dans la ville, de se tourner vers elle, au contraire de *water proof* qui est « à l'épreuve de l'eau » et relève plutôt de la résistance, la protection par rapport à l'eau. Au-delà du changement de paradigme dans l'appréhension d'un facteur potentiel de risque, il s'agit bien d'une autre gouvernance décentralisée, fondée sur des réseaux informels d'acteurs professionnels en relation avec les autorités locales (Rijke *et al.*, 2013). Les exemples Australiens mettent en application les réflexions autour des villes *water sensitive* (Adelaide, Melbourne et Sydney). Ces villes illustrent l'importance de la démarche d'évolution de la gouvernance, même si le résultat ne peut être évalué a priori (sans survenue d'une crise). Le processus en lui-même apporte cependant des réponses, ou du moins de meilleures conditions pour la gestion d'une éventuelle crise.

De manière plus générale, l'implication des parties prenantes dans les réflexions puis l'implémentation des projets de développement du territoire est dénommée intelligence territoriale. « Elle a notamment pour objectif de contribuer à la rénovation de la gouvernance locale [en impliquant] des processus d'interaction, des méthodes et des outils de connaissance et d'action. » (Bertacchini, 2010). Cette approche centrée sur les

acteurs locaux interagissant dans un « tissu relationnel, physique ou virtuel, permet la mobilisation des compétences locales autour d'un objectif partagé et dans l'hypothèse de compétences complémentaires à réunir, à faciliter leur acquisition par un mode d'apprentissage approprié. » (Bertacchini, 2010). Ainsi, là encore, de nouvelles structures de gouvernance sont à penser ou adapter pour mieux intégrer l'intelligence territoriale dans la manière de décider.

Finalement, les approches collaboratives ont émergé pour répondre à de nouveaux enjeux en matière de prise en compte de l'environnement et de participation du public. Ne pourraient-elles donc pas également répondre aux enjeux particuliers de la prise en compte des risques en ville et de la mise en œuvre de la résilience urbaine présentés au chapitre 1 ?

2.1.2. Des enjeux similaires a ceux de la mise en œuvre de la resilience urbaine

Complexite des problemes

L'objectif des approches collaboratives est de structurer un problème complexe de manière transparente pour améliorer la compréhension mutuelle des parties prenantes et le consensus (Mustajoki *et al.*, 2004). En effet, la complexité des enjeux environnementaux relève autant de la compréhension de phénomènes physiques ou biologiques, que de la multiplicité des intérêts en jeu. Pour intégrer ces enjeux dans la réflexion, il faut d'abord parvenir à les exprimer puis à les traduire en termes d'objectifs à atteindre et de conséquences sur le problème concerné. Concernant les phénomènes, de nombreux travaux ont porté sur la modélisation des échanges et des dynamiques au sein des écosystèmes. La focalisation sur certains échanges et variables permet en effet de contourner la complexité globale. Ainsi, le suivi de paramètres chimiques de l'eau, l'évolution d'une population ou d'une ressource peuvent être évalués en prenant en compte des quantités prélevées, des paramètres environnementaux ou des transformations biophysiques.

Les tensions autour de ressources environnementales relèvent bien souvent de décalages entre les besoins ou les prélèvements, et la ressource ou son taux de renouvellement, tout comme les tensions autour de la continuité des services urbains (cf. 1.3.1). Il faut donc d'une part être capable de les exprimer et de les quantifier éventuellement, puis d'autre part de comprendre le rôle des différentes parties prenantes au niveau de la gouvernance de ces ressources ou services. En effet, l'un des niveaux ajoutant à la complexité des phénomènes et des usages est la gouvernance des différentes dimensions du système étudié. D'une part les structures de gouvernance peuvent être nombreuses, à des échelles variables et parfois en partie superposées ; d'autre part elles sont souvent en décalage avec l'échelle des services écologique ou urbains concernés (Ernstson, 2008). De plus, à un niveau encore supérieur, les dynamiques sociales ou économiques peuvent complexifier les problématiques (Figure 2-1).

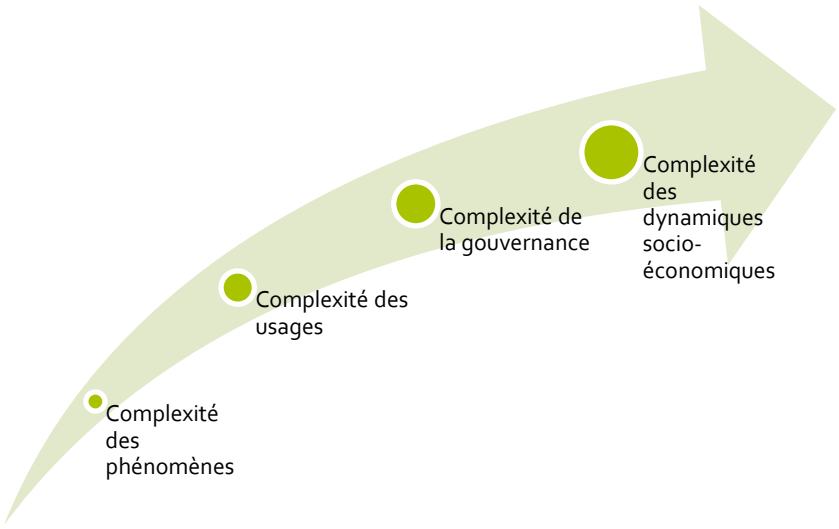


Figure 2-1 : Différents niveaux de complexité des problématiques environnementales

Dans cette situation, il est encore plus délicat d'assurer la cohérence entre la gestion, les usages et la ressource. L'analyse des réseaux sociaux constitués par ces parties prenantes d'un problème commun peut alors apporter des réponses pour la prise en compte de cette complexité (Carlsson et Sandström, 2008).

Besoin d'impliquer les parties prenantes pour une meilleure acceptation

Pour faire face à cette complexité, le changement de paradigme dans la gestion de l'environnement amène à l'implication des parties prenantes. La co-construction d'un savoir expert et profane permet de réduire la complexité, de prendre en compte les intérêts de chacun, mais aussi de favoriser l'acceptation et l'appropriation des solutions. Dans la mesure où les questions environnementales ou d'aménagement touchent toutes les parties prenantes, les approches collaboratives visent à intégrer ces nouveaux points de vue pour faciliter la décision. Ainsi, l'implication des parties prenantes est à la fois un moyen d'atteindre les objectifs d'un projet en améliorant la connaissance et un objectif en soi pour répondre aux exigences de concertation et faciliter l'implémentation des solutions.

Dans l'aménagement du territoire, l'implication des parties prenantes est particulièrement importante pour le bon déroulement des projets. Il s'agit pour les décideurs et les aménageurs de « s'assouplir pour s'adapter » et « négocier pour convaincre » (Joerin, 1997). Dans cette optique, la formalisation, dès le départ, d'une vision co-construite par les différents acteurs permet de fonder une réflexion plus légitime et plus pertinente sur l'évolution d'un territoire (Desthieux *et al.*, 2005). De la même manière, la mise en œuvre de stratégies d'adaptation au changement climatique gagne à s'appuyer sur les parties prenantes. D'une part, cette approche enrichit les connaissances sur un sujet relativement nouveau. D'autre part elle sensibilise et motive les individus qui ont tous un rôle à jouer. Enfin, elle facilite l'implémentation de stratégies d'adaptation (Frommer, 2010).

La mise en œuvre de la résilience urbaine comme conjonction d'une bonne gestion des ressources et des services, d'un aménagement urbain cohérent et prenant en compte les risques et les possibilités d'adaptation relève donc également du besoin d'impliquer les multiples parties prenantes. Il faut maintenant identifier les objectifs du recours aux approches collaboratives, les acteurs à impliquer et les outils à mobiliser. Parmi les nombreux travaux, on peut donc classifier les approches collaboratives en fonction de la problématique traitée, de leur finalité et de la gamme des acteurs impliqués (Tableau 2-1).

Tableau 2-1 : Les approches collaboratives impliquant les parties prenantes pour traiter de problèmes complexes souvent liés à la gestion des ressources ou l'aménagement du territoire

Problématique	Contexte	Objectifs	Finalité	Parties impliquées	Référence
Stockage de déchets	Botany, Autralie, années 90-2000	Trouver une solution technologique pour un stockage sûr	Rechercher une solution	Collectivités, riverains, usagers, représentants des industries, associations	(Healy, 2009)
Gestion de la ressource en eau	Lac Racken en Suède, années 70-80	Assurer le maintien de la qualité de l'eau	Faire prendre conscience du problème et rechercher des solutions	Techniciens municipaux, riverains, consultants, associations	(Olsson *et al.*, 2004)
Aménagement du territoire	Cas non localisé	Déterminer le fuseau de moindre impact d'une ligne HT	Rechercher une solution	Décideurs, citoyens, acteurs impliqués	(Ferrand, 1997)
Gestion de la ressource en eau	Nappe de Beauce	Décrire le fonctionnement de la nappe et des différents acteurs liés	Identifier un problème	Usagers, services administratifs, associations	(Petit, 2002)
Construction	Projet d'amélioration des transports urbains à Toronto	Coordonner le planning et la conception	Rechercher une solution	Décideurs, concepteurs, chef de projet	(El-Gohary et El-Diraby, 2010)
Aménagement du territoire	Duwamish River, USA	Implanter un site de restauration de l'habitat	Rechercher une solution	109 volontaires regroupés en 22 groupes représentants des intérêts différents	(Jankowski et Nyerges, 2001)
Gestion de la ressource en eau	Planification à long terme sur la Dordogne	Mettre en œuvre la DCE (2000/06/EC)	Faire prendre conscience des problèmes liés aux usages de l'eau	Structure de gouvernance de l'eau, représentants de l'État, des associations, des activités liées à l'eau	(Barraqué *et al.*, 2004)
Aménagement du territoire	MRC de Portneuf, Québec, Canada (années 90)	Choisir le tracé d'un corridor multifonctionnel	Rechercher une solution	Collectivités, riverains, usagers, aménageurs	(Prévil *et al.*, 2003)
Gestion de la ressource en eau	Régulation du lac Paijanne en Finlande	Améliorer la qualité du lac, de la faune, de la végétation et des activités	Implémenter une nouvelle politique faisant consensus	Représentants de l'État, des collectivités, des intérêts économiques et écologiques	(Mustajoki *et al.* 2004)
Planification urbaine	débat sur le master plan du campus de Ryerson University (Toronto)	Recueillir et confronter les points de vue des usagers	Augmenter la connaissance, identifier un problème et dégager des idées de solutions	Toute personne désireuse de donner son avis sur la plateforme internet	(Rinner *et al.*, 2008)

Synthèse

Le besoin d'impliquer toutes les parties prenantes dans les réflexions concernant l'aménagement du territoire ou la gestion des ressources a émergé avec la prise de conscience de leur menace. Ce sont notamment les incertitudes sur les capacités de l'environnement à répondre aux besoins des populations qui exacerbent les conflits d'usage. Alors face à cette complexité due au nombre important d'intérêts en jeu et à la difficulté de modéliser les évolutions futures, les politiques publiques se sont progressivement saisies de cette possibilité de mobiliser les savoirs des parties concernées. Les objectifs peuvent être multiples et l'analyse de la littérature permet de classifier les expériences collaboratives. Elles sont principalement utilisées lors de projets d'aménagement du territoire pour identifier une solution acceptable ou à l'occasion d'un changement de politique de gestion. Elles font le point sur les problèmes rencontrés afin de mettre en place une stratégie de réponse. La gamme des acteurs impliqués peut être très diverse, de la démarche d'échange entre experts à l'implication de toutes les parties concernées, soit par sélection d'un panel représentatif, soit par l'utilisation d'une plateforme ouverte à tous. Les outils utilisés sont donc variés et ils orientent la manière de collaborer.

2.2. METHODES ET OUTILS

La résilience urbaine montre les mêmes difficultés que celles des problématiques environnementales à l'origine des approches collaboratives. Cependant elles n'ont pas toutes la même finalité ni le même degré de participation. Il faut donc identifier les différentes méthodes et leurs objectifs, ainsi que les outils qui les appuient et les contraintes qu'ils induisent. Il est alors possible de positionner la recherche dans ce champ relativement vaste, en fonction des objectifs de l'amélioration de la résilience.

2.2.1. DIFFERENTS NIVEAUX D'IMPLICATION POUR DIFFERENTES FINALITES

IMPLIQUER TOUTES LES PARTIES PRENANTES ?

Dans les différentes utilisations des approches collaboratives, les parties impliquées et leur mode de sollicitation sont variables. Dans un processus participatif, la décision est « ouverte à des individus et des groupes qui ne sont pas en charge d'un pouvoir de décision formalisé ». La collaboration est par contre la « [mobilisation] non plus [d']un seul mais plusieurs individus ou groupes, intégrés sur un pied d'égalité » (Joliveau, 2004). Le public et les représentants d'intérêts privés n'ont pas de pouvoir de décision et sont donc rarement intégrés sur un pied d'égalité avec les décideurs ; une démarche incluant ces acteurs relève donc de la participation. En revanche, l'intégration de différents décideurs dans un cadre dépassant les liens éventuels de hiérarchie, relève de la collaboration dont on peut distinguer différents degrés. Lorsque la collaboration vise à « apprendre en faisant »[19], elle permet à tous de participer à la décision et à l'action. La recherche-action permet d'implémenter des solutions, d'en évaluer collectivement les effets et éventuellement de corriger la démarche (O'Brien, 2001). Pour cela, l'apport des experts extérieurs et notamment des chercheurs est utile. Ils permettent de cadrer les questionnements réels des opérationnels en s'appuyant sur des notions scientifiques, ce qui légitime la représentation du problème et l'expression des conflits (Kizito *et al.*, 2009). Les experts sont donc inclus dans les démarches dites collaboratives (Figure 2-2) ; la recherche-action peut également inclure les acteurs privés et publics.

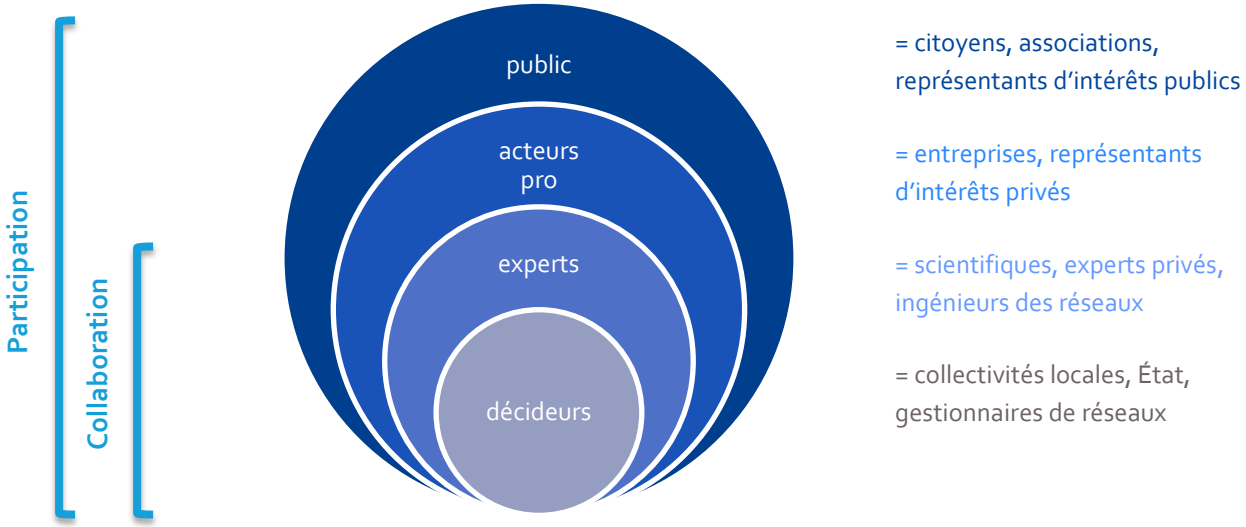


Figure 2-2 : Échelle des acteurs de la participation à la collaboration

Participation ou collaboration, l'objectif reste de soutenir un processus d'apprentissage, grâce à des experts scientifiques ou à des outils comme les technologies de l'information et de la communication (TIC). En effet, ces outils permettent d'intégrer les savoirs tacites et explicites, de combiner les éléments expérientiels et cognitifs d'apprentissage (Pahl-Wostl *et al.*, 2007). Mais même sans technologies, l'information et la

[19] *learning by doing*

communication permettent de mener des approches collaboratives fructueuses (cf. 2.2.2). En effet, c'est autant la création d'un réseau d'acteurs que la connaissance produite qui est bénéfique, de par la construction de la confiance, les échanges et l'émulation qui se créent et favorisent l'innovation (Rijke *et al.*, 2013). Les outils d'analyse des réseaux sociaux ainsi créés sont largement utilisés pour déterminer les indicateurs représentatifs d'une structure d'acteurs plus efficace et créative (Bodin *et al.*, 2006). Par exemple, la structure d'un réseau d'acteur peut permettre de mesurer sa mémoire sociale, son hétérogénéité, sa redondance, son apprentissage, sa capacité d'adaptation ou sa confiance grâce à la théorie des graphes. Ces travaux mettent en avant par exemple l'importance du *broker* (littéralement courtier) qui serait l'intermédiaire, le médiateur entre deux acteurs qui sans lui ne seraient pas reliés. Cet acteur aurait alors un rôle majeur dans la transmission de l'information, la capacité d'innovation et d'adaptation du réseau, en particulier en cas de crise. Une structure d'acteurs pertinente serait alors un ensemble de groupes ayant une forte confiance interne, reliés entre eux par des intermédiaires utilisant leur position pour initier et maintenir une co-gestion efficace et innovante (Bodin *et al.*, 2006). Ainsi, une collaboration efficace n'est pas forcément celle mettant en relation l'ensemble des parties prenantes puisque la confiance est également primordiale et nécessite des collaborations plus restreintes et plus approfondies. Ce type de structure collaborative est-elle pertinente uniquement dans une phase de gestion d'un problème ou permet-elle également de faciliter l'identification du problème ou l'identification de solution ?

TROUVER UNE SOLUTION OU IDENTIFIER UN PROBLEME ?

La participation élargie des parties prenantes à un problème complexe vise à s'attaquer à la complexité en mobilisant les connaissances expertes et profanes, mais également à impliquer et donc sensibiliser les populations notamment aux démarches et aux projets. Cependant, derrière cet objectif a priori louable, se cachent de nombreuses manières de faciliter la solution du décideur en orientant le processus, en concédant des demandes mineures des parties prenantes ou en influençant les participants. L'objectif final est bien de réduire les potentiels de conflits, soit en augmentant la connaissance et l'expression des différentes perceptions, soit en cadrant « à l'avance » les compromis réalisables. Or face à la dualité de ce problème : explorer le problème ou le résoudre, le recours aux approches collaboratives est souvent peu transparent, voire volontairement flou. Et pourtant, il faudrait séparer distinctement l'étape de définition du problème de l'étape de définition des marges de manœuvre, qui doit amener naturellement vers une ou plusieurs solutions, et éventuellement une implémentation (Joerin et Cloutier, 2011). Par ailleurs, le choix des outils eux-mêmes oriente déjà la finalité de la démarche. Par exemple, l'utilisation d'un SIG pour déterminer l'implantation d'une infrastructure détermine déjà, de fait, le problème et sa solution. Il ne laisse pas la possibilité de questionner la nécessité même de l'infrastructure ou les autres solutions possibles (Ramsey, 2009). Ainsi dans ce cas, on se trouve dans la situation où le recours à une démarche collaborative a pour unique but de mettre en place une solution (Figure 2-3), ce qui n'est pas critiquable en soi, mais devrait être clairement annoncé dans les objectifs de la démarche.

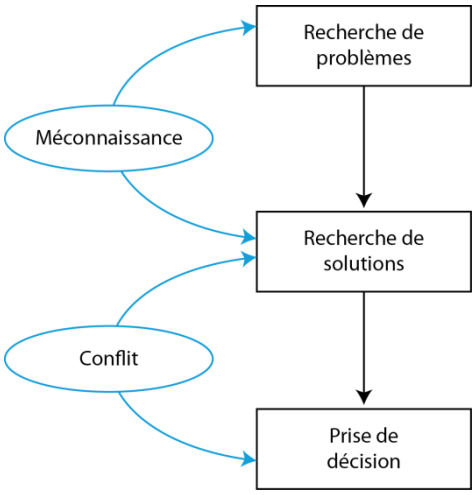


Figure 2-3 : Différentes finalités des approches collaboratives pour des contextes de départ différents

Une démarche collaborative, initiée pour pallier un manque de connaissance sur une problématique identifiée, permet de réduire les potentiels de conflit dans la poursuite de la démarche, vers la recherche puis l'implémentation de solutions. Par exemple, des populations sont impliquées dans une problématique a priori technique et dans un contexte tendu : la gestion de la ressource en eau en Australie. L'apprentissage collectif, facilité par le travail collaboratif, augmente l'expertise des populations, leur adhésion à la démarche et aboutit à des actions acceptables par tous (Daniell *et al.*, 2010). Ce type de démarche allant jusqu'à la mise en œuvre de solutions ou d'actions relève de la recherche-action.

Cette approche pousse relativement loin la collaboration puisque le processus amène jusqu'à la mise en œuvre de solutions communes, dépassant les objectifs propres des parties prenantes. Mais d'autres degrés de la collaboration peuvent être distingués selon que les acteurs œuvrent partiellement aux actions communes, se limitent à la coordination de leurs actions, partagent uniquement leurs résultats ou se bornent à communiquer (Figure 2-4).

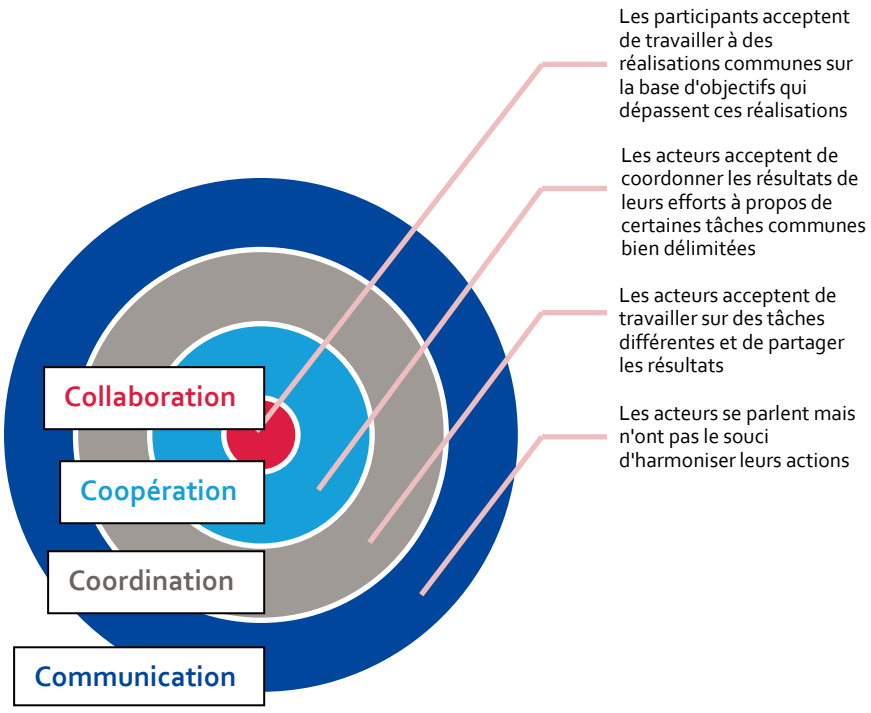


Figure 2-4 : Les quatre niveaux de la collaboration (Joliveau 2004), d'après (Jankowski et Nyerges, 2001)

Dans la mesure où les enjeux des problématiques environnementales sont complexes et dépassent les compétences d'un seul acteur, il serait donc préférable d'impulser une véritable collaboration entre les acteurs, de la connaissance du problème à sa résolution.

2.2.2. DES METHODES ET OUTILS NOMBREUX

UNE METHODE DE COLLABORATION : LA TRADUCTION

Pour répondre aux problèmes complexes sociotechniques qui dépassent les connaissances scientifiques, la traduction permet de passer de la recherche confinée à la recherche de plein air en trois étapes (Callon *et al.*, 2001). Dans cette approche, les profanes sont associés aux experts afin d'explorer les mondes possibles et résoudre les controverses scientifiques. Il est alors indispensable de constituer un réseau d'acteur capable d'explorer à la fois les problèmes complexes, et le collectif en lui-même. Ce réseau se constitue en dix étapes (Amblard *et al.*, 1996) :

- L'analyse du contexte permet d'identifier les actants en présence, leurs intérêts, leurs enjeux et leur degré de convergence.
- La problématisation par un « traducteur » permet d'identifier ce qui unit et ce qui sépare afin de formuler une interrogation commune. Cette étape amène à accepter la coopération entre acteurs par la création d'un réseau dont le traducteur doit être accepté par tous.
- L'identification d'un lieu ou d'un énoncé commun est le point de passage obligé pour impulser la convergence.
- La nomination de porte-paroles permet la négociation entre les entités.
- Les investissements de forme, par le biais des acteurs-traducteurs, qui substituent les nombreuses entités en intermédiaires, moins nombreux et plus homogènes, visent à réduire la complexité.
- Ces intermédiaires cimentent le réseau par leur circulation entre les entités.
- L'enrôlement et la mobilisation permettent d'affecter une tâche précise à chaque acteur et de consolider le réseau.
- Le rallongement et l'irréversibilité permettent ensuite d'agrandir le réseau vers la périphérie.
- La vigilance, du traducteur notamment, est essentielle pour assurer l'évolution vers un objectif commun.
- La transparence est également indispensable, pour instituer une relation de confiance entre les acteurs.

Cette démarche facilite donc la collaboration entre acteurs aux intérêts et contraintes divergents en construisant progressivement un problème commun. Des approches similaires ont été expérimentées concernant la gestion du risque d'inondation aux Pays-Bas à travers des *learning and action alliances* (van Herk *et al.*, 2011). La traduction peut donc appuyer une démarche collaborative d'amélioration de la résilience (cf. 3.3.2) si elle s'appuie sur les bons outils.

DES OUTILS ATERRITORIALISES

Dans les outils utilisés pour appuyer une démarche collaborative, on peut distinguer les supports liés à la représentation du territoire et les outils de mise en relation ou d'analyse aterritorialisés. Le manuel réalisé dans le cadre du projet HarmoniCOP offre une bonne synthèse des outils mobilisables pour faciliter l'apprentissage collectif. Ils sont analysés en regard de leurs contraintes, de leurs apports dans telle ou telle situation de participation (Figure 2-5). En effet, en fonction des participants impliqués, des objectifs du processus ou de la phase en cours, les outils seront plus ou moins pertinents.

Outils d'information et de communication / Méthode participative	SIG	Boite à outils graphique	Cartes	Gestion des commentaires	Kit de planification	Questionnaire	Modèles de simulation	Cartes et modèles spatiaux mentaux	Site Internet
Remue-méninges	●	■	■	■	●	▲	▲	■	▲
Jury citoyen	■	■	■	■	■	■	▲	▲	■
Groupe de discussion	■	■	■	■	■	●	●	▲	●
Conception d'un modèle en groupe	■	■	■	■	▲	●	■	●	▲
Entretiens	▲	▲	■	▲	▲	■	▲	■	▲
Journaux / Blogs	▲	▲	●	▲	▲	▲	▲	▲	■
Suivi et évaluation de la participation	●	■	■	■	▲	■	▲	■	●
Analyse des causes/problèmes	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Audiences publiques	■	■	■	■	●	■	▲	▲	■
Atelier de recadrage	■	■	■	■	■	■	■	■	●
Sessions d'avancement	▲	■	●	■	▲	■	▲	●	■
Jeu de rôle	■	●	■	●	●	●	■	▲	▲
Table ronde	●	■	●	■	●	▲	▲	▲	▲
Conception de scénario	■	●	■	■	■	●	■	●	▲
Analyse des parties prenantes	■	▲	■	■	▲	■	▲	●	■

Figure 2-5 : Applicabilité des outils au sein des méthodes, carré vert : applicabilité élevée, rond orange : applicabilité moyenne, triangle rouge : applicabilité faible (Ridder *et al.*, 2005)

Parmi les outils non territorialisés, on peut commencer par mentionner les ontologies qui permettent de croiser les visions et objectifs de différents acteurs, par exemple entre acteurs du bâtiment, dans le but de coordonner un planning de construction (El-Gohary et El-Diraby, 2010). Dans un contexte comme la ville, comportant également de nombreux acteurs dont les actions doivent être coordonnées, ce type d'outil peut déjà apporter un vocabulaire commun avant de permettre de décrire un ouvrage, de le comprendre et de suivre les décisions le concernant tout au long de son cycle de vie (Tolmer *et al.*, 2013). Ces approches nécessitent cependant d'avoir déjà déterminé le problème posé afin que les participants puissent définir relativement précisément leur propre position.

Encore plus proche de l'implémentation de solution, l'analyse multicritère, sous diverses formes, vise à exprimer différentes opinions sur un sujet bien défini et déjà décrit en termes d'indicateurs. La transparence est supposée plus forte dans la mesure où les opinions de chacun sont mises en avant, comme par exemple concernant la régulation du niveau d'un lac finlandais (Mustajoki *et al.*, 2004). Mais en réalité, la définition

même des indicateurs ou du système d'agrégation est fortement sujette à remise en cause. La même objection peut être faite à de nombreux outils de simulation censés appuyer une réflexion collaborative. Certains modèles ont cependant été conçus avec les parties prenantes, mais le processus est alors très long et requiert beaucoup de pédagogie. Par exemple, la modélisation du niveau d'une nappe « théorique » en fonction des différents comportements « théoriques » des usagers préleveurs peut appuyer la discussion d'acteurs ayant des intérêts dans l'exploitation de l'eau souterraine, notamment dans le cadre d'un jeu de rôle (Petit, 2002). Si la simulation n'est pas réalisée directement avec les parties prenantes, elle doit être explicitée en détail aux participants qui doivent y adhérer. Dans ce cas, la simulation n'a pas pour objet de représenter la réalité, mais un fonctionnement théorique crédible. Cette représentation met en avant les conflits potentiels dans le but de permettre la discussion des différents acteurs puis la prise de conscience de la nécessité d'agir.

Les simulations sont souvent appuyées par des systèmes multi-agents qui reproduisent le comportement supposé d'un individu, d'une ressource ou d'un objet face à telle ou telle situation. Par exemple, dans l'implantation d'une ligne haute tension, les pylônes peuvent être modélisés comme des agents qui évaluent leur environnement, la contrainte structurelle qu'ils subissent et les contraintes qu'ils s'exercent mutuellement, afin de déterminer leur positionnement optimal (Ferrand, 1997). Là encore, l'implémentation informatique très lourde est difficile à faire accepter aux parties prenantes et la connaissance du problème doit être approfondie. Ainsi, pour le problème encore mal défini de la résilience urbaine, les outils portés sur la simulation semblent inadaptés. De plus, le contexte géographique fort, lié au milieu urbain, laisse supposer que les outils territorialisés seraient plus pertinents.

DES OUTILS TERRITORIALISES

L'implication des parties prenantes autour d'une problématique est facilitée par l'ancrage dans le contexte territorial car les enjeux sont clairement identifiés et localisés au sein du territoire familier des acteurs. Les outils aterritorialisés permettent de s'écarter de la réalité, pour modéliser en partie la complexité des problèmes et appuyer des discussions théoriques. À l'inverse, les outils territorialisés doivent tenir compte du contexte réel, être les plus réalistes possibles pour permettre d'aborder des problèmes et des solutions concrètes. En pratique, même les outils territorialisés ne peuvent être qu'une représentation de la réalité, du fait de la sélection des données, des erreurs inévitables, des choix d'analyse effectués, etc. (Lardon et Piveteau, 2005). L'outil majeur dans les approches collaboratives territorialisées est le système d'information géographique (SIG). En effet, d'un usage au départ réservé aux techniciens et aux géographes, les SIG sont depuis plusieurs années le fer de lance de la cartographie participative (Joliveau, 2004).

Les travaux de Jankowski et Nyerges, notamment, ont contribué au développement de nombreux outils et applications dans le domaine des SIG collaboratifs, de l'aide à la décision spatialisée puis de l'aide à la décision collaborative spatialisée (Jankowski *et al.*, 1997). Par exemple, dans le cadre du choix d'un site de restauration d'habitat écologique le long de la rivière Duwamish, l'utilisation d'un SIG collaboratif avait pour but de 1- explorer et comprendre le problème, 2- articuler et partager les critères de décision, 3- évaluer les solutions alternatives et 4- négocier une solution de consensus. Quelques conclusions intéressantes ont été tirées de l'expérimentation concernant le rôle du SIG et l'appropriation par les participants (Jankowski et Nyerges, 2001). Premièrement, les cartes sont plutôt utilisées pour représenter les résultats mais très peu durant le processus d'exploration, ce qui peut paraître surprenant dans la mesure où leur potentiel d'analyse et de structuration des informations semble majeur. Ensuite, l'appropriation de ces outils, a priori relativement complexes, ne dépend pas du niveau de connaissance du participant. Cela conforte l'idée de recourir à des outils techniques poussés, éventuellement cartographiques, pour appuyer l'apprentissage collectif d'acteurs ayant des niveaux de connaissance hétérogènes. Dans tous les cas, chaque contexte appelle des approches et des outils différents pour répondre aux objectifs et contraintes des participants.

D'autres outils cartographiques plus tournés vers la collecte et la synthèse des données que vers l'analyse, sont également utilisés, généralement pour faciliter la participation du public. Grâce à la démocratisation des

applications cartographiques sur internet notamment, chacun peut participer à la construction de l'information géographique et exprimer son point de vue sur une problématique : c'est la néogéographie (Rana et Joliveau, 2009). Ce courant inclue tous les procédés de construction de l'information ou d'outils d'analyse par des individus grâce au web. Les plateformes de cartes d'argumentation ou *argumaps*, en font partie et se rapprochent plus d'un processus participatif. Cet outil permet de géoréférencer des commentaires, questions, informations sur le territoire objet d'un projet, comme par exemple le campus de l'université Ryerson à Toronto (Rinner *et al.*, 2008). Il s'agit ici d'une communication asynchrone et distribuée (Rinner, 2006) (les participants ne sont pas au même endroit au même moment) plus propice à la synthèse de nombreuses données qu'à l'échange approfondi autour d'une thématique, même si les participants peuvent se répondre (Figure 2-6).

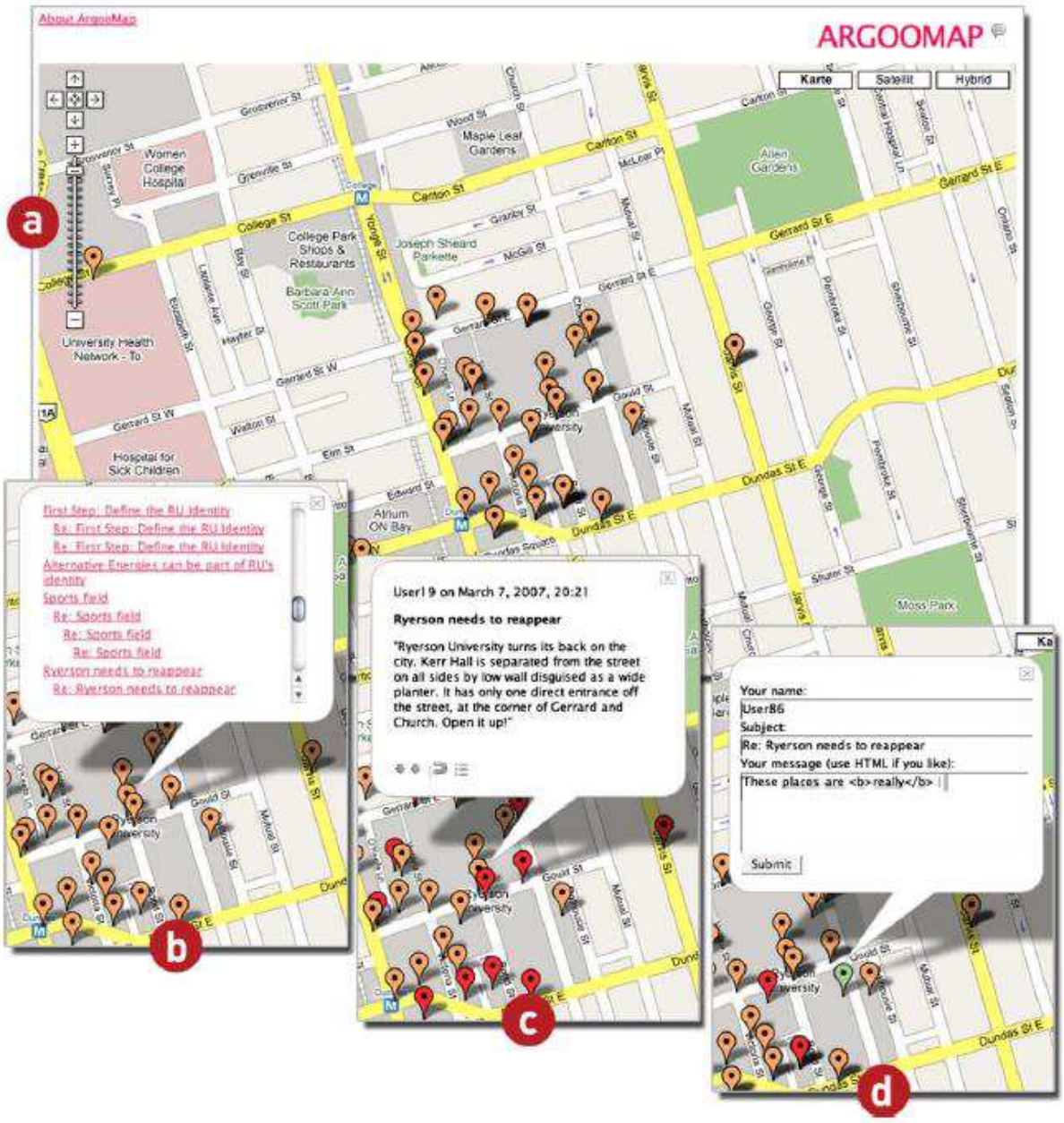


Figure 2-6 : Vues d'écrans de l'outil ArgooMap, (a) vue initiale avec les marqueurs indiquant des lieux référencés dans une discussion, (b) arborescence des contributions référencées, (c) affichage d'une contribution, (d) formulaire d'ajout d'une contribution (Rinner *et al.*, 2008)

Synthèse

Si les approches collaboratives visent à impliquer l'ensemble des parties prenantes pour résoudre des problématiques environnementales complexes, les manières de faire sont nombreuses. L'implication de tous les acteurs, avec ou sans pouvoir de décision, relève de la participation. L'implication d'acteurs détenant chacun une part de la décision relève de la collaboration. Les finalités en sont donc différentes selon que l'on cherche à identifier et implémenter une solution avec les parties prenantes ou à identifier un problème avec les personnes concernées, sans distinction de statut. Différentes méthodes collaboratives sont utilisées, généralement basées sur diverses formes de réunions et d'ateliers, ou sur des échanges plus indirects via des plateformes internet par exemple. Les outils mobilisés pour appuyer la connaissance ou l'expression orientent le processus. En effet, ils peuvent difficilement laisser l'entière liberté aux participants si l'on veut pouvoir comparer des propositions ou identifier une solution précise. Qu'ils soient aterritorialisés ou spatialisés, ces outils visent bien souvent à organiser la connaissance, construire un vocabulaire commun et confronter des points de vue : le modèle et la simulation pour expliciter un problème ou tester des solutions, l'analyse multicritère pour aider à la décision, les SIG pour représenter un problème ou la vision des acteurs, les cartes d'argumentation pour appuyer une recherche de problème.

2.3. IDENTIFICATION D'UN PROBLEME ENTRE EXPERTS ET DECIDEURS

Parmi les nombreuses manières d'impulser une collaboration, entre des acteurs professionnels ou en intégrant le public, des finalités différentes peuvent être distinguées : rechercher un problème, rechercher une solution ou mettre en œuvre une solution. Pour atteindre ces objectifs, divers outils peuvent être mobilisés et combinés. Dans ce champ très vaste, il faut maintenant positionner cette recherche suivant les impératifs de la problématique de la résilience et les objectifs visés. La proposition décrite ici est un positionnement « idéal » en regard des enjeux identifiés dans le chapitre 1 mais la démarche finale dépendra du contexte de mise en œuvre, des acteurs impliqués et de leurs objectifs.

2.3.1. EXPLICITER UN PROBLEME POUR AUGMENTER LA CONNAISSANCE ET CREER UNE VISION COMMUNE

FAVORISER L'APPRENTISSAGE PAR LA CONSTRUCTION D'UNE VISION COMMUNE

La complexité de la mise en œuvre de la résilience urbaine peut trouver des réponses dans les approches collaboratives qui ont précisément émergé pour traiter les problèmes liés à l'environnement : complexité, multiples enjeux et intérêts, nombreux acteurs impliqués (Toubin *et al.*, 2012a). Toutefois, les interactions entre villes, réseaux et risques ne sont pas encore entièrement connues et maîtrisées (cf. 1.2) et la connaissance des conditions de la résilience urbaine reste partielle (cf. 1.1). Aussi, le recours aux approches collaboratives vise à expliciter un problème, et non déjà à lui trouver une solution. Étant donné la multiplicité des acteurs concernés par l'amélioration de la résilience urbaine : aménageurs, élus, techniciens, gestionnaires de réseaux, responsables d'activités, populations, il s'agit de construire une vision commune du problème, d'en prioriser les enjeux avant d'en discuter les possibles réponses.

L'amélioration de la résilience urbaine reste un problème très vaste, intersectant de nombreux domaines de compétences (cf. 1.3), mais le rôle des services urbains est majeur. C'est une condition préalable nécessaire, mais pas suffisante, à la résilience de la ville. Aussi, ce travail est focalisé sur la construction d'une vision commune de la résilience urbaine autour de ce triptyque ville-réseaux-risques. C'est-à-dire que les aspects techniques, politiques, économiques ou sociaux ne sont étudiés que dans leur dimension liée aux services urbains : gouvernance des services urbains, rôle des usagers, résilience des composants bâtis des réseaux, stratégies de gestion des risques relatives aux services urbains, etc. Un certain nombre de questions sont donc écartées. Elles devront faire l'objet de recherches supplémentaires et être d'articulées dans une démarche globale d'amélioration de la résilience :

- formes urbaines ou dispositions architecturales résilientes (Balsells *et al.*, 2013) ;
- rôle des entreprises et des populations dans la résilience de la ville et possibilités d'amélioration ;
- lien entre structures de gouvernance et résilience à long terme, etc.

Cette démarche, maintenant ciblée sur les services urbains, a aussi l'avantage d'impliquer les différentes parties prenantes et de favoriser l'apprentissage collectif. En effet, la gestion des services urbains reste largement sectorielle et chaque gestionnaire tend à se limiter à sa propre vision des enjeux de la résilience. Il y a donc un fort besoin de co-construire une vision partagée du problème de la gestion des services urbains pour la résilience de la ville (cf. 1.3). « Une approche hypermoderne mathématise ce qui peut l'être mais pas plus, laisse la place à un travail empirique, praxéologique qui fait remonter ce qui peut ressortir des pratiques des acteurs, des structures de l'organisation et des dynamiques du territoire. » (Bertacchini, 2010). C'est dans la confrontation ou la mise en commun de ces pratiques que les enjeux de la résilience des services urbains pourront être précisés. Alors l'apprentissage se manifeste à trois niveaux (Pahl-Wostl *et al.*, 2007) :

- ~ à court terme au niveau des acteurs, directement lors du processus de collaboration ;
- ~ à moyen terme au niveau des changements dans le réseau d'acteur ;
- ~ à long terme au niveau des changements dans la structure de gouvernance.

L'apprentissage à court terme sera l'objectif premier mais il pourra être prolongé vers le plus long terme et les échelles de gouvernance supérieures. Dans le cadre de la gestion de la ressource en eau, l'application du concept de résilience et ses conséquences sur le paradigme de gestion se traduit par une transformation de la gouvernance suivant plusieurs étapes : pré-développement, lancement, accélération, stabilisation (Rijke *et al.*, 2013). L'étape de pré-développement repose sur la création de réseaux d'acteurs, informels et décentralisés, qui doivent être officialisés, catalysés et coordonnés par une structure formelle dans les étapes de lancement et d'accélération, avant d'être traduits en termes réglementaires dans l'étape de stabilisation. Ce travail initiant la gestion résiliente des services urbains, n'aboutira pas à l'officialisation du changement de paradigme mais il pourra essayer de tendre au moins vers l'implication des structures officielles.

AUGMENTER LA CONNAISSANCE D'UN PROBLEME PRECIS : LES INTERDEPENDANCES

Pour ce faire, il est nécessaire d'ancrer la recherche dans les préoccupations et les besoins des parties prenantes et donc d'en délimiter plus précisément le champ. Les retours d'expériences et l'analyse des services urbains (cf. 1.1.1) ont démontré l'importance des réseaux, pour le fonctionnement quotidien de la ville et, en cas de crise, ont explicité les enjeux particuliers de la gestion des services urbains. En particulier, les dispositions réglementaires imposent aux gestionnaires de prévoir et assurer la continuité de service mais aucune obligation n'est faite concernant le partage des informations et la coopération entre services pourtant fortement dépendants. Il semble donc que la question des interdépendances des services urbains soit un point critique concernant l'ensemble des réseaux et pour lequel la connaissance reste théorique (cf. 1.2.2). Cette problématique resserrée est donc le point de départ de l'analyse des conditions de l'amélioration de la résilience urbaine.

Si le problème est peu ou insuffisamment traité, c'est qu'il se heurte à de nombreuses réticences des gestionnaires de services urbains. En effet, leur dépendance vis-à-vis d'autres réseaux revêt un caractère critique pour des raisons commerciales et de sécurité (Blancher, 1998). La connaissance des points de consommation, des quantités nécessaires en énergie ou autres ressources sont des informations qui peuvent être utilisées contre le gestionnaire. C'est pourquoi de nombreuses approches ont tenté de se fonder sur des modèles théoriques, sans s'interroger sur la précision ou l'exhaustivité des informations. Pourtant, la description de ces interactions à partir du savoir des experts augmente la connaissance autour des interdépendances et permet également de déterminer si ces interdépendances dépendent du contexte urbain, du service, de son mode de gouvernance, de sa technologie.

Pour y parvenir, il faut donc contourner ou résoudre le problème de la confidentialité des données. Si les gestionnaires en sont d'accord, il pourrait s'agir de formaliser un accord de confidentialité pour le partage de ces données. Mais alors les résultats obtenus pourraient difficilement être diffusés et ne pourraient donc contribuer à l'avancée de l'analyse de cette problématique. Une approche en deux étapes est donc préférée afin de construire progressivement la confiance nécessaire à la collaboration. Le travail avec les gestionnaires débute par une description très globale du fonctionnement de leur service, ne nécessitant pas d'informations critiques mais permettant de dresser un premier portrait des interdépendances des services urbains. Puis si les gestionnaires adhèrent à la démarche, la description sera approfondie, probablement sur une zone géographique restreinte, pour ne pas livrer l'intégralité du fonctionnement des réseaux. Une deuxième analyse plus précise, et territorialisée pourrait alors initier une analyse plus poussée des interdépendances des services urbains.

2.3.2. IMPLIQUER LES EXPERTS ET LES DECIDEURS POUR UNE MEILLEURE COLLABORATION

IMPULSER LA COLLABORATION ENTRE LES ACTEURS DE LA VILLE

Pour traiter la problématique des interdépendances des services urbains, les parties prenantes doivent donc, dans l'idéal, œuvrer conjointement à la réalisation d'objectifs d'intérêt général, même s'ils ne répondent pas ou sont même contraires à leurs attentes individuelles (cf. Figure 2-4). Pour améliorer la résilience, l'objectif est donc bien de promouvoir la collaboration des parties prenantes. Cependant, la problématique des interdépendances est relativement technique. Il semble donc difficile au premier abord d'inclure toutes les parties prenantes dans la démarche, bien que les usagers soient majeurs pour la gestion des services urbains (cf. 1.2.3). Une approche participative de la gestion des interdépendances des services urbains impliquerait les populations, les acteurs professionnels, les experts et les décideurs sur un pied d'égalité, de sorte que chacun puisse exprimer son point de vue, apprendre comment son comportement influe sur l'ensemble des autres acteurs, et identifier des moyens de contribuer à la résilience des services urbains.

Or, si les gestionnaires de services urbains ne travaillent déjà que rarement ensemble, il apparait d'autant plus difficile d'intégrer des acteurs d'un autre « niveau » dans la démarche : usagers, élus, autres acteurs de la ville. En effet, il faut une grande expérience des conférences de consensus ou des forums hybrides pour parvenir à intégrer les acteurs sur un pied d'égalité sans placer les usagers en « demandeurs » auprès des gestionnaires de services urbains qui « rendent compte » de leur résilience. Pour réaliser une telle démarche, il faut déjà que l'ensemble des parties prenantes soit volontaire pour travailler conjointement, sans rapports de force, à une problématique commune. Pour l'objectif premier d'augmentation de la connaissance des interdépendances des services urbains et d'étude des conditions favorables à une meilleure résilience, l'implication des gestionnaires seuls semble déjà une première étape.

La population et les acteurs professionnels autres que ceux liés aux services urbains sont donc temporairement écartés. Il est cependant intéressant d'identifier comment les gestionnaires les perçoivent dans leur gestion des services urbains. Les pistes de recherche pour une complète participation autour de cette problématique sont abordées au chapitre 9. Finalement, cette recherche se place au sein des approches collaboratives dans le champ de la recherche de problèmes entre experts et décideurs (Figure 2-7).

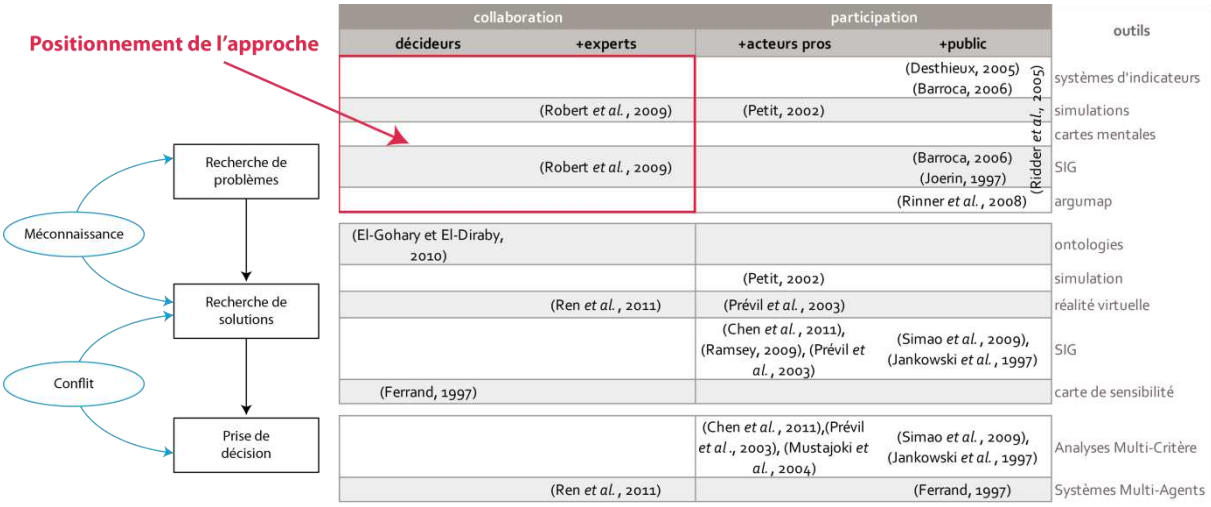


Figure 2-7 : Positionnement dans les approches collaboratives: la collaboration entre experts et décideurs pour la recherche d'un problème (Toubin *et al.*, 2012c)

L'état de l'art des approches collaboratives a permis d'identifier de nombreuses méthodes et outils pour faciliter le processus, mais le choix est fait de limiter la collaboration aux gestionnaires de services urbains. L'originalité de la démarche réside donc dans l'utilisation de méthodes participatives avec des acteurs professionnels, car déjà au sein de ce groupe, les objectifs sont quasiment aussi variés que si le public avait été impliqué. La limitation des parties prenantes aux personnes capables de s'organiser, de peser sur leur organisation et de décider permet également d'orienter le processus vers la recherche-action.

Vers la recherche-action

Dans le travail sur les interdépendances des services urbains, la connaissance est issue des gestionnaires, que ce soit des services privés, des services techniques de la ville ou des grands réseaux nationaux. Comme l'a montré l'expérience sur la gestion de la ressource en eau (Rijke *et al.*, 2013), il est important de s'appuyer également sur une autorité. Cependant, il est plus facile et pertinent de n'impliquer que des acteurs intervenant au même « niveau » dans la problématique. Concrètement, il faudra veiller à ce que la présence d'une autorité ne limite pas le partage d'informations ou la transparence des échanges. La cartographie des acteurs publics et privés liés à la gestion des services urbains montre les différents statuts ou niveaux de gouvernance ainsi que la complexité des interdépendances qu'il faudra affiner et quantifier avec les parties prenantes (Figure 2-8). Ainsi, au niveau des « autorités », c'est-à-dire les collectivités locales, différents niveaux peuvent avoir des rôles de commanditaires, de partenaires, de contrôleur ou directement de gestionnaire. C'est le choix du terrain d'étude qui détermine les acteurs à impliquer et les services étudiés.

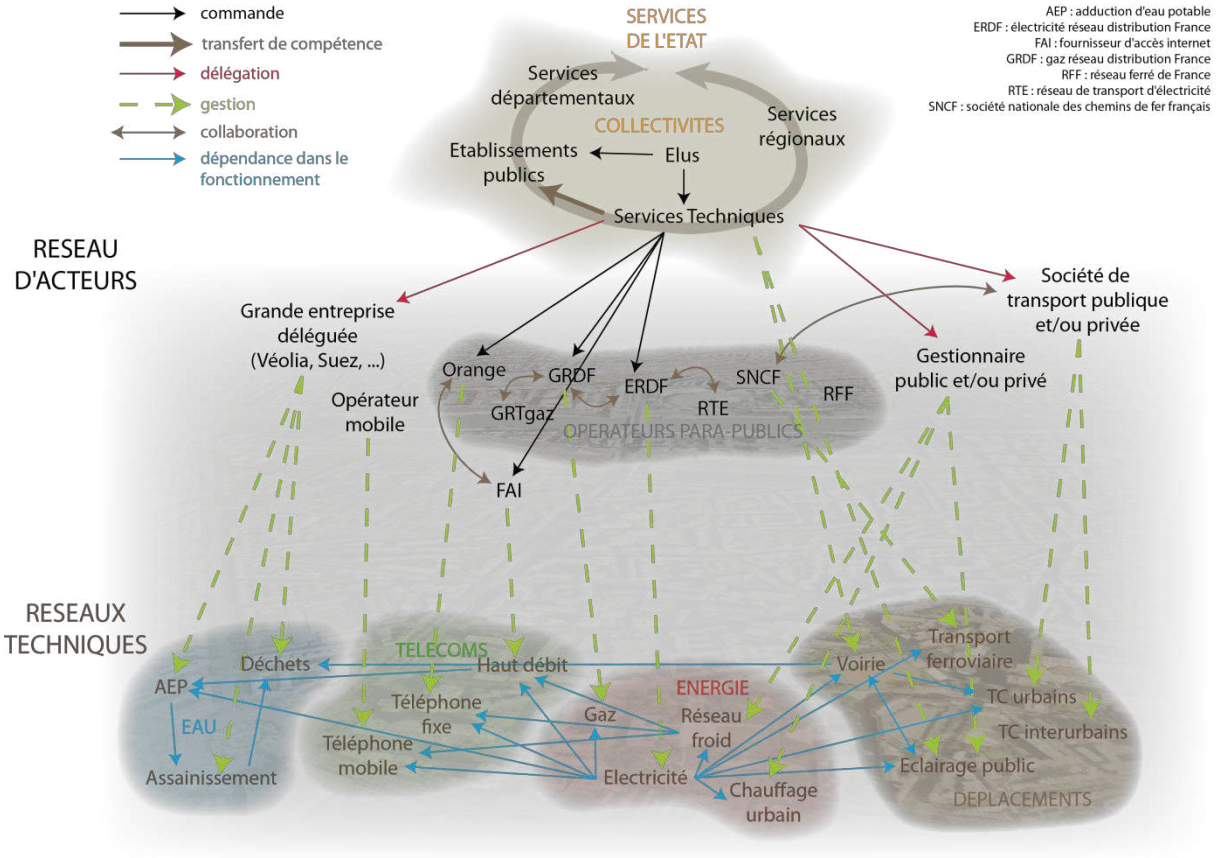


Figure 2-8 : Des réseaux interdépendants et des acteurs nombreux et déconnectés (Toubin *et al.*, 2012b)

Ainsi, dans cette approche, les experts sont également décideurs, ou en tout cas les experts conseillant les décideurs. L'équipe de recherche assiste alors la recherche-action en explicitant les fondements scientifiques et en produisant les analyses nécessaires à une discussion transparente et fructueuse. Comme indiqué précédemment, la démarche est initiée par une phase de diagnostic global visant à dépasser les problèmes de

confidentialité. D'un tel diagnostic ne pourront émerger que des solutions globales qui manqueront peut-être d'applicabilité ou de pertinence pour les gestionnaires. Cette première étape devrait donc les convaincre de l'intérêt d'une deuxième évaluation plus poussée, au niveau local (Figure 2-9). Il reste à déterminer les outils qui seront mobilisés dans les deux étapes, ainsi que le terrain d'étude, qui influera probablement sur ce choix.

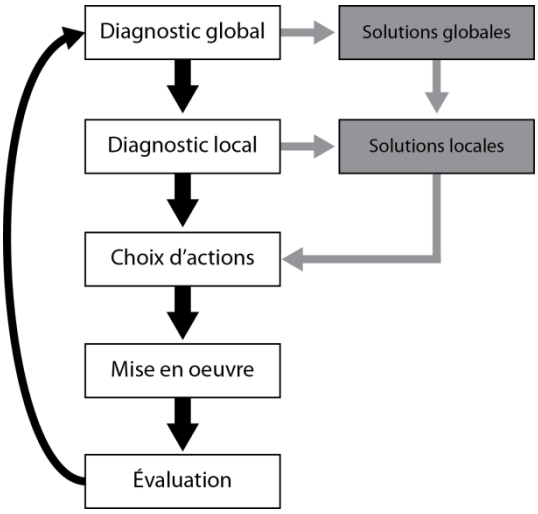


Figure 2-9 : Démarche de recherche-action initiée par une phase de diagnostic global, adapté de (O'brien, 2001)

Synthèse

L'état de l'art des approches collaboratives et l'analyse des enjeux de la problématique d'amélioration de la résilience urbaine permet le positionnement de cette recherche. Le problème de la résilience urbaine n'est pas suffisamment bien défini pour aller directement à l'identification de solution. Il faut d'abord détailler les difficultés auxquelles les gestionnaires font face dans l'amélioration de la résilience de leur service. En cela, les interdépendances sont une problématique majeure, mais relativement technique, qui exclut la participation des usagers dans un premier temps. La collaboration augmente la connaissance des gestionnaires concernant leurs interdépendances tout en construisant une vision commune adaptée pour appuyer des réflexions concernant les actions à mener. En cela, la démarche se rapproche de la recherche-action. Cependant, les difficultés liées à la confidentialité des données risquent de compromettre la pertinence de la démarche. Aussi la collaboration est impulsée par une première analyse globale des interdépendances ne nécessitant pas trop d'informations critiques.

2.4. SYNTHESE DU CHAPITRE

Bien que la réalité d'une émergence de la conscience environnementale soit contestée, le fait est qu'aujourd'hui de nouvelles approches se développent et s'officialisent pour répondre à ces nouvelles exigences. Face aux dégradations faites à l'environnement et à l'impératif de développement durable, la science post-normale est supposée apporter de nouvelles réponses. Lorsque la prise de décision ne peut plus se faire sur la base d'expertises fiables et complètes, elle requiert donc de nouvelles sources de connaissance. En particulier, la participation de toutes les parties concernées par un problème vise à faire émerger l'ensemble des points de vue pour réduire la complexité du problème et faciliter l'identification et la mise en œuvre d'une stratégie pour y répondre. Ainsi, les enjeux qui ont justifié ce passage à la science post-normale et le recours aux approches collaboratives recoupent une grande partie des enjeux identifiés pour la mise en œuvre de la résilience urbaine au chapitre 1.

Il apparait donc utile de s'appuyer sur les enseignements de l'utilisation des approches collaboratives dans ce champ environnemental proche de celui de la résilience. Tout d'abord, le recours aux approches collaboratives vise trois finalités bien différentes : la recherche d'un problème, la recherche de solutions ou l'implémentation de solutions. Si l'objectif final d'implémentation d'une solution relève bien souvent du manque de transparence du décideur, le flou entre les deux autres finalités peut être involontaire et nuire grandement à la démarche. Il est donc important de déterminer en premier lieu si l'on a suffisamment cerné le problème et que son expression emporte l'adhésion de toutes les parties prenantes. Tous les acteurs peuvent alors convenablement en déterminer une solution. Dans le cas de la résilience de la ville, les connaissances sont insuffisamment avancées pour aller directement à la recherche de solution. Le chapitre 1 a toutefois permis d'identifier l'un des enjeux majeurs dans la question de la résilience urbaine : les services urbains. À ce niveau-ci également, les connaissances sont insuffisantes pour identifier d'ores et déjà des stratégies permettant d'améliorer la résilience des services urbains. Il s'agit donc d'identifier les problèmes posés par la gestion des services urbains dans l'optique d'améliorer la résilience de la ville.

En plus de l'augmentation de connaissance favorisée par les approches collaboratives, l'apprentissage et l'adhésion des participants ont été démontrés par de nombreuses expérimentations ; ils sont essentiels à l'amélioration de la résilience urbaine. Différents niveaux d'apprentissage sont distingués. L'apprentissage à court terme des participants directs au processus sera l'objectif premier, mais la possibilité d'étendre la connaissance et la transformation des structures jusqu'aux institutions et la réglementation sera discutée. Pour cela, il faudra choisir avec attention les acteurs impliqués dans ce réseau et étudier l'opportunité et les moyens de maintenir la dynamique impulsée par la collaboration via la théorie de la traduction.

Les approches collaboratives peuvent impliquer des acteurs très divers, tant de la société civile que du privé. La manière de les impliquer influe fortement sur la démarche, sa finalité et les outils auxquels on a recours. La problématique étant maintenant resserrée autour des services urbains, l'implication des populations risque de compromettre la transparence des échanges entre des acteurs alors positionnés sur des niveaux différents : des usagers et des fournisseurs. Les gestionnaires de services urbains sont relativement réticents au partage d'informations concernant leur fonctionnement et leurs défaillances. Il apparait donc plus productif, dans un premier temps, de limiter la démarche à un groupe d'acteurs ayant des problèmes et des contraintes similaires mais qui collaborent peu entre eux. Ainsi, le recours aux les approches collaboratives, au départ destinées à faciliter la participation du public, devra faciliter la collaboration entre gestionnaires de services urbains.

Pour cela, de nombreux outils sont utilisés dans les processus collaboratifs, en fonction des participants, des objectifs visés, des moyens à disposition, du temps, etc. Tout d'abord les approches aterritorialisées permettent d'appuyer une réflexion théorique, fondée sur des comportements ou des phénomènes modélisés qui ne pointent pas du doigt tel ou tel acteur : ontologies, analyses multicritères, jeux de rôles, simulation, système multi-agents. Certains de ces outils peuvent avoir une dimension géographique, ils appartiennent

alors aux outils territorialisés. Ils visent à représenter une certaine réalité à l'aide de la modélisation : SIG, cartes d'argumentation, cartes mentales, etc. Les réticences des gestionnaires de services urbains étant particulièrement fortes lorsqu'il s'agit de localiser leur réseau et leurs infrastructures, l'approche géographique semble à la fois délicate et indispensable pour réellement appréhender la résilience des services urbains. La démarche choisie repose donc sur une première étape aterritorialisée visant à analyser de manière globale la gestion des services urbains. La première étape est ensuite suivie par une analyse territorialisée mais restreinte géographiquement, si les gestionnaires sont volontaires.

La démarche pensée ici dépend donc de la volonté des participants ; il s'agit de les mobiliser tout en répondant également à leurs besoins. La démarche s'inscrit donc en ce sens dans la recherche-action, même s'il semble ambitieux de parvenir aux « actions ». Le processus mais aussi les outils dépendent donc des parties impliquées et de leur intérêt. Ils évolueront donc probablement avec le choix du terrain d'expérimentation et les résultats des premières étapes.

Chapitre 3 : La recherche-action avec les gestionnaires parisiens

Dans la recherche sur la résilience urbaine, l'application à un cas d'étude permet d'identifier les spécificités urbaines qui influent sur la résilience de la ville. Il ne s'agit pas de rechercher des généralisations mais d'identifier les facteurs-clés, puis de comparer ces résultats avec d'autres territoires. Ainsi le choix du terrain d'étude est majeur puisqu'il détermine la portée des résultats. Dans une perspective de travail collaboratif, le terrain d'étude doit également permettre le travail de proximité avec les acteurs de la ville et l'échange d'informations éventuellement sensibles.

Cette recherche est appliquée à Paris, du fait des enjeux nationaux et internationaux qu'il pose, dans un contexte urbain et de risque qui lui sont propres. Ce chapitre met en avant les spécificités techniques et organisationnelles de la ville et de l'agglomération. Par ailleurs, le contexte de risque particulier, avec une perturbation majeure dont le dernier évènement remonte à cent ans, motive le choix du terrain d'étude parisien. Suite à l'inondation de 1910, une commission a été instituée par le décret du 9 février 1910 afin de faire la lumière sur les causes de l'évènement et identifier les mesures prises durant la crise.

> Mais le gouvernement estime qu'il ne suffit pas de régler le présent ; il est nécessaire d'envisager l'avenir. Il faut rechercher toutes mesures propres à prévenir le retour de pareils fléaux, ou, tout au moins, à en diminuer l'intensité ; il faut déterminer les précautions à prendre pour éviter que des inondations comme celles qui viennent de sévir notamment sur Paris et sa banlieue ne soient une cause de trouble et même d'arrêt pour les services publics essentiels, dont dépend la vie même de la nation : moyens de communication (chemins de fer, tramways, postes, télégraphes, téléphones), éclairage, chauffage et distribution de la force motrice par le gaz et l'électricité. (rapport au président de la République, par Aristide Briand, président du Conseil, ministre de l'Intérieur et des Cultes).

De cette commission présidée par Alfred Picard, président de section au Conseil d'État et membre de l'Académie des sciences, naissent de nombreux rapports issus des travaux de divers ingénieurs et responsables, sur les différentes thématiques identifiées [20]. Ils sont aujourd'hui une source d'information précieuse pour la compréhension des facteurs aggravants et ont donc appuyé de nombreux travaux d'amélioration. Ainsi, cet évènement de référence et la manière dont il est abordé aujourd'hui par les gestionnaires de services urbains et les multiples autorités franciliennes fournissent une matière riche d'analyse du concept de résilience urbaine. Le contexte urbain parisien est donc analysé au regard de ce risque afin d'identifier les manques dans les réponses actuelles qui justifient la démarche collaborative avec les gestionnaires de services urbains.

[20] L'ensemble des rapports, dont le « rapport Picard » qui en fait la synthèse, est disponible sur le site de la DRIEE (http://www.driee.Île-de-France.developpement-durable.gouv.fr/le-rapport-picard-analyse-de-la-a234.html)

3.1. SPECIFICITES DU CONTEXTE URBAIN PARISIEN FACE AUX RISQUES

L'agglomération parisienne est exposée à un risque de crue majeure mais peu fréquente. L'inévitable survenue de l'inondation inquiète d'autant plus les autorités qu'elles voient les autres grandes villes mondiales touchées durement, parfois à quelques années d'intervalle, par des évènements similaires (New York ou Prague par exemple). L'inondation de 1910 focalise toute l'attention car elle est riche d'enseignements pour le Paris moderne qui se profilait déjà à l'époque. Il est d'ailleurs intéressant de noter que le statut de ville mondiale de Paris (incarné notamment par l'exposition universelle de 1900) n'a pas été remis en question après l'inondation de 1910. Mais les études prospectives montrent qu'une telle inondation aujourd'hui serait bien plus critique pour la métropole avec ces enjeux économiques et politiques majeurs, appuyés sur des services urbains complexes.

3.1.1. SITUATION EN 1910

ÉVENEMENT FAISANT AUJOURD'HUI REFERENCE

Le 19 janvier 1910, après des précipitations intenses dont l'infiltration a été fortement limitée par les sols déjà saturés (du fait de précipitations déjà exceptionnelles à la saison chaude), la Seine entre en crue, pour ce qui sera l'un des évènements majeurs du Paris moderne. En réalité, l'inondation à Paris est due à la conjonction d'une crue de l'Yonne, du Loing et du Grand Morin, suite à des précipitations exceptionnelles du 18 au 21 janvier[21] et des crues exceptionnelles de la Haute-Seine et de la Marne. La cote de la Seine atteint ainsi 6 m à Austerlitz le 22 janvier, soit presque 3 m d'augmentation en 3 jours. La crue est entretenue par une nouvelle série de pluie et de fonte partielle de neige à partir du 23 janvier, amenant vers la crue maximale le 28 janvier à 8,62 m à Paris (Nouailhac-Pioch et Maillet, 1910). La décrue est d'abord assez rapide (Figure 3-1) mais la Seine ne rejoint son lit normal (2,5 m à l'échelle d'Austerlitz) que le 16 mars 1910.

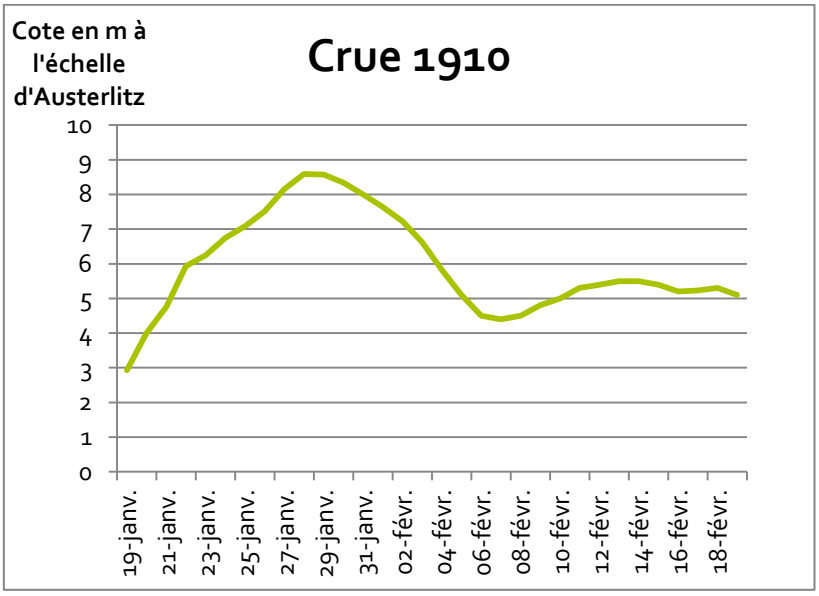


Figure 3-1 : Reconstitution des niveaux de la Seine relevés à 10h à l'échelle d'Austerlitz (d'après les données Vigicrue)

L'annonce de la crue a été permise par la mise en place, depuis Belgrand (en 1854), d'un service d'annonce des crues : le service hydrométrique central de la Seine, appuyé sur une centaine de stations de mesure sur

[21] Voir également les reconstitutions de Météo France (http://climat.meteofrance.com/chgt_climat2/bilans_climatiques/archives/autres/crue1910?page_id=16618)

l'ensemble du bassin versant de la Seine et une vingtaine de stations d'observation des pluies. Malgré des conditions de travail dégradées du fait de difficultés de télécommunications, les annonces à 24 heures du service ont été relativement fiables (89 % des prévisions réalisées au-dessus de la vérité mais avec un écart de 0 à 0,38 mètres) (Nouailhac-Pioch et Maillet, 1910). Ainsi, grâce à la prévision, de nombreux moyens ont été mobilisés préventivement (même si certains n'ont pu être mis en œuvre, faute d'anticipation suffisante) pour protéger les personnes et les biens et limiter l'impact de l'inondation sur la ville (Figure 3-2).

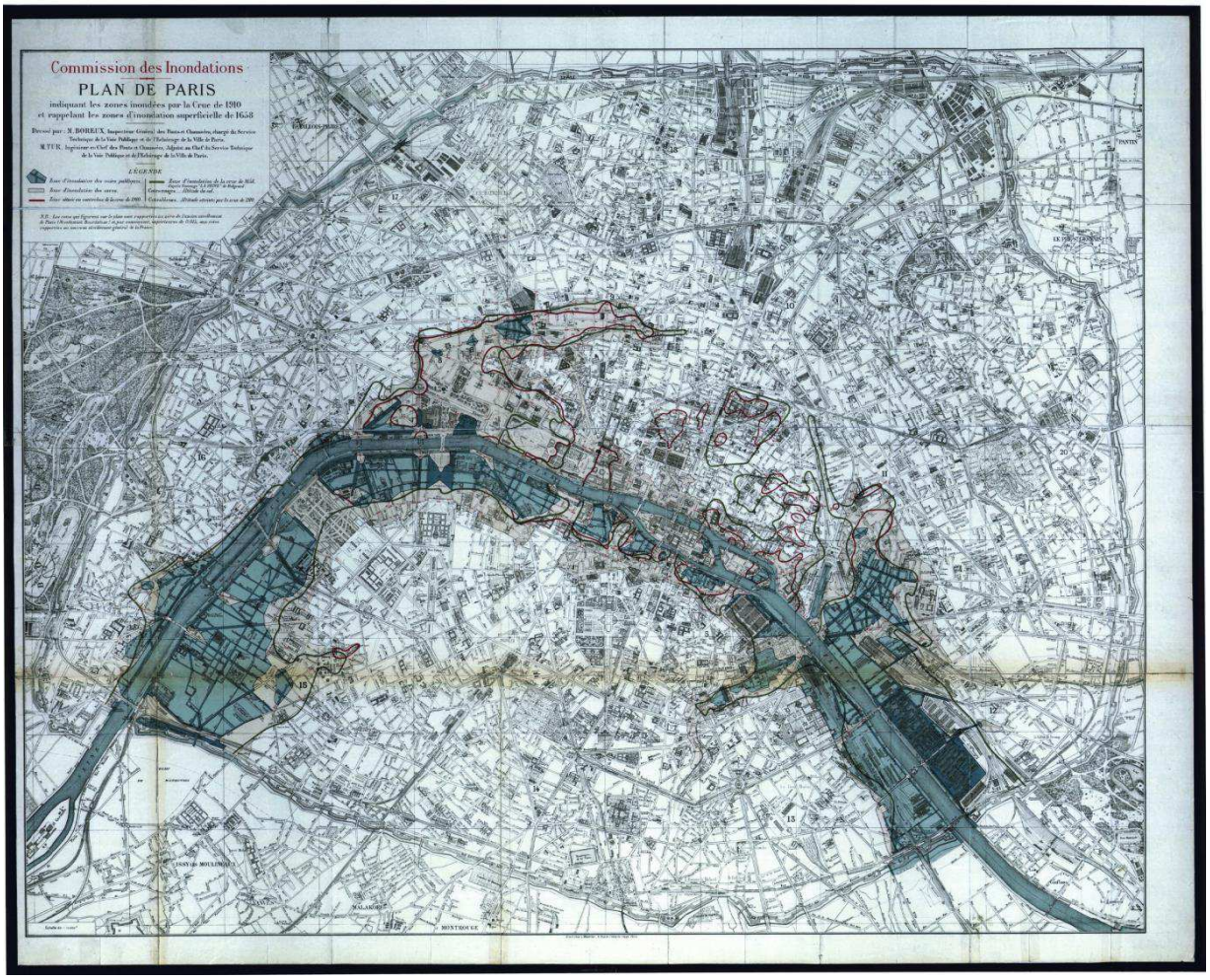


Figure 3-2 : « Plan Boreux » des surfaces inondées (source : commission des inondations)

Avant de faire le point sur les dommages aux réseaux, il faut mentionner que la capitale est au bord de la paralysie totale (Reghezza, 2006) malgré la mobilisation des armées et le recours aux tramways hippomobiles, aux cheminements par passerelle et à tout un ensemble de solutions improvisées. L'édition spéciale du Journal des Débats parue en février 1910 donne à voir la vie quotidienne du Paris inondé, à travers de nombreuses planches photographiques. La ville reste coupée en deux du point de vue des transports par voiture (Le journal des débats, 1910) ; les lignes de chemins de fer d'Orléans et des Moulineaux (actuel RER C) aggravent l'inondation des quartiers Austerlitz, Saint-Germain-des-Prés et Invalides ; des lignes en construction (actuelles lignes 12 et 13) entrainent l'inondation du quartier de la gare Saint-Lazare ; le trafic ferroviaire est interrompu du 28 au 30 janvier à gare de Lyon. Les horloges publiques s'arrêtent ; le chauffage également, sachant que le froid et la neige s'abattent au même moment sur Paris. Le Palais Bourbon et le Palais de Justice sont notamment privés de chauffage mais poursuivent cependant leurs décisions (en l'occurrence le vote du budget pour l'Assemblée) et leurs jugements. Puis le rétablissement est long ; le nettoiement des rues et des caves inondées prend deux mois ; les dommages sont considérables. Les infrastructures sont particulièrement touchées, notamment la voirie dont les pavés en bois ont été soulevés et seront remplacés par des pavés de

pierre ; les ponts dont beaucoup ont inquiété mais aucun n'a cédé ; les quais, mais également le bâti avec certains immeubles évacués car menaçant ruine.

IMPACT SUR LES RESEAUX

N'échappant pas à l'endommagement majeur des réseaux par les catastrophes (cf. 1.1.1), les services urbains parisiens ont été fortement perturbés en 1910. La commission des inondations a dressé un bilan complet des dégradations et des pertes de services subies par les principaux systèmes techniques de l'époque :

- Pour les déplacements (Figure 3-3) : certains ponts ont été interdits à la circulation mais aucun n'a cédé (Drogue, 1910) ; l'ensemble des voies de chemins de fer urbains (lignes de la gare d'Austerlitz vers la gare du quai d'Orsay et celle des Invalides vers les Moulineaux) a été paralysé avec des perturbations longues pour les usagers et des dommages matériels importants (Rousseau, 1910a) ; les lignes vers Lyon et Orléans ont été coupées (Boreux *et al.*, 1910 ; Rousseau, 1910b) ; le service des tramways a été fortement perturbé, soit par l'inondation des voies, soit par le manque d'énergie (vapeur ou électricité) (Hétier, 1910) ; le réseau de métropolitain a été fortement touché (31 km de réseau inexploité sur les 63 km totaux) (Hétier et Bienvenüe, 1910).
- Le réseau de gaz a également été inondé (Figure 3-5 et Figure 3-3), privant de nombreux abonnés et compromettant l'éclairage public (Boreux et Tur, 1910b).

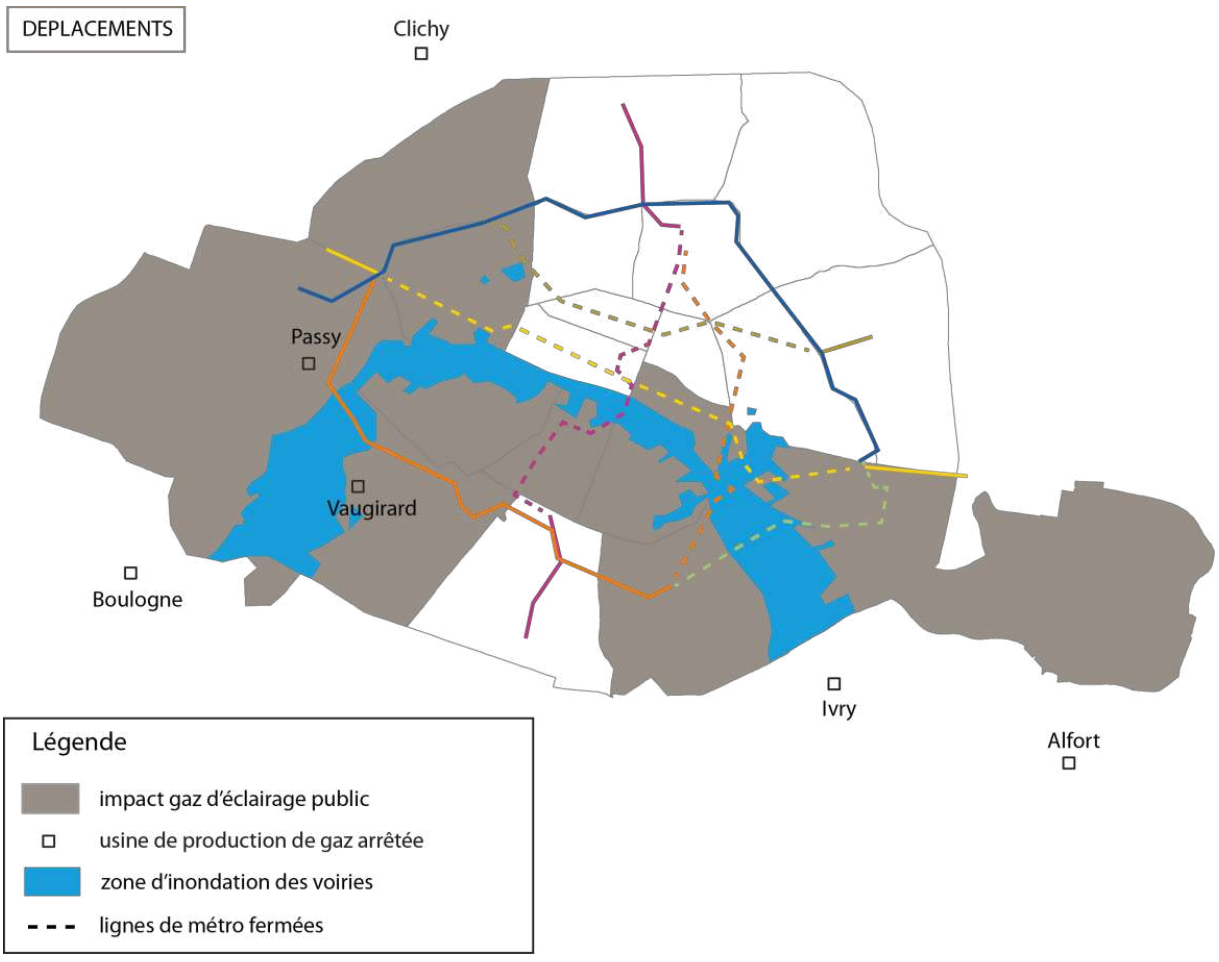


Figure 3-3 : L'arrêt de la distribution de gaz impacte l'éclairage public, les voies bordant la Seine sont inondés et de nombreuses lignes de métro sont arrêtés (les lignes 7, 8, 3 bis et 7 bis en construction étant également impactées) (données issues des rapports de la commission des inondations (Hétier et Bienvenüe, 1910 ; Boreux et Tur, 1910b)) (Toubin *et al.*, 2014a)

~ Pour les télécommunications (Figure 3-4) : le Poste central des télégraphes par lequel transite plusieurs millions de communications chaque année a dû fonctionner manuellement du fait de l'inondation de ses installations électriques et électroniques en sous-sol, par les réseaux d'égouts et les entrées de câbles ; les télégraphes ont donc été péniblement maintenus, sauf pour la banlieue qui dépend aussi du Poste central (Bordelongue, 1910) ; le réseau pneumatique a bien supporté l'épreuve de l'inondation ; le réseau téléphonique par contre a été durement touché avec de nombreux abonnés privés de service et des dommages majeurs (Estaunié, 1910).

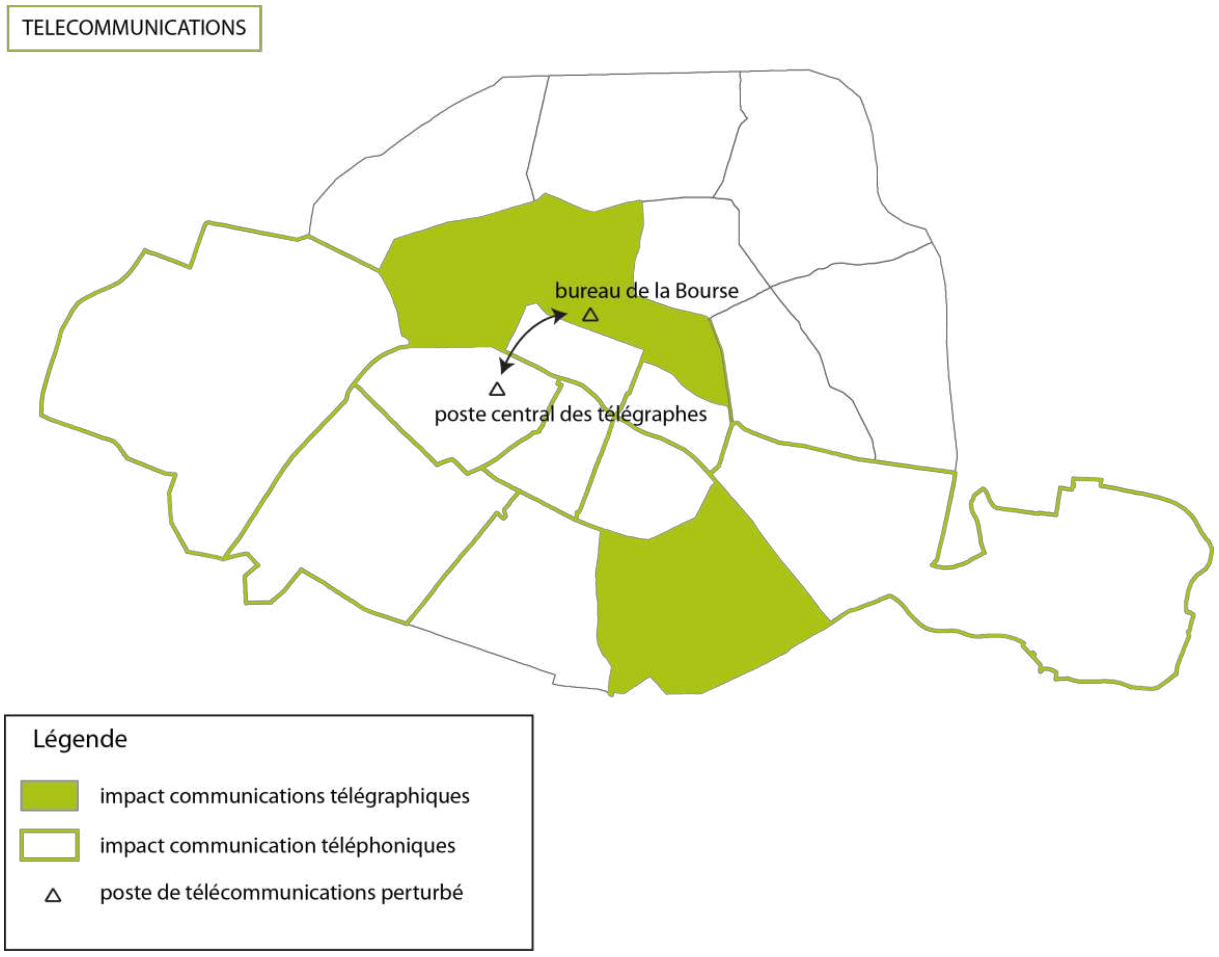


Figure 3-4 : Les communications télégraphiques sont perturbées par l'atteinte du poste central, le téléphone est coupé pour de nombreux abonnés (données issues des rapports de la commission des inondations (Bordelongue, 1910)) (Toubin et al., 2014a)

- Les six secteurs de distribution d'électricité ont été touchés (Figure 3-5) : usines de production, sous-stations, galeries, transformateurs, etc. (Boreux et Tur, 1910a).
- Le réseau d'air comprimé (qui servait aux horloges et aux ascenseurs) a été fortement impacté, au niveau de l'usine mais également des canalisations se trouvant dans les égouts (Boreux et Tur, 1910c).

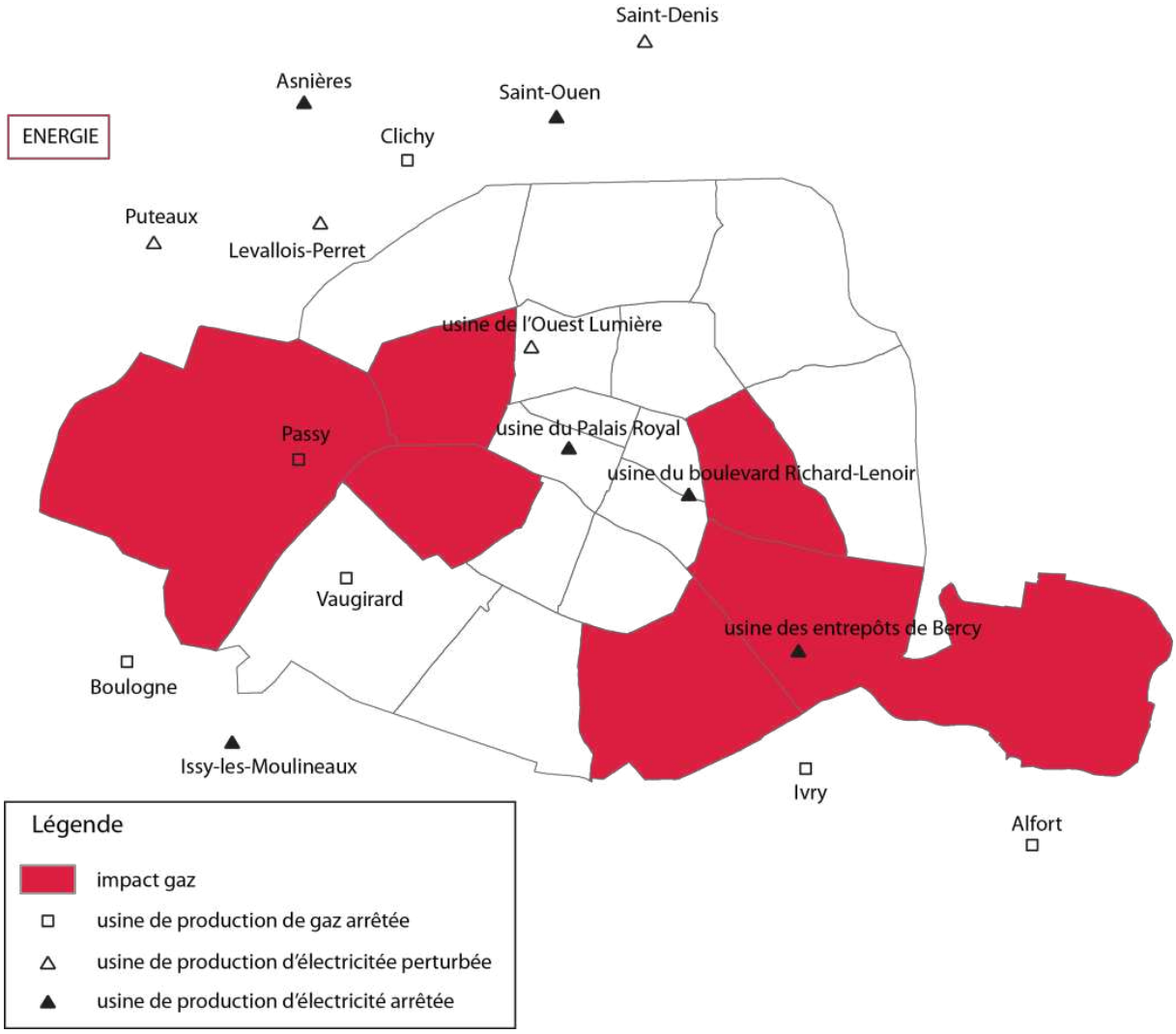


Figure 3-5 : De nombreuses usines de production d'électricité sont impactées, mais l'usage de l'électricité est encore peu développé, l'impact majeur tient à l'arrêt des usines de production de gaz (données issues des rapports de la commission des inondations (Boreux et Tur, 1910a et 1910b)) (Toubin *et al.*, 2014a)

- Le système d'assainissement, nouvellement conçu par Belgrand, a remarquablement assuré son rôle durant la crue ; l'évacuation des fosses de vidange pour les immeubles n'étant pas raccordés au tout-à-l'égout a cependant été difficile car effectuée par transport routier ou fluvial ; des rejets ont donc eu lieu en Seine, la nuit (Colmet-Daâge, 1910) (Figure 3-6).
- L'alimentation en eau potable ne fait l'objet d'aucun rapport car « le service de l'agglomération parisienne n'a cessé, en effet, d'être assuré dans des conditions irréprochables » (Picard, 1910).
- Les trois usines de traitement des ordures ménagères (Issy-les-Moulineaux, Saint-Ouen et Vitry-sur-Seine) ont été inondées ou rendues inaccessibles et l'évacuation des déchets a été problématique (les déchets ont alors été rejetés directement en Seine) (Bonnier, 1910) (Figure 3-6).

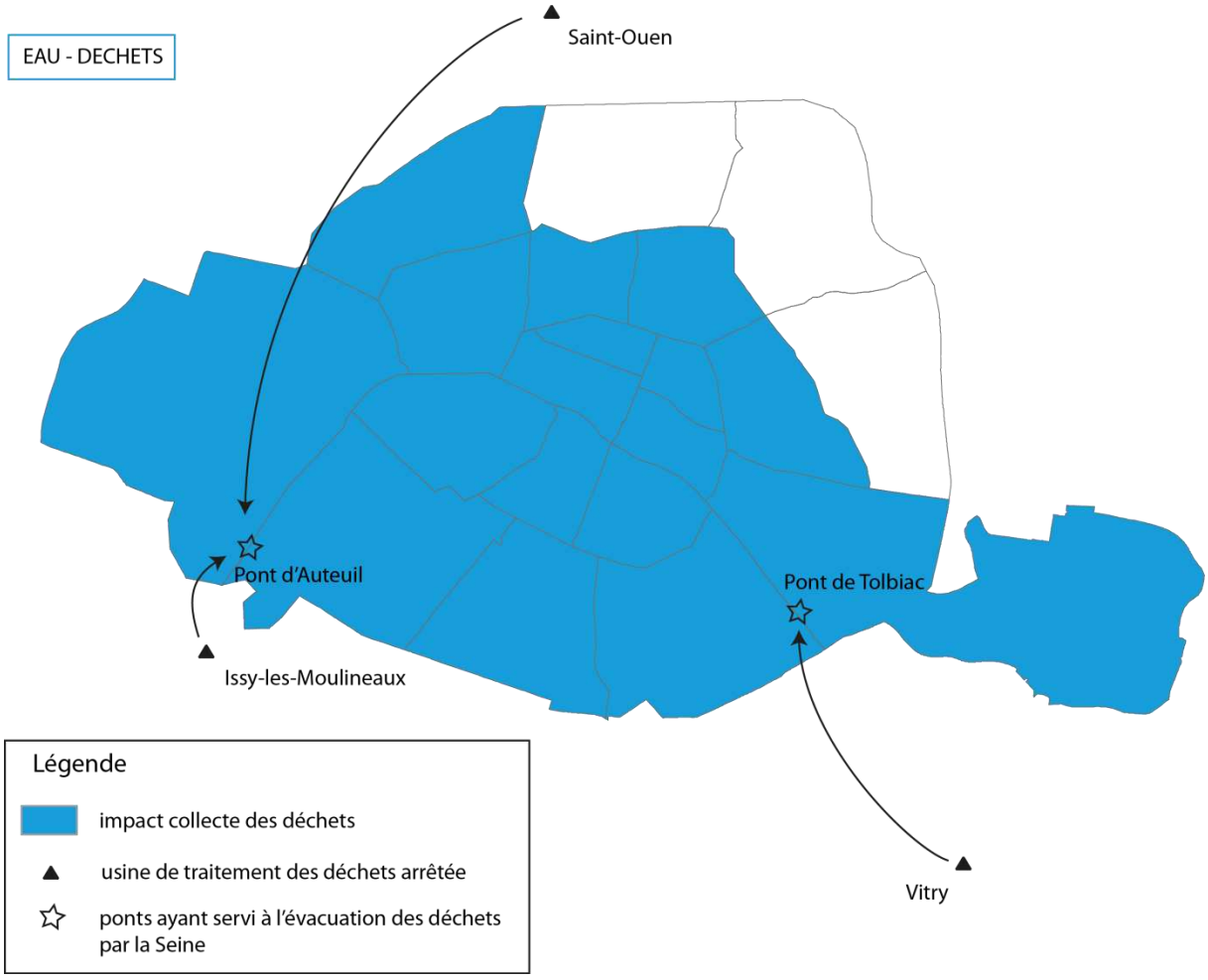


Figure 3-6 : La quasi-totalité des arrondissements est touchée par les difficultés de collecte et de traitement des déchets, le réseau d'eau potable est encore peu développé et le réseau d'égouts a bien fonctionné (données issues des rapports de la commission des inondations (Bonnier, 1910)) (Toubin *et al.*, 2014a)

Ces rapports très bien documentés permettent de quantifier plus précisément les impacts, de les localiser et de mettre en avant les conséquences sur le service ainsi que les mesures palliatives ayant été mises en place durant la crise (Tableau 3-1). L'intérêt de ce travail historique est d'identifier les points forts et les points faibles des services urbains de l'époque et de les comparer à la situation actuelle. En effet, l'évènement de 1910 a impulsé de nombreux travaux d'aménagement et de renforcement des réseaux mais certains points faibles apparaissent toujours aujourd'hui (cf. parties 2 et 3). On pourra alors s'interroger sur les capacités de résilience du système urbain, en particulier sur le temps long et l'évolution de la dépendance ou des capacités d'apprentissage (cf. partie 4).

Tableau 3-1 : Synthèse des impacts subis par les services urbains en 1910

Service	Zones touchées	Impacts	Nombre de personnes/clients impacté	Durée de la perturbation	Temps de retour à la normale	Mesures prises
Électricité	usines de Saint-Ouen, bd Richard-Lenoir, Palais Royal, Asnières, Issy-les-Moulineaux, entrepôts de Bercy, Ouest Lumière, Saint-Denis, Levallois-Perret, Puteaux plusieurs sous-stations	interruption des services, inondation des sous-sols, inondation des chaufferies, endommagement de 1 619 postes de transformation, boîtes de coupe-circuits détruites, boîtes de fonction et de dérivation endommagées, service perturbé		6 jours	1 mois	énergie empruntée de l'usine de Saint-Denis, construction de barrages, construction d'une usine provisoire
Gaz d'éclairage	usines : Alfort, Passy, Boulogne, Vaugirard, Clichy, Ivry particuliers : arrondissements 7, 8, 11, 12, 13, 16 éclairage publique : arrondissements 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 16, 17	approvisionnement en charbon par fleuve perturbé, ennoiement des canalisations (120,5 km), manque de gaz, 5 837 appareils endommagés	30 000 abonnés	1 semaine (4 jours pour l'éclairage public)	2 mois	conduites provisoires en plomb, éclairage de fortune
Assainissement	rue Saint-Honoré, boulevard Haussmann, avenue de Suffren	rupture d'égout le long d'une fouille	négligeable	négligeable	négligeable	pompage de l'eau
Déchets	arrondissements 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17		23 000 immeubles			
Chemin de fer Austerlitz-Orsay et Invalides		submersion, déversement dans les rues avoisinantes, voies inondées, Pont d'Austerlitz inondé		7 jours		au début, pompage de l'eau
Chemin de fer métropolitain à Paris	Bercy, Austerlitz, Île-de-la-Cité, Concorde, canal Saint-Martin, bd Bourdon, bd Richard Lenoir,bd République, rue Saint-Lazare, Madeleine, rue Saint-Florentin, place Pereire, porte de Champerret	inondation de 19,4 km de lignes en fonctionnement et de 7,5 km de lignes en construction, interruption du service sur 31 km		4 jours		pompage de l'eau, construction de barrières
Tramway	toutes les lignes sauf le funiculaire de Belleville et le chemin de fer sur route de Paris à Arpajon	inondation de chaussées, effondrement des chaussées, interdiction de la circulation, obstruction des voies		7 jours	1 mois	services de rabattage, services de navettes, utilisation des puits des voisins maraîchers, prêt d'énergie
Télécommunications télégraphiques	proche banlieue, Seine-et-Marne, Seine-et-Oise, arrondissements 2, 3, 8, 9, 13	474 fils hors service, calorifères inondés		7 jours	réseau urbain : 15 jours, banlieue : 2 mois, grandes communications : plus long	chauffage de fortune, pompage de l'eau (2 jours), communications de fortune
Télécommunications téléphoniques	arrondissements 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 16, banlieue	32 chambres de coupure inondées sur 147, 14 705 circuits hors service à Paris, 141 circuits interurbains interrompus, 1 500 lignes auxiliaires inutilisables, 16 bureaux inondés en banlieue	14 000 abonnés			

3.1.2. Aujourd'hui, une situation de risque importante et un territoire a enjeux

Paris face aux risques

Paris n'est pas exposé seulement au risque d'inondation, d'autres risques naturels pourraient perturber fortement la ville : tempête du type de 1999, canicules comme en 2003 et 2006 ; mais surtout, d'autres risques technologiques ou sociaux. En effet, la centralisation extrême des pouvoirs décisionnels et administratifs ainsi que la concentration des activités économiques et la forte densité de population font de la région Île-de-France un pilier majeur de la résilience de la France. En particulier, les risques terroristes sont estimés bien plus élevés à Paris, ce qui se traduit par une vigilance accrue de la Préfecture de Police (PP). Les mesures de réduction du risque terroriste sont rassemblées dans le plan Vigipirate, s'appliquant notamment aux transports en commun ou à l'aménagement urbain. Par exemple, l'occupation de l'espace public est soumise à validation par la Préfecture de Police, les caméras de surveillance quadrillent l'espace public et le mobilier urbain doit également faciliter la vigilance (les anciennes corbeilles parisiennes ont été remplacées par des sacs transparents verts).

La concentration des populations et des activités rend également le territoire vulnérable aux aléas climatiques. Les épisodes de neige, par exemple, perturbent rapidement l'activité de la région, à l'instar de difficultés d'approvisionnement en carburant, mais également en toute autre ressource massivement utilisées par les entreprises et les industries. Les épisodes de canicule sont également redoutés, notamment du fait de la grande vulnérabilité des populations urbaines, souvent isolées et exposées à l'aggravation des températures par l'effet d'îlot de chaleur urbain. La canicule de 2003 a cependant permis de mettre en place plusieurs dispositifs d'alerte, de sensibilisation et d'action qui ont fait leurs preuves en 2006 et continuent d'être activés chaque été par la Mairie de Paris. Donc, pour ces épisodes climatiques extrêmes mais finalement récurrents, les actions sont bien rôdées et les plans activés chaque année permettent le maintien de la vigilance et la vérification régulière des procédures, des personnes mobilisées, etc.

Il en va de même pour les faibles crues de la Seine qui submergent quasiment chaque année les voies sur berges et perturbent la navigation ou les réseaux d'assainissement. Les gestionnaires concernés activent régulièrement les niveaux bas de leurs plans et mettent en œuvre des mesures de sauvegarde maintenant habituelles. Durant les trois années de thèse, deux faibles crues ont légèrement perturbé ces services : 3,5 m le 29 décembre 2010 et 3,8 m le 6 février 2013 à l'échelle d'Austerlitz. Mais les crues majeures de la Seine sont plus rares, même si l'évènement de 1910 n'est pas le dernier en date. On note notamment deux crues dépassant 7 m en 1924 et 1955, et un évènement dont certains gestionnaires ont encore la mémoire en 1982 (Tableau 3-2).

Tableau 3-2 : Crues de la Seine depuis 1910, d'après A. Goubet cite in (Reghezza, 2006)

Date	Hauteur en m à Austerlitz	Date	Hauteur en m à Austerlitz
29/01/1910	8,42	16/02/1945	6,85
20/11/1910	5,97	23/01/1955	7,12
10/01/1919	6,11	28/02/1958	5,49
05/01/1920	6,65	19/01/1959	6,22
12/03/1923	5,32	19/01/1968	5,46
31/12/1923	6,04	27/02/1970	5,63
06/01/1924	7,32	02/04/1978	5,73
08/01/1926	6,06	14/01/1982	6,15
01/12/1930	6,08	23/12/1982	5,21
12/03/1931	5,86	13/04/1983	5,22
04/03/1937	5.21	15/02/1988	5.37
04/11/1939	5.12	31/12/1999	5.19
11/02/1941	5.85	24/03/2001	5.21
04/12/1944	6.03		

Il semble utile ici de rappeler les notions de base sur la prévision et la période de retour. Une crue centennale a une chance sur cent d'arriver, tous les ans. Elle n'a pas plus de probabilité d'arriver demain car cela fait plus de cent ans que le dernier évènement a eu lieu. En revanche, ce qui est certain c'est qu'il sera délicat d'évaluer la période de retour d'une éventuelle crue car de nombreux facteurs ont modifié à la fois le climat, le fleuve et le territoire. En particulier, les effets du changement climatique sont méconnus (Ducharne, 2010). Si l'étude des périodes de retour et des probabilités d'occurrence est incertaine, la prévision à court terme lors d'épisodes pluvieux intenses est plus aisée mais comporte également des incertitudes.

La prévision relève de l'État et vise à informer le plus précisément possible les autorités de l'ampleur de l'évènement attendu, et ce avec la plus grande anticipation possible. Sur des bassins versants comme celui de la Seine, les phénomènes initiateurs sont quantifiables et la réponse du bassin versant peut être prévue afin d'évaluer les volumes et les vitesses propagés tout au long du fleuve. Pour Paris, c'est le service de prévision des crues (SPC) Seine moyenne-Yonne-Loing (hérité du service hydrométrique central de la Seine mis en place par Belgrand (cf. 3.1.1)), qui modélise l'impact des pluies sur le bassin versant, prévoit les phénomènes de crue et alerte les autorités locales via le site internet Vigicrues[22] notamment. Cependant, malgré de nombreux exercices plutôt encourageants (Lacaze *et al.*, 2010), ce dispositif n'a pas encore pu faire ses preuves en temps de crue car les derniers évènements majeurs sont antérieurs à 1982 (Tableau 3-2). Sans entrer dans les modèles de prévision complexes, il est important de mentionner ici les facteurs qui peuvent entraver une prévision fine et fiable :

- les données météorologiques d'entrée ;
- l'état initial du bassin versant (humidité) ;
- les influences externes des barrages et des exploitants comme voies navigables de France (VNF) ;
- la complexité du fonctionnement des bassins (confluences, nappes, etc.) ;
- les outils de prévision eux-mêmes.

[22] http://www.vigicrues.gouv.fr/

Le rôle des exploitants comme les Grands Lacs de Seine ou VNF est donc majeur pour la prévision puisque les lacs-réservoirs peuvent retenir une partie des volumes (cf. paragraphes suivants) quand, à l'inverse, le maintien de la navigation nécessite la propagation plus rapide des volumes vers l'aval grâce aux ouvrages de régulation. Si le SPC n'est pas informé des actions de ces gestionnaires, il ne peut pas prévoir correctement les hauteurs d'eau. Par ailleurs, l'urbanisation massive de la région parisienne, et des régions situées à l'amont, a explosé depuis 1910, avec notamment des surfaces très importantes imperméabilisées depuis 1982 (Figure 3-7). Si cette évolution n'est pas négligeable pour les hauteurs d'eau mesurées dans l'agglomération, à dire d'expert, les volumes qui feront la prochaine inondation majeure seront plus probablement issus du large bassin versant amont de la Seine (Bourgogne, Champagne-Ardenne).

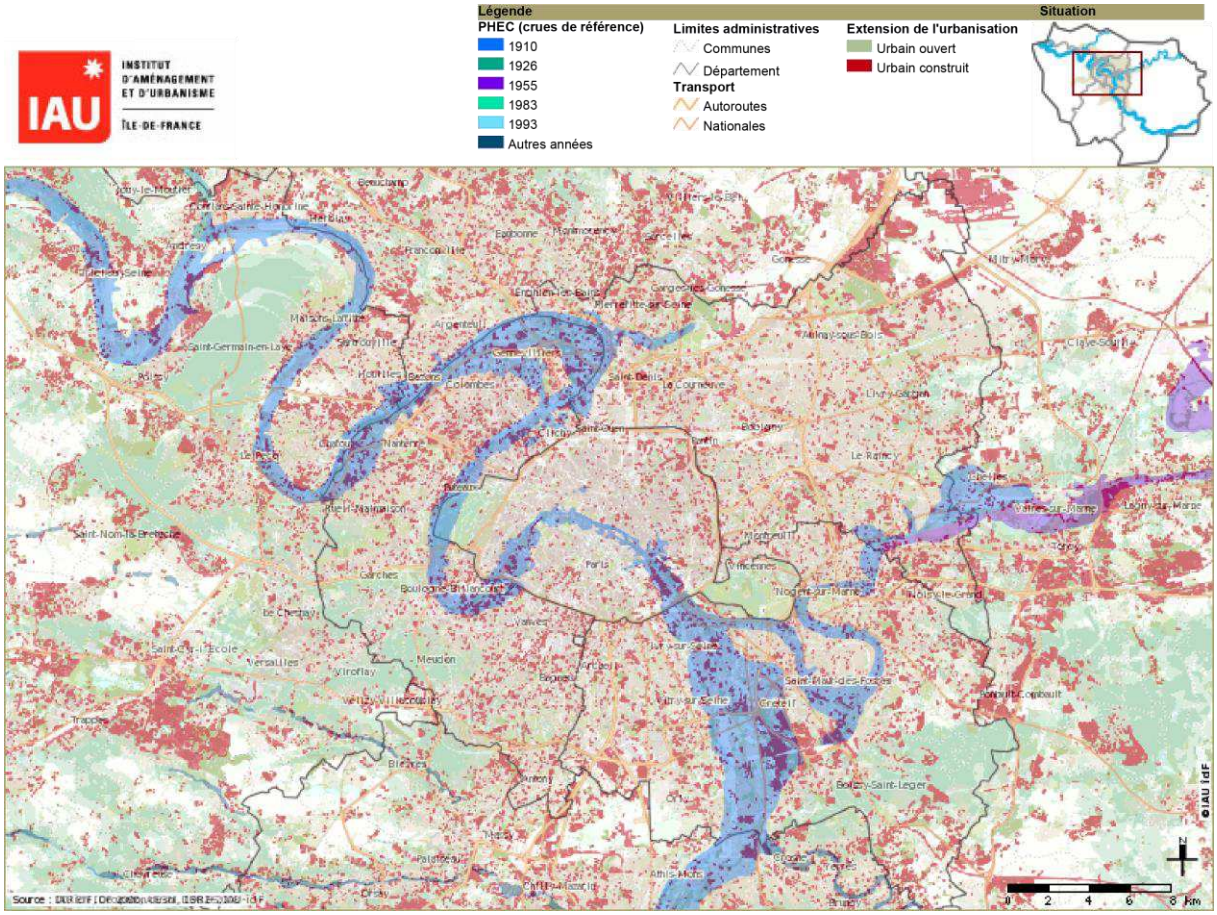


Figure 3-7 : Extension de l'urbanisation entre 1982 et 2008 et enveloppe des PHEC (source : croisement de deux cartes VisIAU)

Après l'évaluation des phénomènes, une bonne prévision repose sur une communication pertinente et fiable auprès des autorités et des habitants. Or, la difficulté pour le SPC est aujourd'hui de placer les seuils de vigilance jaune, orange, rouge. C'est-à-dire qu'ils peinent à relier la hauteur d'eau annoncée et les impacts prévisibles sur le territoire : ils se posent (seulement) maintenant la question du lien entre prévision et prévention. Concrètement, depuis la mise en place des dispositifs actuels (il y a cinq ans), un tronçon de rivière sur deux n'a pas été placé en vigilance orange, ce qui n'a permis de vérifier l'adéquation entre le seuil et la réalité des débordements que pour la moitié des tronçons surveillés. Il s'agit donc maintenant d'évaluer l'exposition des enjeux en fonction des hauteurs d'eau afin d'évaluer la gravité de la situation et de pouvoir la qualifier dans les bulletins de vigilance. Certains acteurs locaux disposent de cette connaissance des enjeux et ne s'appuient finalement que sur la donnée de la hauteur d'eau, mais il est vrai que certains gestionnaires moins préparés ont besoin d'une analyse critique de cette donnée en termes de risque pour leur territoire.

Pour déterminer l'exposition des enjeux, il faut donc pouvoir qualifier le débordement, ce qui n'est pas chose aisée puisque les cours d'eau ont été aménagés par des protections locales visant à contenir la rivière dans son lit. Ainsi, le modèle hydraulique ALPHEE utilisé par la DRIEE pour modéliser les zones inondables prend en compte l'état des cours d'eau en 1988 et « l'ensemble des protections locales supposées résister à leur objectif de protection » (Meloux-Marbeuf, 2012) avec en entrée l'hydrogramme de référence de la crue 1910 (1995 pour la rivière Oise). La DRIEE définit alors les scénarios Ro.6, respectivement Ro.8, R1 et R1.15 correspondant à l'inondation de surface provoquée par 60 %, respectivement 80 %, 100 % et 115 % du débit mesuré en 1910. Il faut bien noter que les protections prises en compte sont des ouvrages d'aménagement permanent tels les murs de quai à Paris, et non les protections amovibles qui peuvent également être ajoutées. Par ailleurs, si l'aménagement des cours d'eau, et en particulier des berges de la Seine à Paris, avait déjà été identifié comme un point d'amélioration majeur par le rapport Picard, la discussion concernant l'amortissement des volumes de crue en amont de Paris n'avait pas été tranchée. Les ingénieurs de l'époque n'étaient pas tous d'accord sur la faisabilité technique et des considérations de coûts-bénéfices, en particulier pour les zones inondées pour protéger Paris, avaient déjà été identifiées. Ainsi, la commission conclut que :

> Le système des réservoirs souterrains, avec puits absorbants est inapplicable au bassin de la Seine. Il en est de même du système des réservoirs permanents à l'air libre, dits «réservoirs de montagne». Le système des réservoirs de crue à l'air libre, dits « réservoirs de plaine », ne pourrait être appliqué que dans la vallée de la haute Seine, entre Montereau et Troyes, et dans la section correspondante de la vallée de l'Aube ; dans cette partie du bassin, une installation de ce genre paraît réalisable au point de vue technique ; mais, pour obtenir un effet utile appréciable, il serait nécessaire que la réserve d'eau ainsi créée atteignît au moins 200 millions de mètres cubes. […] Mais alors même qu'au moyen de certains endiguements complémentaires, l'on réussirait à limiter l'étendue du champ artificiel d'inondation ainsi créé, l'importance du préjudice causé à ces populations serait telle, que la Commission y voit une raison morale suffisante pour qu'il ne soit pas donné suite à cette solution, et elle est en conséquence d'avis de l'écarter. (Picard, 1910)

Après l'inondation de 1924 et les sécheresses des années 1920, le département de la Seine et l'État se tournent toutefois vers la solution des réservoirs permanents (dits « de montagne » pour Alfred Picard et ses ingénieurs qui imaginaient ces ouvrages fermés par des barrages appuyés sur les flancs d'une montagne). Progrès technique aidant, quatre ouvrages de plaine dits « lacs-réservoirs » (Figure 3-8) sont construits entre 1949 et 1990. Ces ouvrages lient alors la fonction d'amortissement des crues (avec plus de 800 millions de mètres cubes de capacité de stockage sur les trois lacs[23]), de soutien d'étiage et les fonctions récréatives et économiques. Alfred Picard avait déjà identifiées cette multifonction comme un atout pour l'utilité de la dépense et une difficulté pour la gestion des usages mixtes. Aujourd'hui, un nouveau projet de réservoir intermittent ou « de plaine » est à l'étude dans la plaine de la Bassée (cf. 3.2.1).

[23] A mettre en relation avec les 3 à 6 milliards de m^3 de la crue de 1910.

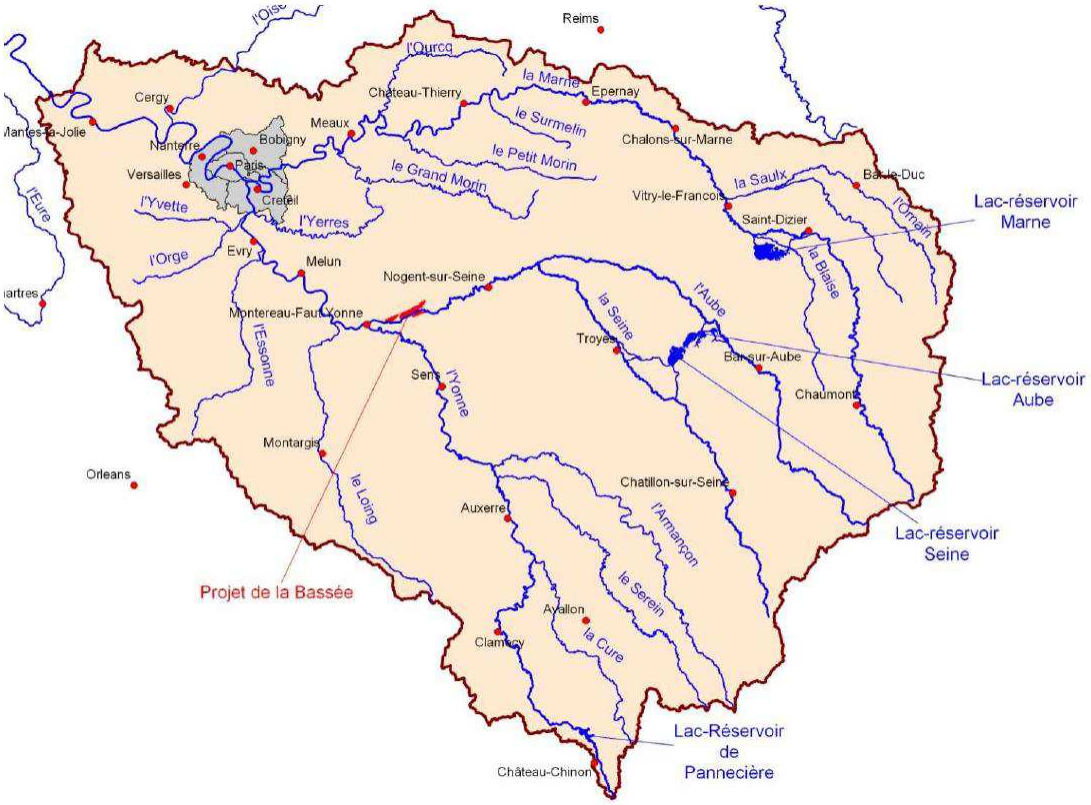


Figure 3-8 : Les quatre grands lacs réservoirs (source : EPTB Seine Grands Lacs[24] séminaire IAU-Île-de-France « Aménager avec le fleuve : robustesse et risques d'inondation », table ronde n°4 du 10 décembre 2009)

Tous ces facteurs nouveaux depuis 1910 modifient l'écoulement. De manière positive, l'amortissement par les lacs-réservoirs diminue la ligne d'eau à Paris d'environ 70 cm (Rizzoli *et al.*, 2010), uniquement pour une crue survenant en janvier[25] (Figure 3-9 et Figure 3-10). De manière négative, les vitesses sont augmentées par la canalisation des cours d'eaux et l'augmentation du ruissellement dû à l'urbanisation. Ainsi, la prévision de l'évènement est de plus en plus difficile.

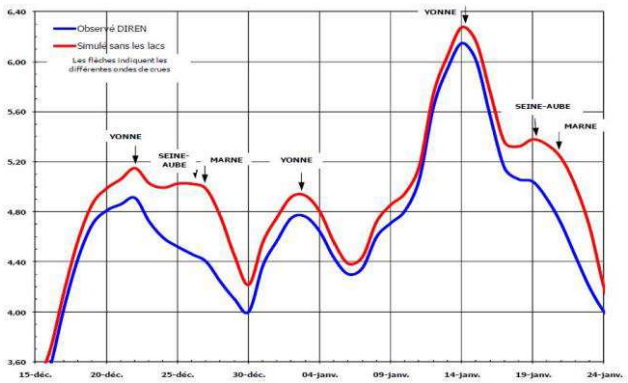


Figure 3-9 : La Seine à Austerlitz, crue de janvier 1982

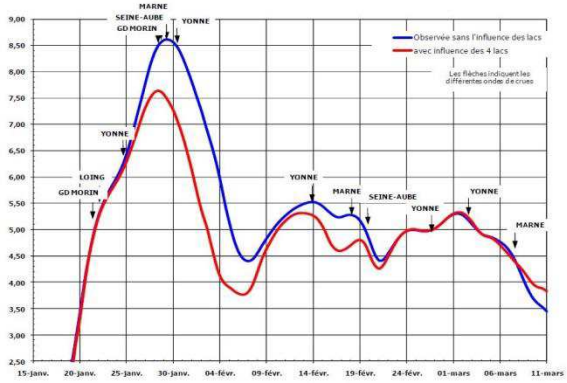


Figure 3-10 : La Seine à Austerlitz, crue de janvier 1910

Influence des lacs-réservoirs, connue et modélisée (source : EPTB seine grands lacs, séminaire IAU-Île-de-France « Aménager avec le fleuve : robustesse et risques d'inondation », table ronde n°4 du 10 décembre 2009)

[24] http://www.seinegrandslacs.fr

[25] En effet, chaque lac a un profil de remplissage propre qui amène le réservoir vide en novembre à se remplir progressivement jusqu'en juin. Donc par exemple, en janvier 2013, le remplissage total des lacs était de 32 %, puis 45 % en février et 65 % en mars, ce qui réduit considérablement les capacités d'amortissement lorsque la saison avance. Par ailleurs, leur situation en tête de bassin ne permet de contrôler que 17 % de la surface totale du bassin versant.

Si l'on ajoute à cela le manque de connaissance concernant les écoulements souterrains, le comportement de la nappe en cas de crue et les remontées possibles par les sous-sols, les réseaux et les ouvrages (Figure 3-11), la prévision atteint vite ses limites. Finalement, aujourd'hui il est impossible :

- ~ d'anticiper de manière fiable à plus de 24 h les niveaux de la Seine à Paris en cas de crue ;
- ~ d'identifier précisément les zones qui seront submergées dans tel scénario de crue ;
- ~ d'identifier les zones qui seront inondées par remontées de nappe ;
- ~ d'évaluer les impacts sur le territoire et son fonctionnement.

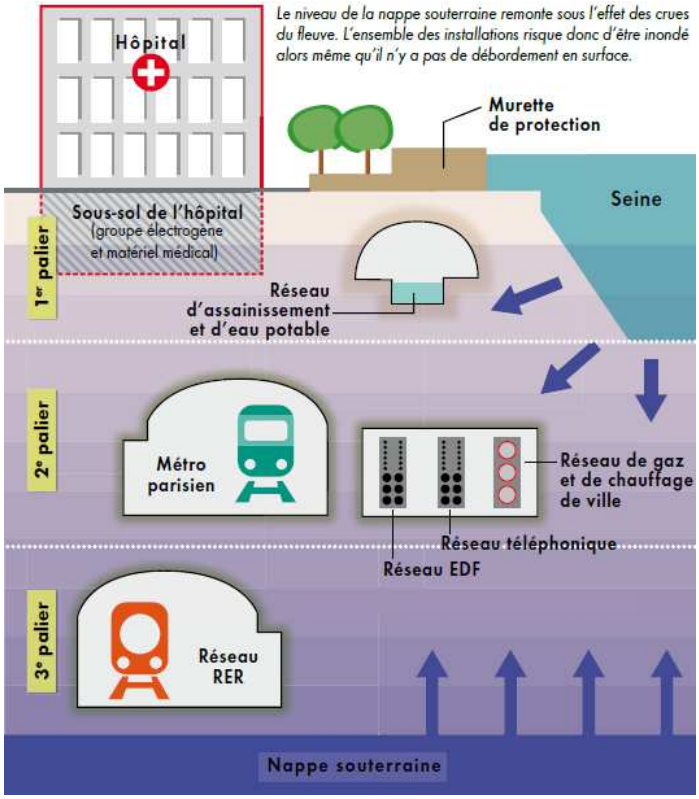


Figure 3-11 : Perturbations des réseaux à Paris en cas de crue (Veyret et Laganier, 2013)

Les scénarios d'inondation évalués par la DRIEE et traduits dans le dispositif ORSEC donnent toutefois les zones inondables à Paris évaluées par la méthode ALPHEE (sans tenir compte de l'action des lacs-réservoirs, ni des protections locales amovibles). Les PPRI des communes franciliennes sont encore réalisés sur la base des PHEC projetées sur le terrain actuel, sans tenir compte des protections permanentes (Figure 3-12 et Figure 3-13). L'ensemble des gestionnaires de la ville doivent élaborer leurs plans de gestion des inondations en conséquence.

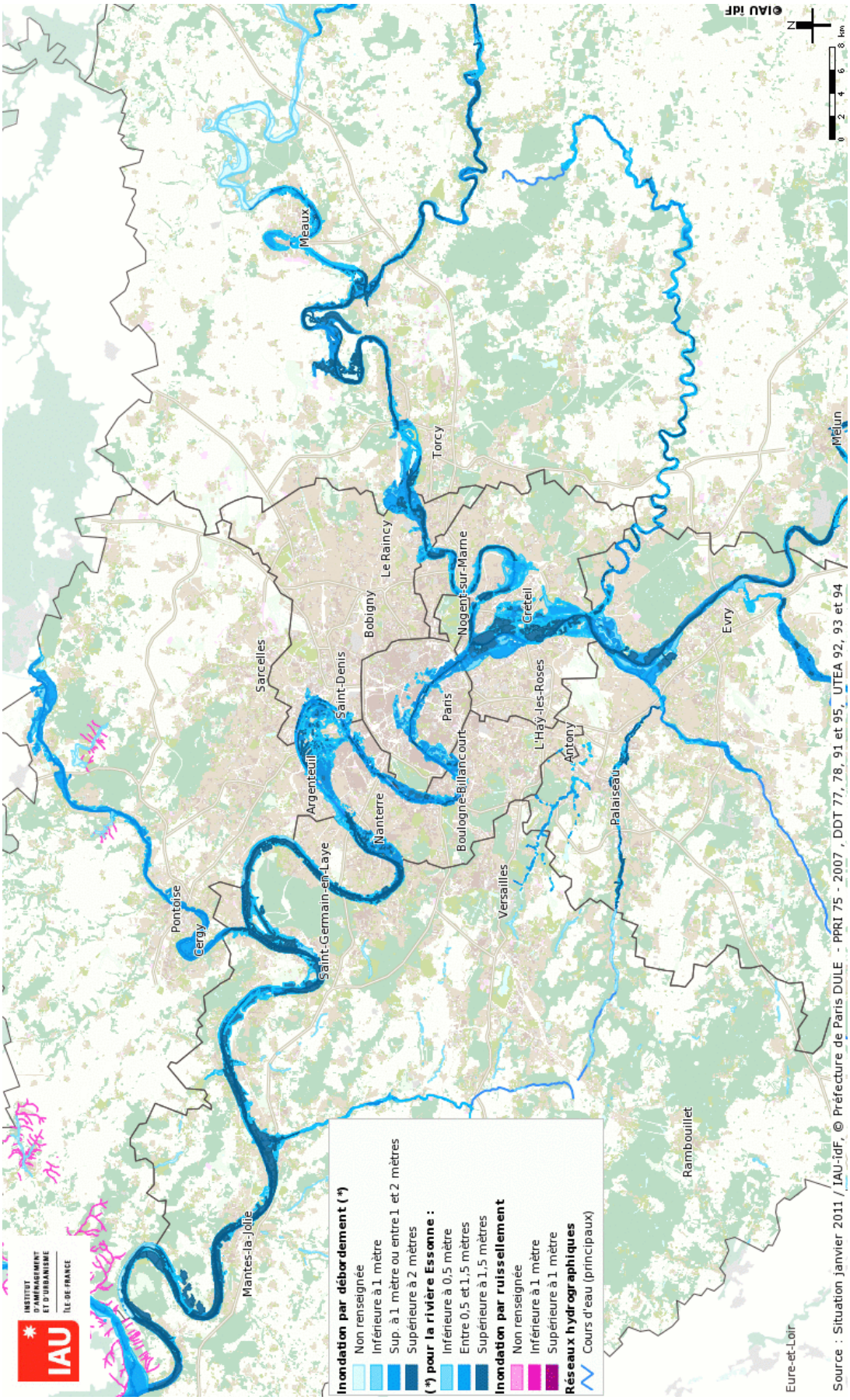


Figure 3-12 : Cartographie des zones inondables d'Île-de-France (source : visIAU Risques)

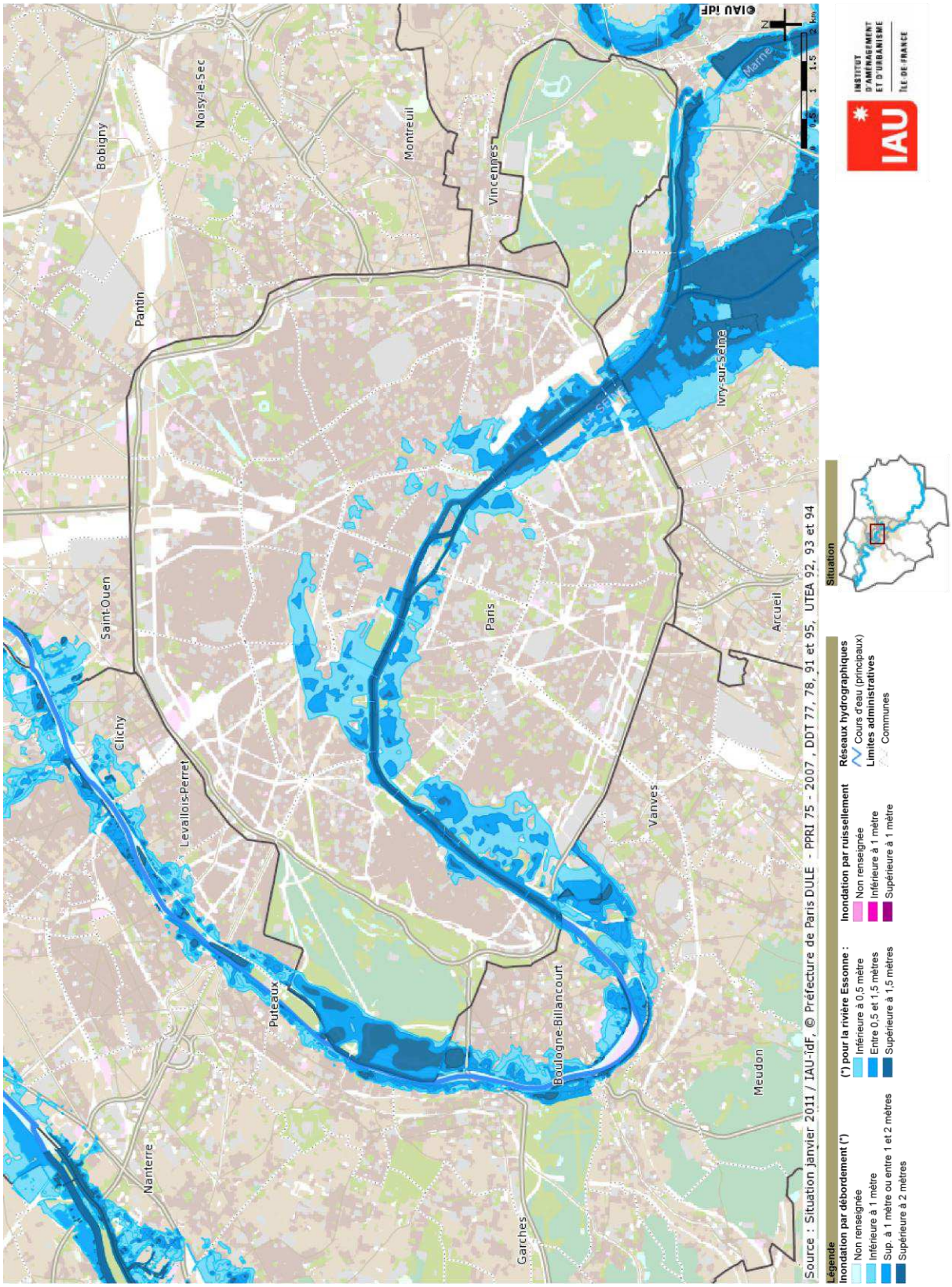


Figure 3-13 : Cartographie des zones inondables de Paris (source : visIAU Risques)

UNE METROPOLE AUX ENJEUX COMPLEXES

Et pourtant, les enjeux exposés en Île-de-France sont nombreux dont l'endommagement ou la dysfonction aurait des conséquences majeures sur la ville et le pays tout entier (étant donné que l'Île-de-France assure 30 % du PIB national). Au-delà de l'imperméabilisation des sols et l'augmentation, si ce n'est du risque, au moins de son incertitude, l'augmentation de l'urbanisation en zone inondable expose de plus en plus de populations et d'enjeux aux dommages et aux pertes de fonctionnalité. Entre départements, l'occupation des zones inondables reste très hétérogène (Faytre, 2010). Les départements de grande couronne[26] présentent encore des zones naturelles importantes, quand les départements de petite couronne voient de larges zones d'habitat ou d'activités implantées en zone inondable (Figure 3-14). Au total, les populations exposées aux risques d'inondation en Île-de-France représentent 830 000 habitants (soit 7,2 % de la population), dont 160 000 habitants (7,2 %) à Paris (75), 200 000 (13,1 %) dans les Hauts-de-Seine (92) et 250 000 (19,3 %) dans le Val-de-Marne (77) par exemple (Faytre, 2011a).

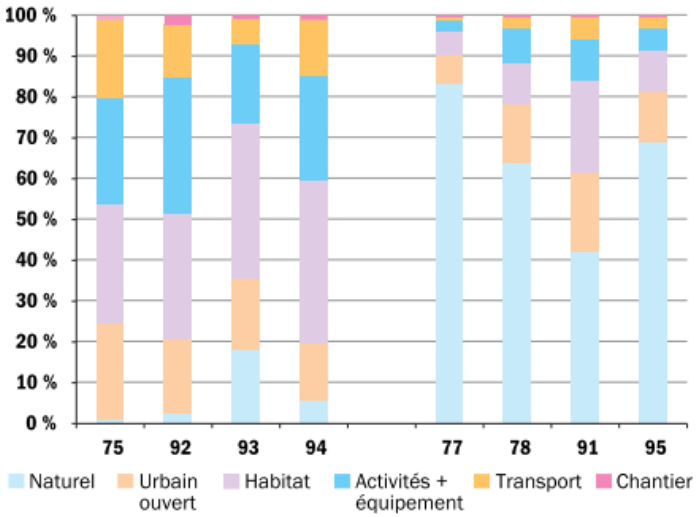


Figure 3-14 : Répartition de l'occupation de sol dans les zones inondables par grand type et par département, situation en 2008 (Faytre, 2010)

Par ailleurs, l'analyse au niveau départemental cache également des grandes disparités entre communes dont certaines ont plus de 50 % de leur population en zone inondable, 98 % pour Alfortville par exemple (Faytre, 2011a). Les conséquences sont évidemment majeures pour les collectivités locales qui devront gérer ces populations lors d'une future inondation, les évacuer et les reloger éventuellement. S'ils restent dans leurs logements, les collectivités devront leur fournir les services vitaux (sécurité, eau, nourriture, etc.) malgré l'exposition des composants des services urbains (cf. parties 2 et 3) qui pourrait compromettre la continuité d'activité. Sur la base d'un scénario de catastrophe impactant notamment les services urbains, les impacts sur les populations, les activités, les organes de décision et l'ensemble des fonctions urbaines peuvent être anticipés et en partie traités par les plans de gestion de crise. Les bilans, a priori plutôt sous-estimés, font état de 15 à 20 milliards d'euros de dommages, sans compter les dommages aux réseaux et les pertes d'exploitation des entreprises (Faytre, 2010). Par ailleurs, 10 % des entreprises et des emplois franciliens seraient affectés directement par une inondation de type 1910, soit 600 000 emplois, avec une exposition accrue de la Ville de Paris et de la petite couronne à nouveau (boucle de Gennevilliers et Val-de-Marne). L'endommagement direct par l'inondation d'une part et les défaillances des grands services urbains (énergie, transports, télécommunications, etc.) d'autre part entrainent des pertes d'exploitations pour les entreprises de la région. Alors le coût total d'un scénario d'inondation semblable à 1910 serait doublé, atteignant 30 à 40

[26] On appelle grande couronne les départements 77, 78, 91 et 95 alors que les départements 92, 93 et 94 forment la petite couronne de Paris.

milliards d'euros (Faytre, 2011b). À la demande des autorités franciliennes, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a donc lancé en mars 2013 une étude sur la gestion des risques d'inondation de la Seine dans la région Île-de-France afin de mieux évaluer et limiter les coûts directs et indirects d'une crue de la Seine[27].

Si l'incertitude concernant les dommages et le coût d'une telle catastrophe est forte, c'est que le contexte parisien est particulièrement complexe. En effet, de par son caractère métropolitain (concentration des enjeux, rôle dans la mondialisation), l'agglomération parisienne est un espace à risque. Ses capacités de résistance sont limitées et les perturbations peuvent se propager rapidement au reste du territoire, voire du monde. Alors le risque métropolitain est complexe, hybride, multi-scalaire, générateur d'aléas induits ; il peut affecter des enjeux uniques ou particulièrement denses, de manière fonctionnelle et matérielle (Reghezza, 2006). Au-delà du caractère métropolitain de l'agglomération parisienne, c'est surtout sa centralité forte au sein du pays qui en fait un enjeu majeur. Ainsi, en comparant les caractéristiques urbaines des mégapoles mondiales, Paris se retrouve, avec d'autres capitales d'Europe occidentale, parmi les plus centralisées, au sein d'un bassin versant fortement anthropisé (Bolognesi, 2013). Une analyse statistique de la corrélation de ces facteurs avec l'exposition aux risques hydriques (inondation et sécheresse) montre l'influence positive de la centralité qui réduirait les risques alors que l'anthropisation favoriserait les risques hydriques. Si l'on mesure le risque par le nombre de morts, de personnes touchées et le montant des dommages lors de catastrophes de ces trente dernières années, alors la comparaison aux mégapoles mondiales place évidemment Paris parmi les villes peu exposées aux risques (Bolognesi, 2013). Toutes les études montrent toutefois la gravité d'un évènement du type de l'inondation de 1910. Malgré la difficulté à anticiper les perturbations, y compris sur le long terme et sur un territoire étendu (pays, continent, monde), il est donc essentiel d'améliorer la résilience de l'agglomération parisienne à l'inondation centennale.

3.1.3. Des services urbains nombreux et complexes

Du point de vue technique

On l'a vu, si les impacts d'une inondation du type de 1910 aujourd'hui sont difficiles à évaluer, c'est en grande partie du fait des perturbations indirectes aux activités dues aux défaillances subies par des réseaux techniques inondés. Comme toute ville développée, Paris dispose de nombreux services en réseaux, mais la ville présente quelques particularités techniques intéressantes qui pourront jouer un rôle dans la capacité de résilience de la ville. La première tient probablement à la longue histoire du réseau d'égouts parisiens, créé par l'ingénieur Eugène Belgrand durant les grands travaux hygiénistes de Haussmann, préfet de la Seine. À l'époque, le monde entier vient admirer les ouvrages colossaux (600 km de réseau en 1878) et les innovations technologiques conçues par Belgrand pour exploiter et maintenir le réseau. Le parti technique choisi dès la conception est celui de galeries visitables, qui accueilleront les autres réseaux techniques. Cette originalité n'est pas sans avantages : accès facilité aux autres réseaux qui permettront notamment le maintien d'un réseau d'eau potable particulièrement peu fuyard, déploiement facilité de réseaux de télécommunications (réseau d'air comprimé notamment en 1910) ou de froid, ne nécessitant pas de chantiers ouverts. Mais ce choix implique également des inconvénients liés aux éventuels conflits d'usage, notamment du fait du cadre dangereux de l'intervention dans les égouts.

La densité du réseau de transport en commun par le métro (majoritairement souterrain, mais également aérien) est également une particularité partagée par un nombre limité de villes. Le réseau de lignes de métro, est commencé en 1900 pour l'exposition universelle, sous l'égide de l'ingénieur Fulgence Bienvenüe notamment. Il s'étend et se densifie progressivement pour répondre à la demande en transport. L'une des particularités techniques de ce réseau est son alimentation en électricité directement par RTE (réseau de transport d'électricité) via un réseau interne de distribution, faisant de la RATP l'un des plus gros

[27] http://www.oecd.org/fr/gov/risques/etudedelocdesurlerisquedinondationdelaseineenÎle-de-France.htm

consommateurs d'électricité en France. La RATP dispose également d'une infrastructure de télécommunications qui lui est propre. Par ailleurs, de nombreux autres gestionnaires utilisent le réseau souterrain pour déployer leur infrastructure, comme c'est le cas pour les égouts. Parmi ces gestionnaires figure l'un des services également particulier à Paris : la régulation de trafic. En effet, l'ensemble de la signalisation lumineuse tricolore (SLT) est régulée par le système SURF géré par le PC Lutèce, un service de la Ville de Paris. Les feux tricolores d'un carrefour sont reliés à une armoire de feu qui est elle-même reliée au PC de régulation par cuivre ou fibre optique, via les galeries de métro notamment. Les plans de feux sont ainsi optimisés en fonction de l'heure de la journée, du trafic réel, des incidents, etc. ; le gain de trafic est estimé à 10-15 % grâce à ce système. Un autre système de régulation, dite « passive », porte sur le périphérique, les voies sur berges et les tunnels grâce à l'information en temps réel des automobilistes par le PC Berlier, également géré par la Ville de Paris.

La troisième particularité de Paris est son réseau de froid (de climatisation). Si de nombreuses villes disposent d'un réseau de chauffage urbain (c'est également le cas de Paris dont de nombreux bâtiments communaux, hôpitaux, logements collectifs sont reliés au réseau de la CPCU), très peu disposent d'un réseau de climatisation. En effet, on dénombre principalement des villes japonaises, mais également treize villes françaises dont Lyon et Bordeaux par exemple[28]. Climespace, anciennement GTH, fournisseur historique de glace pour le marché des Halles, a développé depuis 1991 un réseau de froid de 70 km pour les musées, les banques, les hôtels, les grands magasins, les bureaux, etc. Le froid issu d'une source froide : la Seine à Paris, est distribué pour la climatisation des locaux, le maintien d'une hygrométrie stricte (pour les musées) ou pour le refroidissement des salles de serveurs informatiques. La mutualisation des moyens de climatisation présente des avantages considérables pour les zones urbaines denses, notamment en termes d'efficacité énergétique et d'impact environnemental (Pigeon *et al.*, 2012). Ces réseaux se déploient donc souvent à des échelles restreintes, ajoutant encore à la complexité urbaine et à la dépendance des usagers (cf. 1.1.2).

Hormis ces trois particularités techniques notables, Paris dispose des services urbains classiques : électricité, gaz, eau potable, assainissement, collecte et traitement des déchets, réseaux de télécommunications (téléphonie fixe toujours opérée par Orange, mobile et internet par les quatre grands opérateurs, auxquels s'ajoutent des fournisseurs d'accès internet nombreux, en particulier pour le privé). Dans la suite de ces travaux, les réseaux sont regroupés en quatre grandes familles : services de distribution d'énergie, services liés à l'eau et aux déchets, services de déplacement et services de télécommunications[29]. Une particularité technique commune à la plupart de ces infrastructures est l'enfouissement de la plupart des infrastructures linéaires, mais également des équipements. En effet, les pressions liées à l'urbanisation, la demande et donc le coût des surfaces constructibles ont entrainé l'extension prioritaire des infrastructures et des équipements techniques en sous-sol, pour profiter de la ressource d'espace (Blunier, 2009). Si cette caractéristique proprement urbaine a des conséquences certaines sur la réduction de certains risques naturels non négligeables (tempêtes, séisme sans liquéfaction des sols) et sur l'esthétique de l'espace urbain, elle peut s'avérer problématique dans un contexte d'inondation. À Paris, en particulier, le sous-sol est déjà largement exploité, depuis les carrières jusqu'aux parkings souterrains, atteignant 20 % d'occupation totale, dont 1,2 % interagit avec la nappe phréatique (Lamé, 2013). Ainsi, le déploiement du réseau électrique dans le sous-sol, y compris au niveau des transformateurs, ce qui constitue une particularité parisienne, induit des contraintes techniques supplémentaires, à contrebalancer avec les avantages. Finalement, si la complexité technique des services urbains parisiens étudiés (Tableau 3-3) est déjà forte, les spécificités organisationnelles ajoutent encore à la difficulté.

[28] Voir la fiche « réseaux de froid » du CETE de l'Ouest (http://www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr/reseaux-de-froid-a580.html)
[29] Ce code couleur sera utilisé tout au long de ce travail.

Tableau 3:3 : Services urbains franciliens, statuts et compétences

Désignation	Signification de l'acronyme	Statut	Rattachement	Compétence	Périmètre
ERDF	Électricité réseau distribution France	Société anonyme	Filiale à 100 % d'EDF	Gestion du réseau public de distribution d'électricité	Service piloté à l'échelle régionale avec interconnexions nationales et internationales
GRDF	Gaz réseau distribution France	Société anonyme	Filiale à 100 % de GDF Suez	Activités de distribution de gaz naturel	Service piloté à l'échelle régionale avec interconnexions nationales et internationales
CPCU	Compagnie parisienne de chauffage urbain	Entreprise publique locale	Filiale de la Ville de Paris et Cofely (groupe GDF Suez)	Délégation de service public de distribution de chaleur de la ville de Paris	Service couvrant Paris intra-muros pour environ 1/4 des besoins en chaleur
Climespace		Entreprise concessionnaire de la Ville de Paris	Filiale de GDF Suez	Livraison d'eau froide par réseau aux bureaux, entreprises industrielles, habitats pour la climatisation et le refroidissement	Service limité à certains quartiers de Paris intra-muros, réseau de Bercy indépendant du réseau central
Eau de Paris		EPIC régie municipale	Ville de Paris	Gestion du service public de la production à la distribution de l'eau à Paris	Service couvrant l'intégralité de Paris intra-muros mais avec des installations en dehors du territoire
DPE	Direction de la propreté et de l'environnement	Service technique	Ville de Paris	Assurer l'hygiène et la salubrité publique (collecte des eaux usées (SAP) et des déchets (STPP)), garantir la qualité de l'environnement	Services couvrant l'intégralité de Paris intra-muros et interconnecté avec le réseau du SIAAP pour l'assainissement, aux usines du SYCTOM pour les déchets
SIAAP	Syndicat interdépartemental d'assainissement	Établissement public à caractère administratif	4 départements : Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis et Val-de-Marne	Service public de l'assainissement (transport et traitement)	Service couvrant les arrondissements parisiens, la quasi-totalité des communes de la petite couronne et quelques communes de grande couronne
SYCTOM	Syndicat intercommunal de traitement des ordures ménagères	EPCI sans fiscalité propre, syndicat mixte	Adhésion des communes	Traitement et valorisation des ordures ménagères	Service couvrant l'intégralité de Paris intra-muros, une bonne part de la petite couronne, disposant d'installations réparties sur le territoire et en interaction avec les services de collecte des déchets de la Ville de Paris entre autres
SEDIF	Syndicat des eaux d'Île-de-France	EPCI	Adhésion des communes	Alimentation en eau potable	Service couvrant 149 communes sur 7 départements d'Île-de-France, excepté Paris
DVD	Direction de la voirie et des déplacements	Service technique	Ville de Paris	Aménagement de l'espace urbain, organisation des déplacements, notamment régulation du trafic	Service couvrant l'ensemble du réseau viaire intra-muros, du périphérique, des voies sur berge et des tunnels
EVESA	ETDE-Vinci Energies-SATELEC-AXIUM	Société créée par un groupement d'entreprises privées		Éclairage public et maintenance de la SLT de la Ville de Paris	Service couvrant l'intégralité de Paris intra-muros mais avec des installations en dehors du territoire
Fonctionnelle		Service technique (rattaché à la DPE)	Ville de Paris	Maintien de la viabilité : nettoiement, viabilité hivernale, voies sur berge et périphérique	Service couvrant l'intégralité de Paris intra-muros
STIF	Syndicat des transports d'Île-de-France	Établissement public administratif	Région, départements, Ville de Paris	Organisation des transports (planification, tarification, etc.)	Service couvrant l'Île-de-France
RATP	Régie autonome des transports parisiens	EPIC	Contrats d'objectifs avec le STIF	Exploitation du réseau de transport en commun de personnes par bus, métro, tramway et RER	Service couvrant l'ensemble du service de métro intra-muros et également en Ile de France, en interaction avec les réseaux bus Optile et la SNCF
Optile	Organisation professionnelle des transports d'Île-de-France	Association loi 1901	Convention avec le STIF	Exploitation des réseaux de transports en commun de personnes par bus	Service couvrant l'Île-de-France
SNCF	Société nationale des chemins de fer français	EPIC	Contrats d'objectifs avec le STIF, convention de gestion avec RFF	Entreprise ferroviaire chargée de l'exploitation commerciale de services de transport ferroviaire	Service couvrant l'Île-de-France et interconnecté avec les réseaux nationaux et internationaux
Orange		Société anonyme		Anciennement service public français de télécommunications (France Télécom) : opérateur de téléphonie fixe, mobile et fournisseur d'accès internet	Service couvrant l'intégralité de Paris intra-muros en interaction avec les autres opérateurs télécoms

DU POINT DE VUE ORGANISATIONNEL

La complexité organisationnelle particulière des services urbains parisiens tient majoritairement à la structure administrative de la Ville de Paris (cf. 3.2.1). À l'échelle communale, les services urbains sont opérés par des acteurs locaux publics (les services de la ville) ou privés (délégations de services publics) en interaction forte avec les gestionnaires des réseaux voisins (des communes adjacentes) ou supra-communaux (syndicats intercommunaux) (Figure 3-15). Ainsi, le service de distribution d'eau potable Eau de Paris est une régie municipale qui n'est pas directement rattachée à une direction fonctionnelle de la Mairie de Paris, mais travaille étroitement avec le service technique de l'eau et de l'assainissement (STEA) de la Ville de Paris. Eau de Paris collabore également avec le syndicat des eaux d'Île-de-France (SEDIF) organisant la distribution d'eau potable sur de nombreuses communes de la région. Leur coopération est essentielle pour la gestion des conflits potentiels concernant les sources d'approvisionnement puisque Paris s'approvisionne bien au-delà de ses limites administratives. Deux autres grands syndicats intercommunaux organisent le transport et le traitement des eaux usées : le SIAAP ; et le traitement des ordures ménagères : le SYCTOM (Tableau 3-3). Alors le service municipal chargé de la collecte des eaux usées d'une part : la section de l'assainissement de Paris (SAP), et des déchets d'autre part : le service technique de la propreté de Paris (STPP, dit aussi Propreté), sont étroitement liés à l'échelle intercommunale. L'interaction est d'abord technique avec les interconnexions entre les deux supports physiques de la SAP et du SIAAP pour les eaux usées. Par ailleurs, les interactions organisationnelles sont fortes entre le STPP et le SYCTOM pour l'organisation de la gestion des déchets. Ainsi, deux services aux périmètres distincts se partagent la collecte et le traitement.

On retrouve un découpage semblable au niveau des grands réseaux d'énergie, historiquement nationaux : EDF et GDF. Les entités se sont scindées en RTE, respectivement GRTgaz, pour la partie transport et ERDF, respectivement GRDF, pour la partie distribution (la production reste nommée EDF, respectivement GDF). Ainsi, les grands opérateurs nationaux, avec le découpage mentionné, approvisionnent la région en énergie gaz et électricité ; ils disposent bien souvent d'un service ou d'une organisation particulière à Paris, toujours en interaction avec les périmètres voisins. Cela se traduit en termes techniques pour ERDF qui fonctionne de manière autonome sur Paris grâce à un ensemble de points de livraison RTE sur le territoire de la ville, sans interconnexion directe, en temps normal d'exploitation, avec les réseaux des communes voisines (cf. annexe 1). Même si l'ouverture à la concurrence entraine l'apparition de nouveaux opérateurs de réseaux dans le domaine de l'énergie, ils n'interviennent pour le moment qu'au niveau de la relation client, et non de la production ou de la distribution. En revanche, les télécommunications, en particulier mobiles, sont également ouvertes à la concurrence et ont entrainé le déploiement de plusieurs infrastructures en parallèle. L'opérateur historique France Télécoms/Orange possède l'infrastructure de téléphonie fixe sur laquelle se connectent les antennes de son réseau mobile mais également une bonne part des antennes des autres grands opérateurs de téléphonie mobile : SFR et Bouygues (le quatrième et nouvel opérateur Free utilise une partie de la bande passante d'Orange). Orange reste responsable de la continuité des services de secours : plans départementaux d'acheminement des appels d'urgence, réseau national d'alerte, communications des services de sécurité civile. Les différents opérateurs partagent par ailleurs un certain nombre de responsabilités concernant la synchronisation ou les accès internet.

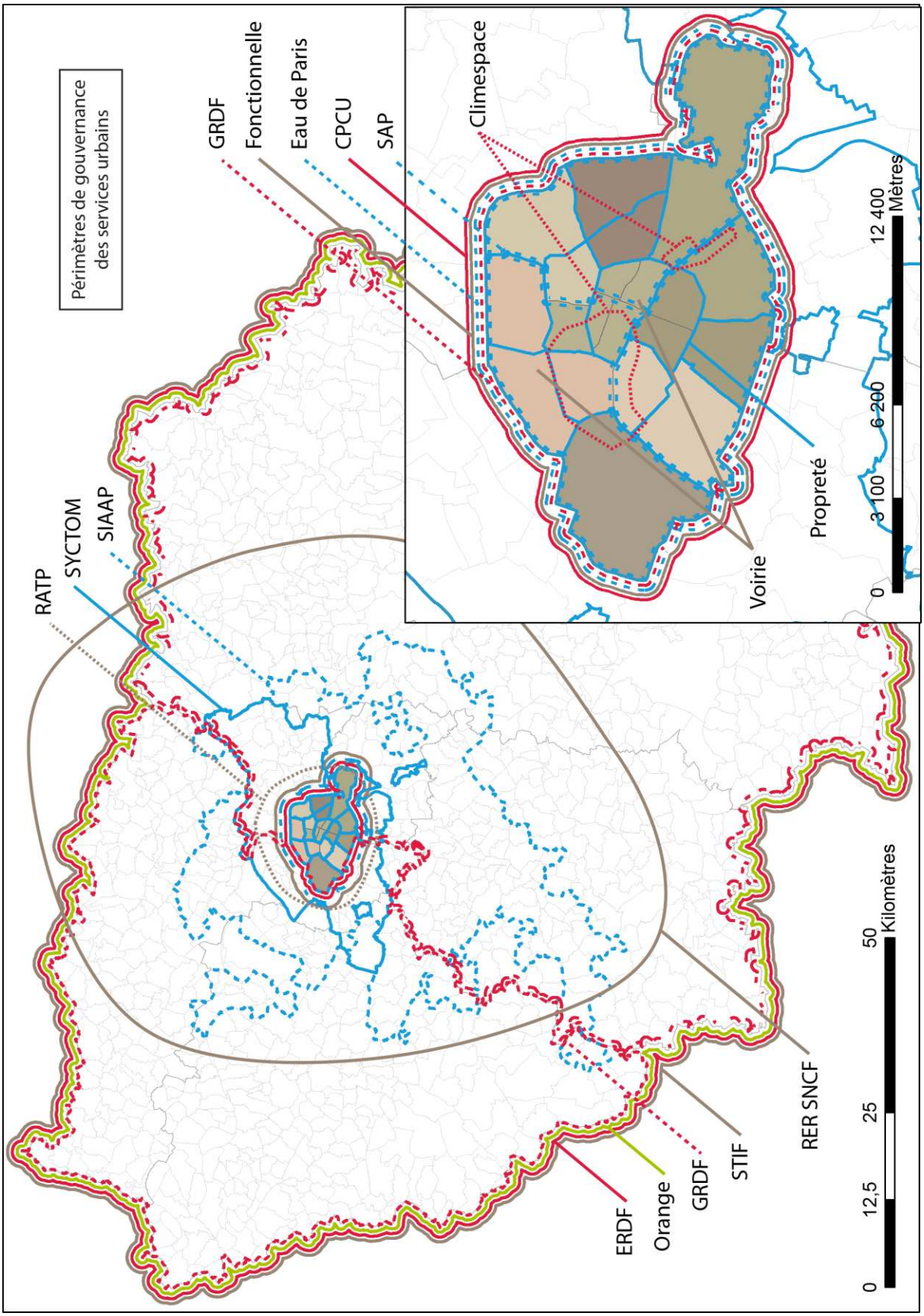


Figure 3-15 : Périmètres de gouvernance des services urbains parisiens (Toubin *et al.*, 2014a)

Les derniers systèmes présentant une complexité organisationnelle certaine sont les transports en commun. Les transports interurbains relevant de la SNCF ou d'autres sociétés privées et étrangères à l'échelle européenne ne sont pas étudiées ici car leur prise en compte requiert une vision nationale, voire continentale des enjeux. À l'échelle de l'Île-de-France, le syndicat des transports d'Île-de-France (STIF) est une émanation des collectivités territoriales (Région, départements, Ville de Paris), c'est l'autorité organisatrice des transports. Il planifie et met en œuvre les décisions de ces collectivités locales, en particulier la politique tarifaire et les projets d'extension du réseau, via des contrats d'objectifs avec la SNCF et la RATP, une convention avec l'association Optile. La RATP est la régie autonome des transports parisiens qui exploite l'ensemble des lignes de métro (y compris en dehors des limites de Paris) ainsi que les lignes A et B (dans sa partie centrale) du RER (réseau express régional), les lignes 1, 2 et 3 du tramway et 353 lignes de bus (dont 31 lignes de nuit Noctilien) sur Paris et 200 communes. Les autres lignes de RER (C, D, E et B dans ses parties extérieures) et de tramway (T4) sont opérées par la SNCF au sein du réseau Transilien qui inclut également les lignes de trains de banlieue (H, J, K, L, N, P, R et U). Enfin, Optile (organisation professionnelle des transports d'Île-de-France) est une association loi 1901 qui gère administrativement les lignes de bus régulières de ses adhérents (entreprises familiales, Véolia transport, Keolis, Transdev) dans toute l'Île-de-France.

Finalement, entre les différents niveaux de gestion, les gestionnaires opérant des services redondants ou complémentaires et la diversité de base des services, les différents périmètres de gestion montrent la difficulté du choix d'un territoire de gestion de la résilience (Figure 3-15). L'étude du cadre de gouvernance de Paris et des risques dans la partie suivante permettra de définir l'échelle d'étude de ce travail de recherche.

Synthèse

L'inondation vécue en 1910 en Île-de-France a l'intérêt d'avoir été largement documentée du point de vue technique, de sorte qu'il est possible d'évaluer les dysfonctionnements des services urbains de l'époque. De nombreux services existaient déjà à l'époque, parfois dans des formes très proches des grands réseaux actuels (notamment égouts et métro). Cet évènement est devenu la référence pour la prévention du risque d'inondation bien que le contexte urbain ait été largement modifié depuis et qu'aucune crue majeure n'ait eu lieu. Il est ainsi difficile d'extrapoler les perturbations connues alors avec la métropole d'aujourd'hui, toujours plus étendue, connectée et dynamique. Les études font toutefois état d'une exposition importante des logements et des activités, mais également des infrastructures et des services urbains, rendant peu fiable toute estimation du coût d'une telle inondation. Les services urbains notamment sont nombreux et gérés à des échelles très variées qui limitent l'analyse globale des impacts aux réseaux. Ces particularités techniques ou organisationnelles peuvent être des facteurs de résilience ou de vulnérabilité, mais il faut pour cela les intégrer dans les démarches de prévention des risques.

3.2. Le cadre existant n'est pas efficient

Si Paris présente une certaine spécificité urbaine, son cadre de gouvernance est également complexe, notamment du fait de son statut particulier de ville-département capitale. Ainsi, de nombreuses institutions jouent un rôle dans la gestion des risques, à des échelles différentes, avec des objectifs différents et des outils qui leur sont propres. Cette multiplicité ne facilite pas la gestion intégrée du risque d'inondation en Île-de-France (Beucher et Reghezza-Zitt, 2008) et nécessite une approche plus globale que permettrait le concept de résilience.

3.2.1. Complexite de la gouvernance

Paris, une ville-departement au cœur de la zone de defense de Paris

Paris a la particularité de posséder à la fois le statut de département (le département de la Seine incluait jusqu'en 1968 l'actuel département de Paris et une bonne part des départements de petite couronne actuelle) et de commune (le premier maire de Paris fut Jacques Chirac en 1977). Ainsi, les pouvoirs de police administrative sont partagés entre le maire de Paris et le préfet de police, mais les questions de sécurité restent sous la responsabilité du préfet de police. Cela ne va pas sans poser quelques difficultés en termes d'aménagement ou de gestion du territoire avec, par exemple, des contraintes fortes imposées par la PP sur les voies stratégiques de Paris qui posent des difficultés pour l'intervention quotidienne des agents de la Ville. Ainsi, la superposition des deux institutions sur de nombreux aspects de la gestion urbaine limite la prise en compte intégrée de tous les enjeux et les tensions sont fréquentes entre services de la Ville et services de la PP. Cependant ce statut particulier est également un atout car le préfet de police est le préfet de la zone de défense de Paris. Ainsi, la région a l'avantage de constituer un territoire homogène dans sa gestion puisque le bassin de risque correspond au bassin économique et décisionnel de l'entité administrative région et que la zone de défense et de sécurité (ZDS) correspond exactement à ce même périmètre de la région. Pour rappel, les six autres zones de défense redécoupées lors du décret n°2000-558 du 21 juin 2000, ne correspondent pas à des entités administratives ou des bassins de risques réels mais davantage à des bassins de mutualisation de moyens (Figure 3-16).

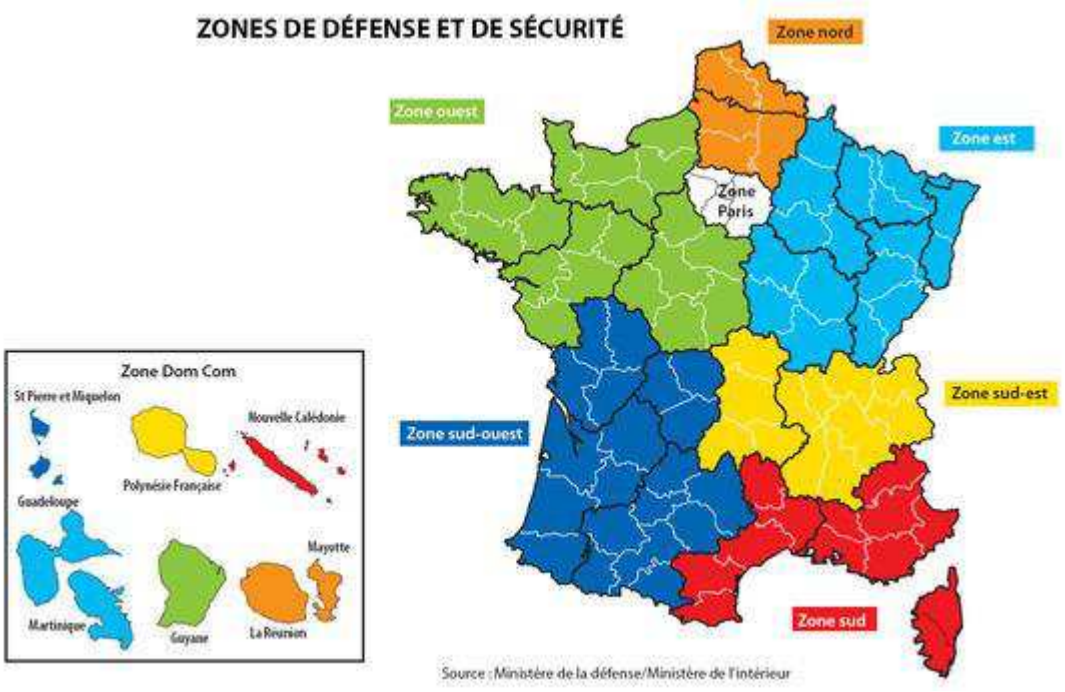


Figure 3-16 : Les sept zones de défense et de sécurité (source : ministère de la Défense/ministère de l'Intérieur)

Le secrétariat général de la zone de défense et de sécurité (SGZDS) a pour mission de préparer et coordonner toutes les mesures permettant de gérer une crise à l'échelle du territoire (Figure 3-17). Pour cela, il s'appuie sur les dispositions générales de maintien de l'ordre public et sur des dispositions spécifiques ORSEC (organisation de la réponse de sécurité civile). Les principales dispositions spécifiques portent sur les risques d'attentats, d'accidents, le risque de pandémie et bien sûr le risque d'inondation. Ainsi en période de crue, le rôle du SGZDS sera d'informer les habitants, faciliter les actions des acteurs économiques et publics, anticiper les conséquences de l'inondation et des actions à proposer, répartir les moyens de secours sur la région et faciliter la reprise d'un service normal à la population (Balloy *et al.*, 2010).

Figure 3-17 : L'Île-de-France exposée aux risques (source : extrait d'une présentation du SGZDS)

L'action s'est intensifiée depuis les années 2000 avec notamment en 2010, un exercice de zone : « En Seine 2010 », à l'occasion du centenaire de la crue centennale. À cette occasion, le SGZDS a pu tester l'efficacité des dispositions mises en place, identifier les problématiques majeures et dessiner des pistes d'approfondissement. Le SGZDS a mis en place des groupes de travail sur les thématiques majeures :

- immeubles de grande hauteur ;
- réseaux eau potable et électricité ;
- réseaux électricité et télécommunications ;
- évacuation des établissements de santé et médico-sociaux ;
- approvisionnements particuliers ;
- approvisionnement pétrolier ;
- cadre juridique ;
- transports et circulation ;
- collecte de proximité des déchets urbains ;
- ministère de la justice ;
- grande distribution ;
- distribution fiduciaire ;
- la Défense ;
- chauffage urbain ;
- assainissement.

Cela concerne au total cent-cinquante opérateurs, mais il s'avère en réalité que les groupes de travail sont plus ou moins actifs. Certains gestionnaires sont plus impliqués que d'autres, de par l'importance stratégique de leur service (électricité et télécoms par exemple). Mais d'autres ne sont pas impliqués malgré l'importance de leur activité, comme par exemple Climespace qui fournit en froid les salles de serveur de la Bourse et de nombreuses banques, ou des musées majeurs comme le Louvre. De plus, ces gestionnaires n'ont pas accès aux informations concernant ce que le SGZDS prépare dans l'éventualité d'une crue, ce qui constitue d'après eux un réel manque dans la stratégie de la ZDS. Malgré tout, le SGZDS tente de véhiculer largement son message d'alerte concernant l'imminence et la gravité de l'inondation, tant auprès des populations que des acteurs économiques. Ainsi, le SGZDS communique fréquemment dans des séminaires concernant la préparation de crise, les impacts attendus, les moyens limités dont ils disposeront, etc. Ce discours tend largement à justifier l'appel à la résilience des populations (au sens où elles devront se débrouiller toutes seules) et enjoint les opérateurs privés à pallier les manques annoncés des institutions publiques. Si la manière dont le SGZDS aborde sa responsabilité de sauvegarde des populations est discutable, il est clair que depuis plusieurs années, les autorités sont actives et cherchent à sensibiliser largement le public. Toutefois, leurs actions pour l'adaptation à long terme des acteurs économiques et notamment des gestionnaires de services urbains sont plus limitées, peut-être parce que cela ne relève pas de leur compétence. Alors en Île-de-France, cet acteur omniprésent communique beaucoup sur le risque d'inondation et les actions mises en œuvre, mais reste focalisé sur la gestion de crise. La résilience de la ville relèverait-elle donc d'une autre échelle de gouvernance ? Comment alors cette vision cohabiterait-elle avec la gestion de crise largement mise en avant ?

L'INTERET DE TOUTES LES ECHELLES DE GOUVERNANCE

Si Paris est resté très longtemps largement dominé par la préfecture, c'est que l'État français y conserve un rôle majeur, du fait du caractère central de la métropole parisienne dans le pays. Mais ce ne sont pas les seules institutions à s'intéresser aux capacités de résilience de Paris. La Région tout d'abord a un rôle majeur dans de nombreux secteurs économiques, dont l'organisation des transports. Ainsi, la DRIEE[30] n'est pas seulement responsable de l'élaboration des scénarios et des modèles de crue, elle s'implique également dans les questions de résilience économique. L'Agence régionale de développement a par exemple tenu en 2011 un séminaire économique inondation. Les chambres de commerces départementales sont également concernées et relayent notamment la campagne de diagnostics inondation subventionnés par l'EPTB Grands Lacs de Seine visant à réduire la vulnérabilité des PME/PMI au risque d'inondation. En effet, fort du succès de cette campagne initiée par l'EP Loire depuis plusieurs années déjà, de nombreux EPTB tentent d'agir à la source en incitant les activités exposées à améliorer leur résilience face aux inondations (Rizzoli *et al.*, 2010).

Mais on l'a vu, le rôle premier de l'EPTB Grands Lacs de Seine est la régulation du bassin versant pour limiter les risques d'inondation (cf. 3.1.2). Dans ce cadre, un nouveau projet de bassin de rétention a été soumis au débat public du 2 novembre 2011 au 17 février 2012. De nombreuses réunions publiques ont eu lieu sur l'ensemble du territoire durant cette période et une équipe dédiée répondait aux questions sur le site Internet du débat public[31]. Ce projet largement controversé du fait de l'importance des travaux (il faut par exemple pomper l'eau de la Seine pour remplir les casiers de rétention) et des coûts engendrés (avec notamment un budget de fonctionnement de 5,7 millions d'euros annuel) doit réduire encore le niveau d'une crue de la Seine par l'inondation de plaines agricoles dans la plaine de la Bassée (Figure 3-18).

[30] La direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie est l'équivalent francilien des DREAL des autres régions.
[31] http://www.debatpublic-crueseinebassee.org/index.html

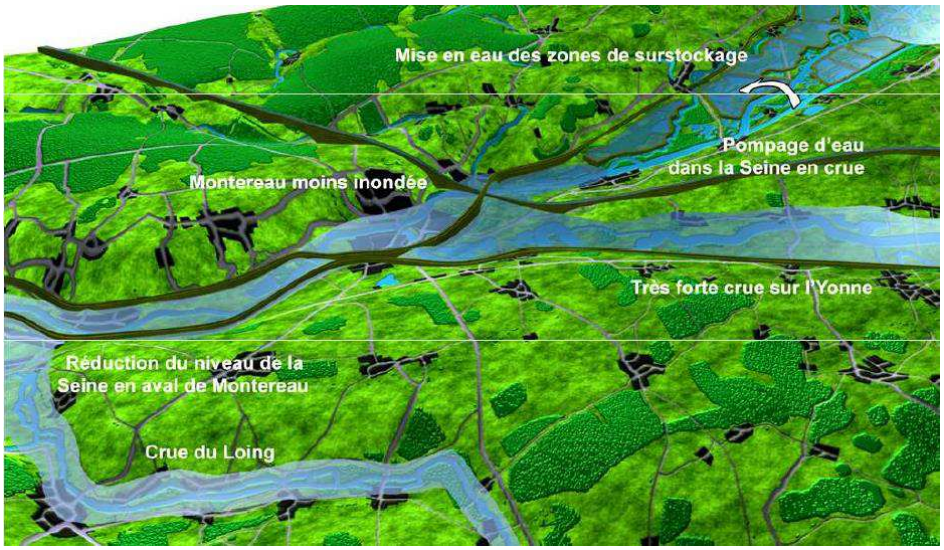


Figure 3-18 : Principe du projet de la Bassée (source : EPTB Seine Grands Lacs, séminaire IAU-Île-de-France « Aménager avec le fleuve : robustesse et risques d'inondation », table ronde n°4 du 10 décembre 2009)

Ce projet permettrait de diminuer d'environ 20 cm le niveau de la Seine à Paris pour une crue de type 1910, ce qui est à la fois peu, car une crue supérieure dépasserait le seuil, et beaucoup, car alors on pourrait diminuer la probabilité d'occurrence d'un débordement direct. Étant donné que Paris, entre autres, a prévu de mettre en place des protections allant jusqu'au niveau de 1910, 20 cm en moins ne changerait pas grand-chose. En réalité, il faudrait évaluer le coût d'une nouvelle rehausse de 20 cm des protections locales (sachant qu'elles produisent des effets induits non négligeables sur le territoire, cf. parties 3 et 4), par rapport au coût de l'aménagement de la Bassée. C'est en effet l'approche choisie par le maître d'ouvrage Grands Lacs de Seine dans sa synthèse disponible sur le site du débat public. Ainsi, pour un projet estimé à 592 millions d'euros, la réduction des dommages attendue est de 1,6 milliards d'euros (Figure 3-19).

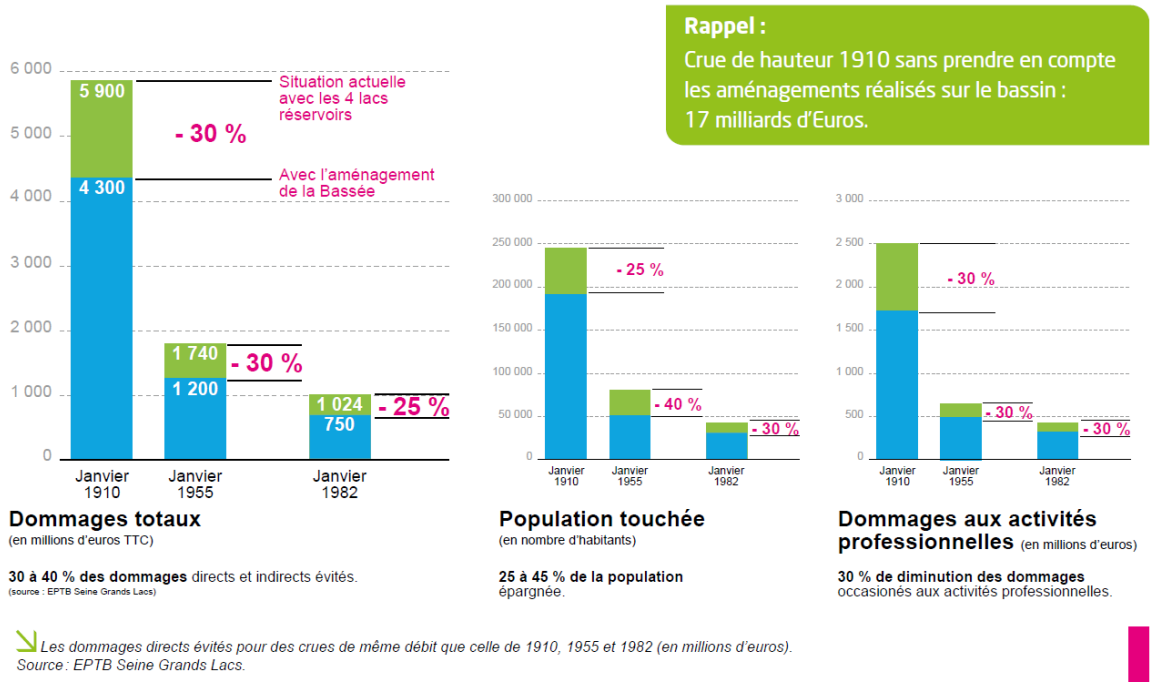


Figure 3-19 : Réduction du montant des dommages de surface (source : dossier du maître d'ouvrage[32])

[32] http://www.debatpublic-crueseinebassee.org/informer/dossier-presentation-projet.html

L'argument donné est le passage sous le seuil de dommages aux réseaux (fixé d'après eux à 7,40 m à l'échelle d'Austerlitz), ce qui reste contestable (cf. chapitre 9). Par ailleurs, cette analyse ne tient pas compte d'autres mécanismes de protection mis en place localement, et probablement moins coûteux que la mesure globale proposée par l'EPTB. Cette vision de la nécessité d'une protection globale pose la question de son financement : par les gestionnaires et les populations protégés ? Qu'en est-il alors du financement des mesures de protection ou d'adaptation qu'ils mettent en place à leur niveau ? Comment alors exiger également des mesures de prévention de la part des collectivités ? Y-a-t-il des outils règlementaires pour assurer une juste répartition des coûts et une articulation pertinente des mesures aux différentes échelles ?

3.2.2. OUTILS REGLEMENTAIRES

GESTION DES RISQUES ET PLANIFICATION

Pour coordonner et faciliter l'implémentation des différentes stratégies de l'échelle régionale à l'échelle locale, de nombreux outils réglementaires peuvent être mobilisés. Les pouvoirs de police du maire l'astreignent à la réalisation d'un plan communal de sauvegarde (PCS). Ce plan détaille les moyens déployés pour gérer les situations de risque identifiées dans les PPR ; il est réalisé par la Ville de Paris mais arrêté par le préfet. Il doit par ailleurs s'articuler avec la gestion, au niveau départemental puis zonal, traduite dans le dispositif ORSEC du SGZDS. D'autres outils portent davantage sur la prévention des risques. Le principal outil local est le plan de prévention des risques d'inondation (PPRI) du département de Paris[33], portant principalement sur l'aménagement urbain (cf. paragraphe suivant). Les PPR ont été créés par la loi Barnier (95-101 du 2 février 1995) et s'inscrivent dans le cadre de la politique de prévention des risques, inclue au code de l'Environnement (L.562-1 et suivants). Il est prescrit par l'État mais traduit au niveau communal au sein des documents d'urbanisme (POS, PLU). Cette traduction doit permettre de mettre en cohérence la politique de gestion du risque et la politique d'aménagement urbain mais cela reste encore largement insuffisant. « Désormais, il s'agit de privilégier simultanément une logique de gestion intégrée de l'eau et une logique de projet territorial de développement durable. » (Scarwell et Laganier, 2004). Encore faut-il parvenir à concilier les différentes échelles de gestion du risque et de l'aménagement bien qu'elles soient nombreuses. Les périmètres d'application des documents réglementaires, se superposent aux territoires de projet, concernant le risque d'inondation ou la gouvernance (Figure 3-20) mais il faut également tenir compte des périmètres de gestion de la ressource en eau de manière plus générale :

- agence de l'eau Seine-Normandie avec notamment le SDAGE ;
- les SAGE locaux entourant Paris qui n'est pas concerné (Marne confluence, Bièvre, Croult, Yerres, Petit et grand Morin, Bassée-Voulzie, etc.) ;
- plan Seine : contrat de projet interrégional État-régions de 2007 à 2013.

[33] http://www.Île-de-France.gouv.fr/La-prefecture-et-vous/Particuliers/Prevention-et-risques/Informations-relatives-au-risque-inondation/Plan-de-Prevention-des-Risques-d-inondations-du-departement-de-Paris-PPRI

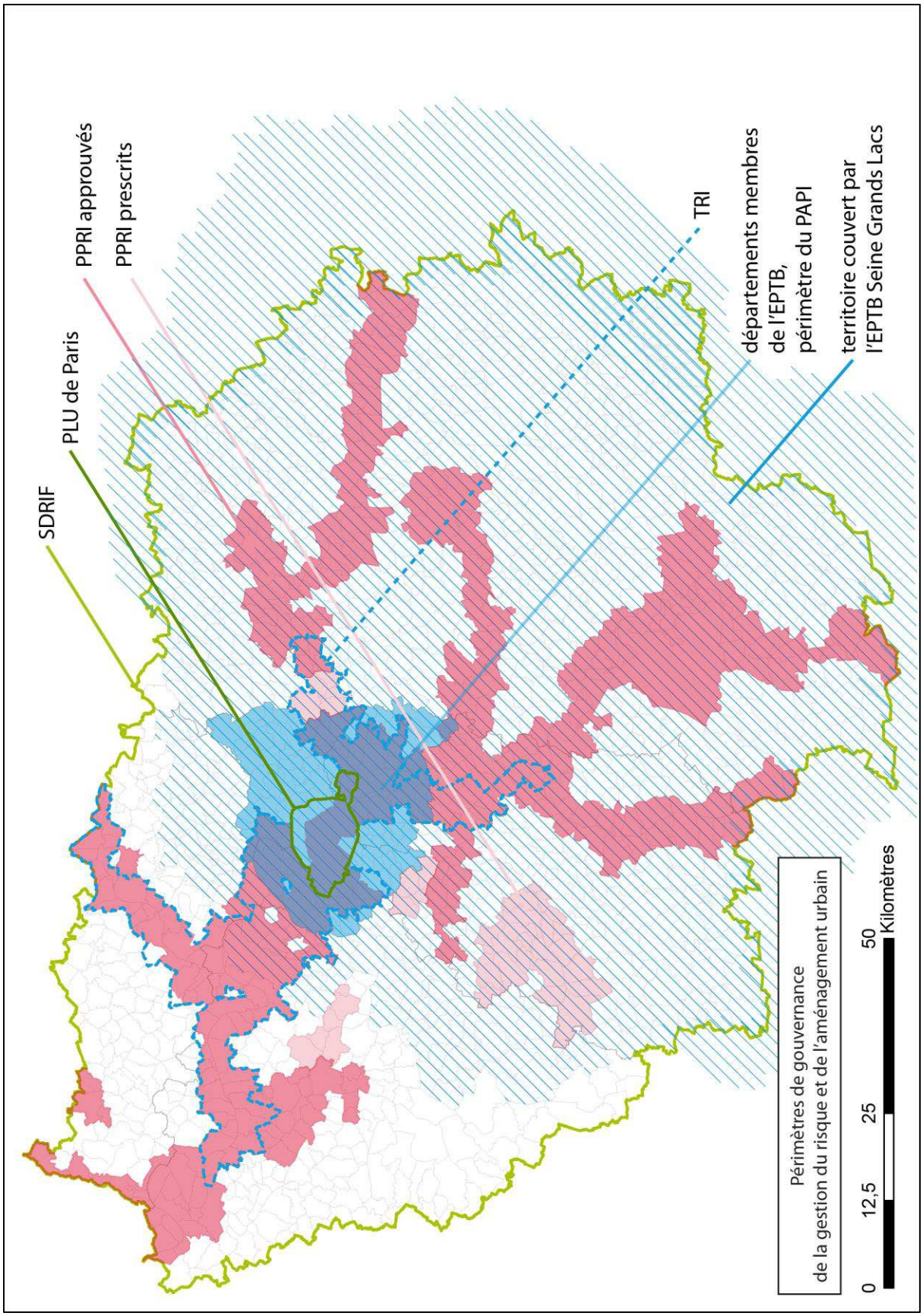


Figure 3-20 : Différentes échelles de gestion du risque et de l'aménagement du territoire (les données concernant les PPRI datent du 1er janvier 2013, source : DRIEE)

Alors dans l'idéal, « les SAGE et contrats de rivière établissent le cadre pertinent d'analyse des SCOT et des PLU. Ces derniers rendent pleinement opérationnels les SAGE et contrats de rivière qui ne peuvent établir eux-mêmes des servitudes d'utilisation des sols opposables aux tiers. » (Scarwell et Laganier, 2004). Mais qu'en est-il réellement en Île-de-France ?

La directive européenne 2007/60/CE relative à l'évaluation et la gestion des risques d'inondation vient également modifier l'approche actuelle française en révisant les niveaux de référence. En effet, la crue centennale n'est plus la crue maximale prise en référence dans les plans de prévention : elle devient une crue moyenne. La directive impose aux territoires à risques importants d'étudier les inondations de retour millénale et d'en cartographier les impacts. Ainsi, les plans actuels devront être révisés pour tenir compte des nouvelles cartographies. Étant donnés les niveaux cartographiés (évènement extrême dont les cartographies sont sorties en octobre 2013 pour consultation[34]), il ne sera plus possible d'opter pour des solutions de protection comme c'est bien souvent le cas actuellement. La transposition de la directive en droit français s'est faite dans la loi Grenelle 2 (art. 221) du 12 juillet 2010 et comporte plusieurs phases (voir le site de la DRIEE[35]). Les territoires à risque important d'inondation (TRI) sont désignés par bassin versant par l'arrêté du 6 novembre 2012 établissant la liste des territoires dans lesquels il existe un risque d'inondation important ayant des conséquences de portée nationale. L'Île-de-France y est désignée comme TRI, sur un périmètre restreint bordant la Seine (Figure 3-20). La question du périmètre retenu n'est pas anodine car une structure cohérente avec ce périmètre (donc éventuellement nouvelle) devra effectuer les études pour cartographier les surfaces inondables et définir des stratégies locales de gestion. L'EPTB Seine Grands Lacs devrait logiquement mener les études sur ce territoire, tout comme il le fait pour la proposition de programme d'actions de prévention contre les inondations (PAPI) qui devait être labellisé fin 2013. Ce PAPI porte sur les quatre départements membres de l'EPTB : Paris, Seine-Saint-Denis, Hauts-de-Seine, Val-de-Marne et comporte une liste de propositions d'actions suivant les sept thématiques :

- amélioration de la connaissance et de la conscience du risque ;
- surveillance, prévision des crues et des inondations ;
- alerte et gestion de crise ;
- prise en compte du risque inondation dans l'urbanisme ;
- actions de réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens ;
- ralentissement des écoulements ;
- gestion des ouvrages de protection hydrauliques.

Sur une durée de 6 ans (révision à mi-parcours), les actions proposées par les collectivités sont mises en œuvre et subventionnées de 20 à 100 % par l'État, pour un montant global d'environ 115 millions d'euros. Il faut signaler que l'accent est mis sur la maîtrise du risque et peu sur l'adaptation puisque certaines actions ne sont pas éligibles au PAPI comme les plans de continuité d'activité, alors que le projet d'aménagement de la Bassée y est inclus, à hauteur de 100 millions d'euros.

AMENAGEMENT URBAIN ET RESEAUX

Le premier PPRI de Paris a été prescrit par le préfet en 1998 et a été approuvé le 15 juillet 2003 après les études techniques, l'approbation du Conseil de Paris et l'enquête publique. Il a donc ensuite été annexé au PLU et vaut servitude d'utilité publique. Des difficultés d'application ont ensuite mené à la révision du premier PPRI en 2007. L'aléa de référence n'a pas été modifié (plus hautes eaux connues, atteintes en 1910), ni le zonage :

[34] L'évènement extrême retenu pour Paris est un scénario R1.4. Les premières cartographies font état d'un doublement des populations exposées dans la région (de 160 000 à Paris pour l'évènement moyen, correspondant à la crue de 1910, à 400 000 pour l'évènement extrême), avec par ailleurs des hauteurs d'eau quasi généralisée à plus d'un mètre et des zones dépassant les deux mètres, ce qui constitue alors un risque pour les vies humaines.

[35] http://www.driee.Île-de-France.developpement-durable.gouv.fr/comiter-du-26-juin-2012-ouverture-a1186.html

des niveaux homogènes sont déterminés par « casier » ou îlot urbain, définissant trois zones de réglementations (extraits du rapport de présentation du PPRI 2007) :

- La zone verte correspond aux zones d'expansion des crues. Sa vocation première est de permettre un stockage des eaux pour favoriser l'écrêtement de la crue. Pour cela, il est nécessaire de laisser cet espace le plus libre possible de toute construction volumétrique.
- La zone rouge est la zone d'écoulement principal du fleuve en période de crue. Elle doit être encombrée du moins d'obstacles possibles afin de permettre le libre écoulement.
- La zone bleue correspond aux zones urbanisées situées en zone inondable. Au sein de cette zone, deux variantes sont définies : une zone bleu sombre, qui correspond à des secteurs de bâtis importants exposés à des niveaux de submersion potentiellement supérieurs à un mètre, et une zone bleu clair correspondant au reste de la zone inondable, exclusion faite des zones verte et rouge.

Chaque zone est cartographiée sur l'ensemble du territoire et fait l'objet d'un usage du sol réglementé, décrit dans le règlement du PPRI. Les enjeux sont également recensés et font l'objet de prescriptions particulières selon leur importance, également décrites dans le règlement du PPRI. Étant donné l'importance des enjeux économiques et stratégiques présents sur le territoire, la conciliation entre leur protection, leur continuité d'activité et la réduction des risques d'inondation est un enjeu majeur pour les autorités (Figure 3-21). Le territoire parisien étant déjà largement urbanisé, les dispositions du PPRI s'appliquant à l'existant sont rarement activées, et les dispositions relatives à l'existant sont moins contraignantes. Ces obligations relèvent principalement de la protection des équipements sensibles (électricité, autres réseaux) et de la planification de la continuité d'activité. En pratique, le contrôle de la conformité des permis de construire avec les prescriptions du PPRI, par les services de l'urbanisme, reste difficile dans l'état actuel des connaissances et des moyens (sauf pour les opérations d'envergure).

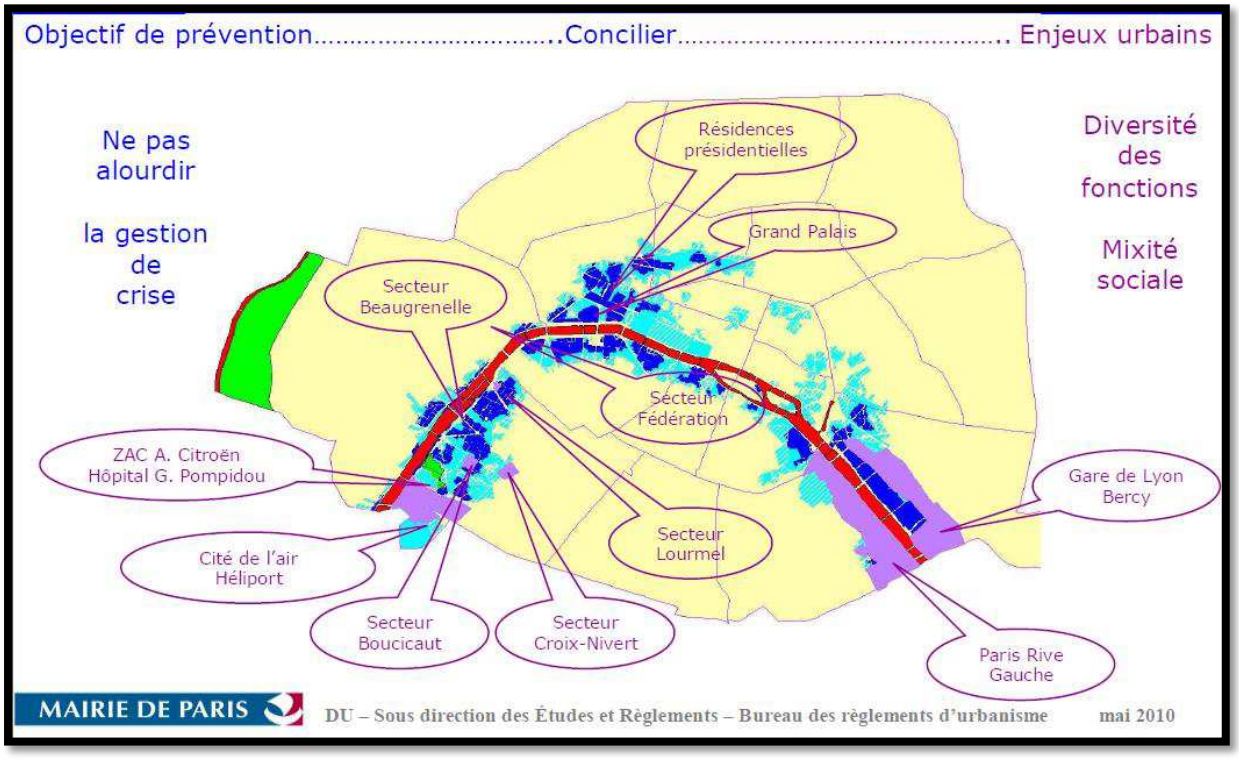


Figure 3-21 : Zonage du PPRI et enjeux stratégiques (source : extrait d'une présentation du PPRI par la direction de l'urbanisme de la Ville de Paris)

Pour le reste de l'Île-de-France, où les espaces urbanisables sont encore existants, les PPRI (Figure 3-20) n'ont que très peu limité l'urbanisation des zones inondables. Cela est en partie dû au du schéma directeur d'aménagement de l'Île-de-France (SDRIF) de 1994 qui prenait peu en compte les risques d'inondation et reste d'ailleurs en vigueur. La situation en 2008 restait largement tournée vers l'urbanisation ou le renouvellement urbain des zones inondables (cf. 3.1.2), avec une prise en compte plus ou moins bien réussie du risque d'inondation dans les projets urbains (cf. chapitre 8), comme le montre par exemple le projet Seine-Ardoines (Brun et Adisson, 2011).

Que ce soit pour l'existant ou le neuf, les propriétaires volontaires pour préparer au mieux leur bâtiment à l'inondation, dépendent toujours de la continuité des services urbains. Ceux-ci sont donc également soumis à des obligations par le règlement du PPRI de Paris qui stipule que :

> Pour les réseaux souterrains, en raison du nombre important d'interconnexions entre les réseaux, les gestionnaires s'attacheront à prendre toutes mesures utiles pour éviter les entrées d'eau ou pour contenir celles-ci, y compris en cas de pénétration accidentelle (rupture d'une protection, d'une voûte, panne des moyens de pompage…).

Les services désignés par le règlement du PPRI sont les suivants :

- **Les réseaux de transport en commun :**
  - la Régie Autonome des Transports Parisiens,
  - la Société Nationale des Chemins de Fer,
  - l'établissement public Réseau Ferré de France.
- **Les réseaux de distribution des fluides :**
  - Distribution de l'eau et assainissement
    - Compagnie des Eaux de Paris
    - Eau et Force
    - Eaux de Paris
    - Service Municipal de l'Assainissement de Paris
    - Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne
  - Distributeurs énergétiques
    - Électricité de France
    - Gaz de France
  - Téléphonie
    - France Télécom
  - Autres
    - Climespace
    - Groupement thermique des Halles
    - Compagnie parisienne de chauffage urbain

Parmi ceux-ci, de nombreux gestionnaires ont interprété cette obligation en termes de protection malgré l'objectif également affiché de continuité des services.

> Les réseaux de transport en commun et distributeurs de fluides […] doivent analyser leur vulnérabilité et intégrer dans leurs projets toutes dispositions constructives adaptées visant à *permettre le fonctionnement normal* des lignes, ou, a minima, à *supporter sans dommages structurels* une immersion prolongée de plusieurs jours et un *redémarrage de l'activité le plus rapidement possible* après le départ des eaux.

Les gestionnaires ont donc eu cinq ans pour réaliser un « plan de protection contre les inondations », soumis pour avis conforme au préfet de police. Ainsi, le PPRI de Paris vient renforcer les obligations aux OIV issues du Code de la défense (cf. 1.1.2), en termes de continuité d'activité, mais il ne répond toujours pas à la problématique des interdépendances des services urbains. La continuité des services reste donc abordée de manière sectorielle, dans laquelle chaque gestionnaire met en place une stratégie suivant sa propre interprétation du PPRI. Il est donc important de caractériser ces stratégies et surtout leur compatibilité, dans la mesure où il n'y a aucune obligation de collaboration entre les gestionnaires mis à part « la compatibilité [du]

plan de protection [des gestionnaires de réseaux en communication avec les réseaux souterrains de transport en commun] avec le plan de protection des transports en commun », ce qui est largement insuffisant.

3.2.3. L'INTERET DE LA GESTION DES RISQUES PAR LA RESILIENCE ET LA COLLABORATION

VERS PLUS DE COLLABORATION ET DE COHERENCE DANS LES STRATEGIES DE REPONSES

Face à ce contexte francilien complexe exposé à de nombreux risques, aux enjeux multi-échelle, et aux périmètres d'intervention nombreux, il est primordial d'apporter plus de cohérence dans la démarche de gestion des risques. Pour cela, la dimension collaborative mise en avant dans l'amélioration de la résilience (cf. 1.3) doit permettre d'impliquer les parties prenantes et de confronter l'ensemble des objectifs recherchés pour aller vers une réelle résilience de la métropole parisienne. Il faut ainsi amener les acteurs de la résilience de Paris à échanger des informations sur leur situation, leurs actions, afin de permettre aux décideurs de préparer les meilleures stratégies possibles. De même, il faut intégrer les différentes échelles de gestion (van Herk *et al.*, 2011) : bassin versant et ouvrages de réduction des crues, région et schémas d'aménagement, commune et réglementation des sols, réseaux et mesures de protection ou continuité d'activité. Cela permettrait de mutualiser les moyens déployés, de répartir les coûts sur les différents bénéficiaires et surtout d'assurer l'efficacité des mesures mises en œuvre qui peuvent parfois être contradictoires.

La cohérence temporelle est également importante pour arriver à passer d'un plan de prévention adapté à une gestion de crise puis un rétablissement efficace. Malgré les nombreux acteurs impliqués dans la gestion des risques au sens large (aménagement, prévention, préparation, intervention), il est nécessaire d'assurer la cohérence entre les stratégies de long terme et les stratégies de gestion de crise et de rétablissement ; encore faut-il identifier l'acteur ou l'institution garante de cette cohérence… L'articulation entre prévention et intervention permet d'identifier au préalable les points faibles du territoire, les points forts sur lesquels s'appuyer, puis de prioriser les interventions et les moyens. L'approche par la résilience de la ville permet justement de préparer sur le long terme les mécanismes d'adaptation qui favorisent une meilleure réponse sur le court terme (Figure 3-22), du fait de l'apprentissage notamment. Ainsi, les stratégies d'adaptation à long terme facilitent les plans de gestion des perturbations à court terme, réduisant progressivement le niveau de perturbation subi par les systèmes impactés (Lhomme, 2012c).

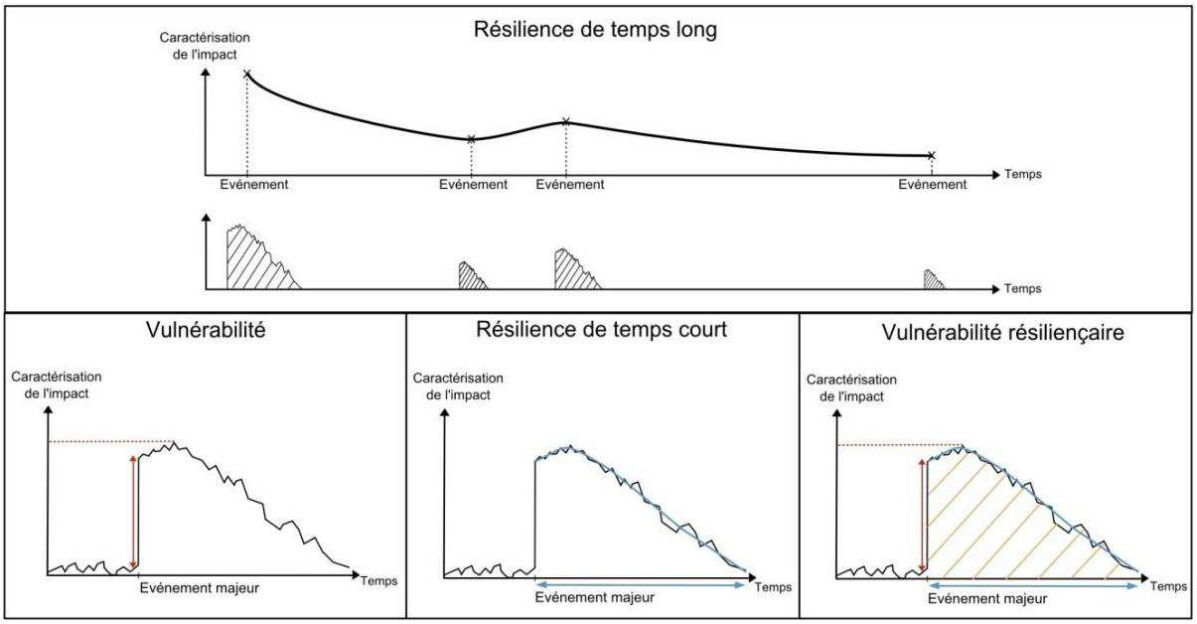


Figure 3-22 : La résilience envisagée selon deux échelles de temps (Lhomme, 2012c)

Ce dialogue établi entre acteurs dépendant spatialement et temporellement les uns des autres a par ailleurs des avantages, y compris hors situations de risques. En effet, le partage des objectifs de chacun, de ses contraintes et de ses marges de manœuvre permet de mieux appréhender n'importe quelle situation de perturbation puisque les impacts d'un système sur les autres sont connus et partagés par toutes les parties prenantes. Le travail collaboratif permet alors d'identifier collégialement les actions à mettre en place pour limiter la propagation de défaillances ou sauvegarder les enjeux majeurs. Pour aller plus loin, la culture de l'échange et de la confiance entre gestionnaires urbains facilite l'exploitation quotidienne des systèmes urbains. Cette connaissance pourrait même être utilisée pour concevoir ou réhabiliter des systèmes urbains intégrant les contraintes dues aux interdépendances et limitant de ce fait les impacts négatifs d'un système sur les autres. On se rapprocherait alors d'un système intégré de pilotage des systèmes urbains, voire de la *Smart City*.

Vers un changement de paradigme de la gestion des risques

Avant d'arriver jusqu'à la prise en compte de la résilience dès la conception des systèmes urbains, le concept semble toucher de plus en plus la vision française de la gestion des risques. En effet, la notion d'adaptation liée au concept de résilience permet de mettre l'accent sur les capacités de chacun à faire face à une perturbation et non à la capacité de l'État à protéger l'ensemble de ses citoyens. Dans le contexte avéré de réduction des moyens, cette stratégie, contestable mais considérée ici comme un état de fait, répond donc à un des enjeux majeurs identifiés dans le changement de paradigme de la gestion des risques. Il ne faut toutefois pas réduire le concept de résilience à la capacité de rétablissement une fois l'évènement survenu. Les capacités d'adaptation et d'apprentissage sont primordiales et nécessitent donc d'anticiper les perturbations potentielles, adapter durablement les systèmes urbains et les comportements à ces perturbations et mettre en place les conditions pour une réponse adaptée lors d'une perturbation, quelle qu'elle soit. Ainsi, si le concept semble de plus en plus utilisé par les autorités françaises, il implique des changements importants dans la gestion des risques. Le concept de résilience nécessite de travailler davantage sur la prévention des risques, en cohérence avec la gestion de crise. L'approche nécessite également d'accepter la possibilité des défaillances, d'accepter l'inévitabilité du risque et prévoir les mécanismes de réponse, mais surtout les mesures d'adaptation à long terme (Aschan-Leygonie, 2000). La protection ne fait que repousser les effets de seuil et son coût n'incite pas à l'adaptation. Si les mécanismes de protection existant n'ont pas vocation à être systématiquement remis en question, cette vision questionne la pertinence de la surenchère de la protection telle que proposée avec l'aménagement de la Bassée et suggère plutôt la mise en place d'approches telles que *Room for the river*[36] (de Groot, 2011). L'approche par la résilience combine alors les solutions de type « barrière » face à des risques faibles mais probables contre lesquels nous pouvons nous prémunir, puis des mesures d'adaptation de l'organisation face à des risques importants mais rares (Rigaud, 2011). La politique française de gestion des risques étant fortement reliée aux mécanismes d'indemnisation (Dubois-Maury, 2002), la question d'un nouveau régime assurantiel intégrant ces nouvelles approches pose question. Comment indemniser sans inciter au retour à l'état initial (montant estimé par rapport à l'existant), afin de favoriser l'adaptation à long terme ? Comment répartir les moyens entre les composants protégés et les composants dégradés « volontairement » pour assurer la résilience globale ?

Malgré son utilisation déjà large au niveau international, de nombreux ministères se sont saisis du concept récemment : ministère en charge de l'Environnement, ministère de la Culture, ministère des Affaires étrangères. Chacun dans leur domaine, ils tentent d'analyser comment utiliser le concept de résilience dans leurs politiques publiques. L'implémentation de ce nouveau paradigme sera toutefois longue et difficile car elle implique des changements majeurs dans la manière de faire de l'ensemble des acteurs. La mise en œuvre de la résilience urbaine requiert donc une nouvelle culture d'innovation, de monitoring et d'évaluation des projets (Ahern, 2011).

[36] Littéralement « place à la rivière »

Synthèse

Le statut particulier de Paris ville-département a introduit une répartition complexe des compétences et des responsabilités entre la Ville et la Préfecture. L'intervention de l'État français et de la Région est également justifiée par l'importance de la capitale. Les échelles de gouvernance de gestion des risques et d'aménagement sont donc nombreuses mais il faut également y ajouter les autres acteurs de la gestion du risque d'inondation comme l'EPTB Seine-Grands Lacs. Ainsi, entre la réglementation de l'usage des sols à l'échelle communale, les PPRI à l'échelle départementale, le schéma directeur régional, le plan ORSEC zonal (donc régional) et la gestion de la ressource en eau à l'échelle du bassin versant, les mesures redondantes ou contradictoires sont nombreuses. Concernant les services urbains, les principales obligations sont contenues dans le PPRI de Paris, mais elles ont été laissées à la libre interprétation de chaque gestionnaire. Face à ce cadre de gouvernance complexe et manquant de cohérence, la gestion des risques par le concept de résilience devrait répondre à l'enjeu d'échelles multiples et de prise en compte de conflits d'intérêt. Le concept implique cependant un changement majeur dans la manière d'appréhender le risque. Concernant le risque d'inondation à Paris, les conséquences sont majeures avec l'arrêt de l'escalade des niveaux de protection et un travail tourné vers l'adaptation des organisations et des populations pour faire face à l'incertitude.

3.3. Co-construction de la demarche avec les gestionnaires

À partir de l'analyse du contexte particulier du terrain d'étude choisi, il est maintenant possible d'affiner les objectifs de la recherche. Les questions de recherche traduisent la volonté de tenir compte des spécificités du terrain d'étude afin d'opérationnaliser la démarche. La méthodologie est donc développée avec les parties prenantes de la problématique, les gestionnaires de services urbains, et aboutit à une démarche en deux étapes.

3.3.1. Objectifs de la recherche

Questions de recherche

La résilience des services urbains parisiens est un enjeu majeur de la capacité de la ville à faire face à une inondation de type 1910. Les gestionnaires sont nombreux et interviennent à des échelles très différentes, suivant des objectifs qui leur sont propres. La prise en compte des interdépendances est encore insuffisante, voire absente. De nombreuses institutions sont impliquées dans la gestion des risques en Île-de-France mais les actions aux différentes échelles sont peu coordonnées, voire incompatibles, et peuvent avoir des conséquences majeures sur la résilience des services urbains. Les services urbains eux-mêmes sont fortement interdépendants, mais la prise en compte de ces interactions reste limitée, notamment par manque de formalisation et d'évaluation. Les questions de recherche qui émergent de ce travail préliminaire sur le contexte parisien sont :

- Comment expliciter et formaliser les interdépendances des services urbains ?
- Comment représenter les interdépendances et leurs effets au sein d'un territoire ?
- Comment faire collaborer les différents gestionnaires dans l'optique d'une gestion intégrée de ces interdépendances ?
- Comment utiliser ensuite ces résultats pour améliorer la résilience du territoire ?
- Comment pérenniser la démarche ?

L'objectif de recherche est donc de proposer une méthodologie d'amélioration de la résilience urbaine appuyée sur les services urbains et tenant compte de la complexité du contexte francilien. Pour cela, la démarche vise à améliorer les conditions de la résilience des services urbains par l'apprentissage et la collaboration des acteurs. Il est en effet nécessaire de dépasser les approches sectorielles de gestion de la ville, et notamment des services urbains, qui limitent l'efficacité des mesures mises en place par les gestionnaires. Cette démarche est donc à la fois une fin – une méthode collaborative destinée à formaliser des informations et faciliter les échanges entre parties prenantes – et un moyen d'améliorer la résilience en développant la connaissance et la collaboration. Ce premier travail avec les gestionnaires de services urbains pourra être étendu aux autres acteurs de la ville (cf. chapitre 9), dans une optique de collaboration et d'échanges, tournée vers la résilience globale de la ville.

Cette recherche se place donc dans la lignée des recherches menées à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) concernant les méthodes de diagnostics partagés dans lesquelles le « processus de conception est aussi important que son résultat » (Joerin *et al.*, 2005). L'enjeu est en effet de structurer le problème des interdépendances des services, comme pour un diagnostic de territoire, en identifiant les enjeux et les stratégies de chacun. Pour cela, il est utile d'exprimer et formaliser les représentations des différents acteurs lors d'un travail collaboratif afin de construire une vision commune (Desthieux, 2005 ; Desthieux *et al.*, 2005).

APPORTS DE LA RECHERCHE

Cette recherche s'inscrit dans le cadre de la recherche en géographie, il est donc utile d'en préciser les apports au sein de la discipline (Gumuchian et Marois, 2000). Dans la mesure où le travail épistémologique a été repris de travaux antérieurs (Lhomme, 2012a) (cf. chapitre 1), la recherche n'a pas vocation à affiner les concepts manipulés. Ils pourront cependant être discutés à la lumière des résultats de la recherche (cf. chapitre 9). Il ne s'agit donc pas de remplir un vide théorique mais plutôt un vide méthodologique en formalisant une méthode collaborative reproductible, qui mêle les aspects techniques et organisationnels. Le problème étudié n'est pas nouveau, mais traité jusqu'à présent de manière sectorielle : les interdépendances des services urbains. Plus précisément, l'analyse empirique du phénomène étudié, l'inondation, est approfondie par l'évaluation de l'impact des interdépendances, puis des stratégies mises en place par chaque gestionnaire, sur la résilience des services urbains et de la ville de Paris. Pour cela, il faut formaliser des informations qualitatives inédites concernant les interdépendances et donc créer de nouveaux outils et méthodes afin de les analyser. Enfin, l'étude ne conduit pas, a priori, à des généralisations intéressantes en termes de description des interdépendances, mais la méthode développée vise à être reproductible sur tout autre territoire urbain.

En effet, les recherches en géographie urbaine, reconnaissent l'importance des spécificités de chaque ville. Elles ne visent donc pas à la généralisation des résultats, mais à l'identification de processus et de variables importantes, même si elles s'articulent différemment suivant les contextes (Coutard, 2008). Dans cette optique, la recherche gagne à s'appuyer sur les connaissances expertes du terrain pour assurer la pertinence des données produites d'une part, et pour impliquer ces acteurs d'autre part. Il est alors possible de faire entrer de nouvelles manières d'appréhender la ville au cœur même du processus de fabrication et de gestion de la ville, par le biais des acteurs. C'est pourquoi les sciences sociales sont également utiles dans cette démarche, mais l'expérimentation ne contribue pas directement au développement scientifique de ce domaine.

Finalement, l'objectif de cette recherche est de :

> Développer des approches méthodologiques et des outils pour aider les gestionnaires de services urbains à identifier et à caractériser leurs interdépendances aux niveaux techniques et organisationnels, afin d'assurer la continuité de leur service en cas de perturbation.

3.3.2. METHODOLOGIE DE L'EXPERIMENTATION

ACTEURS RENCONTRES

Pour répondre aux questions de recherche et atteindre les objectifs visés, la démarche est conduite avec les gestionnaires de services urbains parisiens. La constitution du réseau et son fonctionnement sont appuyés sur les principes de la traduction (cf. 2.2.2) sans toutefois en formaliser les étapes. « Grâce à la recherche collaborative, les identités sont explorées en même temps que le collectif. » (Callon *et al.*, 2001). Ainsi, cette démarche permet à la fois d'identifier les fonctionnements de chaque entité et d'analyser le fonctionnement global, tant au niveau des systèmes que des acteurs.

Les rencontres avec les gestionnaires des principaux services urbains (Figure 3-23) ont été réalisées avec l'appui de la Ville de Paris, et en particulier de la direction de la prévention et de la protection (DPP) qui a en charge l'application du PPRI de Paris notamment. Étant donné leur nombre et les périmètres vastes couverts (cf. 3.1.3), le périmètre est limité aux services urbains présents intra-muros, qui relèvent de la responsabilité de la Ville de Paris, bien que les articulations avec les échelles supérieures soient prises en compte. Les gestionnaires rencontrés étaient pour la plupart les « référents crue » du service, souvent en charge de la mise en œuvre d'une stratégie de gestion du service en cas d'inondation. Certains étaient donc impliqués dans les groupes de travail du SGZDS (cf. 3.2.1). Ils ont été rencontrés plusieurs fois entre août 2011 et octobre 2012.

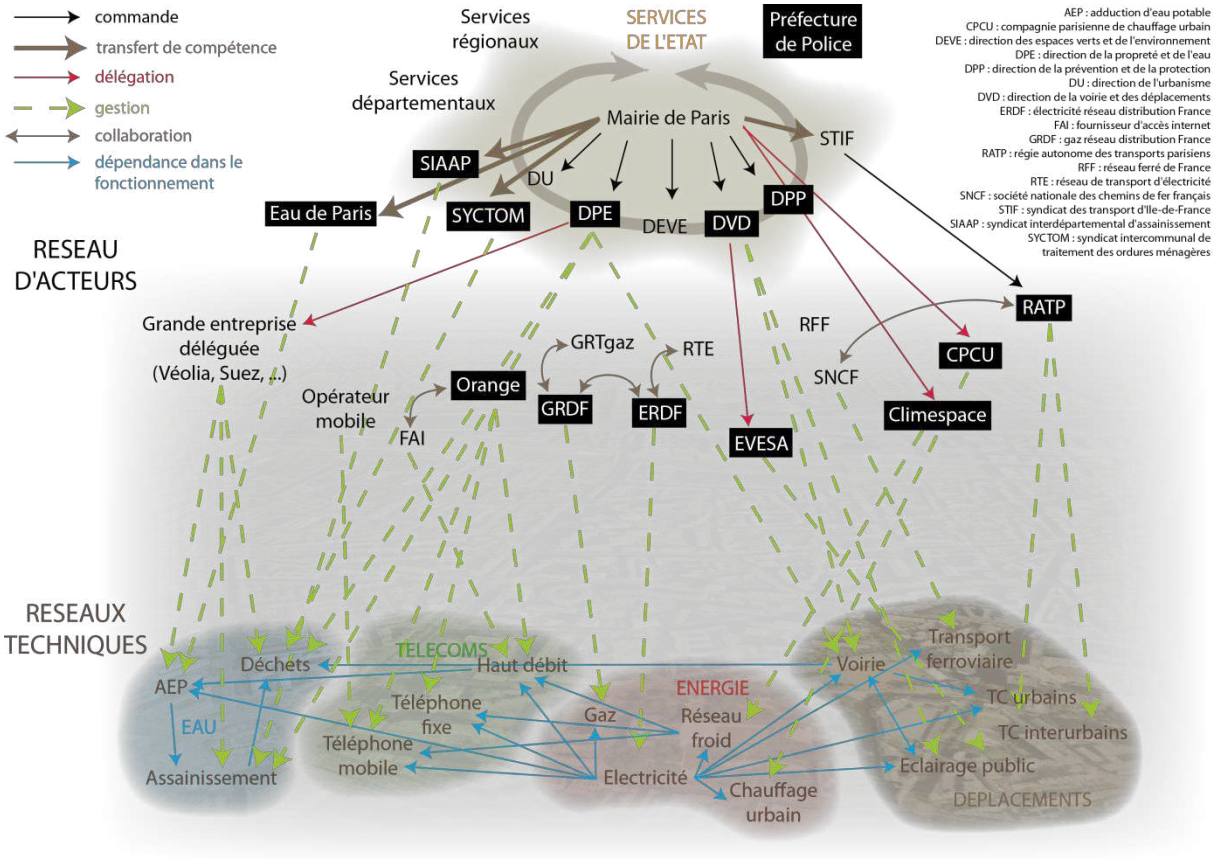


Figure 3-23 : Cartographie des acteurs des services urbains parisiens, les services surlignés en noir ont été rencontrés (Toubin et al., 2013c)

Pour faciliter la compréhension de la suite de ce travail, le Tableau 3-4 récapitule les services urbains rencontrés, le service principal assuré (sachant qu'ils assurent bien souvent des missions secondaires tout aussi importantes), le rattachement, la compétence et le périmètre d'action repris du Tableau 3-3. Il faut mentionner ici d'autres services qui ont été rencontrés dans cette première phase mais qui n'ont pas été utilisés pour le reste de l'analyse :

- Véolia Propreté, pour la direction transports chargés du transfert des ordures ménagères pour plusieurs syndicats d'Île-de-France. Cet opérateur disposant d'une importante flotte de camions à fond roulant était pressenti pour prendre en charge le transfert des déchets en cas d'inondation et d'arrêt des usines de traitement, mais son rôle n'était pas formalisé et l'interlocuteur a quitté l'entreprise peu de temps après le premier entretien.
- La direction des espaces verts et de l'environnement (DEVE) de la Ville de Paris qui est en charge d'un service dont la continuité est indispensable : l'inhumation dans les cimetières parisiens. Malgré la criticité et la complexité de cette problématique, ce service relève davantage des services urbains dépendants des réseaux techniques au même titre que les secours, la santé ou l'éducation.
- La direction des systèmes et technologie de l'information (DSTI) de la Ville de Paris, en charge de l'ensemble des systèmes de communication mais aussi des logiciels, dont les ressources techniques : logiciels de la direction de l'urbanisme par exemple (cadastre, permis de construire) et les ressources de fonctionnement : messagerie, paye, etc. La continuité de ce service est donc indispensable pour le fonctionnement de tous les autres services de la Ville de Paris, mais il relève davantage d'une analyse du fonctionnement interne, au même titre que les services informatiques de tout gestionnaire. Il faut

mentionner que la DSTI a déjà évalué la criticité (en termes d'impact en cas de crise et d'importance pour le maintien des missions prioritaires) des différentes ressources dont elle a la charge dans le cas de trois perturbations majeures : canicule, pandémie et inondation. Des mesures de sauvegarde des serveurs ont également été mises en place dans le cadre de la protection contre le risque d'inondation.

Tableau 3-4 : Services urbains rencontrés pour le travail de recherche

Désignation	Service principal fourni	Rattachement	Compétence	Périmètre
ERDF	électricité	Filiale à 100% d'EDF	Gestion du réseau public de distribution d'électricité	Réseau piloté à l'échelle régionale avec interconnexions nationales et internationales
GRDF	gaz	Filiale à 100% de GDF Suez	Activités de distribution de gaz naturel	Réseau piloté à l'échelle régionale avec interconnexions nationales et internationales
CPCU	chauffage	Filiale de la Ville de Paris et Cofely (groupe GDF Suez)	Délégation de service public de distribution de chaleur de la Ville de Paris	Réseau couvrant Paris intra-muros pour environ 1/4 des besoins en chaleur
Climespace	climatisation	Filiale de GDF Suez	Livraison d'eau froide par réseau aux bureaux, entreprises industrielles, habitats pour la climatisation et le refroidissement	Réseau limité à certains quartiers de Paris intra-muros, réseau de Bercy indépendant du réseau central
Eau de Paris	eau potable	Ville de Paris	Gestion du service public de la production à la distribution de l'eau à Paris	Réseau couvrant l'intégralité de Paris intra-muros mais avec des installations en dehors du territoire
SAP	assainissement	DPE	Assurer l'hygiène et la salubrité publique (collecte des eaux usées), garantir la qualité de l'environnement	Réseau couvrant l'intégralité de Paris intra-muros et interconnecté avec le réseau du SIAAP
SIAAP	assainissement	4 départements : Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis et Val-de-Marne	Service public de l'assainissement (transport et traitement)	Réseau couvrant les arrondissements parisiens, la quasi-totalité des communes de la petite couronne et quelques communes de grande couronne
Propreté	collecte déchets	DPE	Collecte des ordures ménagères et nettoiement des rues	Réseau couvrant l'intégralité de Paris intra-muros (une direction par arrondissement)
SYCTOM	traitement déchets	Adhésion des communes	Traitement et valorisation des ordures ménagères	Réseau couvrant l'intégralité de Paris intra-muros, une bonne part de la petite couronne, disposant d'installations réparties sur le territoire et en interaction avec les services de collecte des déchets de la Ville de Paris entre autres
PC Lutece	régulation du trafic	DVD	Gestion des feux de l'ensemble des voies et carrefours parisiens	Réseau de régulation couvrant l'ensemble du réseau viaire intra-muros
PC Berlier	régulation du trafic	DVD	Indication des temps de parcours et surveillance incendie du réseau	Réseau de régulation couvrant l'intégralité du périphérique, des voies sur berge et des tunnels
EVESA	éclairage		Éclairage public et maintenance de la SLT de la Ville de Paris	Réseau couvrant l'intégralité de Paris intra-muros mais avec des installations en dehors du territoire
Fonctionnelle	viabilité	DPE	Maintien de la viabilité (nettoiement, viabilité hivernale, voies sur berge et périphérique)	Réseau couvrant l'intégralité de Paris intra-muros
Voirie	déplacement	Espace public	Permettre le déplacement en véhicules et à pied, repose sur plusieurs services	
RATP	transport	Contrats d'objectifs avec le STIF	Exploitation du réseau de transport en commun de personnes par bus, métro, tramway et RER	Réseau couvrant l'ensemble du service de métro intra-muros et également en Ile de France, en interaction avec les réseaux bus Optile et la SNCF
Orange	télécommunications		Anciennement service public français de télécommunications (France Télécom) : opérateur de téléphonie fixe, mobile et fournisseur d'accès internet	Réseau couvrant l'intégralité de Paris intra-muros en interaction avec les autres opérateurs télécoms

DEMARCHE PROPOSEE

La méthodologie visant à aider les gestionnaires à identifier et prendre en compte leurs interdépendances s'est construite progressivement, suivant les échanges avec les gestionnaires. Le processus itératif autour des attentes des gestionnaires et des objectifs de la recherche correspond bien à une démarche de recherche-action. L'intérêt de débuter d'abord par un diagnostic global ne nécessitant pas trop d'informations avait déjà été identifié en analysant les démarches existantes (cf. 2.3). La démarche est donc séparée en deux grandes étapes : un diagnostic global puis une analyse plus locale, mais elle reprend la structure d'analyse de la résilience d'un système socio-écologique (Figure 1-21). La structure complète et les sortants obtenus sont donnés ici pour une meilleure compréhension des deux parties suivantes (Figure 3-24).

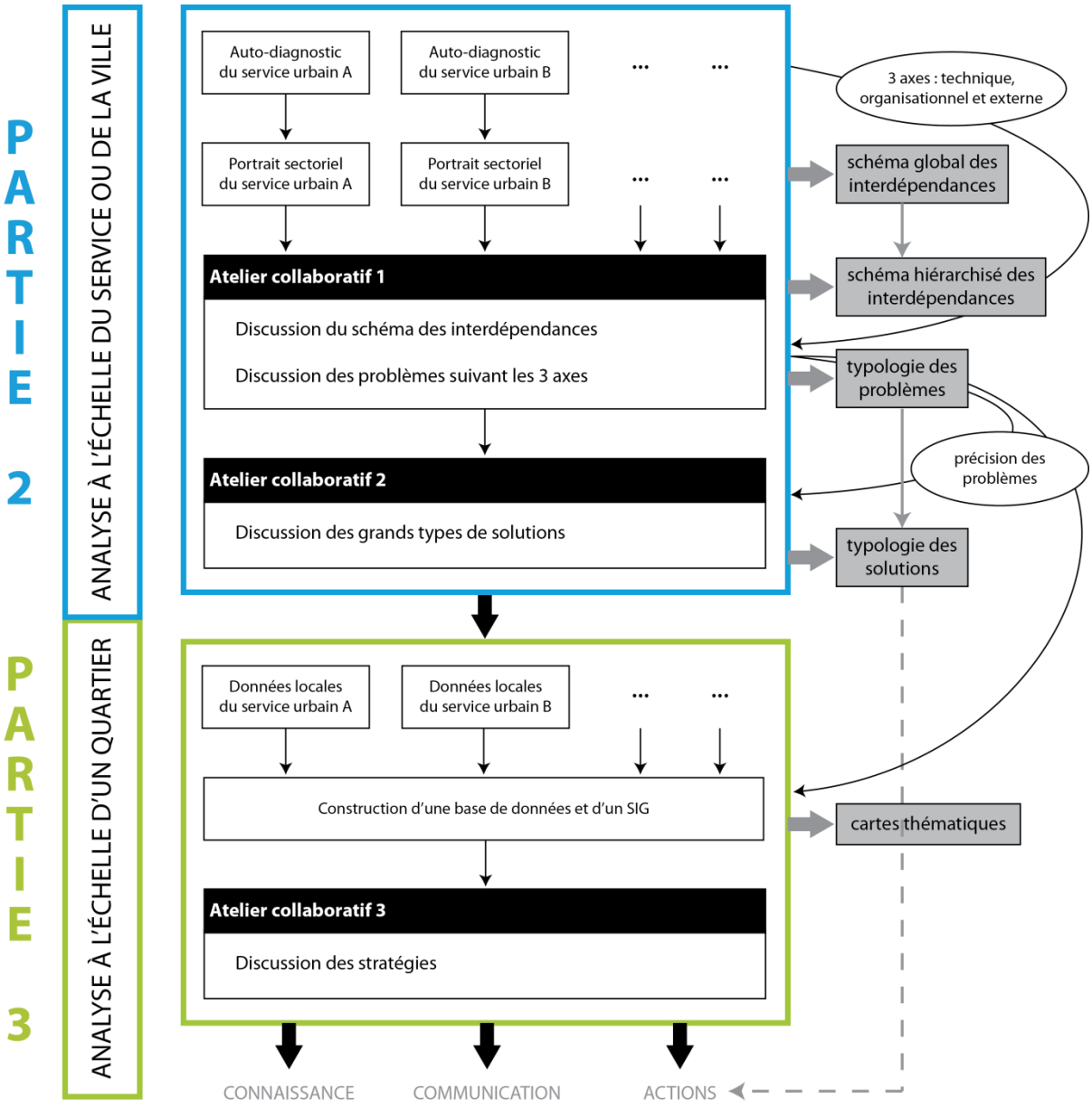


Figure 3-24 : Démarche méthodologique détaillée de l'expérimentation à Paris

Les premiers entretiens individuels avec les gestionnaires identifiés auparavant ont mené à des portraits sectoriels des interdépendances de chaque service (description du système global, processus et acteurs) (cf. chapitre 4). L'analyse croisée des interdépendances a été discutée lors d'un premier atelier collaboratif (cf. chapitre 5). Un deuxième atelier a permis d'aborder les solutions possibles pour la gestion des

interdépendances (facteurs externes, stratégies, solutions), puis le terrain était facilité pour une analyse plus poussée. Une deuxième série d'entretien a donc été menée, à un niveau plus local, pour identifier plus précisément les interdépendances des composants des services urbains (cf. chapitre 6) et leur impact sur les différentes stratégies de gestion de crise en cas d'inondation (étape d'analyse de la résilience). Enfin, les gestionnaires évaluent le processus à l'aide d'un questionnaire, dans l'optique d'analyser la possibilité d'un prolongement (cf. chapitre 7).

Synthèse

Cette recherche amène à étudier les conditions de la résilience urbaine, au sein d'un territoire donné, afin d'en évaluer les spécificités, pour éventuellement les confronter à d'autres territoires. Ainsi, le développement d'une méthodologie d'analyse, reproductible, permet de caractériser et formaliser des données concernant l'interdépendance des services urbains. La dimension collaborative est alors essentielle pour assurer la pertinence des résultats, mais surtout l'opérationnalisation de la recherche qui se veut tournée vers les acteurs de la ville. Ainsi, la méthodologie a été co-construite avec les gestionnaires de services urbains rencontrés à Paris afin de produire des analyses innovantes, mais répondant également à leurs besoins. Deux étapes ont été nécessaires pour parvenir à un niveau d'analyse apportant des réponses concrètes pour l'amélioration de la résilience des services urbains parisiens.

3.4. SYNTHESE DU CHAPITRE

La ville de Paris est soumise à un risque majeur d'inondation par la Seine, mais le dernier évènement date de 1910. Le Paris de cette époque commençait tout juste à ressembler au Paris contemporain, avec l'essor récent de nombreux réseaux. Alors, les impacts sur les services urbains ont été à l'origine d'une perturbation intense et durable de la ville, de la région et de tout le pays. Aujourd'hui, les dommages estimés ont explosé et les impacts indirects des nombreuses perturbations aux services urbains sont difficiles à anticiper. L'amélioration de la résilience des services urbains parisiens à une inondation de type 1910 est donc un défi pour les autorités. De nombreux acteurs sont saisis de différents enjeux de la réduction de ce risque :

- au niveau de l'aléa : évaluation, prévision, réduction des volumes, réduction des débordements ;
- au niveau des enjeux : servitudes ou prescriptions, protections locales, plans de continuité ;
- au niveau gestion de crise : planification des missions et des moyens.

Ainsi, les échelles de gouvernance, les échelles temporelles des actions, les échelles spatiales d'intervention s'entrechoquent, avec des effets parfois contradictoires. La déconnexion entre la gestion de crise par le SGZDS et l'aménagement urbain et la prévention des risques par la Ville de Paris reste forte. Les solutions de gestion du risque d'inondation à l'échelle du bassin versant sont encore largement tournées vers la protection, malgré les incertitudes persistantes concernant l'occurrence et l'ampleur de l'évènement. De plus, le financement pose la question de la mutualisation des moyens et de l'articulation avec les mesures locales. Les réglementations et outils existants ne sont donc pas suffisants pour prendre en compte la complexité du risque d'inondation en Île-de-France. L'évolution apportée par la désignation de l'agglomération comme TRI pourra impulser une nouvelle démarche à une échelle de gestion mêlant à la fois risque et aménagement. Mais d'ici là, les collectivités locales doivent prendre en main leurs responsabilités avec l'ensemble des acteurs de la ville.

Déjà au niveau des services urbains, les exploitants, les organisateurs et les collectivités délégantes sont nombreux. La richesse des services urbains parisiens, contribuant à une ville efficace et attractive, devient alors un handicap en cas de perturbation. Les différentes responsabilités, de court terme (exploitation) à long terme (planification), de l'échelle locale (site d'exploitation) à globale (entreprise nationale voire internationale) se mêlent et complexifient la prise de décision. Et pourtant, les interdépendances de ces échelles et des différents services urbains sont critiques pour la continuité d'activité en cas d'inondation. Il parait donc important d'identifier et formaliser ces interdépendances avec l'appui des parties prenantes, afin d'augmenter leur connaissance sur ce sujet et poser les bases d'une gestion intégrée des services urbains. Cette connaissance partagée des interdépendances permet alors de mieux comprendre les effets des décisions des uns sur les autres, dans le cas d'une inondation. Ce savoir commun permet également de mieux gérer au quotidien ce fonctionnement complexe, voire même concevoir des systèmes intégrant dans leur fonctionnement interne les possibles perturbations extérieures.

Il s'agit donc d'une nouvelle manière de penser la ville, tant du point de vue de sa relation au risque que de sa gestion quotidienne. Alors, pour une bonne appropriation de ce changement par les acteurs, ils doivent être impliqués dans l'analyse et la définition de ce nouveau contexte. Concernant les interdépendances, il convient tout d'abord de mieux cerner le problème en déterminant une méthodologie d'identification et d'analyse des dépendances des services urbains. Cette étape repose alors sur la connaissance des gestionnaires afin de les sensibiliser à l'importance de la démarche et des échanges avec les autres gestionnaires. Les gestionnaires de services urbains parisiens ont été rencontrés avec l'appui de la Ville de Paris pour réaliser un premier portrait, par système, des dépendances du service urbain. Ce premier diagnostic à l'échelle globale des systèmes permet déjà un premier travail collaboratif sur les problèmes et les solutions rencontrés par les gestionnaires. Puis une analyse plus poussée est menée à un niveau plus local pour identifier le rôle des interdépendances dans les stratégies mises en place par les gestionnaires et dans la résilience du territoire.

CONCLUSION DE LA PARTIE 1

Les réseaux jouent un rôle majeur dans le développement urbain et dans la résilience de la ville. Cependant, leur caractère sociotechnique et la multiplicité d'acteurs impliqués dans leur conception, leur gestion, leur surveillance, leur réglementation ou leur utilisation limite leur prise en compte dans la recherche urbaine sur les risques. Certains travaux analysent leur rôle dans le développement du territoire, notamment du point de vue social ou politique. La majorité des travaux portent en réalité sur les réseaux d'infrastructures critiques et sont bien souvent tournés vers la modélisation technique, négligeant alors les aspects politiques et sociaux. Et pourtant, le réseau d'acteurs constitué par les gestionnaires de services urbains est aussi dense que le réseau constitué par les réseaux d'infrastructures interdépendants. Améliorer la résilience de la ville nécessite donc de traiter simultanément ces deux niveaux dont les interactions sont insuffisantes ou au contraire trop complexes et mal maîtrisées.

S'appuyer sur les gestionnaires a le double intérêt de pallier les difficultés de collecte des données mises en avant par les essais de modélisation au niveau des infrastructures critiques et de constituer un véritable réseau d'acteurs capables de collaborer à la mise en œuvre de la résilience urbaine. En effet, il est nécessaire d'identifier des objectifs communs dépassant les contraintes de chacun, afin de contribuer à la résilience de la ville. Ces objectifs dépendent alors du contexte territorial, des contraintes géographiques, techniques, sociales et politiques inhérentes à la ville, de par son histoire et sa place dans le réseau de villes. Il est donc nécessaire d'identifier les spécificités du terrain étudié et les besoins existant en matière de résilience, afin d'élaborer une démarche collaborative adaptée aux parties prenantes.

La ville de Paris a été choisie car elle constitue l'un des enjeux majeurs pour la France. Par ailleurs, ses spécificités marquées, en tant que métropole mondiale, ville-département au passé culturel et technique fort, devraient permettre de mieux identifier ces facteurs territoriaux. Il est probable cependant que la démarche expérimentée à Paris ne soit pas adaptée à d'autres territoires. En effet, les gestionnaires parisiens sont déjà pour la plupart sensibilisés à la problématique des risques, et en particulier des risques d'inondation, depuis les années 2000. Les niveaux de préparation sont cependant hétérogènes et les conclusions issues de cette démarche devraient donc aider à la généralisation envisagée dans la dernière partie de ce mémoire.

La démarche co-construite avec les gestionnaires parisiens est donc adaptable à d'autres contextes. En particulier, son déroulement en deux phases permet une implication progressive des acteurs et facilite la constitution du réseau. Ainsi, la première analyse globale décrite dans la deuxième partie augmente la connaissance collective concernant les interdépendances et impulse la collaboration. Elle met également en avant la nécessité de partager des informations plus précises qui font l'objet d'une deuxième analyse dans la partie 3.

PARTIE 2 :
MODELISER L'INTERDEPENDANCE DES SERVICES URBAINS

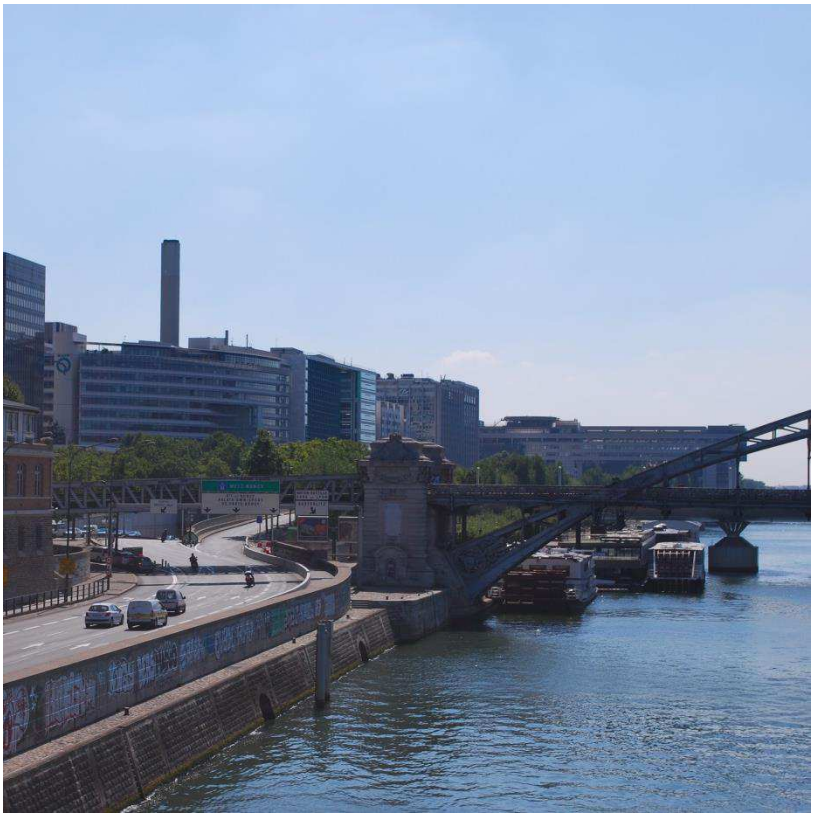


Photo 2 : Les voies sur berge, le pont de la ligne 5 et les bureaux du quartier de la gare de Lyon

INTRODUCTION DE LA PARTIE 2

L'enjeu est de développer une ingénierie urbaine de l'adaptabilité
pour remplacer une ingénierie de l'optimisation.

(Chocat, 2013)

Les enjeux liés à la résilience urbaine identifiés dans la partie précédente mettent en avant le besoin de nouveaux moyens d'analyse des services urbains. Les incertitudes et la complexité, les articulations entre échelles et la multiplicité des acteurs nécessitent la collaboration des parties prenantes. Alors, face aux perturbations, la réponse n'est plus seulement tournée vers la technique et la fiabilité, mais vers l'ensemble des acteurs impliqués, afin de négocier et mettre en œuvre une gestion intégrée de la ville. L'identification de marges de manœuvre dans la gestion urbaine permet ainsi d'adapter les systèmes à des perturbations diverses, afin de maintenir un niveau de fonctionnement acceptable au regard des contraintes et des besoins. Ces marges de manœuvre ne sont pas seulement techniques, elles sont également organisationnelles et culturelles. Ainsi, les services urbains doivent être considérés dans leur globalité, à la fois comme une entreprise, une somme de bâtiments, une infrastructure composée d'équipements, une organisation appuyée sur le personnel, un service rendu aux populations, etc. Cette vision sociotechnique permet alors d'analyser le fonctionnement des services selon des points de vue techniques et organisationnels, y compris concernant les interdépendances. Cependant, cette prise en compte globale de toutes les dimensions d'un service urbain (technique, géographique, organisationnelle, financière, juridique, etc.) nécessite de nombreuses informations sensibles. Plutôt que de chercher à décrire un service urbain suivant ces différentes dimensions, une approche transversale et globale présente l'intérêt de dépasser l'approche sectorielle et de limiter la collecte d'informations confidentielles. L'utilisation d'une description intrant-extrant, à l'échelle supérieure du système considéré dans son intégralité, permet toutefois d'inclure des données concernant le fonctionnement interne comme le personnel, les informations, etc. qui sous-tendent ces aspects organisationnels ou financiers.

La méthode d'autodiagnostic construite dans le chapitre 4 vise donc à décrire le fonctionnement global de chaque service en incluant l'ensemble de ses dimensions. L'analyse reste cependant au niveau de granularité supérieur[37], au sens systémique du terme (Serre, 2005), dans lequel l'analyse est effectuée à l'échelle globale du service, sans distinction de composants, de secteurs géographiques ou de sous-services. Cette analyse appuie une réflexion collaborative des gestionnaires autour du système de systèmes créé par les interdépendances ; elle est présentée au chapitre 5. Les deux ateliers collaboratifs aboutissent à un inventaire de difficultés et solutions rencontrées par les gestionnaires concernant les interdépendances en situation d'inondation.

[37] Le niveau intermédiaire correspond ensuite au niveau des composants majeurs du service ; il est abordé dans la partie 3. Enfin, le niveau inférieur correspond au niveau des équipements de l'infrastructure.

Chapitre 4 : Construction du modele d'interdependance

Pour modéliser l'interdépendance des services urbains parisiens, le fonctionnement du système est identifié à une échelle de granularité supérieure, pour chaque service. Si l'analyse doit être collaborative, il parait difficile d'identifier collaborativement l'intégralité des interactions entre systèmes, aussi il est préférable de travailler d'abord de manière sectorielle (Figure 4-1). La mobilisation des gestionnaires est ainsi limitée mais permet de produire une matière première que j'ai analysée puis présentée aux gestionnaires rassemblés dans un atelier.

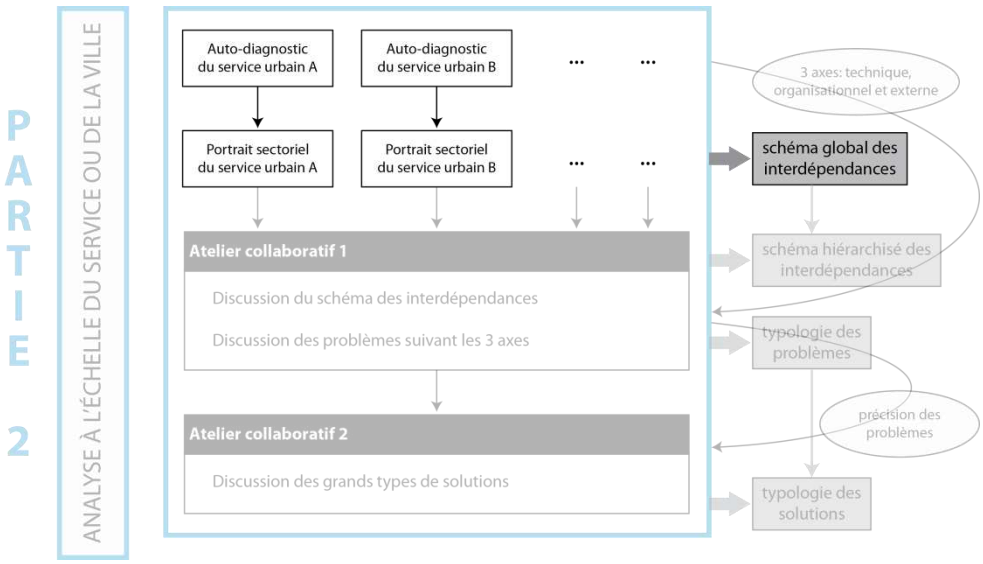


Figure 4-1 : Construction du modèle d'interdépendance des services urbains parisiens à partir d'un diagnostic sectoriel

Cette première étape vise donc à formaliser de manière commune les dépendances de chaque service, de manière à pouvoir ensuite croiser les informations et analyser les interdépendances. Si chaque service dispose de sa propre manière de recenser ou formaliser ces données, l'enjeu est bien de proposer une méthodologie d'identification et d'évaluation qui permette la comparaison entre les services. Le caractère subjectif d'une telle analyse est important mais il est possible de le réduire en effectuant une analyse systématique des dépendances et de leurs effets à l'aide d'un diagnostic.

Cet outil méthodologique est utilisé pour de nombreux systèmes similaires (en termes de fonctionnement ou d'organisation) et permet d'évaluer les causes ou les conséquences d'une défaillance. Par ailleurs, les travaux du Centre risque et performance (CRP) montrent l'intérêt de l'approche par les conséquences. L'outil qui découle de l'analyse de ces deux sources est décrit en détail et expérimenté avec les gestionnaires des services urbains à Paris. Il permet de formaliser les données concernant l'interdépendance des services urbains. La théorie des graphes facilite ensuite l'analyse du système de systèmes créé par les interdépendances. Ces résultats alimentent ensuite le travail collaboratif (cf. chapitre 5).

4.1. Le diagnostic, principe et utilisation

Pour identifier les interdépendances des services urbains, le recours à une méthodologie de description du fonctionnement d'un système permet notamment d'analyser les défaillances que ces interdépendances peuvent engendrer. Le diagnostic est pour cela un outil largement utilisé, tant au niveau des processus que du territoire, et devrait donc s'appliquer aux services urbains, objets géographiques proches des systèmes industriels et des organisations. Le diagnostic présente toutefois des limites qu'il faut identifier avant de proposer une méthodologie.

4.1.1. Origine et principes du diagnostic

Etymologie du terme

Diagnostic vient du grec *diágnosi* : *dia* signifiant par, à travers et en même temps séparation, distinction ; et *gnósi* signifiant connaissance, discernement. Effectuer un diagnostic consiste donc à acquérir la connaissance à travers les signes observables, en particulier par leur classification (Hoc et Amalberti, 1994). Il s'agit de distinguer et confronter les différentes observations, ou symptômes, afin de comprendre les différents phénomènes à l'œuvre. Le diagnostic est d'abord évidemment médical : le médecin cherche à identifier les symptômes, pour les traiter directement d'une part, et d'autre part identifier les causes profondes à leur origine (dimension pronostique), afin de les maîtriser ou d'en réduire les effets négatifs. Le terme diagnostic s'est ensuite étendu à de nombreux domaines : l'industrie et les technologies pour détecter les pannes et les défaillances, la finance avec l'étude de la situation économique d'une entreprise, les organisations avec l'identification des structures et des processus, le territoire avec l'analyse des points forts et des points faibles, le bâtiment et l'immobilier avec l'évaluation des performances (énergétiques notamment). Ainsi, quel que soit le domaine d'application, le diagnostic vise à décrire le fonctionnement d'un système, en dégager les points forts et les points faibles : l'objectif est d'analyser la situation présente ou future, en regard de la situation passée ou présente. En cela, le diagnostic ne peut être détaché de la prise de décision préalable à l'action (Hoc et Amalberti, 1994).

Pourquoi utiliser un diagnostic ?

L'utilisation généralisée du terme diagnostic s'est donc légèrement éloignée de l'idée originelle d'« identification de la cause probable de la (ou des) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test » donnée par la définition de l'AFNOR. En effet, cette approche du diagnostic ne permet pas nécessairement de répondre aux objectifs d'action, notamment pour le cas de décisions en situations dynamiques ou de crise (Hoc et Amalberti, 1994). À l'inverse, le diagnostic d'un territoire ou d'une organisation n'intervient pas nécessairement suite à une situation de défaillance. Il vise davantage à effectuer un état des lieux dans un but prospectif, de manière à élaborer des stratégies (Desthieux, 2005), c'est-à-dire à anticiper les perturbations ou défaillances. Le recours originel au diagnostic, en particulier médical ou industriel, intervient une fois la perturbation constatée alors qu'un diagnostic de territoire ou d'organisation cherche à anticiper une évolution et orienter le développement vers une situation voulue. Dans cette acception, le diagnostic s'apparente davantage à un état des lieux, fondé sur un outil descriptif mettant en avant les points forts et les points faibles du système, leurs interactions, les risques potentiels et leurs effets. Il a cependant l'intérêt de donner une vision transversale du territoire en articulant des informations concernant le contexte naturel, l'organisation de l'espace géographique et l'organisation des acteurs (Moine, 2006). Cet état des lieux permet alors d'appuyer les réponses à apporter en termes de renforcement des points faibles, de maîtrise des interactions ou de réduction des risques. Les outils de diagnostic peuvent être relativement simples et reproductibles, tout en reposant sur une expertise forte en termes de connaissance du système étudié.

4.1.2. EXEMPLES DE METHODE DE DIAGNOSTIC

UNE EVALUATION DES POINTS FAIBLES AU NIVEAU DES COMPOSANTS

Certaines méthodes de diagnostic, plus proches du concept initial, visent à analyser des composants précis du territoire, généralement des constructions humaines (infrastructures de génie civil et bâtiments), afin d'« évaluer la sécurité d'un ouvrage de génie civil en service, détecter les comportements anormaux, déterminer les origines d'une dégradation ou expertiser les causes d'un incident, prévoir les évolutions futures et les risques potentiels, décider des mesures appropriées », pour les barrages par exemple (Peyras, 2002). Ces méthodes ont été adaptées des méthodes de la sûreté de fonctionnement, généralement utilisées dans un contexte industriel, et se sont étendues au génie civil puis aux systèmes techniques urbains (Serre, 2011). En particulier, « les méthodes internes de diagnostic sont basées sur la connaissance profonde du fonctionnement du système. A partir de modèles physiques ou de comportement, le diagnostic est alors ramené à la résolution d'un problème inverse entre la cause et son effet possible » (Peyras, 2002). L'analyse des dommages ou des perturbations doit donc amener à la connaissance du mécanisme de perturbation (Figure 4-2), notamment de propagation, et donc aux solutions à mettre en place.

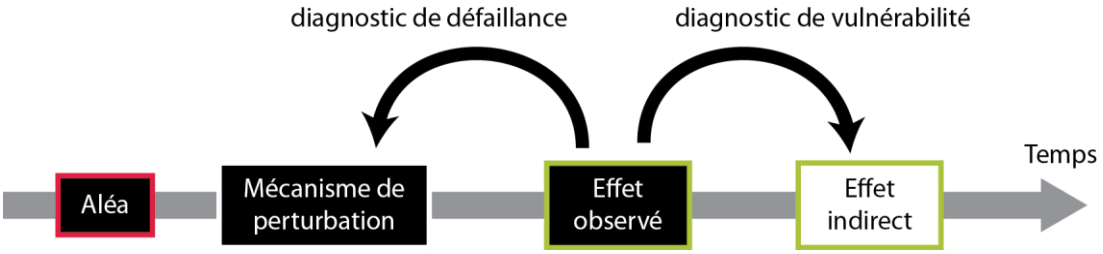


Figure 4-2 : Deux types de diagnostic des causes (diagnostic de défaillance) ou des conséquences (diagnostic de vulnérabilité)

Dans le cas des barrages par exemple, les scénarios de vieillissement sont construits à partir de l'analyse fonctionnelle, de l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) et de l'analyse de d'expertise (Figure 4-3). Ils constituent alors une base de connaissance pour l'aide au diagnostic (Figure 4-4).

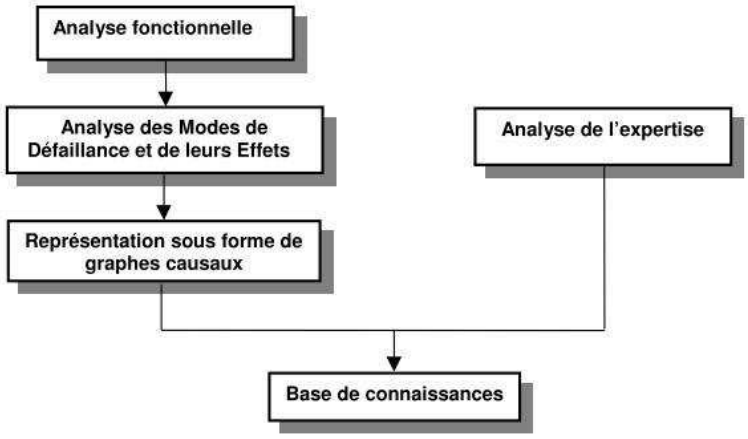


Figure 4-3 : Méthodologie pour la modélisation des scénarios de vieillissement (Peyras, 2002)

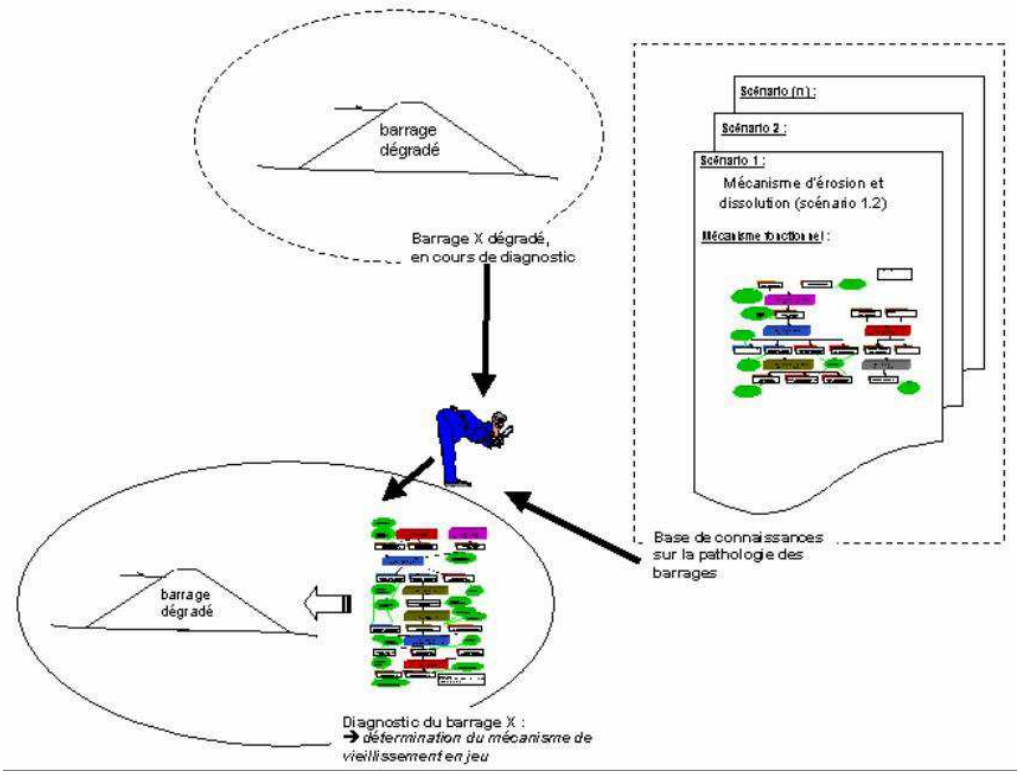


Figure 4-4 : Processus d'aide au diagnostic de barrage destiné à l'expert (Peyras, 2002)

Cette méthode a l'intérêt de structurer des informations diverses afin de synthétiser et capitaliser la connaissance experte (Peyras, 2002). Les qualités pédagogiques de ces supports et leur exploitation facilitée par l'informatique pourraient donc s'avérer utiles dans le cas d'analyses rassemblant plusieurs acteurs au langage éventuellement différent. Cette approche par les scénarios nécessite cependant une expertise forte et la transposition aux services urbains implique une connaissance fine des interactions. Or l'analyse des méthodes tournées vers la modélisation des infrastructures critiques a déjà montré la difficulté de la modélisation et la nécessité de s'appuyer sur le savoir des experts (cf. chapitre 1). Finalement, cette méthode de diagnostic semble plus adaptée à des objets et des processus dont l'analyse repose bien souvent sur des normes ou des règles de l'art éprouvées, ce qui n'est pas le cas du système de services urbains.

Dans d'autres domaines non encore normés, comme la réduction du risque inondation au niveau individuel,

> le diagnostic est une démarche volontaire, qui aide chaque personne à faire des choix pour mettre en œuvre les mesures de réduction de la vulnérabilité les plus adaptées à sa situation. […] Il conduit chaque responsable à prendre la mesure de ce qui sera atteint, perturbé, endommagé ou détruit, à préciser ce qui ne fonctionnera plus et à anticiper ce qui sera nécessaire pour redémarrer ou se reloger au plus vite. (Camp'Huis et Devaux-Ros, 2006)

De nombreuses méthodes sont recensées, nécessitant un accompagnement plus ou moins lourd, plus ou moins efficaces dans l'adoption de mesures de réduction de la vulnérabilité. Divers thèmes sont abordés : dommages humains, matériels, arrêt d'exploitation, dommages indirects intangibles (CEPRI, 2007), mais les diagnostics de vulnérabilité du bâti se limitent bien souvent aux dispositions de construction (architecture, structure, matériaux). Le diagnostic s'effectue alors sur la base d'observations directes, d'analyse de documents (plans architecturaux notamment) et d'entretien avec le gestionnaire du bâtiment (CEPRI, 2010). Les résultats sont synthétisés dans un tableau bilan et appuient le choix de la stratégie d'action (Figure 4-5).

Figure 4-5 : Étapes du diagnostic de vulnérabilité du bâti aux inondations (CEPRI, 2010)

Ici, la démarche est inversée par rapport au diagnostic des défaillances car ce sont davantage les conséquences que les causes qui devront être réduites (Figure 4-2). Alors, le propriétaire est incité à agir à son niveau et non pas à l'origine de la perturbation, ni à l'aval pour limiter son impact sur des systèmes extérieurs dépendants. Or, étant donné les nombreuses interactions des services urbains, c'est l'ensemble de la chaine de propagation de perturbation qu'il faut identifier. Le diagnostic ne doit donc pas s'arrêter à une évaluation restreinte dans le temps et l'espace. Il doit permettre d'identifier à la fois les causes et les conséquences. Pour cela, le diagnostic préalable à l'élaboration d'un plan de continuité d'activité (PCA) semble plus adapté (CEPRI, 2011). En effet, le PCA repose d'une part sur l'identification de missions prioritaires qui permettent d'identifier les fonctions majeures remplies par l'organisation pour maintenir le fonctionnement du territoire (conséquences) ; d'autre part sur le recensement des besoins nécessaires à leur réalisation afin de prendre en compte des potentielles perturbations (causes). L'élaboration du PCA débouche sur un plan global, au niveau de la collectivité, rassemblant les fiches réflexes de chaque service. Cette vision plus globale semble bien adaptée aux services urbains mais la formalisation reste insuffisante, notamment dans le cas de nombreuses organisations aux procédures différentes.

UN ETAT DES LIEUX AU NIVEAU TERRITORIAL

Le diagnostic de territoire est un exercice géographique aujourd'hui officialisé par de nombreuses lois qui exigent un diagnostic avant tout projet de développement (élaboration d'un PLU, d'un Agenda 21, création d'une ZAC, etc.). Cette étape indispensable est le moment de la « mise en tension » des acteurs du territoire, elle fait ressortir « les marges de manœuvre des acteurs pour infléchir les dynamiques en cours » (Lardon et Piveteau, 2005). Ainsi, l'implication des acteurs du territoire dans la démarche de diagnostic est reconnue comme indispensable pour la construction d'une vision commune, rapprochant les différents points de vue (Lardon et Piveteau, 2005). Le but est bien d'appuyer l'élaboration de stratégies sur un référentiel commun et d'en faciliter l'appropriation (Figure 4-6). Le diagnostic territorial est donc « un préalable nécessaire autant qu'une composante déterminante des processus de décision dans le domaine de la gestion et de la planification du territoire » (Desthieux, 2005).

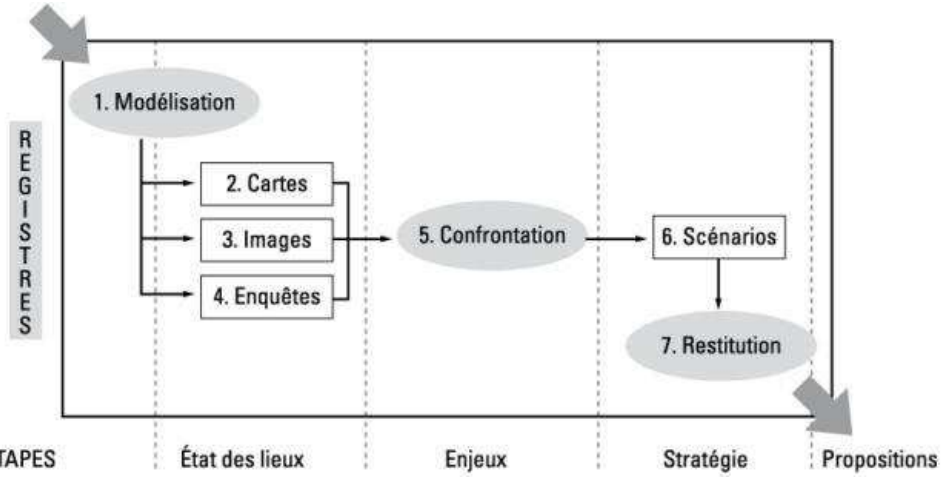


Figure 4-6 : Itinéraire méthodologique-type de diagnostic de territoire (Lardon et Piveteau, 2005)

S'il est reconnu comme majeur, le diagnostic territorial souffre d'un manque de formalisation, en particulier de méthodes et d'outils permettant la formulation puis la hiérarchisation des enjeux, étape bien souvent négligée entre l'état des lieux et les actions (Lardon et Piveteau, 2005). Plusieurs auteurs proposent alors des méthodes de co-construction du diagnostic, appuyé sur des représentations cartographiques articulant sept chorèmes (maillage, quadrillage, hiérarchie, contact, attraction, tropisme et dynamique territoriale) (Lardon et Piveteau, 2005) ou sur des systèmes d'indicateurs en interaction (Desthieux, 2005 ; Joerin *et al.*, 2005). Chaque acteur peut ainsi construire sa vision du territoire et de ses dynamiques en reliant des indicateurs quantitatifs ou qualitatifs décrivant différentes variables (Figure 4-7). Les interactions entre indicateurs peuvent ensuite être synthétisées dans une matrice structurale (outil issu de la systémique (Le Moigne, 1977) proposant un cadre pour l'analyse des interactions entre éléments du système ou entre sous-systèmes). Les indicateurs influant de nombreux autres indicateurs sont dits stratégiques ; les indicateurs dépendants sont dits sensibles.

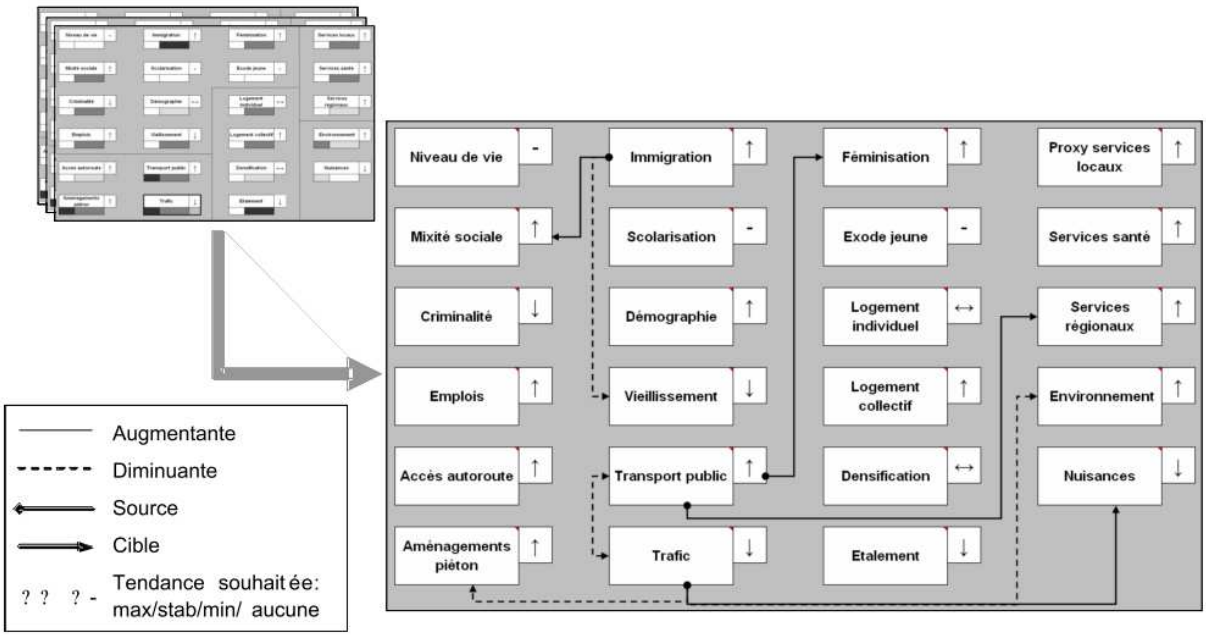


Figure 4-7 : Indicateurs reliés dans un modèle conceptuel de phénomènes selon un acteur (Desthieux *et al.*, 2005)

Cette méthode de classification des indicateurs pourrait être transposée à l'analyse des interdépendances par l'identification des systèmes influents et dépendants. Cependant la description en indicateurs doit être adaptée pour permettre la description des interactions entre services urbains qui constituent plusieurs

systèmes. Ainsi, les indicateurs ou grandeurs choisis doivent être identifiés par une méthode de diagnostic se rapprochant davantage des diagnostics de composants, afin d'obtenir une description comparable d'un système à l'autre. La dimension collaborative de cette méthode est cependant pertinente pour la résilience des services urbains. Les différents modèles conceptuels produits avec les acteurs appuient en effet une réflexion collaborative qui « favorise l'apprentissage à travers l'échange entre les acteurs » (Desthieux *et al.*, 2005). L'état des lieux ainsi co-construit par les parties prenantes officialise alors une vision partagée et un langage commun qui peuvent appuyer les stratégies à mettre en place.

4.1.3. UN DIAGNOSTIC DES DEPENDANCES AU NIVEAU SUPERIEUR

INTERETS ET LIMITES DU DIAGNOSTIC

Les méthodes de diagnostic au niveau des composants ont l'intérêt de formaliser une connaissance multiple, sous une forme reproductible et donc comparable. Les méthodes de diagnostic territorial permettent en revanche d'analyser la complexité d'un système en reliant des indicateurs descriptifs. Par ailleurs, la dimension collaborative de ces analyses facilite l'identification de données, autrement difficiles à obtenir et articuler. L'implication des parties prenantes augmente la connaissance et favorise l'appropriation du diagnostic qui peut appuyer la prise de décision. Là est l'une des limites de cette approche. En effet, le diagnostic repose dans ce cas sur la connaissance des parties prenantes qui peuvent délibérément ou involontairement limiter les informations partagées, pour des raisons de concurrence, de confidentialité ou tout simplement de méconnaissance. L'accompagnateur de la démarche doit donc s'assurer de l'exhaustivité du diagnostic, mais il ne peut pas forcément pallier le manque d'information du gestionnaire ou contredire sa vision. Pour y parvenir, il doit en effet posséder un haut niveau d'expertise dans l'ensemble des champs couverts par le diagnostic, qui peuvent s'avérer nombreux (dans le cas d'un territoire par exemple). Ainsi, la deuxième limite à ce type d'approche est le temps et la complexité de la démarche qui requiert de nombreux entretiens et temps d'échanges communs avec tous les acteurs. De plus, la formalisation et la représentation des données est souvent longue et nécessite parfois des outils d'analyse coûteux, comme les SIG pour les territoires.

Finalement, l'articulation des deux approches précédentes peut fournir une réponse adaptée à la problématique de la résilience urbaine. En effet, l'idée est bien de réduire la complexité en analysant, d'abord séparément, différents aspects du problème suivant la même grille d'analyse (diagnostic des composants). Les outils systémiques permettent ensuite d'analyser le système dans sa globalité (diagnostic de territoire). En effet, l'intérêt du diagnostic est bien d'articuler les informations issues de différents champs d'expertise dans le but de fournir un modèle de la réalité. La formalisation et la représentation de ces données doivent cependant être adaptées aux objectifs de la démarche et aux parties prenantes. En effet, elles doivent y retrouver leur perception afin que le modèle appuie une réflexion transdisciplinaire. Le diagnostic devient bien un support de la décision d'action. Concernant la résilience des services urbains, le diagnostic peut d'une part aider à la préparation de la ville aux risques d'inondation ; et d'autre part, faciliter la décision en gestion de crise. En effet, le diagnostic est alors une analyse systémique mettant en lumière les liens causes-conséquences entre objets ou phénomènes ainsi que les marges de manœuvre des acteurs impliqués. Ainsi, l'action coordonnée sur les services urbains peut s'appuyer sur le diagnostic pour identifier les effets de telle ou telle décision (pronostic).

METHODE D'EVALUATION DE LA RESILIENCE DU CRP

Cette conception systémique du diagnostic est à l'origine de l'approche développée par le CRP de Montréal (cf. chapitre 2) visant à décrire le fonctionnement des sous-systèmes urbains par une analyse intrant-extrant.

> L'intérêt de cette approche est sa multidisciplinarité. [...] De plus, cette approche permet de décomposer un système en fractales. En d'autres termes, un ensemble fonctionnel peut être lui-même vu comme un système, et ainsi de suite jusqu'au plus

petit niveau. Cette vision permettra une meilleure opérationnalisation de cette approche au sein d'une organisation. (Robert *et al.*, 2009).

Alors, la force de la méthode systémique de diagnostic est bien la formalisation de données à différentes échelles, permettant le passage de l'une à l'autre lors de la décomposition d'une boite systémique (Figure 4-8).

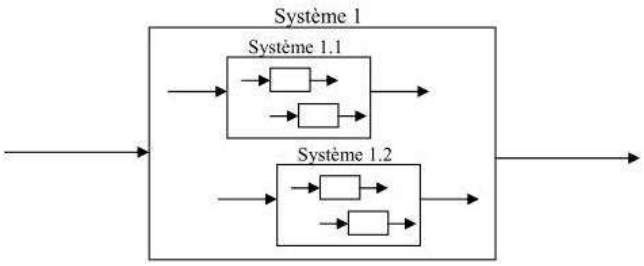


Figure 4-8 : Décomposition d'un système en fractales (Pinel, 2009)

Pour la problématique d'identification collaborative des interdépendances, cette vision systémique fractale semble répondre à la problématique d'échelles imbriquées concernant les services urbains parisiens (cf. chapitre 3). Ainsi, les différents niveaux d'analyse peuvent toujours être reliés entre eux, facilitant l'exploitation de données collectées à des niveaux spatiaux éventuellement différents. Les intrants peuvent alors être affectés à un sous-ensemble fonctionnel du système (Figure 4-9). Les extrants peuvent être produits par différents sous-ensembles fonctionnels du système et consommés par différents utilisateurs.

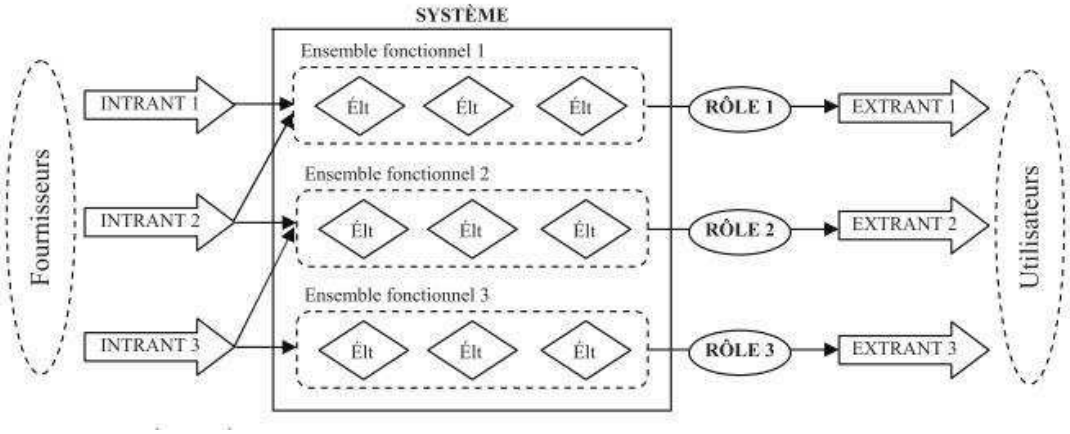


Figure 4-9 : Approche système détaillant les intrants et les extrants en fonction du sous-système consommateur (Robert *et al.*, 2009)

L'approche du CRP devrait donc répondre à l'objectif d'identification et d'analyse des interdépendances des services urbains, moyennant quelques adaptations, le cas échéant. La démarche se déroule en quatre étapes (Figure 4-10) dont la première est le portrait du système. Cette étape décompose le système en sous-ensembles fonctionnels produisant plusieurs extrants. L'étude des extrants et des intrants repose sur l'identification des modes de dégradation et des impacts sur le fonctionnement du système. Ces deux premières étapes constituent donc le diagnostic du système.

Identification des étapes	Description des activités
Étape 1 : Portrait du système	Définition du système
	Identification et décomposition des extrants principaux
	Identification des ensembles fonctionnels
Étape 2 : Étude des extrants et des intrants	Caractérisation des extrants et de leur mode de dégradation
	Caractérisation des intrants et de leur mode de dégradation
	Évaluation de l'impact et des délais d'affectation
Étape 3 : Gestion des défaillances	Identification des éléments critiques
	Caractérisation des mesures de prévention
	Caractérisation des mesures de protection
Étape 4 : Évaluation de la résilience	Connaissance du système
	Capacité à maintenir ses activités
	Capacité à rétablir ses activités
	État de résilience du système

Figure 4-10 : Récapitulatif de la méthodologie d'évaluation de la résilience organisationnelle (Robert *et al.*, 2009)

Les étapes 3 et 4 ne font pas partie du diagnostic initial car elles abordent la gestion des défaillances et l'évaluation de la résilience. Elles nécessitent donc d'analyser l'ensemble des systèmes interdépendants et devraient donc reposer sur la collaboration des gestionnaires. Par ailleurs, les outils utilisés pour synthétiser les informations sont nombreux : plusieurs schémas et tableaux rassemblent les données concernant les ensembles fonctionnels, les intrants, les extrants, leur critère de dégradation, les fournisseurs, les délais d'affectation etc. (Pairet, 2009). Pour une collecte des données facilitée et une exploitation rapide, un autre support est proposé.

Choix methodologique

L'affectation des intrants au niveau des sous-ensembles fonctionnels (Figure 4-9) peut poser des difficultés de confidentialité ou de connaissance. Une première analyse globale est préférable pour pallier ces difficultés (cf. chapitre 2). Elle est donc réalisée au niveau supérieur du système en considérant le service urbain dans sa globalité (extension géographique, périmètres d'organisation). Le service est alors « une boite noire », incluant la partie « support physique » et la partie « service » (cf. chapitre 1), dont les seules caractéristiques sont les ressources nécessaires au fonctionnement. La difficulté est donc d'arriver à prendre en compte l'ensemble de la chaîne de production de la ressource, avec ses différents composants, tout en en évaluant le fonctionnement de manière agrégée. Il faut préciser toutefois que le diagnostic peut également être réalisé, comme dans la méthodologie du CRP, à une échelle plus fine pour affiner la description et faire apparaître des points de résilience ou de défaillance. Par exemple, on peut décrire le réseau d'eau potable de manière schématique (Figure 4-11). Cependant, le diagnostic est effectué ici au niveau global du système comme si, entre le prélèvement de l'eau brute et la fourniture de l'eau potable au robinet, le système était une boite noire à laquelle différentes ressources doivent être fournies. Pour affiner le diagnostic, il est possible de faire une analyse au niveau intermédiaire de la station de traitement par exemple, ou même encore plus finement au niveau inférieur de la pompe de refoulement.

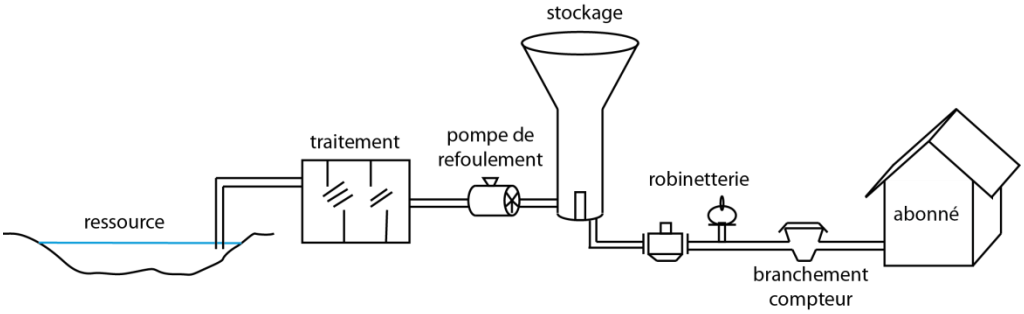


Figure 4-11 : Description méso du réseau d'eau potable

Les ressources nécessaires relèvent de ressources externes (cf. 4.2.1), mais également internes dont la « consommation » à l'intérieur du système n'est pas allouée à un sous-système, ni quantifiée. Ainsi, ce premier diagnostic reste à un niveau conceptuel et non territorial, mais la deuxième analyse spatialisée est alors facilitée car le diagnostic a mis en avant les difficultés de gestion. C'est donc autant une étape d'augmentation de la connaissance que de sensibilisation à la problématique.

Le diagnostic du fonctionnement des services urbains, proposé dans cette partie, permet à la fois d'évaluer les conséquences d'une perturbation sur le service rendu (diagnostic de vulnérabilité) et d'identifier les causes d'un possible dysfonctionnement du service (cf. Figure 4-2). Il inclue également des critères d'évaluation de la résilience telle que l'autonomie, le fonctionnement en mode dégradé, le rétablissement (cf. chapitre 1). Ainsi, l'outil de diagnostic permet de recenser et organiser plusieurs grandeurs, notamment temporelles, permettant d'affiner l'analyse du fonctionnement des systèmes. Cette approche permet alors d'identifier des leviers d'action, en interne, pour limiter la propagation et réduire les effets indirects ; et en externe, pour réduire l'impact d'une perturbation extérieure. L'utilisation du diagnostic dans une démarche collaborative d'analyse de la complexité repose sur l'implication des parties prenantes. La construction d'un diagnostic pertinent et représentatif des différentes perceptions des interdépendances des services urbains est alors facilitée. La démarche permet également l'appropriation de ce diagnostic par les gestionnaires grâce à une synthèse simple et facilement exploitable. L'analyse croisée de l'ensemble des données appuie ensuite une réflexion collaborative sur la gestion des interdépendances et les stratégies à mettre en place.

Si l'étape de collaboration autour des interdépendances (cf. chapitre 5) est facilitée par l'équipe de recherche, le diagnostic est conçu pour pouvoir être réalisé directement par le gestionnaire : c'est un autodiagnostic. De plus, il peut s'adapter à n'importe quel type de système souhaitant connaître sa dépendance face à des ressources internes et externes : entreprise, infrastructures publiques (hôpitaux, centres de décision, services de secours, etc.), voire même un particulier. L'outil décrit dans la suite de ce chapitre est donc une méthode d'aide au diagnostic permettant à n'importe quel système de caractériser sa dépendance à un ensemble de ressources, de les prioriser et d'identifier des pistes d'amélioration de la résilience face à une possible perturbation de ces ressources, quel que soit l'évènement initiateur de la perturbation.

Synthèse

Le diagnostic permet à la fois d'analyser les causes d'une défaillance observée et d'identifier les conséquences possibles d'une défaillance envisagée. Ainsi, ce bilan des forces et faiblesses de l'objet analysé aboutit à une description détaillée du fonctionnement interne du système et de ses interactions avec son environnement. L'analyse systémique permet alors de réduire la complexité et d'évaluer ces interactions. Pour en garantir la fiabilité et l'exhaustivité, il est important de s'appuyer sur le savoir des parties prenantes car les méthodes de diagnostic exigent un fort degré d'expertise. Pour les services urbains, les

gestionnaires sont mobilisés pour réaliser ce diagnostic, afin de les sensibiliser à la démarche par la même occasion. Le niveau de description reste global pour ne pas laisser transparaître d'informations sensibles pour le service.

4.2. Construction de l'outil d'aide au diagnostic

Une méthode de diagnostic fondée sur une description des intrants et des extrants du système permet de comprendre l'ensemble du fonctionnement d'un service urbain sans entrer dans des considérations techniques, souvent confidentielles. La méthode décrite ici s'appuie sur les travaux du CRP mais comporte quelques modifications visant à une mise en œuvre plus facile dans le cas des services urbains parisiens. En particulier, l'outil décrit ici permet de synthétiser au sein d'un même tableau l'ensemble des grandeurs caractérisant le fonctionnement du système. La méthode commence par l'identification des ressources entrantes nécessaires au fonctionnement du système puis propose l'évaluation de plusieurs caractéristiques de résilience : capacité d'autonomie et temps de rétablissement notamment. L'objectif est finalement de caractériser la dépendance face à chaque ressource puis d'en déduire la capacité du système à assurer sa mission, c'est-à-dire fournir les ressources sortantes nécessaires à d'autres usagers.

4.2.1. Identification exhaustive des ressources necessaires

Ressources internes

Les ressources utiles au fonctionnement d'un système peuvent être humaines, matérielles, financières, informationnelles ou de service (Figure 4-12). Il est important de proposer une liste de base au gestionnaire pour l'aider à envisager l'intégralité des ressources dont son service dépend et pas seulement les ressources critiques évidentes qu'il a déjà probablement identifiées. En effet, l'objectif est d'identifier l'ensemble des dépendances, même les plus minimes, puis d'en évaluer la criticité pour le fonctionnement du système. Le gestionnaire doit donc avoir la possibilité de rajouter des ressources au diagnostic.

Ressources	
Humaines	Ouvrier, Expert, Personne clef
Matérielles	Matière / Énergie / Substance
	Bien / Objet
	Infrastructure
Financières	Liquidité / Capital / Action / Crédit
Informationnelles	Données / Informations
	TIC : Réseaux matériels
	TIC : Réseaux immatériels
Services	Conseil, service

Figure 4-12 : Aide-mémoire pour l'identification des ressources (Pairet, 2009)

Selon le périmètre du système, certaines ressources utiles à son fonctionnement sont internes au système ou externes au système. Le fonctionnement interne du système n'est pas pris en compte mais l'outil proposé permet de recenser également les ressources internes utiles au fonctionnement. Ces informations sont parfois plus critiques que les dépendances externes car elles identifient par exemple les personnes « indispensables » au service, les infrastructures critiques ou les données utilisées en interne pour organiser le service. Alors, le gestionnaire n'est pas obligé de renseigner cette partie du diagnostic, mais s'il souhaite mener la même démarche en interne, il dispose du support adapté. La possibilité est laissée au gestionnaire de renseigner des données précisant la ressource, mais également les quantités et la localisation, bien que ces données ne soient pas indispensables à la suite du diagnostic (Figure 4-13).

	Ressources utilisées	Préciser (nature, quantité, localisation)	
Internes	personnel		
	biens		
	infrastructures		
	données		
	...		

Figure 4-13 : Identification des ressources internes utilisées

Les ressources internes sont catégorisées mais il est possible de préciser la ressource utilisée. Cette précision permet de préparer l'information permettant l'analyse des capacités de résilience en catégorisant les ressources nécessaires. Par exemple, le « personnel » peut être différencié entre les agents affectés spécifiquement à la gestion de crise (cellules de crise, centre de surveillance ou de pilotage), les agents dédiés à la maintenance ou l'entretien du service, et les agents nécessaires à l'organisation (direction, ressources humaines, services financiers, etc.). Dans la catégorie « biens » entre l'ensemble des ressources matérielles : notamment véhicules, outillage particulier, etc. (hors « infrastructures » qui regroupent les ressources immobilières : composants techniques du réseau et sites d'exploitation). Enfin les « données internes » correspondent aux différentes sources d'information collectées en interne sur le fonctionnement du service : système de pilotage, fiches d'information, notamment au niveau organisationnel (personnel, plannings, etc.).

Ressources externes

Sur le même principe, les ressources externes au système et nécessaires à son fonctionnement sont répertoriées. Elles peuvent éventuellement être quantifiées, mais surtout, le ou les fournisseurs de la ressource doivent être identifiés (Figure 4-14). En effet, leur identification préalable permet de mettre en place une relation de partenariat et de pouvoir s'assurer de leur fiabilité en cas de perturbation. Par ailleurs, plusieurs services peuvent être dépendants du même prestataire, ce qui pourrait remettre en cause la capacité du prestataire à assurer l'ensemble de ces missions simultanément en cas de crise généralisée, d'où l'intérêt de leur identification.

	Ressources utilisées	Préciser (nature, quantité, localisation)	Fournisseur
Internes	personnel		
	biens		
	infrastructures		
	données		
	...		
Externes	matière		
	infrastructures		
	énergie		
	eau		
	réseau TIC		
	service		
	...		

Figure 4-14 : Identification des ressources externes utilisées et de leur fournisseur

Les « matières » regroupent l'ensemble des ressources matérielles utiles au fonctionnement des services : composants (pièces détachées pour la maintenance par exemple), réactifs chimiques (chlore pour le traitement de l'eau) ou matières solides (absorbant et sel pour la voirie). Les carburants (essence, fuel ou autres combustibles pour les usines par exemple) sont inclus dans la catégorie « énergie » avec le gaz et l'électricité. Ici il est particulièrement important d'identifier le fournisseur et notamment de préciser s'il s'agit d'ERDF ou directement RTE. En effet, la fiabilité de la ressource n'est alors pas la même, ni les solutions à apporter pour pallier une éventuelle défaillance. Les « infrastructures externes » relèvent principalement de la voirie qui permet l'accès aux sites et aux équipements, mais il pourrait également s'agir d'ouvrages empruntés par le réseau ou assurant une mission pour son fonctionnement. L'« eau » peut être potable, et donc fournie par le ou les services présents sur le périmètre couvert, ou non potable ; il faut alors en préciser l'origine : réseau d'eau non potable à Paris, pompage en Seine, etc. La catégorie « réseau TIC » regroupe l'ensemble des services de télécommunications utiles au service : mobile, fixe, internet, satellite ou radio. Bien souvent, plusieurs opérateurs ou fournisseurs assurent différentes parties de ce service. Enfin, la catégorie « service » rassemble l'ensemble des prestations utiles au fonctionnement, tant du point de vue technique (maintenance ou travaux), que du point de vue organisationnel (services de nettoyage, de restauration et d'hébergement du personnel en cas de crise notamment).

4.2.2. Évaluation de la criticite des ressources

Autonomie et inertie

Suivant les méthodes de diagnostic étudiées, l'évaluation doit être simple et reproductible. Le diagnostic fournit alors une grille d'analyse commune à tous les systèmes et facilite le traitement croisé des données (cf. 4.3.2). Sur la base de la liste des ressources nécessaires, il est nécessaire de hiérarchiser les besoins en fonction de leur importance pour le fonctionnement du système. Pour cela un critère de criticité peut être évalué : la ressource est-elle indispensable, importante, peu importante ou négligeable pour assurer le service ? Pour cela, plusieurs informations sont demandées au gestionnaire afin de l'aider à évaluer cette criticité finale. La criticité dépend de la situation de perturbation qui contraint le système. Ainsi, l'un des gestionnaires a suggéré de séparer la criticité « en temps normal » et la criticité « en situation perturbée » qu'il faut donc préciser lors du diagnostic (cf. 4.3.1). Le diagnostic permet donc d'avoir une vision générale, en fonctionnement normal, des dépendances des services urbains, et une vision spécifique à une situation de

perturbation. La première vision peut appuyer des réflexions d'adaptation (ou de conception) des systèmes, visant à réduire ou maîtriser la dépendance dans la gestion quotidienne. La deuxième analyse appuie des réflexions davantage centrées sur les solutions palliatives à mettre en place en préparation ou lors d'une crise. Finalement, cette étape d'évaluation est bien distincte de l'étape de diagnostic.

Le diagnostic inclut la description des ressources, l'identification des fournisseurs et l'évaluation d'une importante capacité de résilience : l'autonomie. L'autonomie est la capacité du système à se passer de la ressource considérée. Elle se traduit en termes de temps entre le moment où la ressource n'est plus disponible et le moment où le système commence à défaillir (Figure 4-15). L'évaluation reste qualitative avec quatre ordres de grandeur de la capacité d'autonomie : aucune (l'interruption de la ressource entraine directement une perturbation du service), moins de 12 h, quelques jours ou plusieurs semaines. Il peut s'agir d'une capacité de stockage de la ressource (ressource matérielle) qui permet au système de continuer à l'utiliser tant que le stock est maintenu ou bien d'un temps de latence avant que la défaillance de la ressource entraine une perturbation du fonctionnement (en particulier pour les services). La capacité d'autonomie est a priori fixe et ne dépend pas de la situation de perturbation. En réalité, la consommation de la ressource peut augmenter du fait de la situation perturbée ou le service peut devenir vital et entrainer plus rapidement une perturbation s'il est interrompu.

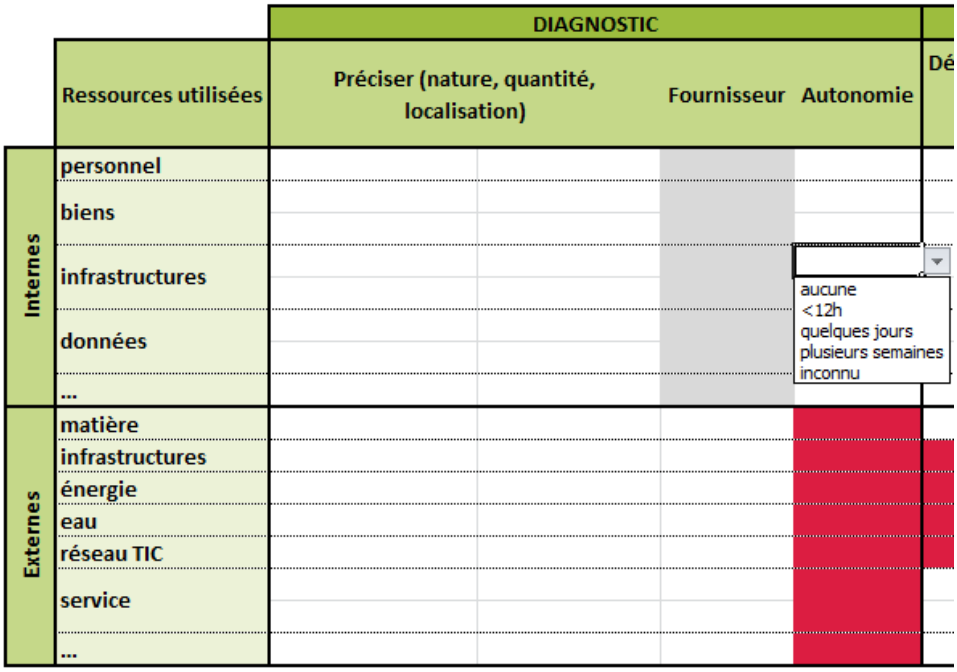


Figure 4-15 : Diagnostic des dépendances : nature, fournisseur et autonomie

La capacité à fonctionner en mode dégradé est une composante importante de la résilience. Il serait donc intéressant de pouvoir différencier les impacts de l'interruption d'une ressource sur le service : dégradation du fonctionnement n'impliquant pas forcément l'arrêt du service, arrêt du service, voire même endommagement du système. Cependant, il peut être difficile d'associer la dégradation directe du service à la dégradation d'une ressource. La défaillance de ces systèmes complexes résulte souvent de la conjonction de plusieurs conditions. On cherche toutefois à identifier dans ce diagnostic l'effet de l'arrêt de l'approvisionnement d'une ressource sur le fonctionnement du service. Il peut y avoir une certaine inertie entre la dégradation du service du fait d'une ressource défaillante et l'arrêt du service. En théorie, s'il est connu, ce délai s'ajoute au temps d'autonomie et allonge la marge de manœuvre (Pairet, 2009) (temps t1 sur la Figure 4-16) soit du gestionnaire impacté (système 1), qui peut profiter de cette inertie pour rétablir l'approvisionnement de la ressource, soit du gestionnaire dépendant de ce système (système 2) qui, s'il est informé de la défaillance du système 1, peut compter sur l'inertie du système et sur sa propre autonomie (temps t2).

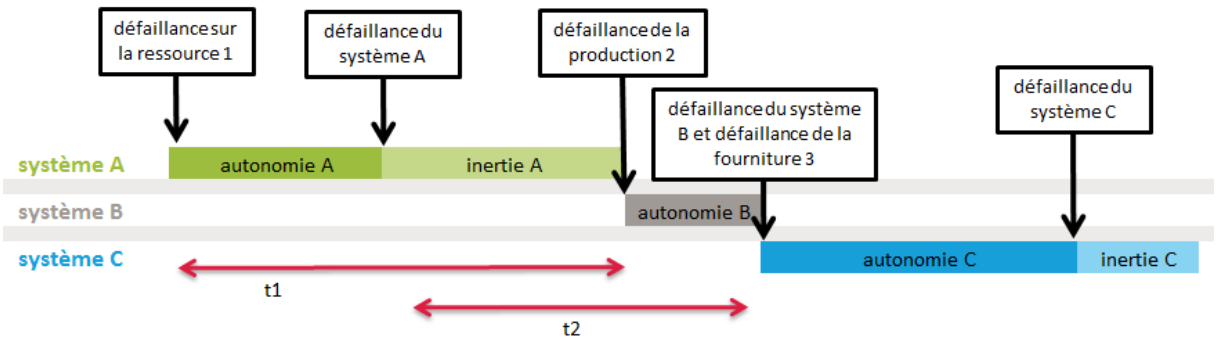


Figure 4-16 : Autonomie et inertie dans la propagation des défaillances entre systèmes (Toubin *et al.*, 2012d)

En pratique, cette inertie est généralement très réduite et difficilement évaluable par le gestionnaire, aussi il a été difficile de l'évaluer avec les services urbains parisiens, mais la possibilité de la renseigner est donnée du côté des ressources sortantes (cf. 4.2.3).

Retablissement et remise en service

La capacité de rétablissement est également importante pour la résilience du système. Aussi, pour évaluer la criticité d'une ressource, il est important d'évaluer également les capacités de rétablissement et le délai de remise en service. Ces deux caractéristiques dépendent de l'impact subi du fait de l'interruption de l'approvisionnement. La défaillance d'une ressource peut en effet entrainer une simple incapacité à faire fonctionner le système. Dans ce cas, le rétablissement de l'approvisionnement entraine le rétablissement immédiat du service. La plupart des ressources « consommées » par le système pour son fonctionnement (combustible ou réactifs par exemple) entrainent cependant un arrêt du process qui peut mettre du temps à redémarrer, une fois la ressource réapprovisionnée. Une autre notion temporelle, proche de l'inertie décrite précédemment, caractérise le délai entre le rétablissement du service et le rétablissement de la production du service (cf. 4.2.3). Cette grandeur est là encore difficile à évaluer en pratique, mais elle correspond à une réalité des installations industrielles, notamment, qui peuvent présenter un temps de redémarrage non négligeable entre la remise en marche du système et la distribution du service au niveau de l'utilisateur. Ainsi, dans le raisonnement inverse de la propagation de la perturbation, les temps de rétablissement s'additionnent. Avant qu'un système dépendant d'un autre système puisse reprendre sa production, il doit tenir compte du temps de rétablissement de la production de la ressource en question, en plus de son propre temps de rétablissement (temps t2 sur la Figure 4-17).

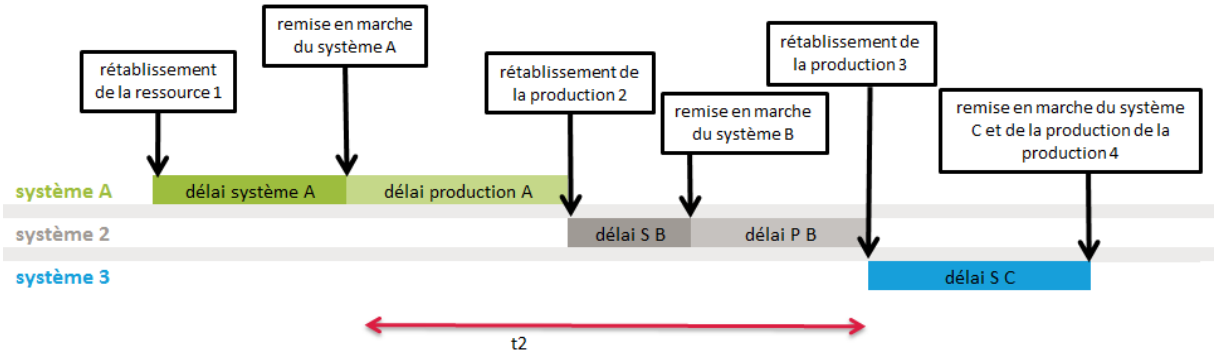


Figure 4-17 : Temps de remise en service et de rétablissement de la production dans la reprise du fonctionnement de systèmes dépendants

L'évaluation de ces grandeurs temporelles met en avant un certain nombre de marges de manœuvre pour les gestionnaires face à la défaillance d'une ressource. Les gestionnaires restent toutefois dépendants, au départ, de la fiabilité de la ressource. Il est donc intéressant de pouvoir évaluer de manière qualitative (très fiable,

plutôt fiable, peu fiable, pas du tout fiable) la fiabilité du fournisseur afin de prendre en compte la connaissance des facteurs externes par le gestionnaire. Finalement, la synthèse de ces évaluations permet au gestionnaire d'identifier la criticité globale de la ressource pour son fonctionnement : indispensable, importante, peu importante, négligeable ou inconnue. Comme indiqué précédemment, il est également possible de renseigner une criticité différente en situation normale ou en situation perturbée (Figure 4-18).

		DIAGNOSTIC			EVALUATION			
	Ressources utilisées	Préciser (nature, quantité, localisation)		Fournisseur	Autonomie	Délai de remise en service système	Fiabilité de la ressource	Criticité pour le système	
								en situation normale	en situation perturbée
Internes	personnel								
	biens								
	infrastructures								
	données								
	...								
Externes	matière								
	infrastructures								
	énergie								
	eau								
	réseau TIC								
	service								
	...								

indispensable
importante
peu importante
négligeable
inconnu

Figure 4-18 : Grille d'évaluation de la dépendance face aux ressources nécessaires au système

Afin d'identifier les interdépendances des services urbains, il est important d'identifier également les extrants (Pairet, 2009), c'est-à-dire les ressources ou services produits par le système.

4.2.3. Identification des ressources sortantes

Services rendus

Pour une utilisation simplifiée, une deuxième grille est construite selon le principe du diagnostic des intrants. Elle permet de répertorier puis d'évaluer la fiabilité et la criticité des ressources produites pour les utilisateurs, d'après la perception du gestionnaire interrogé, donc le fournisseur. Aucune liste de ressources sortantes n'est proposée puisque le gestionnaire connait son système et les missions assurées. Les ressources sortantes ne sont pas uniquement les ressources et services « prévus » par le gestionnaire car d'autres produits indirects peuvent impacter les systèmes en aval. Cet ajout permet ainsi de tenir compte d'interactions mal connues ou mal maîtrisées entre systèmes, en utilisant la connaissance des fournisseurs mais aussi des usagers. Par exemple, les services d'assainissement ont pour mission principale d'assurer le traitement des eaux usées. Mais ce faisant, les stations d'épuration produisent un certain nombre de déchets, parfois valorisés par d'autres systèmes : boues d'épandage pour les filières agricoles ou mâchefers pour les filières de travaux publics[38]. Alors, l'interruption du traitement sur une station d'épuration remet en question le service d'assainissement des collectivités, mais également l'activité industrielle des utilisateurs de sous-produits. Ainsi, la criticité de l'interruption de service n'est pas la même selon la ressource sortante interrompue, ni selon l'« utilisateur » (cf. paragraphe suivant).

D'autres ressources sortantes peuvent également être « involontaires » et généralement dues à un fonctionnement perturbé du service. Ainsi, du fait de mesures visant à faire face à une perturbation, un système peut rejeter des ressources d'une qualité différente de la situation normale, ou en quantité bien plus importante. C'est le cas par exemple de la RATP à Paris qui pompe en permanence aux points bas de son réseau pour empêcher l'ennoiement de ses infrastructures par la remontée de la nappe et rejette l'eau dans les

[38] comme sous-couche pour les chaussées

égouts. En situation de fortes pluies ou de crue de la Seine, les volumes à pomper augmentent alors même que les égouts sont déjà sollicités fortement. Les volumes entrants, d'habitude collectés et traités par le système d'assainissement de manière satisfaisante, peuvent remettre en cause le fonctionnement normal du réseau d'égout. Ici, il est intéressant de noter que cet « échange » entre le système RATP et le système SAP[39] n'est pas forcément connu et pris en compte par les deux systèmes. En effet, si le gestionnaire de la RATP cite spontanément son effet sur le réseau d'égout, il est compréhensible que le gestionnaire de la SAP, bien que connaissant ce cas particulier et ses enjeux, ne mentionne pas spontanément l'ensemble des systèmes rejetant de l'eau dans son réseau. L'identification des interdépendances n'est pas forcément bilatérale. L'outil permet donc de reconstruire les échanges à partir d'une vision sectorielle et éventuellement confronter les différences de perception ou de connaissance.

IDENTIFICATION ET PRIORISATION DES UTILISATEURS

La grille de diagnostic permet d'identifier les utilisateurs ou les récepteurs des ressources sortantes et d'identifier la criticité perçue de la ressource pour l'utilisateur. En théorie, cela permet d'évaluer l'influence du système sur les systèmes dépendants, c'est-à-dire l'importance de la ou les ressources produites pour les utilisateurs, d'après le jugement du fournisseur. Lorsque la criticité d'un échange est caractérisée par l'usager et par le fournisseur, il est possible de confronter les différentes perceptions (Toubin *et al.*, 2012d). Cette analyse met éventuellement en avant des décalages qui peuvent influer sur la manière dont les uns et les autres organisent leur service qui ne correspond alors pas forcément à la réalité (Figure 4-19).

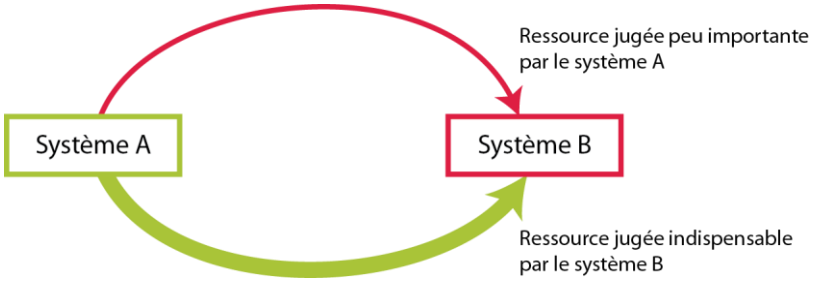


Figure 4-19 : Représentation graphique des différentes perceptions dans la criticité d'une ressource entre deux systèmes

En pratique, le fournisseur ne connait pas forcément l'ensemble de ses usagers, notamment dans le cas de ressources sortantes produites plus ou moins involontairement. En général, le gestionnaire a déjà identifié des services prioritaires, car critiques pour la sécurité du pays, comme les ministères, les services de secours et de santé. Cependant, ce ne sont pas forcément les systèmes les plus *dépendants* à la ressource qui sont prioritaires ; cette priorité est bien souvent évaluée en fonction de la criticité de la *mission* assurée par l'usager.

En plus de la perception du point de vue de l'utilisateur, le gestionnaire peut caractériser sa propre fiabilité dans la fourniture des ressources sortantes. Pour cela, les grandeurs déjà décrites d'inertie et de rétablissement du service l'aident à identifier les capacités de son système à rétablir son fonctionnement normal. Finalement, cela lui permet d'évaluer sa fiabilité globale quant à la ressource produite : très fiable, plutôt fiable, peu fiable, pas du tout fiable (Figure 4-20).

[39] gestionnaire des égouts parisiens, cf. chapitre 3

	DIAGNOSTIC				EVALUATION			
Ressources fournies	Préciser (nature, quantité, localisation)		Utilisateur	Inertie	Délai de remise en service production	Fiabilité de la production	Criticité pour l'utilisateur	Utilisateurs prioritaires
ressource 1			utilisateur 1					
			utilisateur 2					
			utilisateur 3					
ressource 2			utilisateur 1					
			utilisateur 3					

très fiable
plutôt fiable
peu fiable
pas du tout fiable
inconnu

Figure 4-20 : Grille d'évaluation de l'influence du système sur les systèmes dépendants

Ainsi, le croisement entre la fiabilité de la production et la criticité pour l'utilisateur met en avant les ressources sortantes sur lesquelles le gestionnaire devra être le plus vigilant. Ce résultat lui permet également de prioriser ses actions de rétablissement, en tenant compte également de ses marges de manœuvre au niveau de l'inertie et de la remise en service.

Synthèse

La grille d'autodiagnostic a été conçue pour s'adapter au degré de précision et d'exhaustivité donné par le gestionnaire. La distinction entre ressources internes et externes permet notamment d'identifier les ressources sur lesquelles le gestionnaire a, a priori, plus de leviers d'action, mais qu'il peut ne pas souhaiter partager. Connaître les capacités d'autonomie et l'impact sur la production de la ressource ou du service permet au gestionnaire de qualifier sa dépendance globale face aux différentes ressources, d'indispensable à négligeable. À l'inverse, si la ressource n'est plus fournie, le gestionnaire peut évaluer le temps de remise en service qu'il devra prendre en compte, une fois l'approvisionnement rétabli, pour redémarrer son système et produire à nouveau son service. Alors l'identification et la priorisation de ses usagers lui permet d'identifier les ressources sortantes les plus critiques pour le reste du système urbain.

4.3. EXPERIMENTATION AVEC LES SERVICES URBAINS PARISIENS

Les gestionnaires rencontrés ont été contactés avec l'appui du SGZDS et de la Ville de Paris qui dispose de l'annuaire des gestionnaires participant aux groupes de travail du SGZDS (cf. chapitre 3). Ainsi, la plupart de ces entretiens ont eu lieu avec les responsables du plan de gestion du risque inondation au sein du service concerné. D'autres gestionnaires ont également été rencontrés car certains ne sont pas impliqués dans les groupes de travail du SGZDS. Après la collecte des données, les grilles d'autodiagnostic sont traduites en tableaux puis en schémas grâce à la théorie des graphes. Les représentations graphiques permettent de mettre en avant les dépendances critiques. La construction du système de systèmes ainsi créé permet d'analyser différemment les interactions critiques.

4.3.1. PORTRAIT SECTORIEL DES SYSTEMES

COLLECTE DES DONNEES

Au début de l'entretien, le cadre de la thèse ainsi que les objectifs généraux du travail de recherche sont présentés, puis le gestionnaire commence généralement par présenter le fonctionnement global de son service. Même si le risque majeur étudié est l'inondation (cf. chapitre 3), diverses situations de risque peuvent être identifiées par le gestionnaire (Figure 4-21). Il est important de lister d'abord l'ensemble des risques pouvant affecter le système (risques naturels, risques industriels, risques sociaux, risques d'exploitation, etc.), afin de comprendre la manière dont le gestionnaire aborde les risques et ses conséquences sur la gestion du service.

Situation de risque	
risques pouvant affecter le système	
risque majeur pour le gestionnaire	
risque considéré pour le diagnostic	

Figure 4-21 : Étape préalable d'identification des différentes situations de risque

Ainsi, pour la RATP, si l'inondation est un risque majeur, le risque géologique est également important du fait de l'instabilité du sous-sol parisien. Le risque terroriste est également majeur car les transports en commun sont des cibles fréquentes. Enfin le gestionnaire considère les risques d'exploitation, comme le risque ferroviaire de déraillement, qui entacherait fortement l'image du service. En revanche, pour Eau de Paris, un risque majeur serait un évènement capable de toucher simultanément l'ensemble des composants du système. Puisque la région parisienne n'est pas sujette au risque sismique, des risques encore peu connus de dérèglement des systèmes de pilotage, par une impulsion électromagnétique par exemple, pourraient remettre en cause le service. Par ailleurs, des risques d'arrêt de l'approvisionnement en réactifs, du fait de grève ou de blocages routiers pourraient perturber le service.

Suite à l'identification du risque pris en compte dans le diagnostic, un exemple théorique d'exploitation des résultats issus du portrait (cf. 4.2) permet ensuite de montrer l'intérêt de l'approche et de commencer le renseignement de la grille (Figure 4-22). Elle est remplie au fur et à mesure de l'entretien, en même temps que la prise de note donnant des détails complémentaires.

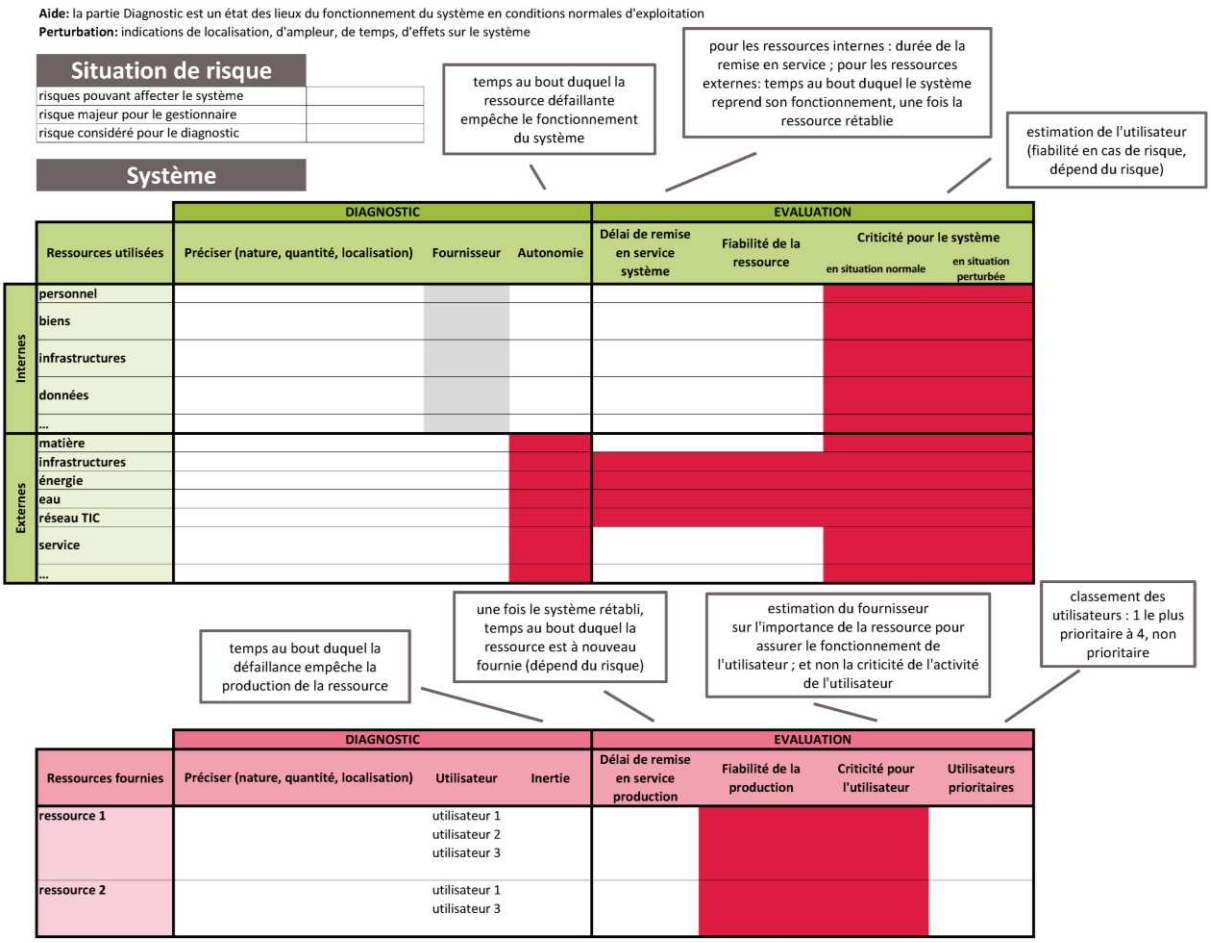


Figure 4-22 : Fiche de portrait sectoriel comportant les aides au diagnostic (Toubin *et al.*, 2011a)

L'entretien inclut une discussion concernant la confidentialité des données collectées et les possibilités de travailler à une échelle plus fine, locale, éventuellement fondée sur les données réelles du service. Si les gestionnaires acceptant de partager les données, éventuellement cartographiques, concernant leur réseau sont rares, la plupart ont accepté l'utilisation des données collectées lors des entretiens. Toutefois, si certains documents ou données n'apparaissent pas ici, c'est que le gestionnaire en a refusé la diffusion, pour des raisons de confidentialité. Le compte-rendu de l'entretien ainsi que la grille remplie et la représentation visuelle en découlant (cf. paragraphe suivant) sont envoyés ensuite au gestionnaire pour compléments et validation.

Les informations demandées pour le renseignement de la grille ne sont pas toujours connues du gestionnaire ou il ne préfère pas les donner. Ainsi, certaines cases restent vides, mais il est important de toujours renseigner *a minima* les caractéristiques d'autonomie et de criticité finale (en rouge dans la grille). Le diagnostic dépend donc de la personne rencontrée, de sa perception des risques et de son service, de son degré d'expertise et de sa volonté de partager des informations. C'est pourquoi, cette vision subjective du service n'a pas vocation à être généralisée aux services d'une autre ville, mais elle donne une idée assez précise de l'information que le gestionnaire diffusera dans le cadre d'un travail collaboratif avec d'autres acteurs de la ville, dans le cadre d'une cellule de crise par exemple[40]. Il ne s'agit pas d'évaluer leur niveau de connaissance sur le fonctionnement « réel » du système mais de mettre en avant le fonctionnement « perçu », notamment face à une perturbation. Ainsi, les diagnostics obtenus à la suite des entretiens peuvent être différents en termes de

[40] Bien que les relations avec le chercheur (Petit, 2010) ou la posture du chercheur lui-même (Brun et al., 2007) influent sur ce processus et sa retranscription.

quantité d'information, selon les gestionnaires rencontrés (Figure 4-23) ; c'est particulièrement visible dans la représentation graphique qui en découle.

GRDF

		DIAGNOSTIC				EVALUATION			
	Ressources utilisées	Préciser (nature, quantité, localisation)		Fournisseur	Autonomie	Délai de remise en service système	Fiabilité de la ressource	Criticité pour le système en situation normale	Criticité pour le système en situation perturbée
Internes	personnel	personnel d'intervention et de gestion de crise	sur les sites d'exploitation		aucune			indispensable	indispensable
	biens	flotte de véhicules			aucune			indispensable	indispensable
	infrastructures	réseaux MP			aucune	immédiat		indispensable	indispensable
		réseaux BP			aucune	plusieurs semaines		indispensable	indispensable
		sites d'exploitation			plusieurs semaines	plusieurs semaines		importante	importante
	données	remontée d'information pression						importante	peu importante
		réseau radio						importante	indispensable
Externes	matière	gaz	20 points de livraison pour Paris	GRT gaz	aucune		très fiable	indispensable	indispensable
		détendeurs	branchements individuels ou collectifs	fournisseurs	inconnu			importante	indispensable
		kits de nettoyage							indispensable
	infrastructures	voirie						indispensable	indispensable
	énergie	électricité sur les sites d'exploitation (présence de GE)		ERDF	plusieurs semaines			importante	peu importante
		hydrocarbures pour les véhicules (client prioritaire de niv 2)		fournisseurs	aucune			indispensable	indispensable
	eau	eau potable sur les sites d'exploitation		syndicats de distribution	aucune			importante	importante
	réseau TIC	téléphonie mobile	pour les télécommunications et la remontée d'information	plusieurs opérateurs				importante	importante
		téléphones satellites							indispensable
	service	hébergement	des agents et des renforts						indispensable
		restauration							indispensable
		sous-traitance travaux		2 prestataires intra-muros, 1 par secteur d'exploitation en banlieue	aucune			indispensable	indispensable

	DIAGNOSTIC			EVALUATION			
Ressources fournies	Préciser (nature, quantité, localisation)	Utilisateur	Inertie	Délai de remise en service production	Fiabilité de la production	Criticité pour l'utilisateur	Utilisateurs prioritaires
gaz	2.7 millions de clients en IdF	clients	aucune		plutôt fiable	importante	

Figure 4-23 : Grille de diagnostic du service de distribution de gaz GRDF

Traduction des portraits sectoriels en tableaux puis en graphes

Les échanges entre les différents systèmes identifiés dans les portraits sectoriels peuvent être représentés à l'aide de graphes. En effet, même s'ils ne sont pas spatialisés, les nœuds (les services) reliés par les arcs (les liens de dépendances) forment un système complexe dont la structure peut être étudiée par la théorie des graphes (Figure 4-24), davantage au sens des réseaux sociaux (cf. chapitre 7) que des réseaux techniques (Lhomme, 2012b).

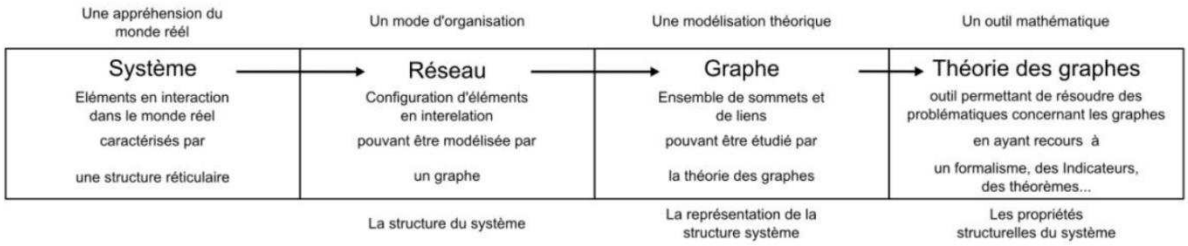


Figure 4-24 : La théorie des graphes appliquée aux réseaux (Lhomme, 2012a)

L'évaluation qualitative des dépendances dans les portraits est donc traduite en valeurs numériques dont la plus grande valeur traduit une caractéristique négative de la dépendance (Tableau 4-1). Un délai très court d'impact sur le système (« immédiat ») est plus pénalisant qu'un délai de « quelques jours » ; il est donc affecté de la valeur 4. De même pour la fiabilité, il est plus pénalisant d'avoir un fournisseur « pas du tout fiable » (valeur affectée 4) qu'un fournisseur « très fiable » (valeur 1). Cette traduction permet également de faciliter la représentation en graphe, par la pondération des nœuds et des liens. On considère en effet que si le système A dépend du système B, alors il existe un lien entre A (la cible) et B (la source), que l'on peut pondérer par une ou plusieurs grandeurs.

Tableau 4-1 : Traduction des grandeurs qualitatives en valeurs numériques

Valeur	Autonomie	Délai d'impact	Délai de reprise	Fiabilité	Criticité
0	Inconnue	Inconnu	Inconnu	Inconnue	Inconnue
1	Plusieurs semaines	Plusieurs semaines	Immédiat	Très fiable	Négligeable
2	Quelques jours	Quelques jours	<12h	Plutôt fiable	Peu importante
3	<12h	<12h	Quelques jours	Peu fiable	Importante
4	Aucune	Immédiat	Plusieurs semaines	Pas du tout fiable	Indispensable

La représentation graphique est réalisée à l'aide d'un logiciel libre de représentation des graphes : Gephi. Les tableaux d'autodiagnostic sont donc transformés en tables de nœuds (exemple de GRDF au Tableau 4-2) et de liens (exemple de GRDF au Tableau 4-3), traduisible en graphe.

Tableau 4-2 : Table des nœuds intégrant la nature de la ressource fournie par le nœud (*type*) et l'autonomie du système GRDF face à cette ressource (*autonomy*)

Label	Id	Type	Autonomy
GRDF	1	gaz	0
Personnel	2	interventions	4
Vehicules	3	deplacement	4
Infrastructures	4	fonctionnement	4
Locaux	5	fonctionnement	1
GTC	6	informations	0
Radio	7	communications	0
GRTgaz	8	gaz	4
Fournisseurs	9	pieces	0
Fournisseurs	10	kits nettoyage	0
Collectivites	11	voirie	0
ERDF	12	electricite	1
Fournisseurs	13	carburant	4
Eau de Paris	14	eau potable	4
Autres syndicats	15	eau potable	4
Operateurs	16	telephonie mobile	0
Operateur	17	remontee infos	0
Prestataires	18	telephones satellites	0
Hotellerie	19	hebergement	0
Prestataires	20	restauration	0
Sous-traitants	21	travaux	4
Clients	22		0

Tableau 4-3 : Table des liens aboutissant au système GRDF, reprenant la ressource (*label*) donnée dans la table des nœuds et la criticité globale (*weight*) en situation perturbée

Source	Target	Weight	Label	Id
2	1	4	interventions	1
3	1	4	deplacement	2
4	1	4	fonctionnement	3
5	1	3	fonctionnement	4
6	1	2	informations	5
7	1	4	communications	6
8	1	4	gaz	7
9	1	4	pieces	8
10	1	4	kits nettoyage	9
11	1	4	voirie	10
12	1	2	electricite	11
13	1	4	carburant	12
14	1	3	eau potable	13
15	1	3	eau potable	14
16	1	3	telephonie mobile	15
17	1	2	remontee infos	16
18	1	4	telephones satellites	17
19	1	4	hebergement	18
20	1	4	restauration	19
21	1	4	travaux	20
1	22	3	gaz	21

Ensuite, le graphe des dépendances du système GRDF (Figure 4-25) montre les dépendances les plus critiques pour le système : celles dont la ressource ou le service fourni est indispensable (lien noir) et dont l'autonomie est faible (nœud vert foncé).

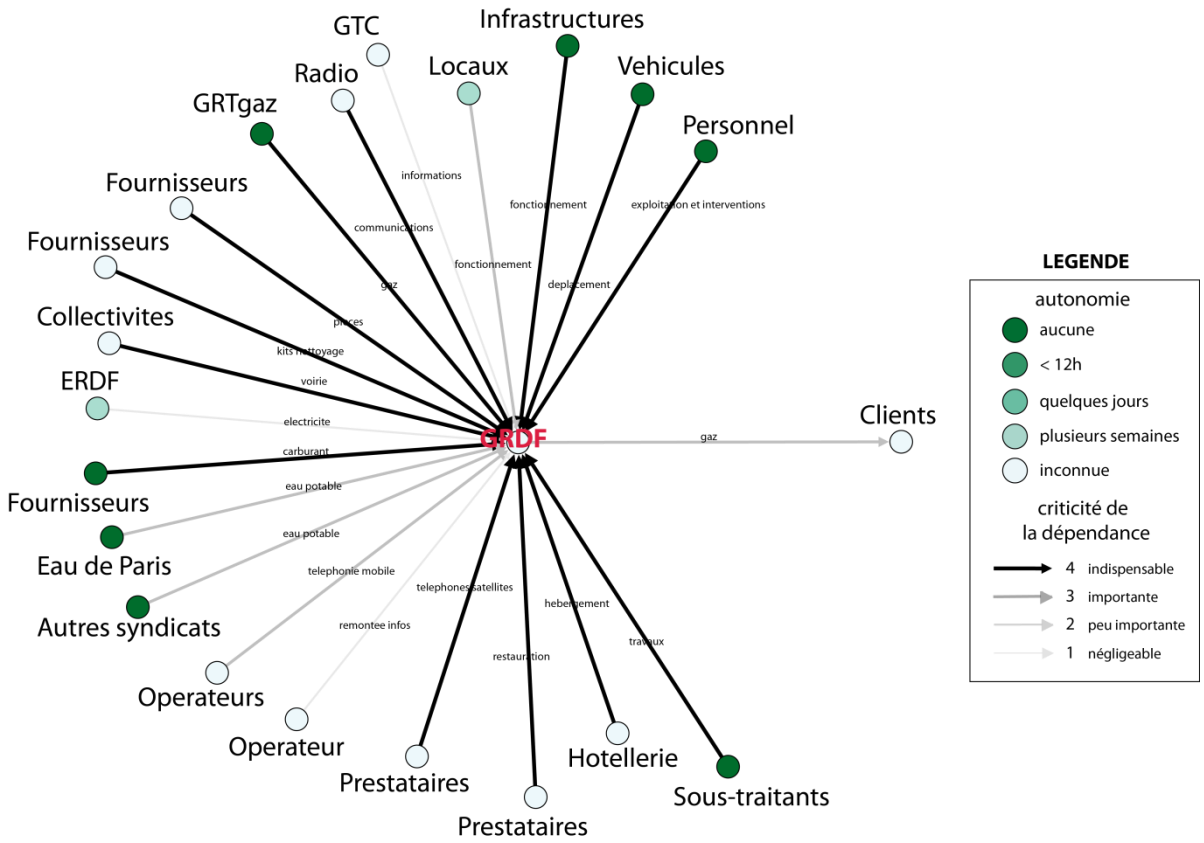


Figure 4-25 : Portrait sectoriel du système de distribution de gaz GRDF, la couleur du lien donne la criticité de la dépendance, la couleur du nœud origine donne l'autonomie de GRDF face à la ressource fournie

Cette hiérarchisation n'est toutefois pas immédiatement apparente avec l'ensemble des gestionnaires car ils ont souvent tendance à considérer l'ensemble des ressources comme indispensables. Très peu de gestionnaires ont réellement nuancé le diagnostic de leur système. Est-ce que les gestionnaires n'ont pensé qu'aux ressources dont la criticité est importante ou bien manquent-ils de données sur la criticité réelle ? Ou bien encore peuvent-ils indiquer que certaines ressources utilisées ne sont pas indispensables ?

Ces représentations synthétiques permettent également d'identifier immédiatement le nombre de dépendances évoquées par le gestionnaire. La comparaison de deux portraits montre par exemple une forte disparité dans les dépendances identifiées. Cette disparité peut trouver différentes explications. Le système peut effectivement être peu dépendant de ressources extérieures, ou alors le gestionnaire n'a pas la connaissance ou n'a pas souhaité communiquer l'ensemble des dépendances de son système. Pour le cas d'Eau de Paris (Figure 4-26), on peut supposer qu'effectivement le système est relativement autonome, mais que plusieurs dépendances sont également omises (par exemple la dépendance aux carburants pour alimenter la flotte de véhicules nécessaire à la maintenance). A l'inverse, l'exhaustivité de la description, peut s'expliquer par le caractère même du système qui, déjà par sa conception, se trouve à l'interface avec de nombreux autres systèmes ; ou par la volonté du gestionnaire d'explorer intégralement le fonctionnement de son système lors de l'autodiagnostic. Pour le cas du SYCTOM (Figure 4-27), on peut supposer que ces deux raisons expliquent le nombre important de dépendances connues. En effet, les gestionnaires rencontrés ont justifié dès le début de l'entretien leur connaissance de ces dépendances du fait même du fonctionnement de leur système qui utilise de nombreuses ressources externes différentes. Ainsi, pour comprendre le système de traitement des ordures ménagères, il faut déjà identifier les acteurs en interaction (notamment la CPCU qui utilise la vapeur produite par les usines de traitement, ou ERDF qui est à la fois un fournisseur d'énergie et un acheteur pour l'électricité produite par cogénération).

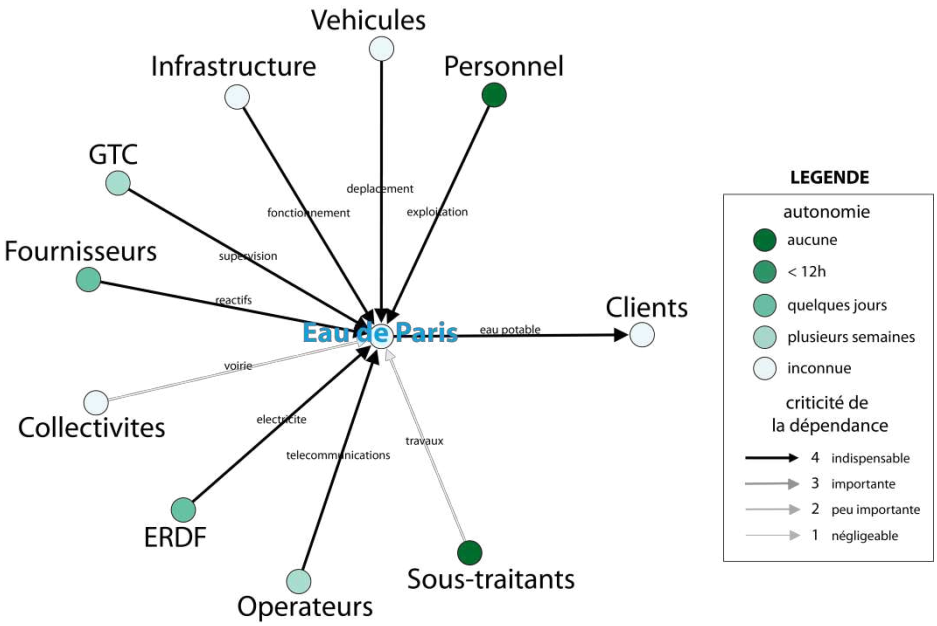


Figure 4-26 : Portrait sectoriel du système de distribution d'eau potable Eau de Paris

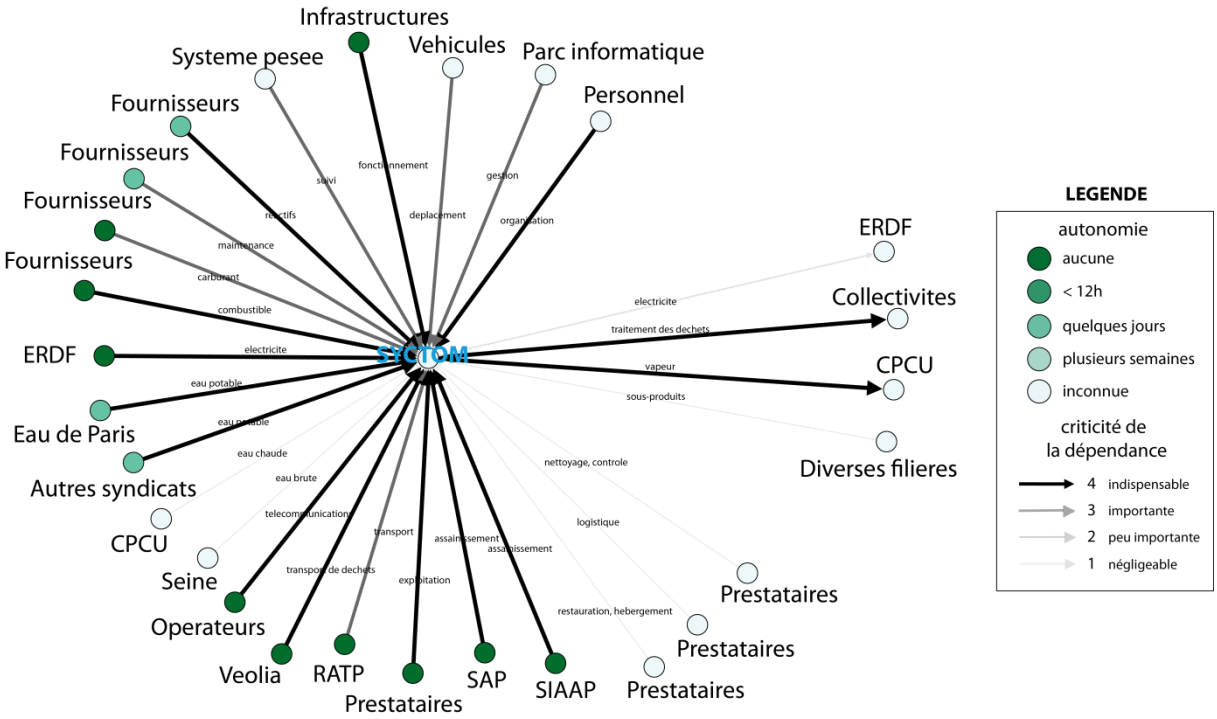


Figure 4-27 : Portrait sectoriel du système de traitement des déchets SYCTOM

L'ensemble des portraits sectoriels réalisés est placé en annexe 1 avec la description générale de chaque service urbain.

4.3.2. Construction et analyse du systeme de systemes

Croisement des donnees a l'aide de la theorie des graphes

Après avoir identifié et formalisé les données concernant les dépendances de chaque service, il est possible de représenter les interdépendances ainsi créées entre les services urbains parisiens. Pour cela, les interactions

sont limitées aux 18 systèmes étudiés (le service Véolia est conservé puisqu'il rend un service majeur au SYCTOM, mais il n'apparaitra plus dans la deuxième partie de l'expérimentation). Les dépendances à des ressources internes sont donc temporairement écartées ainsi que les dépendances relevant d'opérateurs autres que les 18 systèmes mentionnés auxquels sont ajoutés 5 systèmes dits « passifs ». Ces services n'ont pas été rencontrés car ils relèvent parfois de plusieurs acteurs différents, mais sont souvent essentiels pour les services urbains parisiens :

- les « hydrocarbures » ;
- les « autres syndicats » de distribution d'eau potable hors Paris intra-muros ;
- la « voirie » qui n'est pas un service en lui-même mais assure un service essentiel de déplacement et repose sur plusieurs autres services (au sens organisation) ;
- les « autres transports » (SNCF, Optile, etc.) ;
- les « autres opérateurs » de télécommunications (Bouygues, SFR, Free et tous les prestataires de service haut débit, fibre optique, etc.).

À partir des portraits réalisés service par service, les interactions entre les systèmes sont synthétisées dans une matrice des interdépendances (matrice structurale en systémique, cf. 4.1.2). Le composant a_{ij} correspond à la criticité de la ressource fournie par i à j, selon la perception de j (où a_{ij} peut prendre les valeurs de criticité de 1 à 4 : 1-négligeable, 2-peu importante, 3-importante, 4-indispensable). Par exemple, dans le cas théorique du Tableau 4-4, à la ligne 6, on peut lire que le système 6 fournit une ressource de criticité 1 (négligeable) au système 2 et une ressource de criticité 2 (peu importante) au système 8. Ainsi, la lecture en ligne donne les ressources fournies par le système aux autres systèmes (influences), et la lecture en colonne donne l'ensemble des ressources nécessaires à un système (dépendances).

Tableau 4-4 : Matrice d'interdépendances à 10 systèmes

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	3	0	0	4	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

La plupart des informations sont données en réalité par l'utilisateur de la ressource car bien souvent, le fournisseur n'identifie pas chacun de ses utilisateurs (cf. 4.2.3). Ainsi, ce lien n'apparaît que parce que l'utilisateur, lui, l'a identifié. Alors la confrontation entre la perception du fournisseur et de l'utilisateur est

difficile à évaluer, à moins d'amener le fournisseur d'une ressource à se questionner sur l'ensemble des usagers de son service et l'importance de la ressource qu'il leur fournit.

Il arrive toutefois que certains gestionnaires identifient des utilisateurs particuliers pour leur ressource, ce qui peut induire deux criticités, éventuellement différentes, pour la même ressource échangée. En particulier, la ressource fournie n'est pas nécessairement la même que celle que le service fournit « par défaut » aux autres usagers. Par exemple, pour le cas parisien, les services étudiés et les ressources fournies « par défaut » sont donnés dans le Tableau 4-5 (cf. chapitre 3 et annexe 1).

Tableau 4-5 : Systèmes composant le système urbain parisien et ressources produites « par défaut »

Label	Id	Type
ERDF	1	electricite
GDF	2	gaz
CPCU	3	chauffage
Climespace	4	climatisation
hydrocarbures	5	carburants
Eau de Paris	6	eau potable
autres syndicats	7	eau potable
SAP	8	assainissement
SIAAP	9	assainissement
Proprete	10	collecte dechets
SYCTOM	11	traitement dechets
Veolia	12	transport dechets
PC Lutece	13	regulation trafic
EVESA	14	eclairage
Fonctionnelle	15	viabilite
Voirie	16	deplacement
RATP bus	17	transport
RATP metro	18	transport
autres transports	19	transport
Orange fixe	20	telephone
Orange mobile	21	mobile
Orange internet	22	internet
autres operateurs	23	telecommunications

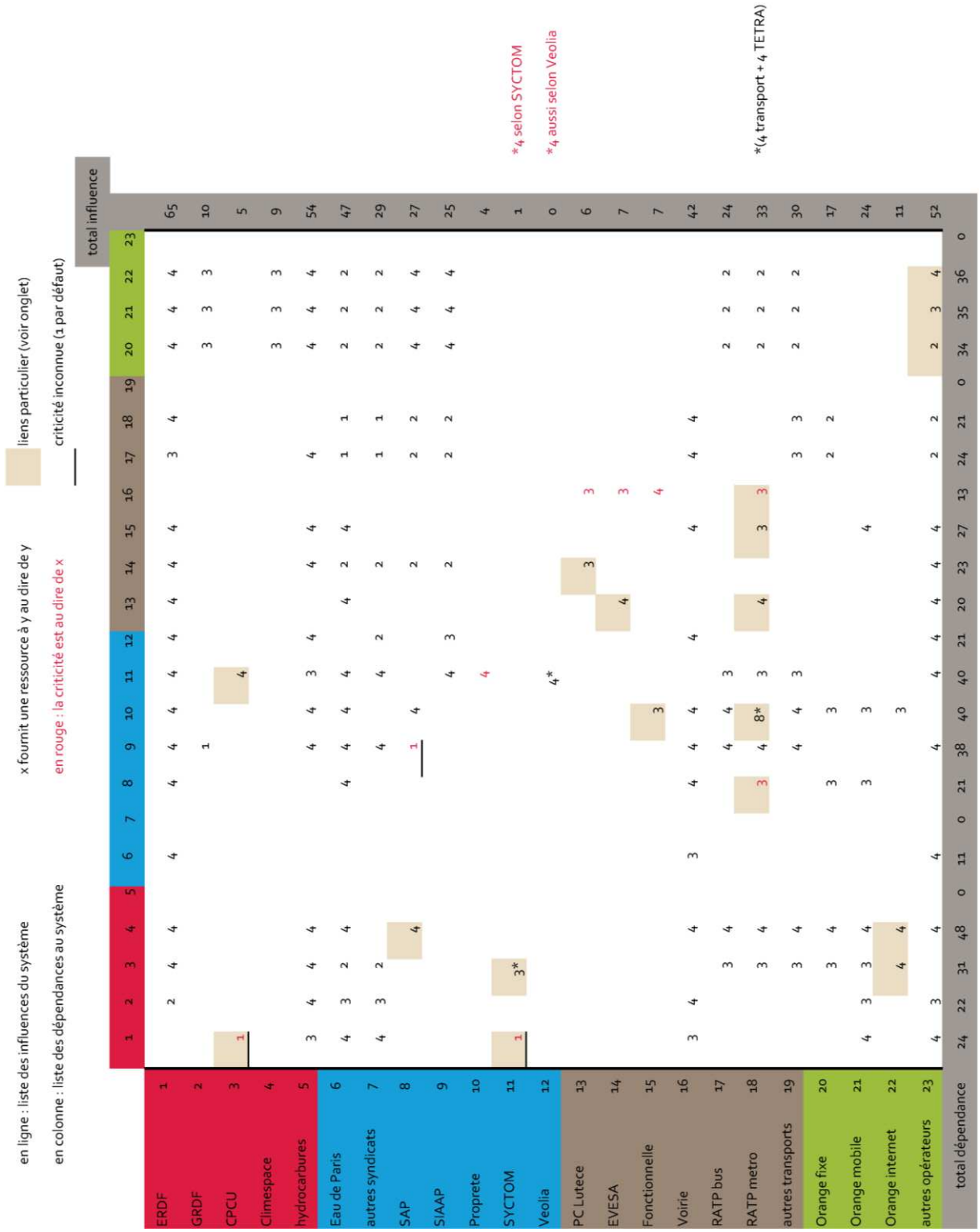
Mais la RATP, par exemple, produit d'autres ressources que le transport. Elle fournit notamment un service de communication radio nommé TETRA, utilisé par des services de la Ville de Paris (Propreté notamment). Indirectement, du fait du pompage de l'eau dans ses tunnels pour empêcher l'ennoiement, la RATP rejette de l'eau en voirie et également dans les égouts (Toubin *et al.*, 2012c). Ces relations sont donc affectées arbitrairement au service « RATP metro » même s'il s'agit en réalité d'entités distinctes du service de métro à proprement parler (pour TETRA) ou d'infrastructures particulières qui produisent cette interaction (pour les rejets). Ainsi le Tableau 4-6 récapitule les liens particuliers qui rajoutent des interactions ou remplacent les labels « par défaut » donnés dans le Tableau 4-5 :

Tableau 4-6 : Liens particuliers pour les systèmes parisiens, le poids (*weight*) est la criticité de l'interaction (cf. 4.2)

Source	Target	Weight	Label	Explication
CPCU	SYCTOM	4	vapeur	la CPCU exploite le réseau en vapeur, le SYCTOM fournit l'énergie issue de l'incinération des déchets.
SYCTOM	CPCU	3	vapeur	
CPCU	ERDF	1	energie	le SYCTOM et la CPCU produisent également de l'électricité par cogénération pour ERDF
SYCTOM	ERDF	1	energie	
SAP	Climespace	4	acces egouts	Climespace doit pouvoir accéder à son réseau déployé dans les égouts
PC Lutèce	EVESA	3	informations	le PC Lutèce de régulation de trafic transmet des informations concernant les défaillances à la société EVESA exploitant le réseau d'éclairage urbain et assurant la maintenance de la SLT
EVESA	PC Lutèce	4	maintenance	
RATP metro	PC Lutèce	4	maintenance	une filiale de la RATP assure la maintenance de la fibre optique de SLT empruntant son réseau
RATP metro	Proprete	4	TETRA	une filiale de la RATP propose le réseau radio TETRA à la Fonctionnelle et à la propreté
RATP metro	Fonctionnelle	3	TETRA	
RATP metro	SAP	3	eaux de pompage	la RATP rejette des eaux de pompage dans le réseau d'égout et en voirie
RATP metro	Voirie	3	eaux de pompage	
Orange internet	CPCU	4	telecommande	Orange fournit les services de pilotage à distance des réseaux CPCU et Climespace
Orange internet	Climespace	4	supervision	
Autres operateurs	Orange fixe	2	SS7	les opérateurs de télécoms partagent le système de synchronisation et de signalisation SS7 (pour l'international et les SMS)
Autres operateurs	Orange mobile	3	SS7	
Autres operateurs	Orange internet	4	acces DNS	Orange dépend de l'accès aux serveurs DNS pour l'internet, géré par les américains
Fonctionnelle	Proprete	3	sel et sable	la Fonctionnelle fournit les autres divisions de propreté en sel et sable

Finalement, l'ensemble des interdépendances identifiées avec les gestionnaires parisiens est donné dans la matrice du Tableau 4-7 ; la valeur de criticité est celle évaluée par le gestionnaire, en situation perturbée due à l'inondation. On y voit apparaître des liens particuliers et des ressources échangées, évaluées selon différents points de vue. La somme des lignes et la somme des colonnes constituent également des données intéressantes pour l'analyse des interdépendances. La somme des lignes donne le degré d'influence du système, c'est-à-dire le nombre (pondéré par la criticité) de systèmes utilisant la(les) ressource(s) produite(s) par le système. La somme des colonnes donne le degré de dépendance du système, c'est-à-dire le nombre (pondéré par la criticité) de ressources utilisées par le système pour fonctionner.

Tableau 4-7 : Matrice des interdépendances des systèmes parisiens



En utilisant le même principe que pour les représentations centrées sur un service (cf. 4.3.1), le logiciel Gephi[41] permet de représenter les interactions entre les 23 systèmes étudiés. Pour faciliter la lecture de ce graphe très dense qui comporte 168 liens entre les 23 systèmes, un algorithme de spatialisation appelé force-atlas « organise la réalité, sans biais, pour une bonne lisibilité » (documentation du logiciel). Il prend également en compte le poids des liens (Figure 4-28).

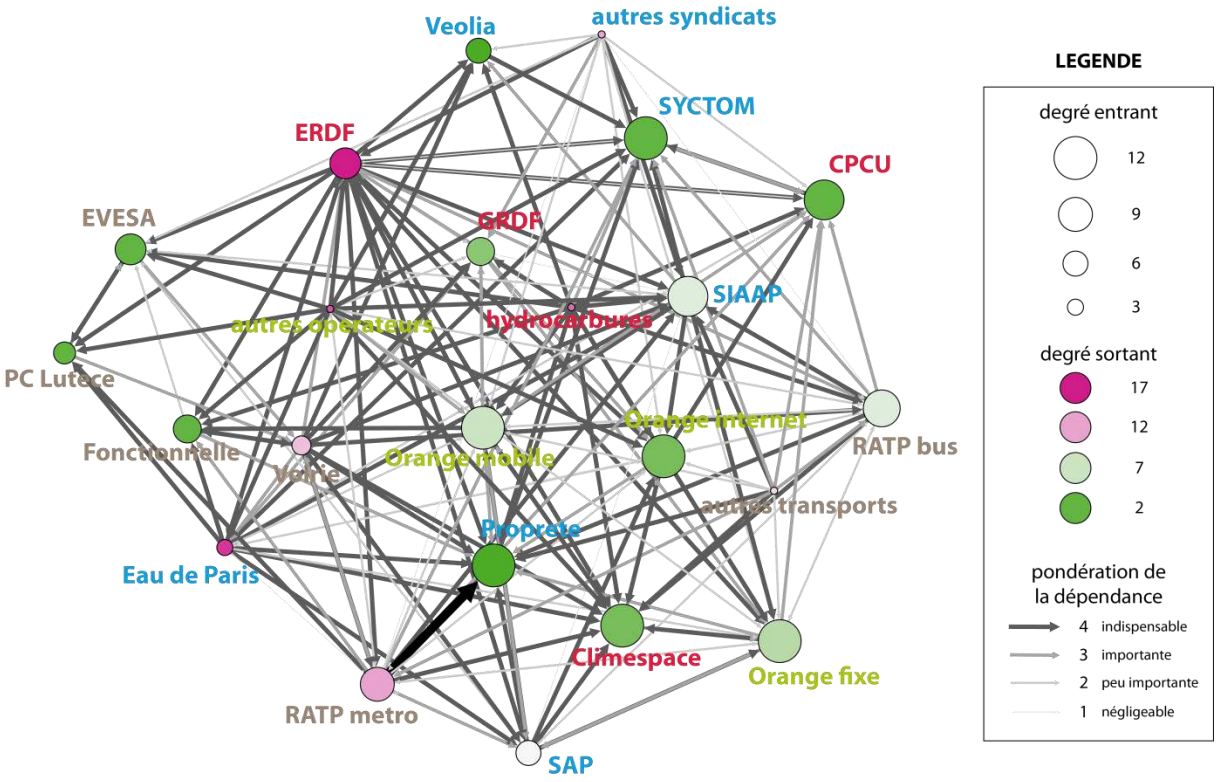


Figure 4-28 : Représentation des interdépendances des services urbains parisiens selon la spatialisation force-atlas obtenue avec le logiciel Gephi (Toubin *et al.*, 2012f)

Cette première représentation illustre bien la complexité des interdépendances mais elle est difficile à exploiter. Le paragraphe suivant propose une première analyse de ce système complexe ; elle sera complétée dans le chapitre 5 pour conclure sur l'intérêt de cette première partie de la méthodologie.

Systemes influents ou dependants

La synthèse graphique des interdépendances des services urbains à Paris permet dans un premier temps d'identifier les systèmes les plus influents ou les plus dépendants. Ainsi, le degré sortant, traduit par la couleur du nœud (Figure 4-28), est le nombre de liens sortants (sans tenir compte de la pondération des liens). Plus un nœud est rouge, plus le service est influent sur les autres services urbains. C'est le cas évidemment d'ERDF qui approvisionne 17 des 23 systèmes considérés (c'est-à-dire tous les services rencontrés), mais également des hydrocarbures qui sont nécessaires à quasiment tous les services. Le service de fourniture d'eau potable est également souvent mentionné, ainsi que les « autres opérateurs » de télécoms puisque sous ce système se regroupe un grand nombre de prestations liées aux télécoms, hors services opérés par Orange. À l'inverse, les services les moins influents sont les services rarement cités par les gestionnaires, soit qu'ils soient effectivement indépendants de la ressource fournie, soit qu'ils ne pensent pas spontanément à cette ressource. Par exemple, les autres services ne dépendent pas directement du SYCTOM ou de la Propreté pour fonctionner. On pourrait en effet considérer que le SYCTOM et la Propreté rendent plutôt un service à la ville,

[41] Ce type d'outil est généralement utilisé pour analyser des graphes comportant un grand nombre de nœuds comme par exemple les réseaux sociaux ou les pages de l'Internet.

pour son bon fonctionnement. En revanche, c'est le dysfonctionnement de la ville qui pourrait ensuite impacter indirectement ces autres services. Le cas de la CPCU est également intéressant car elle n'a quasiment jamais été citée par les autres gestionnaires, bien que de nombreux locaux soient chauffés par le réseau de chauffage urbain. Alors si le gestionnaire n'a pas identifié sa dépendance à la CPCU c'est peut-être qu'il considère ce système comme moins important (ce que l'on peut questionner dans le cas d'une inondation, survenant en hiver, et pouvant durer plusieurs semaines), ou comme « évident ». On pourrait alors qualifier le service de chauffage urbain de « transparent » pour les gestionnaires, car son fonctionnement continu et peu visible ne le rend pas critique.

Le degré entrant, traduit par la taille du nœud (Figure 4-28), est le nombre de liens entrants (sans tenir compte de la pondération des liens). Ainsi, plus un nœud est grand, plus le service est dépendant des autres services urbains. Les services les plus dépendants sont ceux nécessitant le plus de ressources différentes pour fonctionner. C'est le cas par exemple du SYCTOM qui dépend de 12 autres services ; cela avait déjà été identifié dans son portrait sectoriel (cf. 4.3.1). De nombreux systèmes dépendent d'au moins 10 autres services pour fonctionner (SYCTOM, CPCU, Climespace, Orange), quand d'autres sont très peu dépendants. Ainsi, tout comme Eau de Paris (cf. 4.3.1), la RATP, la SAP ou GRDF sont des systèmes peu dépendants, soit qu'ils soient effectivement conçus ainsi, soit que le gestionnaire n'ait pas souhaité partager beaucoup d'informations.

Connaître le nombre de dépendances est important pour identifier les systèmes « centraux » qui seront les plus impactants en cas de défaillance. Cela permet également d'identifier les systèmes plus susceptibles d'être perturbés par d'autres systèmes puisqu'ils ont plusieurs liens avec les autres services. Il est également important de prendre en compte la criticité des interactions car dépendre d'un grand nombre de systèmes, mais avec une criticité faible, n'implique pas forcément un fort potentiel de dysfonctionnement. Pour cela, la somme des dépendances et des influences de chaque service est calculée dans la matrice (Tableau 4-4) afin de placer les systèmes dans un plan influence-dépendance (Figure 4-29).

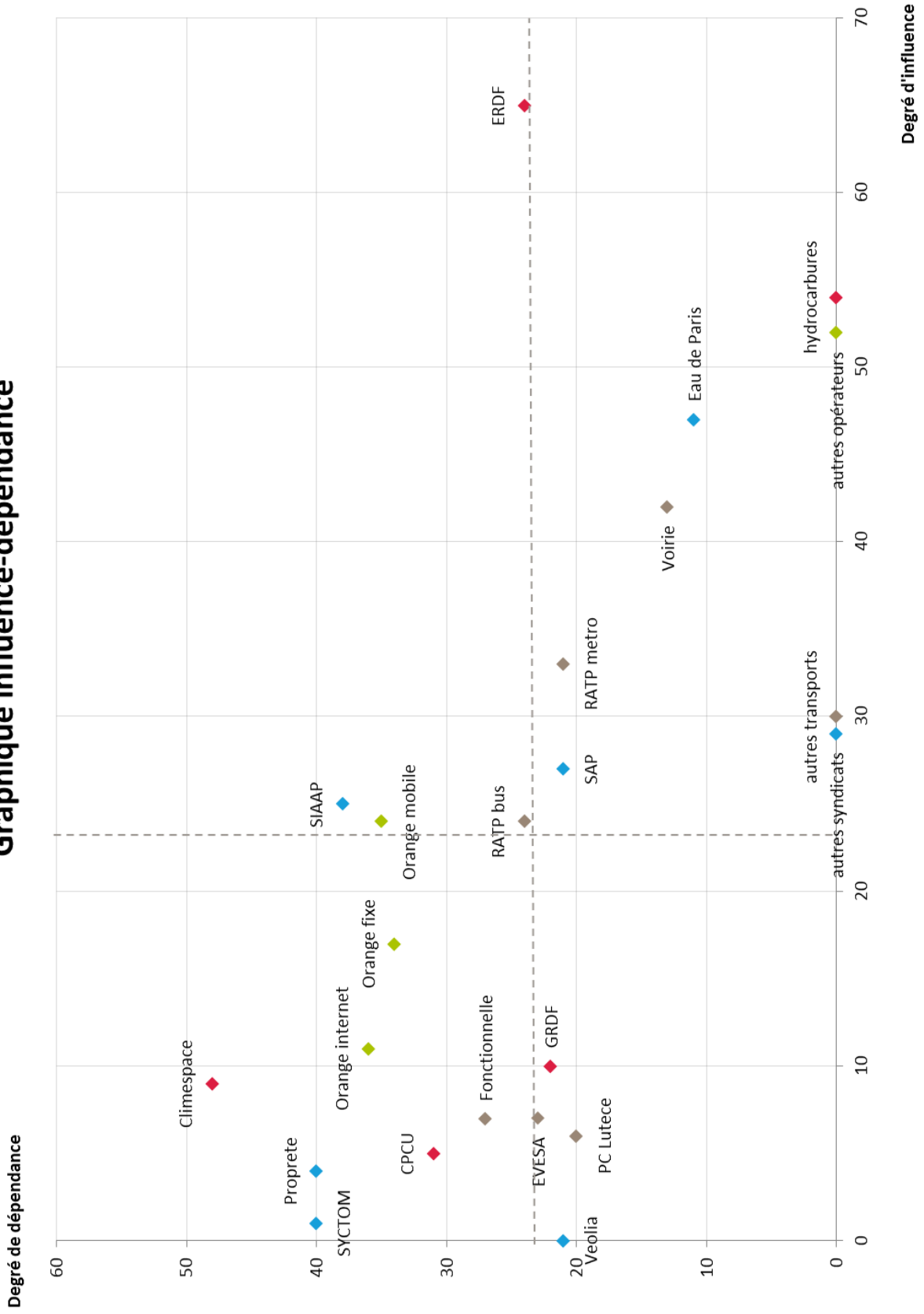


Figure 4-29 : Positionnement des services urbains parisiens dans un plan influence-dépendance

La répartition montre que la plupart des systèmes sont positionnés dans le quart supérieur gauche des systèmes dépendants mais peu influents. À l'inverse, il n'y a aucun système dans le quart supérieur droit des systèmes dépendants et très influents. Cela signifie qu'aucun système n'est susceptible de propager une défaillance plus probablement subie car le système serait dépendant de nombreux services, et largement diffusée car il influence de nombreux (autres) services (Figure 4-30).

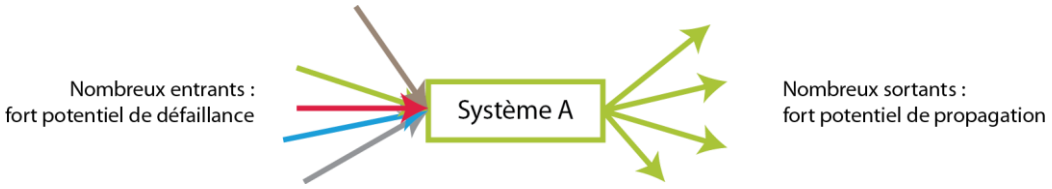


Figure 4-30 : Lien entre nombre d'entrants-sortants et potentiel de perturbation

Seul ERDF, le système le plus influent, montre un degré de dépendance relativement important (proche de la moyenne : 23, indiquée en pointillés sur la Figure 4-29). Cela indique que la défaillance d'ERDF du fait de la défaillance d'un autre système n'est pas négligeable et qu'ERDF a ensuite un potentiel de perturbation important sur les autres systèmes. Eau de Paris par contre, apparait comme peu dépendant, pour les raisons déjà évoquées. Ainsi, sa forte influence sur les autres services n'est pas nécessairement critique pour le système global si Eau de Paris sécurise bien ses quelques dépendances, ce qui semble être le cas. De manière globale, ces analyses permettent d'évaluer, à l'échelle de la ville de Paris, les systèmes les plus critiques pour la continuité des services urbains, tant en termes de potentiel de défaillance (du fait des dépendances) qu'en potentiel de propagation (du fait de l'influence du système perturbé). Ainsi, les services assurant l'approvisionnement en hydrocarbures devraient également faire l'objet d'une analyse fine de leur capacité à assurer leur service en cas d'inondation car de nombreux gestionnaires en dépendent ; c'est d'ailleurs le cas dans l'un des groupes de travail du SGZDS (cf. chapitre 3).

Si l'ensemble des informations caractérisant le fonctionnement des services urbains avaient été collecté, il aurait été possible d'effectuer des analyses concernant la propagation dans le temps des défaillances. Il est cependant apparu difficile aux gestionnaires de caractériser la dégradation du fonctionnement à partir de la dégradation d'un intrant. L'outil est efficace pour recenser les dépendances mais il semble moins fiable pour en déduire un niveau de fonctionnement. Avec une approche plus quantifiée, développée depuis de dix ans, le CRP est parvenu à modéliser ces effets dominos, dont les résultats semblent cependant pessimistes. Ils ont toutefois l'intérêt d'initier le dialogue entre les gestionnaires, et c'est l'approche qui est également privilégiée ici. D'autres types d'analyses peuvent être effectuées sur la base des informations collectées ici afin d'identifier d'autres caractéristiques de ce système et mettre en avant des possibilités d'amélioration de la gestion du système de services urbains (cf. chapitre 7).

Synthèse

L'expérimentation de la grille d'autodiagnostic avec les gestionnaires parisiens montre certaines difficultés à évaluer les grandeurs telles que l'inertie ou le délai de rétablissement. Quelques conclusions intéressantes se dégagent toutefois concernant le nombre de dépendances déclarées par les gestionnaires. La représentation graphique des portraits sectoriels, fondée sur les deux grandeurs les plus faciles à évaluer : autonomie et criticité, traduit ces fortes disparités. Certains systèmes semblent nécessiter de nombreuses ressources pour fonctionner quand d'autres ont l'air relativement autonomes. Pour certains, l'ensemble des ressources sont indispensables quand d'autres ont davantage nuancé leurs dépendances. Que ce fonctionnement dépendant soit réel ou que ce soit la volonté du gestionnaire d'identifier exhaustivement ses dépendances, les conséquences

pour la gestion des interdépendances de tous les services seront importantes. Les interdépendances qui se créent entre les services urbains sont synthétisées dans une matrice puis représentées grâce à la théorie des graphes. Dans un premier temps, il est possible d'identifier les systèmes centraux fortement influents et les systèmes peu influents mais fortement dépendants. Cela démontre ce que tout acteur de la gestion des risques connait, mais n'avait jamais été formalisé. En particulier, la répartition entre l'influence et la dépendance génère une structure de services urbains plus ou moins résiliente aux défaillances. Ces analyses doivent cependant être confrontées à la perception des gestionnaires.

4.4. SYNTHESE DU CHAPITRE

Pour améliorer la connaissance partagée concernant les interdépendances des services urbains et leurs effets sur le fonctionnement des services, le recours à une méthode de diagnostic collaboratif est pertinent. Le diagnostic permet de décrire un système, d'identifier les possibles causes d'une défaillance observée ou prévisible, et d'en connaître les conséquences sur le fonctionnement du service. Les deux approches du diagnostic (diagnostic de défaillance et diagnostic de vulnérabilité) sont combinées afin d'avoir à la fois une vision amont des actions à mener pour limiter les impacts sur le système et une vision aval afin de réduire les conséquences d'une défaillance parfois inévitable. Il s'agit donc bien d'une approche prospective visant à identifier les points forts et les points faibles du système. La dimension participative du diagnostic est ici essentielle pour construire une vision commune des services urbains et de leurs interdépendances.

Par ailleurs, une approche systémique des services urbains, fondée sur une description intrant-extrant des ressources nécessaires à leur fonctionnement permet d'analyser le système à différentes échelles, suivant le degré de précision donné par le gestionnaire interrogé. En particulier, la grille conçue permet à n'importe quel acteur de la ville (gestionnaire d'hôpital, d'entreprise, propriétaire, etc.) d'évaluer, éventuellement par ses propres moyens, sa capacité à faire face à la perturbation d'une ressource qui lui est nécessaire. Pour cela, la grille d'autodiagnostic permet d'évaluer plusieurs caractéristiques : autonomie de l'utilisateur, fiabilité du fournisseur, impact sur le fonctionnement du service (dommages, dégradation qualitative ou quantitative du service), ressources sortantes (services rendus, productions et effets indirects), etc. Le gestionnaire doit également évaluer sa propre capacité à assurer son service (fiabilité, délai de remise en service), et en particulier identifier ses utilisateurs et leur dépendance.

En pratique, l'expérimentation de la grille d'autodiagnostic avec les gestionnaires parisiens a montré que certaines caractéristiques sont difficilement évaluables malgré l'intérêt d'intégrer les notions temporelles de propagation des défaillances. L'identification des marges de manœuvre des fournisseurs et des utilisateurs est donc limitée. Finalement, les principales caractéristiques facilement évaluables et communicables par les gestionnaires concernent les capacités d'autonomie et la criticité globale de la ressource utilisée. Ainsi, l'inventaire des ressources internes et externes nécessaires permet déjà d'identifier le degré de dépendance des services urbains. Certains services présentent un fonctionnement intrinsèque plutôt autonome quand d'autres sont plutôt dépendant de nombreux autres acteurs. La traduction de ces caractéristiques en valeur quantitative permet de représenter facilement ces interactions à l'aide de graphe.

Les portraits de chaque service urbain parisien rencontré ont donc été réalisés afin d'aboutir à une première identification des interdépendances des services urbains qui seront ensuite discutées lors d'un atelier collaboratif (cf. chapitre 5). Ces premières représentations mettent en avant l'exhaustivité réelle ou communiquée des dépendances des services urbains. Qu'elle relève d'un fonctionnement effectivement complexe du système ou d'une volonté du gestionnaire de ne pas communiquer trop de détails sur son service, la description des interdépendances pourra être confrontée aux perceptions des fournisseurs et des usagers, dans une analyse du système de systèmes ainsi créé. La représentation graphique de ce système illustre la complexité des interdépendances des services urbains parisiens. Les interactions sont nombreuses et parfois spécifiques à un binôme, ce qui limite toute analyse générale. En première analyse, il est toutefois possible de confirmer les premières impressions issues des portraits sectoriels (certains services sont dépendants d'un grand nombre de ressources), mais également d'identifier les systèmes les plus influents. Ce sont ces systèmes qui fournissent le plus de ressources indispensables aux autres services : ERDF, Eau de Paris, hydrocarbures, télécommunications. Si l'on garde en tête que ces analyses reposent sur les données collectées auprès de gestionnaires, il est intéressant de mettre en avant la perception globalement sous-estimée de certains services (CPCU par exemple), dont il faudra évaluer les conséquences pour la résilience de la ville.

Chapitre 5 : Analyse collaborative des interdépendances au niveau supérieur

Dans l'optique de poursuivre la démarche de recherche-action impulsée lors des premiers entretiens avec les gestionnaires de services urbains parisiens, les résultats de l'analyse globale des interdépendances ont été présentés lors de deux ateliers collaboratifs organisés avec l'appui de la Ville de Paris. Grâce à ce processus itératif, les gestionnaires proposent des pistes d'amélioration de l'analyse qui traduisent plus précisément leur perception des interdépendances.

Durant l'atelier, les participants sont séparés en trois groupes de travail. Le premier groupe aborde les difficultés techniques liées à la gestion des interdépendances lors d'une inondation, le deuxième les difficultés organisationnelles et le troisième traite des difficultés dites « extérieures », dans l'idée d'exprimer les problèmes posés par les décisions des autorités et par le comportement des populations. Les participants sont souvent sortis du strict cadre de la thématique identifiée et ont abordé les solutions en même temps que les problèmes. Or pour apporter une réponse adaptée, les difficultés et contraintes subies par les services urbains doivent d'abord être analysées dans leur intégralité. C'est pourquoi la restitution des travaux du premier atelier est réorganisée avant de traiter des grands types de solution possibles, discutées lors du deuxième atelier (Figure 5-1).

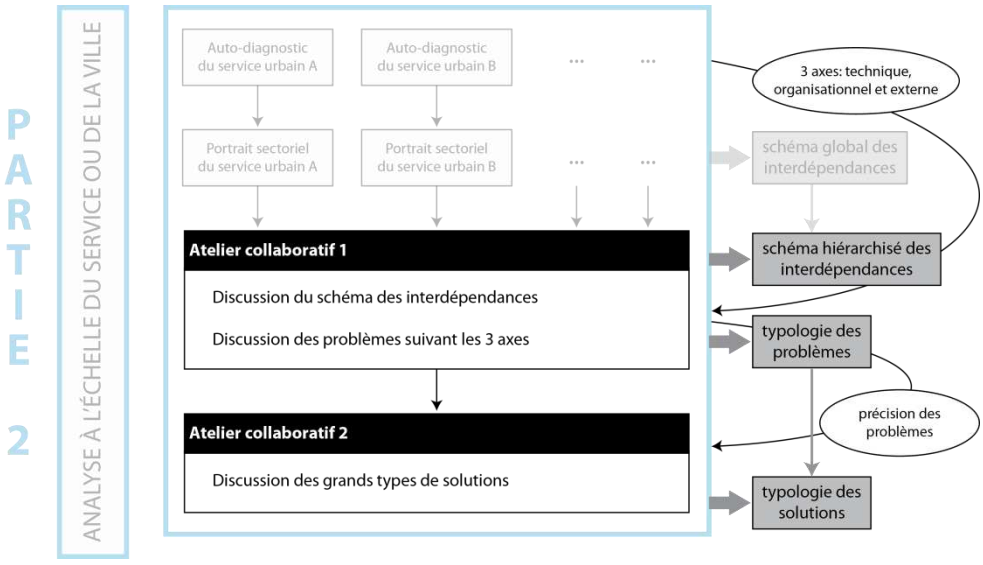


Figure 5-1 : Deux ateliers collaboratifs autour du modèle d'interdépendance des services urbains parisiens

Les difficultés rencontrées par les gestionnaires parisiens sont classifiées et hiérarchisées puis l'analyse des solutions aboutit à une liste relativement complète des solutions mises en œuvre à Paris. Les acteurs de la ville pourraient ainsi y rechercher des mesures correspondant à leurs propres contraintes et objectifs. Cependant, cet inventaire reste largement théorique et nécessite une adaptation à chaque contexte urbain, mais surtout à chaque composant perturbé et à chaque phase de l'inondation.

5.1. DIFFICULTES TECHNIQUES, ORGANISATIONNELLES ET EXTERIEURES

Suite au travail de terrain avec les gestionnaires, les difficultés ont d'abord été séparées en difficultés d'ordre :

- techniques : difficultés liées aux flux utilisés directement par le système physique ou aux problèmes d'accessibilité à l'infrastructure ;
- organisationnel : difficultés liées au personnel (notamment via les services facilitateurs), à la relation en interne et avec les autres gestionnaires.

Ces deux thématiques sont complétées par les difficultés extérieures liées aux facteurs aggravants externes, non maîtrisables par un gestionnaire seul. À l'aide d'un support (tableau à remplir, cf. annexe 2), les participants aux trois groupes de travail thématiques ont évoqués de nombreuses difficultés directement ou indirectement liées à la gestion des interdépendances lors d'une inondation. Cette partie restitue de manière organisée les problèmes mentionnés par les acteurs, en essayant de mettre en avant les difficultés majeures ou communes à de nombreux services, par rapport aux problèmes plus spécifiques ou mineurs. Pour les trois thématiques, un tableau de synthèse des difficultés est proposé. Il faut noter que les participants n'ont pas été très prolixes concernant les difficultés liées aux acteurs extérieurs.

5.1.1. DIFFICULTES TECHNIQUES

DEPENDANCES MAJEURES COMMUNES A TOUS

Lors de l'atelier concernant les difficultés techniques, les gestionnaires ont identifié un certain nombre de dépendances communes à tous les services urbains et qui posent question pour la continuité d'activité. La première concerne l'approvisionnement en énergie primaire dont l'ensemble des services dépend. Il faut toutefois identifier les process pour lesquels l'énergie primaire est indispensable et identifier les possibilités de pallier la ressource. En particulier, pour les hydrocarbures, les services doivent se faire recenser comme utilisateurs prioritaires auprès du SGZDS, qui doit veiller à la mise à jour de la liste. Concernant l'électricité, les participants se demandent si la décision de couper ou non la distribution sera prise de manière collégiale et avertie. Le gestionnaire du réseau ERDF n'est pas présent pour apporter des réponses mais certains gestionnaires, plus au fait des plans mis en place par l'opérateur, signalent que leur anticipation repose fortement sur la décision d'ERDF. Par exemple, c'est toute la stratégie de la RATP qui a dû être avancée pour tenir compte de la coupure de l'électricité dans certaines zones afin de laisser le temps à l'opérateur de transport de mettre en sécurité son réseau. Ainsi, avant la question de pallier la ressource manquante, la difficulté pour les gestionnaires est de connaître les zones de défaillance concernant leur réseau. Certains gestionnaires notamment semblent paralysés par le manque de connaissance concernant la fiabilité de l'électricité et semblent incapables de planifier quoi que ce soit. Ensuite, à l'annonce de l'inondation, la difficulté pour eux est d'avoir l'information des coupures prévues par ERDF le plus tôt possible pour qu'ils puissent mettre en œuvre leur stratégie dans de bonnes conditions.

La deuxième dépendance forte concerne les télécommunications dont les systèmes dépendent pour le contrôle et la commande des équipements ou pour le lien avec les équipes sur le terrain. La dépendance à ces systèmes pour le fonctionnement technique est variable suivant l'importance du pilotage. Certains systèmes de pilotage sont nécessaires à la gestion directe quand d'autres sont nécessaires à la commande à distance, qui peut éventuellement être réalisée sur place à la main, notamment lors de la mise en sécurité. Alors la difficulté pour le gestionnaire est de savoir si son système de pilotage et ses connexions sont fiables. Cela nécessite généralement d'interroger les prestataires (parfois nombreux), et le cas échéant, prévoir des mesures correctives. Pour les communications avec les équipes sur le terrain, la dépendance est plus souvent

sous-estimée, malgré les saturations de réseau attendues. La capacité des opérateurs à couvrir le territoire en réseau mobile notamment, est méconnue des participants mais le gestionnaire d'Orange indique que le service a augmenté sa capacité et sa couverture pour répondre au pic de communications attendu. Les participants s'interrogent également sur la possibilité d'utiliser la priorité d'appel (normalement réservée aux secours). La difficulté réside dans la diversification des moyens de télécommunications et surtout sur leur fiabilité et leur maîtrise en cas de crise. Faut-il disposer de nombreux moyens ? Doivent-il être utilisés au quotidien ou uniquement en cas de crise ? Comment alors garantir leur bon fonctionnement et comment former les potentiels utilisateurs ?

La dernière dépendance technique majeure relève des capacités de déplacement et de l'accessibilité aux différents sites et composants des services. En plus de la question des hydrocarbures, des restrictions de circulation pourront être prises par la préfecture. Les gestionnaires doivent donc se faire identifier comme usagers autorisés à se déplacer, de même que leurs sous-traitants. Pour les voiries inondées et fermées à la circulation, la difficulté est d'identifier à l'avance les déplacements ou les zones d'intervention impactés. En effet, les agents n'interviendront a priori pas dans les zones où l'eau est trop haute, pour des raisons de sécurité (cf. 5.1.2). Par ailleurs, certains participants identifient la difficulté des interventions sur les parties privées, du fait de l'absence des propriétaires ou d'une mauvaise protection des sites. Avant même les interventions, la question des déplacements détermine celle de la capacité du personnel à venir assurer les missions du service. Les participants s'interrogent sur la continuité des transports en commun et sur les possibilités de faire travailler le personnel à distance, lorsque la mission et les moyens le permettent.

AUTRES DIFFICULTES TECHNIQUES

D'autres difficultés techniques concernent certains process particuliers, notamment ceux reposant sur l'approvisionnement en produits chimiques ou combustibles. Pour certaines ressources, le stockage est possible, en quantité plus ou moins grande, et moyennant quelques prises de risques éventuelles. La difficulté est alors d'être capable d'anticiper les stocks, c'est-à-dire évaluer le besoin, mobiliser le fournisseur et trouver des capacités de stockage sûres. Cette question des réactifs est essentielle pour éviter la dégradation des infrastructures qui nécessitent souvent une qualité de fonctionnement élevée pour ne pas être endommagées. C'est le cas en particulier des processus de type industriel comme la CPCU, le SIAAP et le SYCTOM, dont les installations fonctionnent en continu et supportent difficilement les variations d'activité. Ainsi, une usine d'incinération des déchets, comme une usine de traitement des eaux usées, a besoin d'un volume minimal entrant pour continuer à fonctionner et maintenir le processus d'incinération ou de traitement bactérien. En cas de dommages importants ou d'interruption du flux entrant entrainant l'arrêt, éventuellement « forcé » ou « mal fait », les processus de redémarrage seraient très incertains, en termes de temps, de coûts, mais également de procédés.

La problématique est d'ailleurs exacerbée par la dépendance bilatérale forte entre la CPCU, qui distribue de la vapeur, et le SYCTOM, qui produit l'énergie nécessaire à sa transformation. Ces deux process industriels dépendent fortement de nombreuses ressources extérieures peu fiables : les volumes d'ordures ménagères et des réactifs pour le SYCTOM, de l'eau de Seine (dont le pompage ne peut plus se faire, passée une certaine cote) et des combustibles (souvent acheminés par voie fluviale ou ferroviaire qui pourrait être interrompue) pour la CPCU. Ainsi, leurs fonctionnements indissociables sont d'autant plus facilement déstabilisés et difficilement remis en service.

Tableau 5-1 : Synthèse des difficultés techniques identifiées lors du premier atelier

Thématique	Difficulté technique
Dépendance forte à une ressource : préciser laquelle, sa fiabilité, son utilité, les problèmes liés à sa substitution, etc.	Services essentiellement receveurs
	Dépendances aux telecommunications : ~ Pour le pilotage ; ~ Pour la coordination.
	Dépendances à l'électricité : ~ Pour le process ; ~ Pour le pilotage ; ~ Pour les locaux.
	Dépendances bilatérales (le dysfonctionnement de l'un impacte l'autre) : ~ Production de vapeur par le SYCTOM, distribuée par la CPCU.
Perte de contrôle/visibilité/supervision du système : quel impact sur le système, quelle cause de la perte ?	Perte du contrôle des installations industrielles
Ressources « consommées » en fonctionnement normal non disponibles (ex : réactifs chimiques) : quel impact pour le système, quelle cause ?	Pompage d'eau de Seine, pour produire la vapeur, rendu difficile en cas de crue
	Combustibles : apport du combustible par barges et par train qui pourrait être interrompu par la montée de la Seine
	Réactifs chimiques indispensables au traitement de l'eau
Difficultés d'intervention sur le système : problèmes d'accessibilité, problèmes de moyens, quel impact, quelles cause ?	Interventions en zone inondable
	Interventions sur les parties privées
Dommages physiques au réseau : quel impact, quelles causes ?	Incertitudes sur l'arrêt et le redémarrage des installations industrielles
	Importance du système de protection
Autre…	Remise en service des installations industrielles : incertitude, délais, coûts, etc.

5.1.2. Difficultes organisationnelles

Gestion du personnel et questions liees aux conditions de travail

Dans la mesure où tout service urbain repose sur le personnel, que ce soit pour l'exploitation, le pilotage ou la maintenance, la présence des agents en cas d'inondation est critique. La difficulté est alors d'identifier les personnes indispensables au fonctionnement du service, en termes de compétences, de métiers, de responsabilités, mais également de disponibilité. Pour cela, le gestionnaire doit identifier les missions prioritaires à maintenir et évaluer les effectifs nécessaires pour les remplir. Ensuite, peu de gestionnaires ont abordé l'identification précise des agents et de leur capacité à venir travailler car la tâche est difficile et nécessite des mises à jour constantes. Il faut pour cela tenir compte du lieu de résidence, du lieu de travail et des obligations personnelles de l'agent (a-t-il des personnes à charge dont il devra s'occuper ?) et connaître l'impact de l'inondation sur son domicile et sur son trajet. La possibilité du travail à distance peut être évaluée pour certains services, mais il faut alors connaître la disponibilité des serveurs et des outils informatiques (cf. 5.1.1).

Pour faire face à cette difficulté, certains gestionnaires ont décidé de fournir un hébergement sur place aux équipes (notamment celles mobilisées depuis les services en province). Il faut pour cela identifier les capacités de logement des prestataires, passer des accords et identifier la fiabilité des services urbains qui seront

nécessaires aux agents : électricité, eau, chauffage, mais aussi restauration. Par ailleurs, ces conditions de travail particulières doivent être prévues dans les contrats, mais la difficulté est de respecter les conditions minimales de sécurité tout en assurant des missions lourdes et difficiles. L'enjeu n'est pas tant dans la mobilisation préalable (sur base de volontariat ou de réquisition ?) que dans le maintien dans la durée (plusieurs semaines). La gestion des ressources humaines, et notamment la paye, est alors une question à ne pas négliger car la situation des agents sera tendue. Or pour cela, il faut mobiliser les personnels des services des ressources humaines, moins habitués aux situations d'urgence que les agents habitués aux astreintes par exemple.

PLANIFICATION ET COMMUNICATION

Pour se préparer à l'inondation, les gestionnaires ont élaboré un plan de continuité d'activité (PCA) plus ou moins détaillé. La difficulté est de s'assurer de son opérationnalité, de le mettre à jour et d'en assurer l'appropriation par les agents. Des plans insuffisamment détaillés, notamment en termes de déclenchement, de moyens humains et matériels identifiés et pré-positionnés, ou au contraire trop lourds et rigides pour être mis en œuvre dans l'urgence d'une crise ne sont pas adaptés. La difficulté est donc d'identifier les grandes lignes de la réponse à apporter et d'identifier les personnes-clés de l'organisation (cf. paragraphe suivant). Les gestionnaires doivent donc vérifier régulièrement l'efficacité du plan mis en œuvre, éventuellement en réalisant des exercices. Les exercices, théoriques ou pratiques, dont la fréquence doit être pertinente, permettent notamment de mettre en place des procédures en interne, mais ils devraient également mettre en avant les besoins de coopération entre services. En effet, la connaissance des interdépendances est déjà une difficulté abordée grâce à ces travaux de recherche, mais les plans des uns et des autres peuvent également être interdépendants sans qu'aucune coordination ne soit effective à Paris malgré les tentatives actuelles.

La communication et le partage d'informations sont donc une difficulté majeure pour la mise en œuvre de plans adaptés à la situation de crise et tenant compte des multiples interdépendances. Les participants à l'atelier ont notamment identifié l'interdépendance par les prestataires, comme les fournisseurs de fuel pour les groupes électrogènes. Il est difficile d'évaluer les capacités réelles du prestataire à assurer sa mission puisque chaque contrat est passé isolément mais que le besoin sera probablement généralisé. Les gestionnaires ne savent pas comment sera décidée la priorisation en cas de conflits entre plusieurs gestionnaires et les clauses éventuellement incluses dans leurs contrats ne seront pas nécessairement respectées. De manière générale, les clauses liées aux conditions particulières d'une inondation ou d'une autre situation de crise sont indispensables pour que les prestataires ajustent leurs missions aux besoins du service et déploient les moyens nécessaires.

L'enjeu est finalement de trouver un moyen de centraliser les informations concernant la situation des services urbains, éventuellement en temps réel, et de les diffuser aux gestionnaires. La faisabilité d'une telle plateforme pose question pour les gestionnaires mais ils proposent des dispositifs complémentaires des cellules de crise existantes. Une fréquence FM dédiée à l'information des gestionnaires pourrait, par exemple, diffuser des alertes concernant les fermetures de voies, les coupures électriques ou télécoms, les sites de ravitaillement en carburant, etc. La difficulté est de partager des informations cohérentes, compréhensibles et exploitables pour tous, de manière rapide et efficace pour tenir compte de l'évolution rapide de la situation. L'adaptabilité et la flexibilité sont donc des enjeux majeurs en cas d'inondation à Paris.

Tableau 5-2 : Synthèse des difficultés organisationnelles identifiées lors du premier atelier

Thématique	Difficulté organisationnelle
Connaissance fine des dépendances : difficultés à collecter les données, les exploiter, capacité à s'en passer, etc.	S'assurer de la fiabilité des niveaux donnés par le fournisseur
	Ne pas chercher à tout anticiper précisément mais avoir les grandes lignes.
Communication avec les autres gestionnaires : difficultés à établir un contact, difficultés à se comprendre, à partager des informations, etc.	Confidentialité des informations : quelles règles sont données à chaque direction, qu'est-ce qui peut être transmis aux autres ?
	Service non identifié comme vital par les autres gestionnaires
	Information du fournisseur de la criticité de la ressource par l'utilisateur
Organisation interne de la gestion de crise : service dédié, difficulté à sensibiliser les responsables, mise en place de stratégies, planification et exercices.	Maintien et mise à jour des procédures
	Animation de la démarche : les responsables PPRI ont bien souvent cette fonction en plus de leur charge normale
	Réalisation d'exercices réguliers
	Ajustement de l'activité
	Fonctionnement en mode dégradé : capacité ou qualité réduite
Mobilisation et maintien du personnel nécessaire : effectifs mobilisables, moyens de les mobiliser, hébergement et restauration, rémunération, etc.	Maintenir la sensibilisation à la problématique malgré le renouvellement du personnel.
	Anticiper la mobilisation du personnel : sur la base du volontariat ? via une modification du contrat de travail ? réquisition dans les services publics ?
	Possibilité de travailler à distance : disponibilité des serveurs ?
	Formation du personnel à des missions d'urgence différentes des missions courantes
	Mobilisation du personnel dans la durée
	La paye : les services supports (RH) sont moins habitués à être sollicités en urgence, mais les agents vont se poser la question donc il faut les rassurer.
	Maintien du personnel : anticipation de la fiabilité des autres services (eau, assainissement)
Anticipation des actions des autres gestionnaires : connaissance des stratégies des autres, des impacts potentiels sur sa propre gestion, mutualisation de moyens, coordination.	Interdépendances par les fournisseurs
	Gestion des ressources éventuellement cooptées par d'autres gestionnaires
Relations avec les prestataires.	Mobiliser des prestataires pour les situations d'urgence
	Réajustement de l'activité des prestataires sur les missions d'urgence

5.1.3. Difficultes exterieures

Acteurs exterieurs

Le SGZDS joue un rôle majeur dans la préparation et la gestion de crise (cf. chapitre 3) et ses décisions impactent les gestionnaires des services urbains. L'objectif de ce groupe de travail était donc d'identifier les difficultés liées à ces acteurs « extérieurs » au système de services urbains dont le choix a été fait de ne pas les impliquer (cf. chapitre 2). La première difficulté concerne les réquisitions attendues, notamment pour les carburants et les groupes électrogènes. Les gestionnaires s'y attendent mais leur stratégie a souvent été fondée sur leur disponibilité (groupes pré-positionnés ou réservés auprès d'un prestataire). Certains gestionnaires ont cependant anticipé cette incertitude et décidé de trouver d'autres réponses. Dans le cas où

les équipements ou les ressources sont réquisitionnés par le SGZDS, les gestionnaires devront improviser d'autres réponses dans l'urgence. Il leur est toutefois possible de se faire connaître auprès de la préfecture comme utilisateur prioritaire pour le carburant ou les déplacements. Les participants ne savent toutefois pas comment cette priorité sera décidée et certains se doutent qu'ils seront moins prioritaires que d'autres. La question se pose également pour leurs prestataires qui devraient logiquement être prioritaires au même niveau que le service dont ils assurent une partie des missions (maintenance, surveillance, etc.).

Le SGZDS veille également à l'approvisionnement des sites critiques en électricité ou eau potable par exemple. Ainsi, elle pourra demander aux gestionnaires de maintenir le service dans certaines zones, sans tenir compte du plan prévu par le gestionnaire. C'est le cas notamment des sites stratégiques de décision, des hôpitaux mais aussi des sites d'hébergement temporaires (gymnases). Les participants ne connaissent pas précisément les sites identifiés par le SGZDS (principalement pour l'hébergement puisque les ministères et les hôpitaux, eux, sont bien connus) et ont donc des difficultés à prendre en compte ces contraintes dans leur stratégie. Il pourra donc incomber à l'opérateur de mettre en place d'autres moyens pour fournir la ressource défaillante, sous une autre forme, comme des citernes d'eau potable, avec l'aide du SGZDS. Les quantités et la localisation de ces points d'approvisionnement temporaires ne sont pas précisément identifiées et dépendront fortement de la population. Cette dépendance au comportement des populations a déjà été mise en avant mais les gestionnaires n'ont pas plus de matière pour étayer des stratégies plus fines. En définitive, les consignes données par le SGZDS devront être cohérentes avec les capacités réelles des opérateurs, mais elles ne seront pas forcément respectées par la population.

Autres incertitudes

D'autres facteurs liés à l'environnement et à l'évènement rendent difficiles la gestion des interdépendances. Tout d'abord, la prévision des crues présente des limites (cf. chapitre 3) et l'anticipation réduit à 48, voire 24 heures, la marge de manœuvre des gestionnaires, quand la plupart des services urbains ont besoin de plusieurs jours pour se préparer. Par ailleurs, la fiabilité de l'alerte entraine des conséquences importantes pour un service qui décide ou non de lancer son plan d'action (Figure 5-2). S'il réagit trop tôt, le service commence à dysfonctionner avant l'arrivée de la perturbation. Alors sa défaillance entraine des perturbations pour les services dépendants et pour les usagers qui pourraient ne pas comprendre l'interruption du service alors que l'eau n'est pas encore là. À l'inverse, si le service n'anticipe pas suffisamment l'inondation et ne parvient pas à réaliser les actions nécessaires pour le protéger ou l'adapter, les dommages peuvent être supérieurs et entrainer un rétablissement plus long.

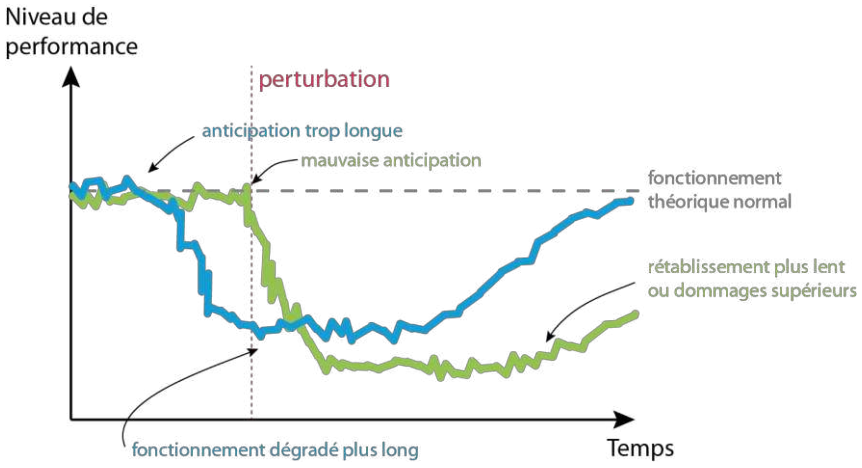


Figure 5-2 : Anticipation de la perturbation et fonctionnement dégradé du service

La dernière incertitude liée à l'environnement concerne le niveau de la nappe phréatique. Quelques gestionnaires disposent de leurs propres piézomètres permettant de suivre le niveau de la nappe, mais tous

auraient besoin de cette information, précise et répartie sur l'ensemble du territoire. Là encore, la difficulté est de mettre en place et mettre à jour une plateforme mettant ces informations à disposition, en temps réel.

Les gestionnaires mentionnent également la difficile question du gardiennage des sites qui seront fermés mais qui abritent encore des équipements sensibles. Si certains ont prévu des marchés avec des sociétés privées (dont il faudrait vérifier qu'elles peuvent répondre à l'ensemble des demandes), d'autres comptent sur la présence des forces de police, ce qui reste hypothétique. De manière générale, les questions de sécurité sont essentielles et dépendront de l'équilibre entre la présence policière, la civilité des habitants et l'état de l'espace urbain (éclairage public, accessibilité de la voirie, déchets, etc.).

Tableau 5-3 : Synthèse des difficultés extérieures identifiées lors du premier atelier

Thématique	Difficulté technique
Dépendance à des décisions extérieures : consignes extérieures contradictoires avec la stratégie, missions supplémentaires, etc.	Réquisitions : réquisitions des camions pour la distribution d'hydrocarbures
	Défense contre l'incendie
Anticipation de l'évènement : alerte tardive, précision insuffisante, évolutions inattendues, conséquences sur la gestion de crise, etc.	Dépendance aux outils de prévision à 24 ou 48 h
Relations avec la cellule de crise : difficultés à communiquer, à se comprendre, transmission de consignes ou de demandes, présence ou non d'un représentant.	Organisation de la gestion de la pénurie (pour l'eau potable)
Demande de priorités : auprès de la Préfecture ou d'autres gestionnaires, difficultés à s'enregistrer, conséquences sur la gestion du service.	Priorité pour les hydrocarbures : comment la priorisation se fera-t-elle entre les services inscrits ? quid des prestataires ?

Synthèse

La discussion en groupes de travail met en avant les difficultés rencontrées par les gestionnaires pour la prise en compte des interdépendances dans leurs plans de gestion du risque d'inondation. Les difficultés techniques sont centrées sur la dépendance au réseau électrique et à l'anticipation des coupures. La dépendance est également forte vis-à-vis des télécommunications, que ce soit pour la gestion à distance des équipements ou la communication avec le terrain. Les questions d'accessibilité et de déplacement sont également majeures pour ces services qui reposent sur la voirie ou nécessiteront une présence sur le terrain pour la maintenance et la surveillance du réseau. Enfin, les dépendances à des ressources utiles au fonctionnement du processus (réactifs, combustibles) concernent quelques services. Tous les gestionnaires sont confrontés à des difficultés organisationnelles liées au personnel à mobiliser en cas de crise : identification, déplacement, logement, paye, etc. La communication entre gestionnaires et le partage de données sont également des freins à une bonne gestion des interdépendances. De nombreuses difficultés se traduisent dans les plans de continuité d'activité : personne référente, précision des missions et des actions, identification et mobilisation des moyens, mise à jour et exercices. Enfin, les difficultés liées à la dépendance vis-à-vis d'acteurs extérieurs comme le SGZDS, pour la gestion de crise, ou les populations sont difficiles à évaluer.

5.2. TYPOLOGIE DES INTERDEPENDANCES

Les résultats produits au chapitre 4 ont été présentés aux gestionnaires réunis lors de la première réunion concernant les difficultés de gestion des interdépendances. Devant cette représentation complexe des interdépendances des services urbains, les gestionnaires ont eu des difficultés à analyser leur propre positionnement mais également à comprendre l'organisation spatiale des systèmes. En effet, ils ont tendance à regrouper des gestionnaires opérant des services semblables : les télécommunications ensemble, les transports ensemble, etc. Il est donc nécessaire d'affiner l'analyse des interdépendances. Pour cela, d'autres représentations ont été produites et présentées lors du deuxième atelier.

5.2.1. INTERDEPENDANCES FONCTIONNELLES

INTERDEPENDANCES TECHNIQUES OU ORGANISATIONNELLES

Lors des entretiens et du travail de synthèse concernant le fonctionnement des services urbains, il est rapidement apparu que les dépendances des systèmes n'étaient pas toujours du même ordre, même pour une dépendance au même service. Par exemple, l'eau potable est généralement utile pour les employés, leur hygiène ou leur restauration sur le lieu de travail. Pour le réseau de froid, cependant, c'est un entrant direct du process puisqu'il faut de l'eau potable traitée afin de ne pas corroder les canalisations. De la même manière, les carburants sont généralement nécessaires aux véhicules utilisés pour la maintenance ou la surveillance des réseaux. Ils sont également utiles directement aux activités de propreté puisque le service repose sur les camions de collecte et de nettoiement. Dans le prolongement du travail du premier atelier différenciant problèmes techniques et problèmes organisationnels (cf. 5.1), il est possible de distinguer :

- ~ les dépendances techniques : la ressource ou le service est nécessaire directement au process ou au service ;
- ~ les dépendances organisationnelles : la ressource ou le service est nécessaire à l'optimisation du process ou à l'organisation du service.

La distinction est parfois subtile, notamment pour ce qui relève de l'optimisation (pilotage, surveillance) dont le service peut plus ou moins longtemps se passer pour fonctionner. L'appréciation est donc qualitative, fondée sur les informations données par les gestionnaires lors des diagnostics : la dépendance peut être technique, organisationnelle ou les deux à la fois. Si elle est parfois un peu arbitraire, cette distinction permet de prendre en compte les particularités des systèmes. Leur fonctionnement, leur structure, leur technologie ou leurs contraintes rendent la dépendance à une ressource différente d'un système à l'autre. En effet, le système pourrait être décomposé en éléments critiques et en éléments de soutien (Pairet, 2009). Les éléments critiques engendrent des conséquences immédiates sur le service lorsqu'ils défaillent alors que les éléments de soutien supportent ou complètent les activités des éléments critiques. Cette décomposition fonctionnelle est intéressante car elle permet de hiérarchiser les missions remplies par le service. Elle intègre cependant difficilement la dimension géographique (Pinel, 2009) pourtant majeure concernant les services urbains (cf. chapitre 1). Une décomposition en composant est préférée ici ; avec la distinction technique-organisationnelle, il est alors possible d'identifier différentes solutions pour gérer et prendre en compte les interdépendances (cf. 5.3).

UNE AUTRE REPRESENTATION DU SYSTEME DE SYSTEMES

La représentation de l'ensemble des interdépendances (Figure 4-28) peut donc être reprise en tenant compte du type de lien. Les dépendances techniques sont ainsi moins nombreuses avec toujours une forte centralité du système ERDF dont tous les autres systèmes dépendent et seulement quelques systèmes dépendant de nombreuses ressources dans leur fonctionnement technique (Climespace principalement), les autres ayant un

nombre d'intrants techniques limité (moins de cinq). La nouvelle spatialisation obtenue après l'application de l'algorithme force-atlas montre plusieurs groupes (Figure 5-3) :

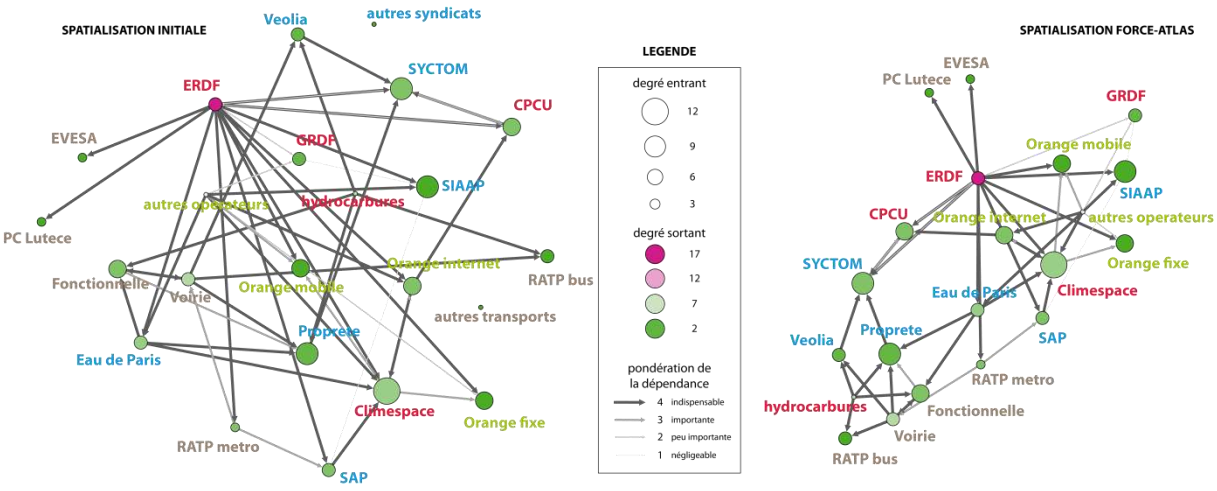


Figure 5-3 : Interdépendances techniques des services urbains parisiens

- Autour des systèmes hydrocarbures et voirie sont rassemblés les systèmes dépendant directement de ces ressources pour fonctionner (c'est-à-dire les systèmes nécessitant des véhicules pour assurer leur service) : collecte et transport de déchet, nettoiement et transport par bus.
- La proximité entre les différents services de télécommunications est également davantage visible avec ces liens particuliers concernant le partage des infrastructures de réseau (synchronisation notamment) entre Orange et les autres opérateurs.

Les interactions organisationnelles sont encore nombreuses (Figure 5-4), il faut noter d'ailleurs que de nombreux liens sont à la fois techniques et organisationnels, comme c'est le cas pour ERDF. En effet, l'électricité est parfois nécessaire au fonctionnement direct du process, mais elle est souvent nécessaire pour l'alimentation des bureaux et des sites d'exploitation. Aussi, ces liens apparaissent dans les deux représentations, mais avec la même criticité car elle a été évaluée de manière globale (cf. chapitre 4). Or, puisque la criticité doit être différente selon que la dépendance est technique ou organisationnelle, il faudrait être capable de différencier la criticité selon l'objet dépendant (cf. partie 3).

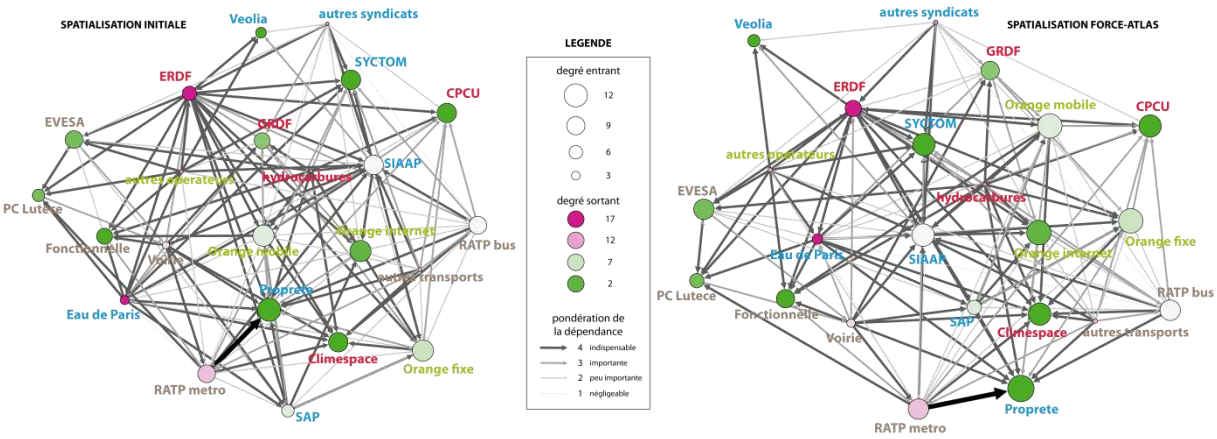


Figure 5-4 : Interdépendances organisationnelles des services urbains parisiens

L'analyse de la spatialisation des interdépendances organisationnelles n'est guère plus parlante. Elle met seulement en avant les systèmes les plus influents en termes organisationnels : ERDF, Eau de Paris, les hydrocarbures et dans une moindre mesure la RATP.

5.2.2. INTERDEPENDANCES GEOGRAPHIQUES

LIENS PHYSIQUES ET NON PHYSIQUES

Il est également possible de différencier les interdépendances selon que l'interaction implique un contact direct (et donc un échange de ressource entre les deux systèmes) ou bien s'il s'agit d'un échange immatériel, comme une information ou un service. Ce faisant, il est possible d'identifier les interdépendances géographiques des services urbains (cf. chapitre 1), relevant de la présence au même endroit de plusieurs infrastructures. Alors l'endommagement d'un système peut se répercuter sur l'infrastructure proche d'un autre système (Lefébure, 2010). Par ailleurs, la connaissance de ces interactions de contact permet d'identifier des solutions différentes : à une dépendance de contact il faut apporter une solution locale de remplacement de la ressource manquante. Par exemple, si l'eau potable est interrompue au niveau d'un site d'exploitation accueillant les agents de collecte des déchets, il faut amener de l'eau potable sur ce site par d'autres moyens : citernes, réparation du réseau, branchement sur un autre tronçon, ou bien déplacer les agents vers un autre site approvisionné en eau. Dans tous les cas, cela suppose un accès au point impacté.

À l'inverse, une dépendance sans contact est une interaction sans interface physique entre deux infrastructures. Par exemple, les dépendances au réseau mobile ou au réseau radio sont des interactions sans contact mais les dépendances aux réseaux internet ou fixes sont des interactions physiques. On considère également comme dépendance sans contact les dépendances à un service (au sens économique du terme) : restauration, prestations de travaux ou de nettoyage. Même si le service est souvent effectué par la présence physique du prestataire, il repose sur des moyens extérieurs au système, a priori plus facilement remplaçables et non impactés par le risque ayant affecté le demandeur. Là encore, le maintien de la dépendance repose sur l'accessibilité du site où est effectuée la prestation. Pour les échanges d'informations par contre, le maintien dépend davantage du fonctionnement de l'émetteur, qui peut être éloigné du système impacté. On voit alors apparaître la possibilité de propagation d'une perturbation au-delà de la zone réellement endommagée, sur l'ensemble de la zone couverte par le service en temps normal (cf. chapitre 9).

UNE AUTRE REPRESENTATION DU SYSTEME DE SYSTEMES

La majorité des interdépendances relève d'un contact entre les deux systèmes, aussi la représentation graphique des interdépendances (Figure 5-5) ne permet pas réellement d'affiner l'analyse.

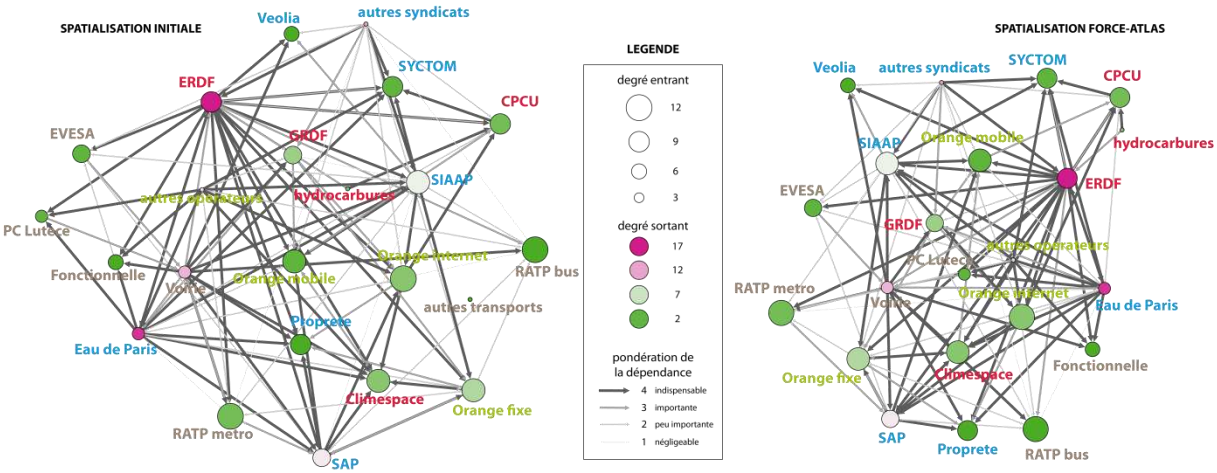


Figure 5-5 : Interdépendances de contact des services urbains parisiens

Étant donnée la forte influence des systèmes ERDF et Eau de Paris toutefois, il apparait que les branchements des consommateurs à ces réseaux devraient être sécurisés afin de résister à des contraintes physiques, ce qui

fait partie des obligations aux propriétaires et aux gestionnaires énoncées dans le PPRI de Paris (cf. chapitre 3). La connexion au réseau d'égout est une autre interaction de contact plus rarement prise en compte bien que l'évacuation des eaux usées par la SAP soit également identifiée comme critique par de nombreux systèmes. Il faut mentionner par ailleurs que cette interaction de contact peut devenir un facteur de risque car l'interruption de ce service fonctionnant à l'inverse des autres flux (l'émetteur est le bâtiment, le récepteur est l'usine de traitement) peut entrainer la remontée des eaux usées par les canalisations et endommager le bâtiment. Ce mode de perturbation est d'ailleurs identifié comme critique pour une usine de traitement des déchets du SYCTOM ; la solution à mettre en place est alors d'empêcher le reflux grâce à un clapet anti-retour par exemple.

Les interactions sans contact sont plus limitées (Figure 5-6), elles sont principalement centrées sur les opérateurs mobiles et les opérateurs de transport en commun.

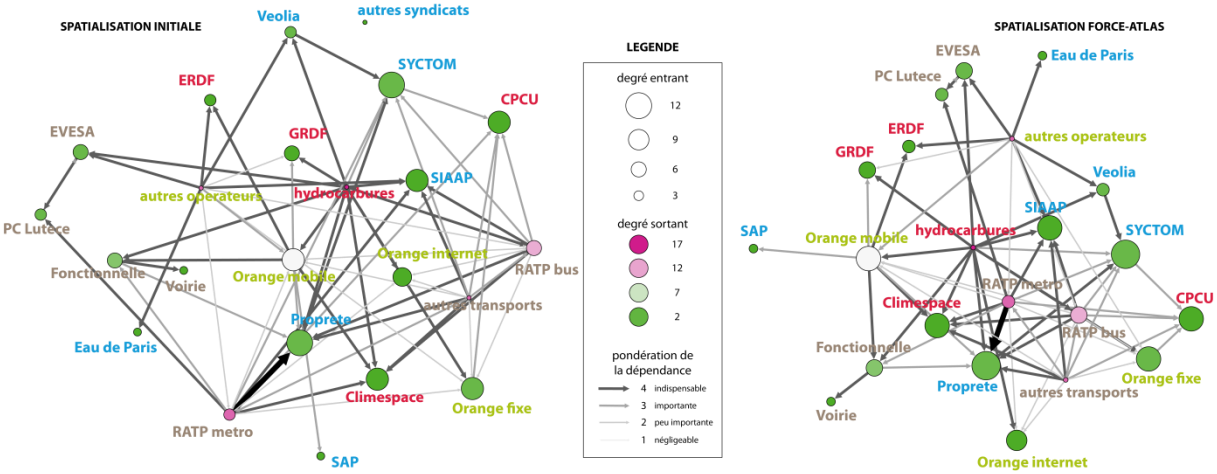


Figure 5-6 : Interdépendances immatérielles des services urbains parisiens

La dépendance aux hydrocarbures est également considérée comme sans contact car le véhicule doit se rendre à une station essence. Alors la question de l'accessibilité de ces stations essence est primordiale mais des dispositifs de distribution mobiles pourraient être envisagés. Les autres interactions sans contact relèvent principalement de l'échange d'information ou de service, montrant des proximités dans le fonctionnement habituel des systèmes : PC Lutèce et EVESA, RATP métro et Propreté (pour le réseau radio TETRA), CPCU et SYCTOM, Propreté et Fonctionnelle[42].

Ces supports présentés lors du deuxième atelier avec les gestionnaires n'ont pas réellement permis d'appuyer le travail collaboratif entre gestionnaires puisque leur lecture n'est pas immédiate. Ils illustrent cependant de nombreuses problématiques liées à la gestion des interdépendances et facilitent donc la formalisation des problèmes et des solutions (cf. 5.3).

[42] service spécial de la Propreté de Paris, cf. chapitre 3.

5.2.3. Hierarchie des services urbains

Finalement, la distinction entre interdépendances de contact ou immatérielles apporte surtout des précisions sur la manière de les gérer. La distinction technique/organisationnelle permet cependant d'identifier des systèmes centraux dont de nombreux gestionnaires dépendent pour leur fonctionnement direct. Lors du premier atelier, les gestionnaires ont ainsi suggéré d'utiliser une représentation en cercles montrant les systèmes centraux, les dépendances de premier ordre, de second ordre, etc. Une représentation en cercles de dépendances (Figure 5-7) a donc été proposée aux gestionnaires et validée lors du deuxième atelier.

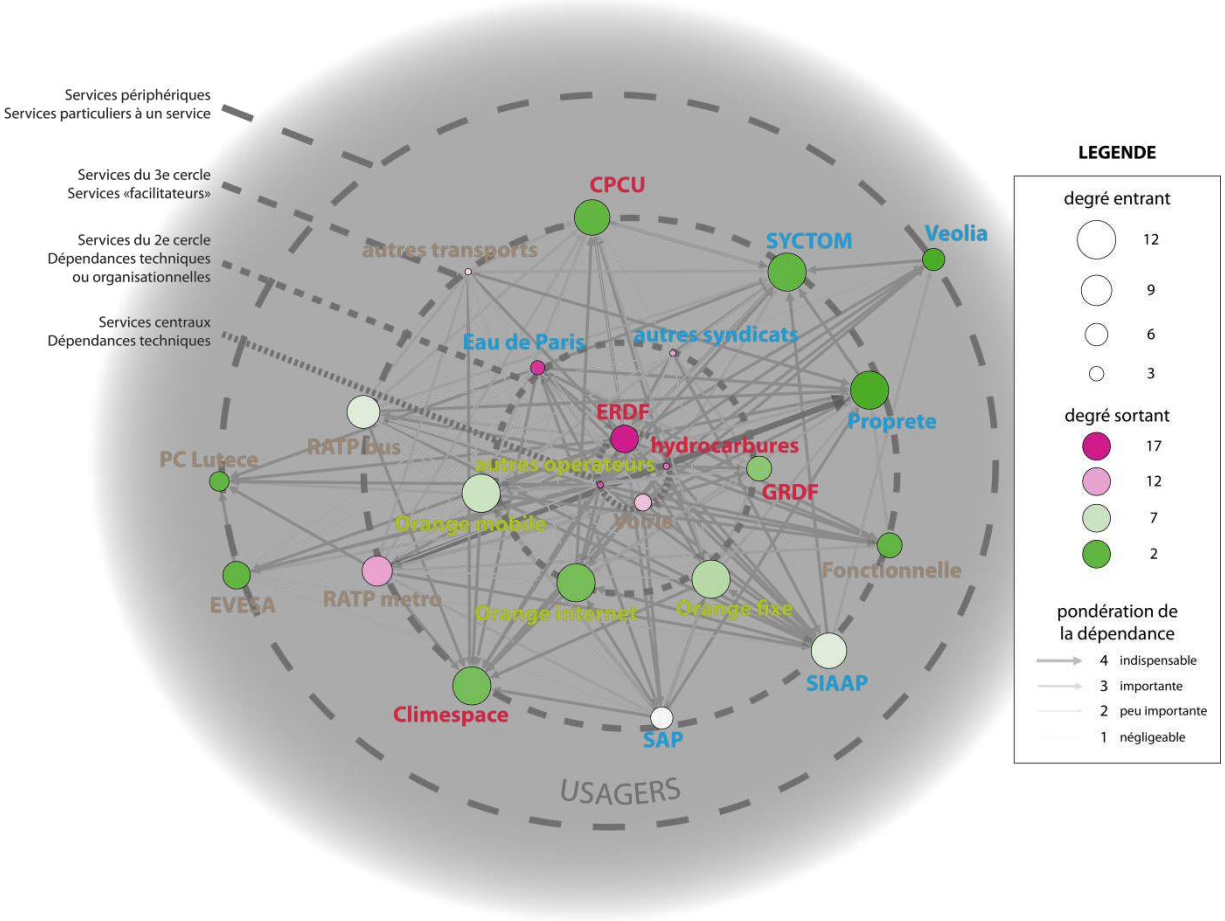


Figure 5-7 : Hiérarchie générique des services urbains parisiens vue par les gestionnaires (Toubin *et al.*, 2013b)

- En premier cercle de dépendance se trouvent les systèmes les plus influents et dont de nombreux services dépendent pour leur fonctionnement technique : ERDF pour l'énergie, hydrocarbures et voirie pour les déplacements, autres opérateurs pour les systèmes de pilotage.
- Le deuxième cercle regroupe les services fournissant des ressources nécessaires au fonctionnement technique ou organisationnel de nombreux services : Eau de Paris et autres syndicats pour l'eau potable utilisée dans les process ou pour l'hygiène, GRDF pour le gaz utilisé dans les process, Orange internet, mobile et fixe pour les télécommunications ou le pilotage.
- Le troisième cercle regroupe les services dont le fonctionnement n'est pas utile directement au service mais qui facilitent le travail des agents : RATP métro, bus et autres transports pour venir travailler, CPCU et Climespace pour la climatisation ou le chauffage des locaux, SYCTOM et Propreté pour l'évacuation des déchets, SAP et SIAAP pour l'assainissement, et Fonctionnelle pour le maintien de la viabilité.

~ Enfin le quatrième cercle correspond aux services assurant une mission essentielle à un autre système des cercles inférieurs : PC Lutèce et EVESA pour la régulation de trafic et l'éclairage de la voirie, Véolia pour le transport des déchets vers les usines du SYCTOM.

Bien que l'analyse des interdépendances soit limitée aux services urbains parisiens, les gestionnaires ont également suggéré de faire apparaître les usagers comme fond de cette représentation car ils sont bien souvent les premiers consommateurs des ressources et services fournis. Cependant, la criticité des services urbains, du point de vue des usagers, modifierait profondément cette hiérarchie. Pour cela, les gestionnaires ont été interrogés sur l'importance qu'ils attribuent à leur service par rapport aux usagers mais il est difficile d'en déduire une hiérarchie (l'appréciation reste très subjective et tend à maximiser la criticité du service rendu). Il faudrait pour cela effectuer une enquête auprès des populations pour leur demander les services qu'ils estiment le plus vital pour eux. Si l'électricité et l'eau potable devraient apparaître relativement majeures, il est probable que les usagers citent également les télécommunications et les transports et ne pensent pas directement à l'assainissement ou à l'évacuation des déchets qui sont pourtant indispensables.

Cette hiérarchie ne tient pas non plus compte des interactions particulières entre deux services. Par exemple, pour la CPCU, le SYCTOM est indispensable à son fonctionnement technique puisqu'il produit l'énergie nécessaire à la transformation en vapeur de l'eau du réseau de chauffage urbain ; il devrait donc être au cœur d'une telle hiérarchie réalisée selon le point de vue de la CPCU. Cette représentation se veut donc la plus générique possible pour le cas parisien (Toubin *et al.*, 2014b). Il est d'ailleurs probable que cette hiérarchie soit valable pour de nombreux systèmes de services urbains dans d'autres villes. Cependant, un gestionnaire a très justement fait remarquer que cette hiérarchie pourrait varier au cours du temps, et notamment au cours de la crise. En effet, si l'approvisionnement en gaz sur les usines de traitement des eaux usées est indispensable en temps normal pour incinérer les boues ; en cas d'inondation, le traitement des boues ne sera pas la priorité du SIAAP et la ressource gaz ne sera plus aussi critique. À l'inverse, si les prestataires de transports de déchets tels que Véolia sont importants en fonctionnement normal pour acheminer les déchets vers les centres de traitement du SYCTOM, en cas d'inondation, des mouvements plus importants sont à prévoir du fait de l'arrêt de certaines usines, et le transport sera d'autant plus critique pour l'évacuation des déchets. Alors il est intéressant d'évaluer cette dynamique de la criticité des interdépendances avant, pendant et après la crise (cf. partie 3) pour affiner les stratégies de gestion des interdépendances.

Synthèse

L'analyse plus détaillée des interdépendances nécessite de différencier les interactions selon que la ressource fournie est essentielle au fonctionnement direct du service, dépendance technique, ou à l'organisation du service, dépendance organisationnelle. Cette distinction montre que les impacts sur la continuité du service sont propres à chaque interaction et nécessitent donc des solutions différentes. Les interactions impliquant un contact et celles s'effectuant à distance ou de manière immatérielle sont également différenciées pour identifier les interdépendances géographiques des systèmes. Finalement, le travail collaboratif avec les gestionnaires aboutit à une hiérarchie générique des services urbains parisiens, dans le sens où elle traduit les dépendances de premier ordre aux systèmes les plus centraux (ERDF, télécommunications et voirie), puis de second et de troisième ordre, pour l'ensemble du système de services urbains, sans tenir compte des particularités de chacun. Cette hiérarchie ne correspond pas non plus à la hiérarchie qui pourrait être faite du point de vue du fonctionnement global de la ville, traduisant notamment la perception des services vitaux pour les populations.

5.3. SOLUTIONS POUR LA GESTION DES INTERDEPENDANCES

Après avoir classifié les difficultés lors du premier atelier, les participants du deuxième atelier ont abordé les solutions possibles. Sur la base des solutions déjà mentionnées lors des entretiens ou du premier atelier, les gestionnaires ont discuté la faisabilité et la reproductibilité des différents types de solution. Ces résultats issus du travail collaboratif des gestionnaires a été retravaillé afin de fournir un produit finalisé sous la forme d'une fiche technique. Ce document peut être utilisé par les gestionnaires souhaitant étudier les différentes solutions aux problèmes de gestion des interdépendances en cas d'inondation, mais pas seulement, car la fiche détaille les enjeux de la difficulté aux différents moments de la crise et catégorise les solutions possibles.

5.3.1. DES SOLUTIONS A LA FOIS TECHNIQUES ET ORGANISATIONNELLES

DIFFERENTS TYPES DE SOLUTIONS

Suivant la nature des difficultés identifiées par les gestionnaires, les solutions peuvent également être classifiées. Alors, en fonction des caractéristiques du système impacté, et notamment des composants concernés, les solutions applicables peuvent être discutées. La représentation générique d'un service urbain (Figure 5-8, cf. chapitre 1), met en avant les spécificités des interdépendances afin d'identifier les caractéristiques des solutions. Cette schématisation est issue des premiers entretiens et du premier atelier collaboratif portant sur les problèmes liés à la gestion des interdépendances.

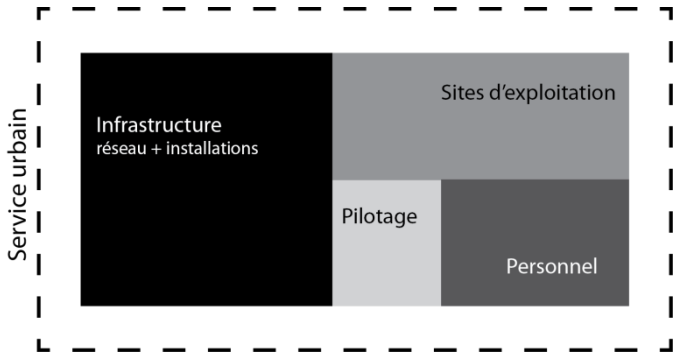


Figure 5-8 : Description générique d'un service urbain en cinq composants (Toubin *et al.*, 2013d)

Si la dépendance porte sur des composants déconnectés du système (sites d'exploitation, équipements fonctionnant de manière isolée), les solutions peuvent être ponctuelles afin de solutionner le problème localement. Cependant, si le problème se présente en de nombreux points différents du service, alors le nombre d'interventions ponctuelles peut être trop important, trop coûteux, voire même inefficace. Dans ce cas, le gestionnaire peut envisager la possibilité d'une solution intégrée visant à traiter le problème de manière globale. Ce type de solution requiert toutefois des changements importants dans le fonctionnement du service ; cette stratégie relève donc davantage de l'adaptation proactive que de la gestion de crise (mesures réactives une fois la crise annoncée). Les mesures proactives correspondent à l'adaptation, à long terme, du service à des conditions perturbées et requièrent notamment l'utilisation, au quotidien, de systèmes de gestion qui peuvent contribuer à la gestion d'une crise. À l'inverse, les mesures réactives nécessitent la mobilisation de moyens exceptionnels au moment de la crise. Leur utilisation peu fréquente requiert alors des contrôles réguliers de leur bon état et des exercices réels avec les agents censés les utiliser, afin d'en garantir l'opérationnalité à tout moment. Par ailleurs, la mobilisation de moyens alternatifs pour pallier un problème peut induire de nouvelles dépendances. Les gestionnaires doivent alors s'assurer de leur disponibilité, en particulier si de nombreux services reposent sur ce palliatif, comme c'est le cas des groupes électrogènes qui induisent une demande forte en fuel (Robert et Morabito, 2009).

DES SOLUTIONS ORGANISATIONNELLES A DES PROBLEMES TECHNIQUES

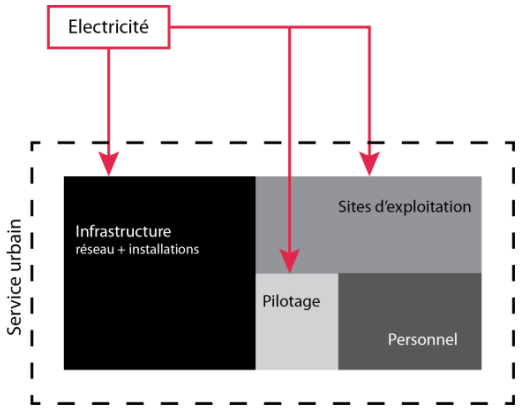
Les solutions ponctuelles ne sont pas uniquement des solutions de gestion de crise, et inversement, les solutions intégrées peuvent relever de la gestion de l'urgence. Par exemple, des groupes électrogènes (solution ponctuelle) sont intégrés aux usines de crue de la SAP (adaptation proactive) afin de continuer à évacuer les eaux pluviales, même en cas de coupure du réseau électrique. De manière générale, des difficultés d'ordre technique peuvent être solutionnées par des solutions techniques ou organisationnelles. Par exemple, la dépendance à l'électricité, au sens technique, peut impacter un équipement ou un site d'exploitation et être résolue par une solution technique comme l'utilisation d'un groupe électrogène, pour continuer à fournir de l'énergie au site impacté. Une solution organisationnelle pourrait également être proposée avec l'abandon et le repli sur un autre site non impacté. Ainsi, par exemple, la dépendance électrique des sites d'exploitation de la Propreté (dont le fonctionnement technique repose sur les agents et donc sur les sites d'exploitation) est résolue soit par l'installation d'un groupe électrogène, soit par le redéploiement des équipes vers d'autres ateliers non impactés.

Il ne s'agit donc pas d'identifier quel type de solution répond à quel type de problème, mais de classifier les solutions afin d'aider les gestionnaires à envisager l'ensemble des possibilités qui leur sont offertes. Pour cela, il faut identifier les particularités de chaque service qui font que telle ou telle solution est réalisable ou non. La connaissance des critères ayant amené un gestionnaire à privilégier une solution plutôt qu'une autre permettrait aux autres participants d'évaluer si leurs propres difficultés pourraient être résolues de la même manière. Cependant, les questions de faisabilité technique, de coûts ou d'autres contraintes sont complexes et ont été peu abordées lors du deuxième atelier. Les tableaux qui suivent n'en présentent que quelques éléments mis en avant par les gestionnaires.

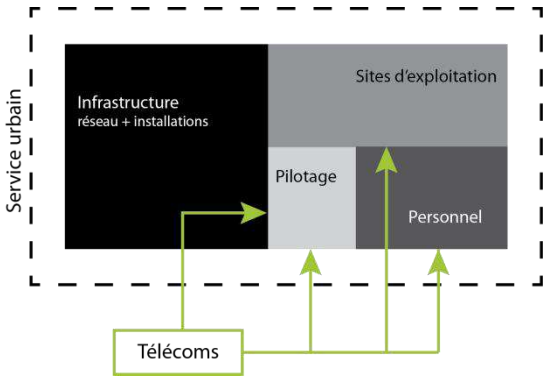
5.3.2. DIX PROBLEMES MAJEURS ET LEURS PISTES DE SOLUTIONS

PROBLEMES TECHNIQUES

La dépendance à l'électricité est la difficulté majeure pour les gestionnaires. Si la criticité de cette dépendance est globalement élevée, certains moments de la crise sont encore plus sensibles. Ainsi, de nombreux services doivent anticiper l'arrêt de l'électricité afin d'avoir le temps de réaliser leurs actions de préparation à la crise (mise en sécurité, dépose, etc.). De la même manière, à la décrue, de nombreux gestionnaires devront attendre le rétablissement du courant avant de pouvoir remettre en état leurs installations. Si la dépendance à l'électricité est généralisée, car de nombreux équipements sont raccordés directement au réseau électrique, les solutions techniques sont limitées car coûteuses. Des solutions ponctuelles peuvent pallier la défaillance électrique sur certains points du réseau mais pas sur son intégralité. Enfin, les solutions organisationnelles s'appuient sur l'adaptation du système par la réorganisation du service sur les zones approvisionnées mais là encore, l'impact sur le service reste majeur dans les zones privées d'électricité.

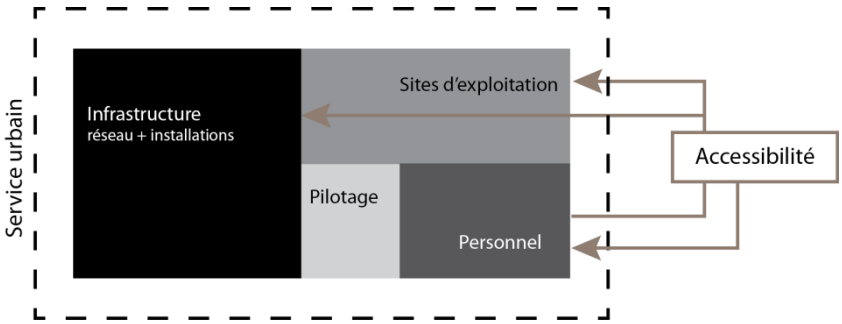
DIFFICULTÉS	**Dépendance à l'électricité**	~ Process (ex : CPCU, Orange, SAP, etc.) ~ Pilotage (ex : Eau de Paris, CPCU, etc.) ~ Sites d'exploitation (ex : Propreté, GRDF, etc.)		
ENJEU	**Fonctionnement normal**	**Préparation de la crise**	**Durant la crise**	**Rétablissement**
	Assurer le fonctionnement des différents composants, selon les usages détaillés ci-dessus	Mettre en sécurité les installations, mobiliser et le positionner des moyens (ex : ouvrir ou fermer des vannes, transférer un centre de pilotage)	Maintenir le service ou le contrôle, pour assurer un fonctionnement en mode dégradé (ex : maintenir le fonctionnement des équipements, maintenir les conditions de travail des agents)	Diagnostiquer les dommages, pour remettre en état et en marche les systèmes (ex : pompes de nettoyage, redémarrage des infrastructures)
SOLUTIONS	**Solution intégrée**		**Solution ponctuelle**	
	Sécurisation de l'alimentation globale (2e ligne ou approvisionnement directe par RTE)	Fonctionnement en autonomie (s'isoler du réseau)	Solution technique : installation d'un groupe électrogène	Solution organisationnelle : prévoir des sites de repli
	Faisabilité : difficilement justifiable aujourd'hui	Faisabilité : nécessite une production locale, peu de chance de réussite	Faisabilité : coûts, réquisitions, approvisionnement en carburant	Faisabilité : nécessite un bon réseau d'infrastructures et une bonne connaissance des agents (lieu de vie et de travail)

La dépendance aux télécommunications est relativement similaire à la dépendance à l'électricité car de nombreux composants des réseaux sont pilotés par télécommande. L'impact d'une défaillance peut cependant être plus limité car seule la commande est perdue. La perte de cette fonction peut donc parfois être palliée par l'intervention directe sur le terrain. Par ailleurs, la diversité des moyens de télécommunications et des opérateurs peut réduire le potentiel de perturbation. Ces solutions nécessitent cependant une préparation très en amont au niveau de la contractualisation avec les fournisseurs, de l'utilisation des moyens de secours par les équipes et de la mobilisation des moyens pour le passage en manuel.

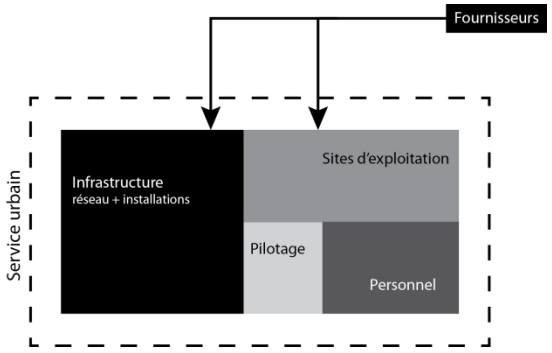
DIFFICULTÉS	**Dépendance aux télécoms**	~ Télécommunications « classiques » : téléphonie fixe, mobile et accès à internet (ex : Propreté, GRDF, SAP, etc.) ~ Services particuliers de transmission de données ou de commandes (ex : CPCU, Eau de Paris, SIAAP, etc.)	

	Fonctionnement normal	Préparation de la crise	Durant la crise	Rétablissement
ENJEU	Assurer les communications entre les différents composants, selon les usages détaillés ci-dessus	Piloter la mise en sécurité des installations, informer et mobiliser les moyens (ex : ouvrir ou fermer des vannes, monter une cellule de crise)	Maintenir la remontée d'informations et la gestion à distance, pour assurer un fonctionnement en mode dégradé (ex : identifier les défaillances, coordonner les interventions sur le terrain)	Faciliter les interventions, remettre en état et en marche les systèmes (ex : suivi du service, coordination des interventions sur le terrain)
SOLUTIONS	**En preparation de crise**		**En gestion de crise**	
	Redondance des moyens (plusieurs opérateurs)	Autonomie des moyens (réseau interne radio)	Solution technique : mobilisation de moyens exceptionnels	Solution organisationnelle : se passer de télécommunications
	Faisabilité : gestion des contrats	Faisabilité : surutilisation des fréquences radio	Faisabilité : maîtrise et disponibilité des alternatives	Faisabilité : dépend de l'échelle du territoire à couvrir

L'accessibilité des infrastructures dépend de l'ampleur de l'inondation, mais également de sa gestion par les autorités et les services de la Ville de Paris en charge de la voirie. Si le réseau présente de nombreux équipements inondables ou inaccessibles, les solutions reposent sur l'anticipation de la montée des eaux et sur des moyens d'intervention. Pour un nombre restreint de composants exposés et dont le maintien n'est pas indispensable, les solutions locales de protection nécessitent une coordination avec les autres acteurs intervenant dans la zone. Les sites abandonnés posent la question non résolue du gardiennage. Lors du rétablissement, l'accessibilité est encore plus critique car un nettoyage conséquent devra être réalisé dans les bâtiments et dans les rues. De plus, de nombreux contrôles de sécurité devront être effectués avant l'accès aux bâtiments.

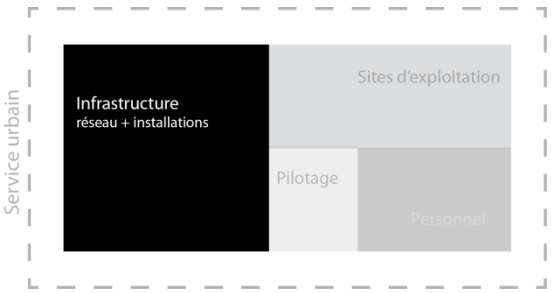
DIFFICULTÉS	**Accessibilité des infrastructures**			
ENJEU	**Fonctionnement normal**	**Préparation de la crise**	**Durant la crise**	**Rétablissement**
	Accéder aux ouvrages de régulation, pour assurer le service des systèmes nécessitant des déplacements (Propreté)	Déposer ou protéger du matériel, mettre en place des sources alternatives, accéder aux ouvrages de régulation	A priori pas d'accès aux ouvrages en zone inondée, certains ouvrages peuvent être non inondés mais pourtant inaccessibles (ex : usine SYCTOM)	Pouvoir accéder dès la décrue aux ouvrages lors de la remise en service.
SOLUTIONS	**Solution intégrée**		**Solution locale**	
	Fonctionnement en mode dégradé avec repli ou maintien sur site	Anticipation de l'inaccessibilité	Protection	Abandon
	Faisabilité : conditions de sécurité, télécommunications, ravitaillement	Faisabilité : nécessite une bonne connaissance de l'évènement et des moyens de communication	Faisabilité : ampleur des ouvrages à protéger, coordination avec d'autres protections	Faisabilité : gardiennage du site abandonné

L'accessibilité et la disponibilité des ressources reposent sur une bonne gestion des stocks. Cependant, ces solutions de gestion impliquent la capacité d'évaluer la consommation du service et la durée à assurer sans fournisseur extérieur, ce qui comporte de nombreuses incertitudes. La solution peut également se situer au niveau du fournisseur de la ressource, à travers la contractualisation avec plusieurs prestataires. Pour le cas de certaines ressources dont l'approvisionnement est peu fiable, le système peut modifier durablement son fonctionnement si ses contraintes techniques le permettent.

DIFFICULTÉS	**Accessibilité et disponibilité des ressources**	Ressources utilisées directement pour la réalisation du service : réactifs chimiques pour les process utilisant de l'eau (CPCU, Climespace, Eau de Paris, SAP, SIAAP), des combustibles (fuel, charbon, bois) pour les process nécessitant de l'énergie (CPCU, SYCTOM)	

	Fonctionnement normal	**Préparation de la crise**	**Durant la crise**	**Rétablissement**
ENJEU	Assurer le fonctionnement des différents composants, selon les usages détaillés ci-dessus	Mettre en sécurité des installations, positionner des moyens	Maintenir le service ou la qualité du service, assurer un fonctionnement en mode dégradé	Relancer le service ou rétablir sa qualité
	Gestion		**Adaptation**	
SOLUTIONS	Création de stock	Gestion des stocks	Prévision dans les contrats (fourniture d'urgence)	Affranchissement de la dépendance (passer définitivement à une ressource plus fiable)
	Faisabilité : certains produits ont une durée limitée (voire sont dangereux)	Faisabilité : consommation dépendant de l'évènement ou de conditions extérieures	Faisabilité : priorités données par le SGZDS	Faisabilité : contraintes techniques, économiques

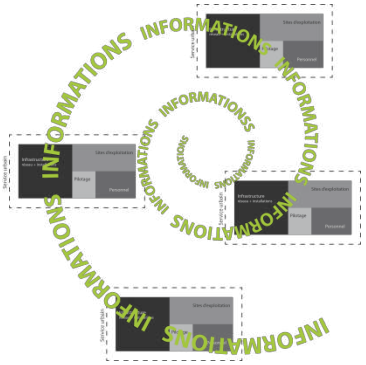
Les installations industrielles présentent des difficultés techniques particulières en cas d'inondation car leur fonctionnement est complexe et soumis à des conditions strictes. Les solutions de réponse sont donc limitées : protection des équipements sensibles lorsque c'est possible, puis mise en sécurité de l'installation. La difficulté majeure réside alors dans le redémarrage, sachant que celui-ci dépend fortement des actions réalisées en amont.

DIFFICULTÉS	**Particularités des installation industrielles**	Systèmes reposant sur des installations industrielles comme le SYCTOM et la CPCU	

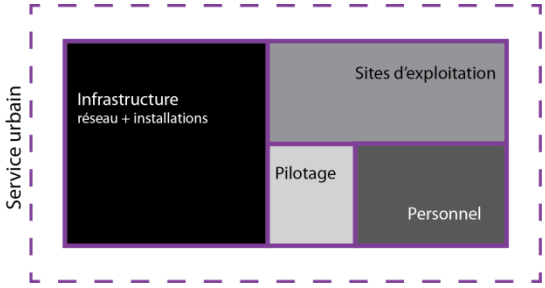
	Fonctionnement normal	Préparation de la crise	Durant la crise	Rétablissement
ENJEU	Maintenir le contrôle des installations	Identifier les ressources et moyens nécessaires, anticiper suffisamment en amont de la crue, protéger l'installation	Limiter l'endommagement	Réparer les dommages, redémarrer l'installation
SOLUTIONS	**Solution intégrée**		**Solution ponctuelle**	
	Limitations des entrées d'eau	Réhausse des équipements sensibles	Fermeture des sites	Redémarrage
	Faisabilité : problème des remontées par le sous-sol (réseaux, nappe), ennoyer pour stabiliser les ouvrages	Faisabilité : contraintes de temps, techniques et économiques	Faisabilité : temps nécessaire et prévision, arrêt du service	Faisabilité : importance des incertitudes

PROBLEMES ORGANISATIONNELS

Le problème organisationnel majeur est le partage d'informations entre les gestionnaires. Cette difficulté est prégnante durant la gestion de crise mais elle résulte d'un manque de communication bien avant la crise. Les problèmes se situent au niveau de l'aléa mais également au niveau de la connaissance des services urbains. Le travail collaboratif et les études complémentaires peuvent contribuer à la gestion de cette difficulté, en préparation de la crise. Durant la gestion de crise, l'échange doit être immédiat et reposer sur des supports fiables et exploitables par tous. La construction et l'utilisation d'un outil commun constituent cependant un frein majeur.

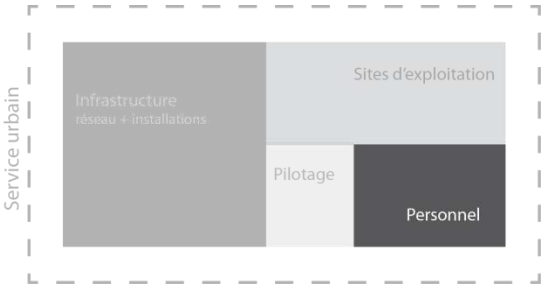
DIFFICULTÉS	**Confidentialité et partage des informations**	Difficultés en termes de communication d'information, qui peuvent être dues à des questions de confidentialité, de connaissance ou de fiabilité			
ENJEU	**Fonctionnement normal**	**Préparation de la crise**	**Durant la crise**	**Rétablissement**	
	Connaissance réciproque de l'utilisateur et du fournisseur	Anticiper les actions des autres gestionnaires, des fournisseurs	Partager des informations sur la situation de chacun, les impacts réciproques	Partager des informations sur les rétablissements progressifs	
SOLUTIONS	**En preparation de crise**		**En gestion de crise**		
	Connaissance de l'évènement et prévision	Connaissance des interdépendances, des gestionnaires	Connaissance de la situation de chacun (actions, impacts)	Communication en temps réel	
	Faisabilité : incertitudes sur le comportement des nappes, sur l'impact des ouvrages de protection	Faisabilité : difficultés à produire la connaissance, à collaborer	Faisabilité : difficultés à se coordonner, à utiliser un outil commun (SIG ?)	Faisabilité : dépendance aux outils de télécommunications	

Les plans de gestion de crise visent à organiser l'ensemble des solutions évoquées ici mais leur réalisation et leur utilisation posent des difficultés propres à la démarche. La réussite de ces plans repose sur leur opérationnalité : plans suffisamment détaillés mais flexibles à la fois. L'activation régulière en situation réelle ou lors d'exercices est donc une condition importante. Par ailleurs, la stratégie même du plan implique des conditions de faisabilité particulières. Un plan proactif doit rester flexible pour s'adapter aux conditions vécues. À l'inverse, un plan réactif doit mieux répondre à la situation mais il pose alors la question de la gestion de l'interdépendance des plans entre eux.

DIFFICULTÉS	**Mise en place et mise à jour des plans**	Stratégie pour faire face à diverses perturbations, à faire vivre pour en assurer l'opérationnalité, compatibilité des plans	

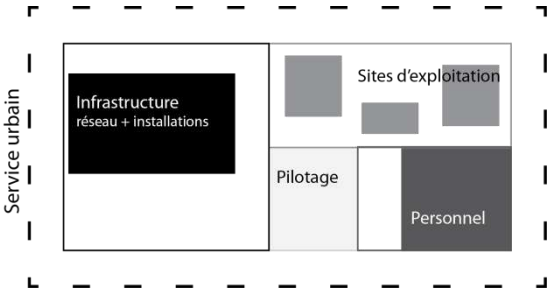
	Fonctionnement normal	Préparation de la crise	Durant la crise	Rétablissement
ENJEU	Intégrer la mission dans les compétences, réaliser le plan et le mettre à jour	Décider l'activation du plan, mobiliser et positionner du personnel et du matériel	Adapter le plan, assurer la compatibilité avec les plans des autres gestionnaires	Apprendre et s'améliorer
	Gestion		**Stratégie**	
SOLUTIONS	Déclenchement des niveaux bas chaque année (test des procédures, du matériel)	Mise à jour annuelle des annuaires	Plan proactif (adaptation du réseau à l'inondation)	Plan réactif (actions à mettre en œuvre à l'annonce de la crue)
	Faisabilité : effet de seuil pour certains systèmes	Faisabilité : coût, lassitude des équipes	Faisabilité : contraintes économiques et techniques, efficacité des mesures, excès de confiance	Faisabilité : dépendance à la prévision, interdépendance des plans

La réussite d'un plan de gestion de crise repose sur la disponibilité du personnel. Les solutions à mettre en œuvre doivent être portées et réalisées en interne pour en assurer la pertinence et l'appropriation. La difficulté est d'abord d'identifier les missions à réaliser et le personnel nécessaire pour cela. La mobilisation doit être préparée et formalisée pour assurer la disponibilité des personnes nécessaires. L'anticipation permet par ailleurs de faciliter le maintien dans la durée et la régularisation de la situation après la crise. Plusieurs questions connexes doivent alors être réglées comme la gestion des ressources humaines (paye, assurances, etc.), l'hébergement et la restauration des personnes mobilisées.

DIFFICULTÉS	**Mobilisation et maintien du personnel**	Maintien des conditions de travail (et éventuellement de vie sur site) du personnel impliqué dans la gestion de crise	

	Fonctionnement normal	Préparation de la crise	Durant la crise	Rétablissement
ENJEU	Identifier la situation des agents (situation familiale, lieu de travail et domicile, compétences, contrat et obligations)	Mobiliser et positionner du personnel	Maintenir les conditions de vie, la paye	Régulariser la situation
	En preparation de crise		**En gestion de crise**	
SOLUTIONS	Identification fine des besoins (annuaire nominatif, compétences nécessaires)	Identification des services à prévoir (logement, restauration, déplacements)	Réquisition	Maintien sur la durée
	Faisabilité : difficultés de mise à jour, contractualisation	Faisabilité : prévision dans les marchés, lien avec les prestataires	Faisabilité : légitimité, droit de retrait des agents	Faisabilité : coût, acceptation des conditions de travail difficiles

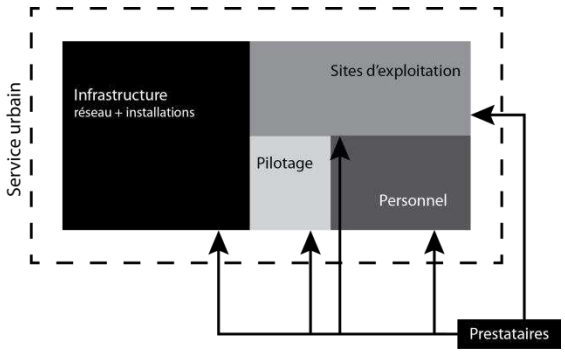
Le fonctionnement en mode dégradé résulte des mesures précédentes, mais il peut être planifié ou subi. Le fonctionnement en mode dégradé n'implique pas forcément le maintien d'un service dégradé sur l'ensemble du territoire desservi. En effet, certaines zones peuvent être privées de services quand d'autres sont desservies à 100 %. Le fonctionnement du service est cependant dégradé dans sa globalité car certaines fonctions sont maintenues dans des conditions plus difficiles. La perte progressive de service (en termes géographique ou de qualité) peut être planifiée dans le plan de gestion de crise. La décision repose alors sur une connaissance fine des seuils de déclenchement et sur des outils d'information fiables. Une fois dégradé, le service peut perdre en qualité ou être remplacé par des moyens alternatifs. Cette dégradation nécessite une bonne communication auprès des usagers.

DIFFICULTÉS	**Fonctionnement en mode dégradé**	Mode dégradé dans lequel l'ensemble des fonctions du service n'est pas assuré : identification de missions prioritaires, des clients prioritaires, des besoins pour les remplir	

	Fonctionnement normal	Préparation de la crise	Durant la crise	Rétablissement
ENJEU	Identifier les missions prioritaires et les moyens correspondants	Préparer le système à passer en mode dégradé, voire anticiper pour protéger les infrastructures	Maintenir les fonctions essentielles	Rétablir les pleines fonctions
	En preparation de crise		**En gestion de crise**	
SOLUTIONS	Coupure préventive maîtrisée progressant avec les niveaux de crue	Perte progressive des fonctions et maintien du pilotage	Mise en place d'alternatives	Dégradation de la qualité de service dégradée (y compris pollutions)
	Faisabilité : difficile décision du moment de la coupure, information des usagers	Faisabilité : dépendance aux télécommunications	Faisabilité : ciblage et information des populations, coûts et pertinence de la remise en état si l'endommagement est trop important	Faisabilité : acceptabilité sociale du mode dégradé sur le long terme (importance de la communication, de la pédagogie)

Un service urbain repose sur de nombreux fournisseurs et prestataires pour sa gestion quotidienne mais certains besoins sont spécifiques à la gestion de l'inondation. L'identification de ces prestataires est donc essentielle et doit être formalisée. Cela permet d'anticiper les difficultés techniques et juridiques et de maîtriser la disponibilité du service. En particulier, s'il est identifié et déclaré au préalable, le gestionnaire peut plus facilement faire bénéficier son prestataire des mêmes dérogations que lui durant la crise. Certains services peuvent se passer de certaines prestations, notamment si le personnel a accepté des conditions de travail dégradées. Lors du rétablissement, l'intervention des experts (en assurances notamment) est cependant inévitable et doit être prise en compte dans le plan de remise en service.

DIFFICULTÉS		
	Fournisseurs et prestataires	Ressources utiles au fonctionnement du service (équipements individuels, pièces de maintenance) et les services facilitateurs (prestations de maintenance, de nettoyage, de restauration, ...)



ENJEU	Fonctionnement normal	Préparation de la crise	Durant la crise	Rétablissement
	Assurer le fonctionnement des différents composants, selon les usages détaillés ci-dessus	Compléter les moyens du service, pour fournir les équipements spéciaux (groupes électrogènes, camions,...)	Assurer les services nécessaires au personnel notamment (hôtellerie, restauration)	Assurer des prestations de diagnostic des dommages (experts), pour remettre en état et en marche les systèmes (entreprises)
SOLUTIONS	**En preparation de crise**		**En gestion de crise**	
	Identification des services et ressources essentiels à maintenir	Formalisation des contrats de fourniture en cas de crise	Maintien du lien avec le fournisseur ou prestataire (notamment lui faire bénéficier des dérogations obtenues par le service)	Mobilisation d'alternatives, se passer du service ou de la ressource
	Faisabilité : prendre en compte les interdépendances par les fournisseurs entre les services	Faisabilité : difficultés techniques et juridiques	Faisabilité : négociation avec la cellule de crise, dépendance aux télécommunications	Faisabilité : contraintes techniques et économiques

5.3.3. UNE DIFFICILE TRANSPOSITION DES SOLUTIONS AUX AUTRES SERVICES

DES PARTICULARITES TECHNIQUES FORTES

L'analyse des différentes solutions face aux problèmes communs rencontrés par les gestionnaires montre une difficile transposition des solutions techniques d'un système à l'autre. En effet, les contraintes techniques de chaque système, notamment le choix de la technologie utilisée, la structure du réseau et sa construction longue dans le temps, réduisent les marges de manœuvre du gestionnaire. Ainsi par exemple, les

infrastructures les plus anciennes ont pu bénéficier au moment de leur création, d'un raccordement direct au réseau électrique de RTE, du fait de la forte puissance appelée (RATP, usines SIAAP ou SYCTOM). Mais aujourd'hui, il serait plus délicat de justifier une telle solution car le raccordement classique est effectué sur le réseau basse tension par ERDF. Les solutions de protection sont également fortement liées à l'histoire du réseau, son extension géographique et son fonctionnement interne. Ainsi, les réseaux les plus anciens n'ont pas été conçus en tenant compte du risque de submersion, voire même, les choix effectués rendent encore plus difficile la protection du service aujourd'hui. C'est le cas du réseau ERDF qui est enterré sur l'ensemble du territoire parisien et possède donc de nombreux points d'entrée d'eau possibles. Alors si des gestionnaires ont jugé faisable la protection directe de chaque point d'entrée (la RATP par exemple), d'autres préfèrent démonter les équipements sensibles (parce que c'est possible) ou laisser l'eau entrer (ERDF, CPCU).

Finalement, si entre systèmes les solutions techniques sont difficilement transposables, il serait intéressant d'étudier la possibilité de les appliquer sur des services urbains équivalents, mais dans un territoire différent. Paris présente des particularités fortes concernant ses services urbains (cf. chapitre 3) ; les solutions mises en place correspondent-elles alors uniquement au fonctionnement parisien, ou pourraient-elles être généralisées ? Tous les services d'adduction d'eau potable mettent-ils en place les mêmes stratégies qu'Eau de Paris ? Les gestionnaires d'ERDF dans les différentes régions choisissent-il toujours les mêmes réponses ? Concernant le risque d'inondation, le CERTU propose des fiches techniques de conception, de maintenance et de gestion des services urbains donnant les grandes mesures à mettre en place pour les protéger ou assurer la continuité du service (Vigneron *et al.*, 2006). Là encore, le contexte territorial est important et il serait intéressant d'effectuer une analyse comparative des difficultés et des solutions mises en place dans différents territoires pour la prise en compte des interdépendances des services urbains.

DES CONTRAINTES ORGANISATIONNELLES SIMILAIRES

Les solutions organisationnelles semblent plus facilement transposables d'un service à un autre car chaque gestionnaire fait face aux mêmes difficultés concernant ses agents et leur capacité à assurer leurs missions. Lors du deuxième atelier, les gestionnaires ont davantage appris des solutions organisationnelles mises en place par les autres services, comme par exemple la possibilité d'identifier nommément les agents capables de venir travailler, solution que de nombreux gestionnaires estimaient trop contraignante. Ainsi, lorsque le gestionnaire de GRDF explique qu'il dispose d'une liste des agents, aux différents sites d'exploitation et aux différents moments de l'inondation, les autres gestionnaires découvrent une manière de recenser et mettre à jour les listes, dont la méthodologie pourrait être mise en commun. Les difficultés liées au logement et aux conditions de travail des agents sont également les mêmes pour tous les services. Alors, la mutualisation des moyens permettrait à la fois de s'assurer de leur disponibilité (tous les besoins sont recensés de manière globale (Robert et Morabito, 2009)) et éventuellement d'une gestion ou d'un coût réduit car partagés. Il en va de même pour les moyens de télécommunications qui gagneraient à être mutualisés.

Certaines spécificités des services urbains peuvent toutefois limiter cette plus grande reproductibilité des solutions organisationnelles. Les questions de statut des services, entre les opérateurs historiques publics, les régies municipales et les gestionnaires privés ont déjà été mentionnées (cf. chapitre 3). Il n'est toutefois pas possible de conclure quant à la plus facile mobilisation des opérateurs publics par exemple. Les gestionnaires mentionnent eux-mêmes la difficulté d'essayer de tirer des règles générales souvent caricaturales. Les discours sont pourtant très différents entre des gestionnaires, parfois privés, mentionnant l'importance de la rémunération dans les activités de gestion de crise ; et des opérateurs, parfois publics, convaincus de la mobilisation solidaire de l'ensemble des acteurs de la ville. Si chacun joue le rôle qui lui est « assigné » dans le but de faire passer un message qui ne sera pas forcément celui réellement vécu en cas de crise, il est difficile d'anticiper les comportements de chacun et donc d'en déduire des stratégies organisationnelles communes, à mettre en place avec l'ensemble des services.

Synthèse

Les solutions peuvent être mises en œuvre de manière adaptative dans la conception ou la gestion quotidienne du service urbain, de manière préventive une fois l'inondation annoncée, ou de manière réactive une fois les impacts sur le système identifiés. Les solutions à chaque problème sont relativement nombreuses mais elles sont souvent difficilement applicables à tous les services. En effet, les spécificités de chaque système sont fortes et les marges de manœuvre des gestionnaires sont limitées. Les solutions organisationnelles (planification, organisation et adaptation des missions, fonctionnement dégradé, etc.) sont plus facilement adaptables d'un service à l'autre. La mise en commun des méthodologies appuyant ces stratégies peut profiter à l'ensemble des services, bien que les statuts ou les politiques différentes des services puissent également en limiter la pertinence.

5.4. SYNTHESE DU CHAPITRE

La distinction entre dépendance technique (ressource ou service nécessaire directement au process) et dépendance organisationnelle (ressource ou service nécessaire à l'optimisation du process ou à l'organisation du service) permet d'affiner l'analyse des interactions initiée au chapitre précédent. Elle permet notamment d'identifier les plus critiques, sachant qu'une dépendance organisationnelle n'est pas nécessairement moins critique qu'une dépendance technique (notamment s'agissant de crises longues et généralisées), mais que les solutions à apporter sont différentes. De nombreuses dépendances s'avèrent à la fois techniques et organisationnelles, mais le premier portrait au niveau global ne permet pas d'en différencier la criticité, ce à quoi il faudra remédier. La même conclusion émerge de la différenciation entre les dépendances physiques (avec contact) et les dépendances immatérielles (services ou informations) qui nécessitent des stratégies de réponses localisées ou plus globales, selon les composants du service urbain impactés.

Ces analyses permettent toutefois de proposer une hiérarchie générique des services urbains validée par les gestionnaires. Cette représentation place au centre les services dont tous les autres services dépendent pour leur fonctionnement, en deuxième cercle les services fournissant des ressources importantes au fonctionnement technique ou organisationnel du service, en troisième cercle les services « facilitateurs » pour les employés et en services périphériques, les services dédiés à un autre service plus central. Cette vision ne tient pas compte des particularités de chaque service et ne vise pas à hiérarchiser les services selon la perception des usagers, ce qui serait également pertinent. En effet, suivant le temps de la crise, cette hiérarchie est modifiée car les besoins, tant des usagers que des services urbains, varient. La dimension temporelle est donc essentielle à l'analyse des interdépendances et doit compléter cette première analyse globale et statique (cf. partie 3).

Les différents problèmes rencontrés par les gestionnaires de services urbains parisiens dans l'hypothèse d'une crue de la Seine peuvent également être classifiés. Lors des entretiens, les gestionnaires ont identifié leurs principales difficultés et le premier atelier a permis de les hiérarchiser. On distingue les difficultés d'ordre technique relevant principalement de la dépendance aux services centraux : électricité, télécommunications et déplacements, et d'autres difficultés liées au fonctionnement technique des services de production nécessitant des réactifs et des combustibles. Les difficultés organisationnelles concernent les conditions de travail des agents qui seront mobilisés sur de longues périodes, dans des conditions difficiles. Cette organisation devrait alors reposer sur des plans de continuité d'activité explicitant les missions prioritaires, les moyens à mobiliser, etc. La difficulté est alors de les mettre à jour et d'en assurer l'opérationnalité. Enfin, les difficultés extérieures sont plus difficiles à exprimer car elles concernent les relations avec l'autorité organisatrice (la zone de défense), ses prérogatives et son impact sur les services urbains. Les usagers, mais également l'évènement, constituent des facteurs d'incertitude difficiles à quantifier et anticiper.

Une fois les caractéristiques des difficultés identifiées, le deuxième atelier vise à discuter les différentes solutions mises en place par les gestionnaires. Les solutions peuvent être ponctuelles ou intégrées, à mettre en place proactivement ou réactivement une fois la crise annoncée. Alors, pour chaque difficulté, il est possible de synthétiser les enjeux aux différentes phases de la crise et lister les différentes solutions mises en place par les gestionnaires, ainsi que les questions de faisabilité qu'elles impliquent. En réalité, les spécificités techniques des services urbains sont telles que les solutions techniques sont difficilement transposables d'un système à l'autre. En revanche, les solutions organisationnelles sont davantage reproductibles, voire mutualisables. L'apprentissage des gestionnaires est donc plus important au niveau des mesures organisationnelles mais les échanges autour des mesures techniques permettent de mettre en avant et reconnaître les contraintes de chacun, afin d'évaluer les marges de manœuvre communes.

CONCLUSION DE LA PARTIE 2

La modélisation de l'interdépendance des services urbains parisiens est initiée par une description sectorielle du fonctionnement de chaque service. La grille d'autodiagnostic permet d'inventorier exhaustivement les ressources nécessaires au fonctionnement des services urbains puis d'en évaluer la criticité. Pour cela, le gestionnaire est amené lors d'un l'entretien à évaluer ses marges de manœuvre concernant la ressource : autonomie, palliatif, impact sur le service. Des ressources internes et des ressources externes sont requises afin d'avoir une vision complète du service, mais le gestionnaire peut garder pour lui l'inventaire des données internes. C'est pourquoi seules les données externes sont utilisées dans la construction du système de systèmes ainsi créé.

Grâce à la théorie des graphes et à une matrice d'interdépendances, les liens entre les services urbains étudiés sont représentés au sein d'un graphe. La complexité est immédiatement mise en avant, mais le graphe permet également d'identifier quelques grandes caractéristiques de résilience : l'influence et la dépendance. Les systèmes dépendant d'un grand nombre de ressources sont plus susceptibles d'être impactés par la défaillance d'un autre service. Les systèmes fournissant de nombreuses ressources aux autres services sont plus susceptibles d'entrainer la défaillance s'ils sont perturbés. À Paris, la distribution d'électricité est évidemment un service fortement influent mais il présente peu de dépendances. À l'inverse, le chauffage urbain ou le traitement des déchets sont des services fortement dépendants mais qui semblent peu influents. En effet, les autres gestionnaires n'ont généralement pas mentionné ces services ils semblent « transparents » pour eux. C'est l'un des biais de cette démarche qui s'appuie sur la connaissance partagée du gestionnaire : les services rendu par l'exploitant du réseau de chauffage urbain et le gestionnaire du traitement des déchets sont-ils réellement peu critiques pour le fonctionnement des autres systèmes en cas d'inondation ? Cette vision subjective de la criticité des services peut cependant appuyer une hiérarchie générale, valable pour tout service urbain. Les systèmes les plus influents sont au centre puis les systèmes utiles moins directement sont au deuxième cercle. Le troisième cercle regroupe les services utiles à l'organisation puis le dernier niveau rassemble les services remplissant une mission spécifiquement pour un autre service. Cette hiérarchie ne serait pas la même du point de vue des populations ou des entreprises.

Les analyses portant sur la criticité des services pour les uns et les autres appuient également l'identification de solutions. En effet, des problèmes communs à tous les gestionnaires se posent dans le cas d'une inondation de type centennale à Paris. Mais les solutions sont fortement contraintes par les caractéristiques techniques et organisationnelles de chaque service. Or, ces spécificités ne sont pas explicites dans cette analyse au niveau de granularité supérieur. Il est donc nécessaire de descendre au niveau intermédiaire afin d'analyser les stratégies mises en place par les gestionnaires pour gérer ces interdépendances. Dans cette première étape, l'inondation n'était qu'une situation de perturbation parmi d'autres ; elle a cependant l'intérêt de mobiliser les gestionnaires. Le cas de l'inondation continue à appuyer ces analyses dans la partie 3 puisqu'il donne une base commune de planification temporelle et spatiale.

PARTIE 3 :
ANALYSER LA RESILIENCE DES SERVICES URBAINS

Photo 3 : La pointe du square du Vert-Galant inondée par la Seine à 3,50 m le 29 décembre 2010

INTRODUCTION DE LA PARTIE 3

> La réalité est que l'histoire de Paris ne saurait se séparer de celle des débordements du fleuve et que l'afflux des eaux accompagne non pas seulement chaque siècle, mais presque chaque lustre de nos annales. Nos armoiries et leur devise ne sont, du reste, que la constatation symbolique, lapidaire et épigraphique, si l'on peut s'exprimer ainsi, de cet état de choses inéluctable et séculaire. Crues et inondations furent de tous les temps.
>
> (Le journal des débats, 1910)

La crue centennale de la Seine a fait l'objet de nombreuses monographies depuis 1910 et nombreux sont les travaux aujourd'hui qui retracent la situation d'alors ou tentent d'en donner un aperçu sur la ville actuelle. Cependant la possibilité d'une inondation aujourd'hui ne semble intéresser que les experts et plus rarement les populations qui ont effectivement oublié la devise[43] de la ville de Paris. Le scénario reconstruit dans cette partie s'appuie sur le comportement attendu des services urbains, analysé grâce à l'autodiagnostic de la partie 2 et à la territorialisation des impacts sur un quartier de Paris. L'impact sur la ville en est déduit dans la partie 4, mais de nombreux facteurs entrent en ligne de compte pour constituer au final un scénario difficile à anticiper aujourd'hui. En effet, les aspects individuels et culturels des gestionnaires, mais également des usagers, doivent être pris en compte car ils déterminent les capacités de résilience. Pour les usagers, l'amélioration de leur autonomie, via la sensibilisation et la participation, permet de réduire leurs attentes et donc leur acceptabilité de la perturbation (Lorenz, 2010). Pour les gestionnaires, les capacités d'improvisation et d'innovation au sein de l'organisation sont essentielles face à une situation dépassant les modèles établis (Koninckx et Teneau, 2010).

Pour faciliter la réflexion dans un premier temps, l'analyse de la résilience des services urbains parisiens est appuyée sur le scénario pris en compte par l'ensemble des gestionnaires : la crue centennale de la Seine telle que connue en 1910. Ce scénario permet la construction d'une base de données cohérente, commune à tous les systèmes, dans le chapitre 6. Les résultats cartographiques du croisement des stratégies de chaque gestionnaire sont ensuite discutés lors du troisième et dernier atelier collaboratif. Les conclusions en termes de gestion des interdépendances sont données au chapitre 7 avant un bilan de la démarche suggérant les pistes d'amélioration développées dans la dernière partie.

[43] *Fluctuat nec mergitur* : qui vogue mais ne sombre pas.

Chapitre 6 : CONSTRUCTION DU MODELE SPATIAL

Pour affiner l'analyse des interdépendances, il est nécessaire d'inclure la dimension spatiale des interdépendances des réseaux, dont la partie 2 était dépourvue afin de dépasser les difficultés de confidentialité ou de connaissance. L'étape précédente a en effet démontré les limites de l'analyse au niveau de granularité supérieur, tout en facilitant déjà la sensibilisation des gestionnaires à la problématique. Le terrain est donc préparé pour un travail plus détaillé, cartographique et dynamique, des interdépendances. Il s'appuie sur la collecte de nouvelles données géographiques plus détaillées des interdépendances, auprès des gestionnaires locaux. L'outil SIG présente alors tous les avantages de la synthèse à l'analyse et la représentation de données spatiales, nécessaires à cette deuxième étape (Figure 6-1). Il est par ailleurs largement utilisé par les gestionnaires de la ville eux-mêmes et il a montré son intérêt pour les approches collaboratives (cf. chapitre 2).

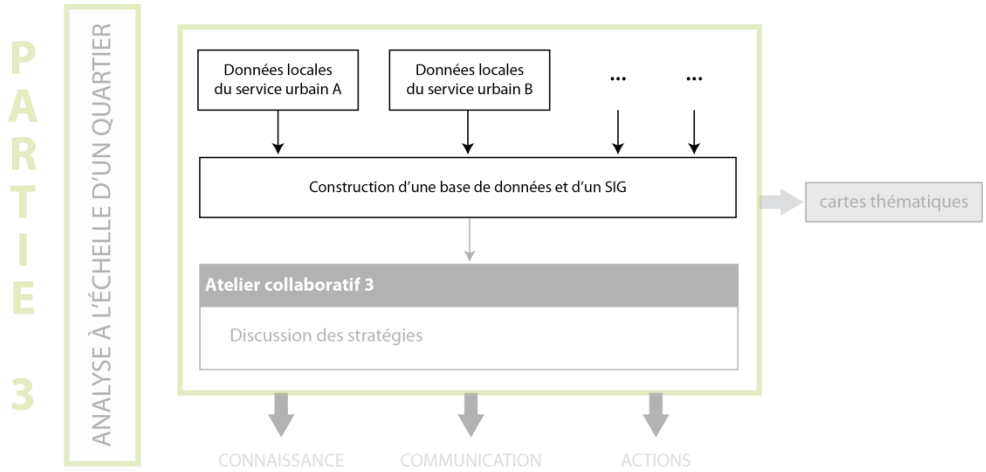


Figure 6-1 : Construction du modèle spatial pour l'évaluation de la résilience des services urbains parisiens

La structure de la base de données est conçue pour incorporer les données issues de l'étape de modélisation des interdépendances au niveau supérieur, tout en intégrant des moyens d'analyser plus finement le fonctionnement des services. Pour cela, il faut introduire une dimension temporelle continue palliant les analyses trop discontinues engendrées par la focalisation sur les scénarios R0.6, R0.8 et R1. Il est donc notamment nécessaire de reconstruire un scénario d'inondation illustrant cette dynamique puis de mettre en cohérence des données géoréférencées selon différentes échelles temporelles.

Ces données appuient ensuite une simulation d'inondation présentée aux gestionnaires lors du dernier atelier collaboratif. En particulier, la structure permet d'analyser l'évolution temporelle de l'ensemble des systèmes ou bien d'adopter un point de vue centré sur un système ou une ressource. Cela permet de faire apparaître des décalages entre les stratégies prévues et la situation simulée afin d'enrichir les discussions.

6.1. De la necessite d'inclure les dimensions spatiales et temporelles des interdependances

L'analyse au niveau de granularité supérieur des interdépendances (cf. partie 2) amène à l'identification de pistes de solutions théoriques dont l'applicabilité reste difficile à évaluer. Pour cela, il faut tenir compte des spécificités techniques des différents composants du service et donc descendre au niveau intermédiaire. Il serait également utile de prendre en compte l'évolution temporelle des interdépendances puisque les difficultés varient suivant les phases de la crise. La prise en compte des dynamiques spatiales et temporelles permet alors d'apporter des réponses adaptées aux disparités entre quartiers et populations (Frazier *et al.*, 2013).

6.1.1. Prendre en compte le contexte local

Au niveau des composants

Les solutions mises en place par le gestionnaire pour tenir compte de ses dépendances n'apparaissent pas forcément dans les portraits sectoriels au niveau supérieur et dans l'analyse des interdépendances des services urbains (cf. chapitre 4). En effet, des solutions locales peuvent améliorer l'autonomie d'un composant face à la défaillance d'une ressource, mais ne pas apparaître lors de la description globale. Ainsi, de fortes disparités dans la gestion des dépendances peuvent cohabiter au sein d'un même service, ce qui traduit la priorisation effectuée par le gestionnaire ou les contraintes liées à son infrastructure. Chaque site possède des vulnérabilités particulières qui exigent des réponses différentes et impliquent un service plus ou moins continu. Ainsi, la description globale des dépendances traduit la capacité du système, en tant qu'organisation, à fonctionner, mais pas la capacité des différents équipements à assurer leur mission. Or, les ouvrages du SIAAP, par exemple, sont particulièrement nombreux et variés : émissaires, bassins de stockage, pompes de relevage, stations d'épuration, etc. Certains sont passifs et ne nécessitent pas d'électricité pour fonctionner, d'autres disposent d'une alimentation propre, tous sont pilotés à distance mais pas forcément via la même ligne, tous sont fortement exposés à une montée de la Seine mais présentent chacun une cote de mise en sécurité qui lui est propre. Alors si l'on veut évaluer la capacité du service SIAAP à assurer sa mission de transport et de traitement des eaux usées, il faut préciser, pour chaque infrastructure, ses dépendances, les mesures prises par le gestionnaire et l'impact d'une inondation sur son fonctionnement.

La description d'un service urbain en différents composants, localisables au sein du territoire, permet de connaître, pour chaque composant, son rôle et son articulation au sein du système, puis avec les systèmes extérieurs ; c'est-à-dire évaluer sa dépendance propre vis-à-vis de ressources entrantes. Ce travail peut être réalisé selon le même principe qu'au niveau de granularité supérieur avec la grille d'autodiagnostic (cf. chapitre 4). En plus des articulations avec les systèmes extérieurs, l'importance de chaque composant dans le service rendu doit être évaluée. Cette démarche se rapproche alors des travaux relatifs aux infrastructures critiques (cf. chapitre 1). En effet, ce n'est pas parce que l'un des composants est indisponible que l'ensemble du service est impacté. Par exemple, les gestionnaires d'Eau de Paris sont capables d'évaluer en temps réel la capacité de production en fonction de la demande. Ils peuvent ainsi identifier les usines pouvant être arrêtées sans impact sur le service ou, inversement, identifier les usines à remettre en service le plus rapidement possible pour assurer la continuité et répondre aux besoins. La CPCU a réalisé le même type d'analyse pour évaluer sa capacité à distribuer de la vapeur, en fonction des usines touchées par l'inondation ou par la perte de l'approvisionnement en énergie primaire. Cela reflète la stratégie globale mise en place par le gestionnaire, pour tenir compte des possibilités de ses infrastructures et des objectifs fixés.

AU NIVEAU DES STRATEGIES GLOBALES MISES EN PLACE

La mise en place d'un plan de gestion du risque d'inondation vise à améliorer les capacités de réaction du service face à l'inondation. Certaines mesures n'apparaissent pas dans cette première analyse des interdépendances (cf. partie 2) bien qu'elles influent sur l'organisation, le fonctionnement du service et donc sur les autres systèmes dépendants. En particulier, des mesures organisationnelles tentent d'assurer la présence et les capacités d'intervention des agents nécessaires à l'exploitation, réduisant ainsi les incertitudes quant à la continuité d'activité. De la même manière, une stratégie globale de protection des infrastructures vise à empêcher tout dommage et à assurer une reprise plus rapide, ce qui impacte de fait la continuité du service (cf. chapitre 8) mais n'apparait pas nécessairement dans le portrait du fonctionnement du service. Finalement, si le gestionnaire parvient à articuler l'ensemble des mesures techniques et organisationnelles, portant à la fois sur les composants techniques et l'organisation de son service, au sein d'un plan de continuité d'activité tenant compte de toutes les interdépendances avec les systèmes extérieurs, il augmente sa capacité à fonctionner en mode dégradé ou à rétablir un fonctionnement normal plus rapide (Figure 6-2). Mais cette stratégie n'est pas sans impact sur les autres systèmes et sur la résilience du territoire.

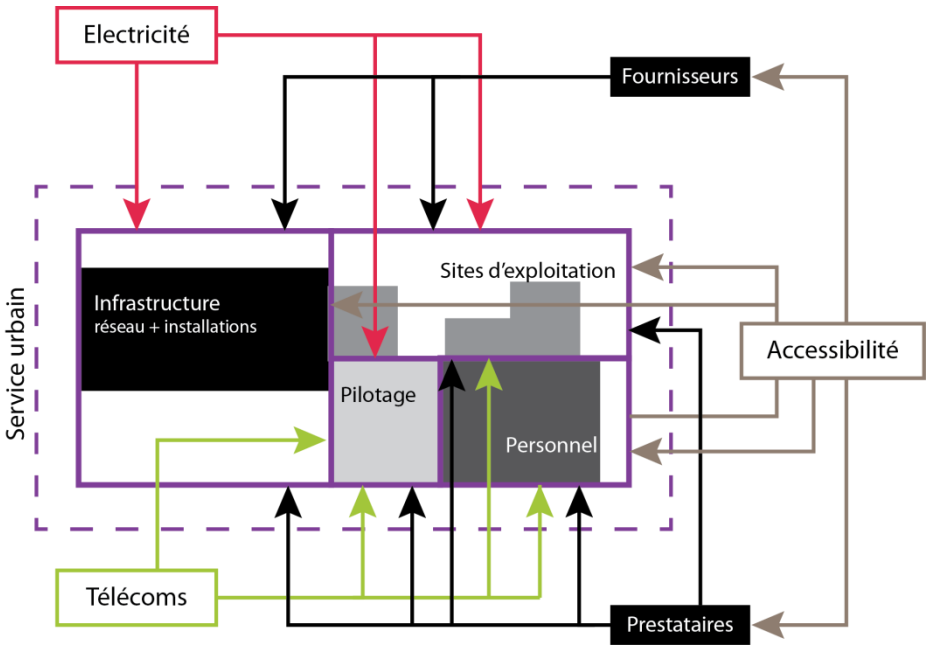


Figure 6-2 : Fonctionnement en mode dégradé d'un service urbain dépendant, ayant réalisé un plan de continuité d'activité tenant compte des interdépendances

En effet, au niveau local, les mesures mises en œuvre interagissent avec les autres composants géographiquement proches par la modification de l'environnement, notamment de l'aléa (augmentation des niveaux d'eau du fait du rejet d'eaux de pompage), ou du territoire (accessibilité limitée par la mise en place de protections locales). Les stratégies de chacun visent également à améliorer la continuité d'activité du service. Ainsi, les services dépendants sont indirectement impactés, parfois bien au-delà de la zone d'impact initial de l'aléa, par la décision d'arrêter un service fournisseur. Il s'agit donc maintenant de confronter la logique « système » illustrée par l'analyse globale des interdépendances, avec la logique « territoire » des stratégies mises en place sur le terrain. Pour cette étape, l'objectif est de rencontrer des responsables d'exploitation d'un secteur géographique plus précis à étudier. L'échelle du quartier ou du morceau de ville semble pertinente pour limiter le nombre d'informations et permettre en même temps l'identification d'articulations complexes entre réseaux et activités au sein du territoire. La première analyse au niveau de granularité supérieur a bien tenu son rôle de sensibilisation à la question des interdépendances. Elle a permis d'illustrer la complexité et les difficultés dans leur gestion, de sorte que les gestionnaires sont davantage intéressés par une analyse plus fine

permettant d'identifier les difficultés locales, malgré les réticences liées à la confidentialité. Il s'agit maintenant de dégager les spécificités locales et techniques dans l'interaction entre ville, réseaux et risques, qui induisent une résilience plus ou moins grande de la ville.

6.1.2. PRENDRE EN COMPTE LA DYNAMIQUE DES INTERACTIONS

TEMPS DE REACTION ET MARGES DE MANŒUVRE

La dimension temporelle de l'interdépendance des services urbains joue un rôle majeur dans la capacité de chaque gestionnaire à réagir et mettre en place les actions adaptées à l'urgence de la situation. La méthodologie de diagnostic offre donc la possibilité d'inclure des ordres de grandeur des capacités d'autonomie, d'inertie du système ou de remise en service (cf. chapitre 4). Il s'est avéré difficile de les renseigner lors des entretiens, bien que les gestionnaires aient très vite évoqué les difficultés liées à l'anticipation de l'arrêt de la distribution d'électricité comme facteur d'incertitude dans leur capacité à réagir face à une inondation. Ainsi, la connaissance, même approximative, de ces temps de diffusion entre chaque système perturbé pourrait permettre d'identifier les scénarios les plus critiques pour la résilience du système global. Le graphe représentatif des interdépendances permet d'identifier les nœuds les plus centraux. La formalisation, à l'aval, de l'impact sur le système privé de la ressource, du temps avant que lui-même ne défaille puis des impacts de second ordre sur les systèmes qu'il approvisionne, met en avant les chemins critiques de propagation de la perturbation. Là encore, on peut supposer que chaque composant dispose d'une marge de manœuvre intrinsèque dont la connaissance permettrait d'affiner l'analyse des interdépendances.

Dans la discussion relative aux solutions mises en place, lors du deuxième atelier, les participants ont également mentionné leur connaissance de l'éventuel conflit entre différentes mesures, mais leur connaissance n'en est pas suffisamment détaillée pour l'évaluer réellement. Il serait donc intéressant de prendre en compte la temporalité de la crise pour identifier des interdépendances induisant une difficulté pour l'un ou l'autre des systèmes impliqués, à un moment t et peut-être pas à un moment t+2. Cela permettrait de prendre en compte les variations temporelles dans la criticité des dépendances et dans la hiérarchie des services urbains (cf. chapitre 5), afin d'évaluer la compatibilité des stratégies des gestionnaires. Cette approche nécessite cependant une collecte de données importante, ainsi que la possibilité de décrire temporellement la crise. En effet, son applicabilité pourra être étudiée (cf. chapitre 9) dans le cas de risques soudains comme les séismes ou les attaques terroristes, qui prennent tous les acteurs au dépourvu et impulsent la réaction simultanée de tous les acteurs, avec ou sans coordination. Cette deuxième vision spatiale et temporelle complète néanmoins la démarche relativement descriptive, globale et statique obtenue dans la première étape. Elle devrait permettre d'identifier précisément les points et les temps de blocage dans la préparation puis la gestion de la crise, afin d'aider les gestionnaires à identifier les actions précises à mettre en place.

IMPRECISION DU SCENARIO ACTUEL

Cependant, les scénarios utilisés pour la gestion du risque d'inondation à Paris ne facilitent pas cette vision dynamique du risque. Si le profil de crue (celle de 1910) est connu (cf. chapitre 3), les cartes disponibles se contentent d'une cartographie à des niveaux donnés : le PPRI donne un niveau fondé sur les PHEC (1910) et la DRIEE met à disposition les cartes aux niveaux R0.6, R0.8, R1 et R1.15 sur lesquelles se base le dispositif ORSEC. Ainsi, la plupart des gestionnaires se sont appuyés sur ces niveaux pour évaluer l'impact sur leur réseau, sans prendre en compte de temporalité plus fine. Il faut signaler que le délai de passage d'un débit à un autre n'est pas précisément connu, mais les gestionnaires utilisent souvent comme approximation une augmentation de 50 cm chaque 24 h. Le profil mesuré en 1910 montre que R0.6 a été atteint le 23 janvier, R0.8 le 25 et R1 le 27 janvier, ce qui donne un pas de temps d'environ deux jours avec les scénarios généralement utilisés (Figure 6-3).

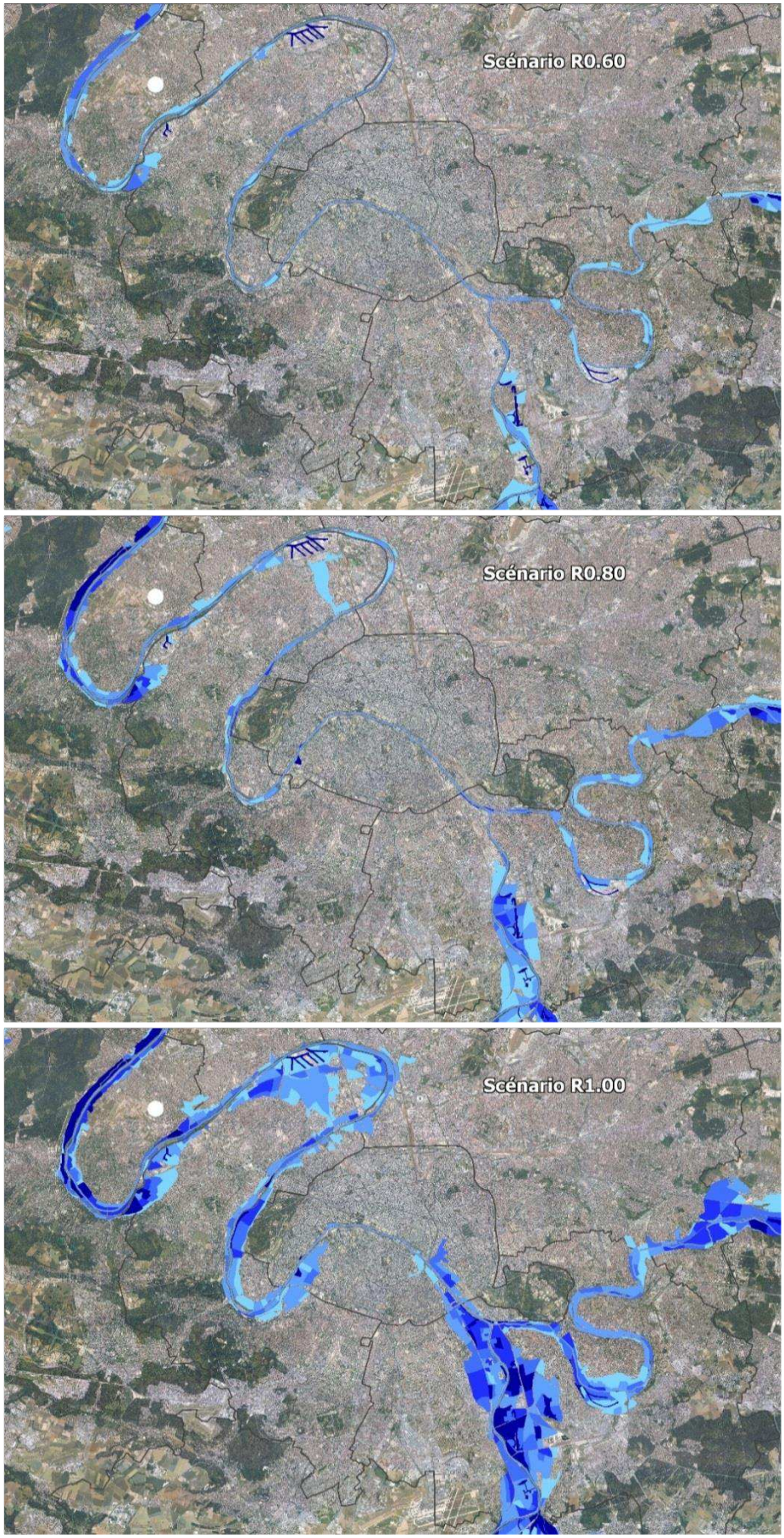


Figure 6-3 : Effets de seuil dans l'expansion de la crue, notamment entre R0.8 et R1 (source : DRIEE)

Ainsi, concrètement, chaque gestionnaire a évalué le niveau de fonctionnement de son service à chacun de ces pas de temps. Pour la plupart des services, les impacts apparaissent subitement à R0.8, voire à R1, sans qu'une évolution de la situation n'ait été indiquée. Comment les gestionnaires dépendants pourraient-ils se préparer convenablement, sans connaissance de la dynamique de la situation ? Il est possible que certains systèmes fassent face à des effets de seuils à partir desquels une grande portion du service est touchée (ce qu'il faudra identifier). Il faut alors déterminer précisément ce seuil, en fonction du niveau de la Seine si possible, afin que la prévision des niveaux par le SPC permette aux gestionnaires d'anticiper la défaillance. Certains services ont effectivement planifié leurs actions en fonction du niveau mesuré ou prévu de la Seine ; il serait donc intéressant de reconstruire un scénario plus précis, en particulier des enveloppes de crue plus progressives, afin d'affiner le pas de temps d'analyse.

Il faut mentionner ici que la même analyse pourrait être réalisée dans le sens de la décrue avec un retrait plus long des eaux, puis la prise en compte des délais de rétablissement, afin d'identifier les points bloquants et les actions prioritaires. Cette question majeure reste peu prise en compte par les gestionnaires bien que cette phase soit pour la plupart la plus critique (repose des équipements, évacuation des déchets, redémarrage des usines, etc.). Ces questions n'ont pas été abordées dans ce travail de recherche mais elles mériteraient un travail au moins aussi poussé pour contribuer à la résilience de la ville.

6.1.3. Un SIG d'analyse des interdependances au niveau intermediaire

Type d'analyse choisie

Si l'intérêt de la spatialisation est reconnu dans l'étude des interdépendances des réseaux, elle pose des questions de confidentialité difficiles à résoudre. Pour y répondre, le Centre risque et performance propose une cartographie souple (ou floue) appuyée sur le découpage du territoire en secteurs (Robert et Morabito, 2009). Cette approche permet d'éviter la localisation précise des infrastructures, tout en permettant l'analyse des interdépendances fonctionnelles. Les interdépendances géographiques peuvent également être étudiées mais elles sont limitées aux « comportement non maîtrisé d'une ressource matérielle d'un RSV[44] [pouvant] engendrer des dommages, dans une zone d'impact, sur des équipements susceptibles d'entraîner des conséquences pour un autre RSV » (Lefébure, 2010). Or, le travail collaboratif a mis en avant la possible incompatibilité entre les actions des gestionnaires, du fait d'interdépendances géographiques (cf. 6.1.1). Ces interdépendances sont alors davantage organisationnelles (autorisation d'accès à une infrastructure ou une zone, modification de l'espace public par des ouvrages de protection notamment), mais elles sont bien générées par une proximité géographique des réseaux. Alors la cartographie souple ne permet pas de les identifier, ni de les résoudre.

Dans la démarche présentée ici, les premiers entretiens ont confirmé qu'il était difficile d'accéder aux données géoréférencées d'un gestionnaire de service urbain, notamment à l'ensemble de la structure du réseau. Cependant l'analyse spatialisée des interdépendances est importante pour la résilience de la ville. C'est pourquoi le travail réalisé dans la deuxième étape ne porte pas sur l'ensemble du linéaire de réseau mais sur les points importants (ou infrastructures critiques) du réseau (équipements de production ou exutoires, nœuds majeurs) et éventuellement quelques lignes majeures (canalisations de transport, traversées de Seine ou interconnexions). Ces données ne permettent donc pas de modéliser la propagation des défaillances au sein d'un réseau, mais il est admis que le gestionnaire la connait (dans le cas parisien). C'est donc la connaissance du gestionnaire qui permet de cartographier les zones de fragilité de son service. La connaissance des dépendances en chaque point, issue du diagnostic (cf. partie 2), permet ensuite d'identifier les composants affectés par la défaillance d'une ressource. L'automatisation de l'analyse des interdépendances au sein d'un SIG est possible mais nécessite de nombreuses données et des modules d'analyse poussés (Figure 6-4).

[44] réseau de support à la vie

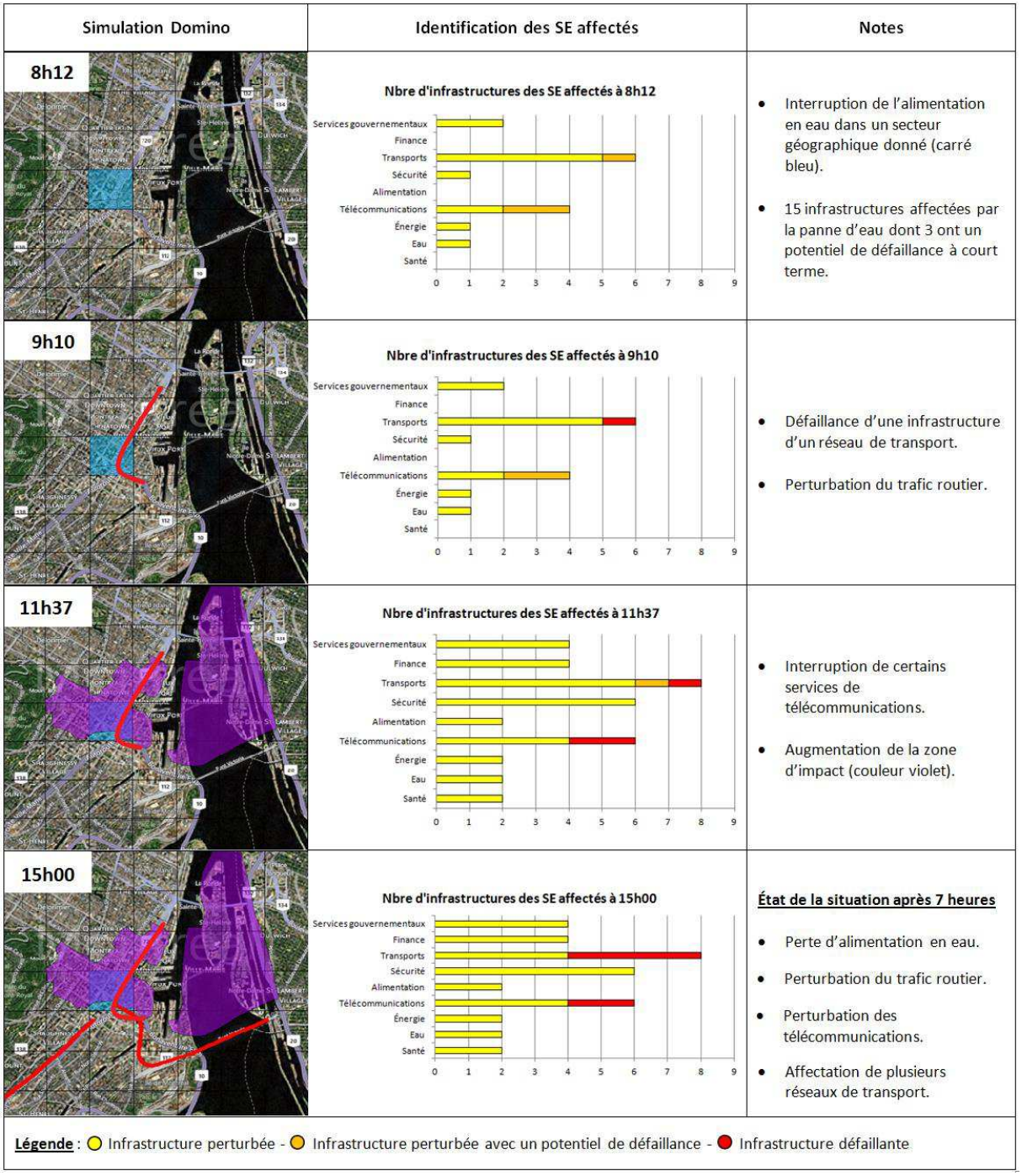


Figure 6-4 : DOMINO, prototype d'outil de modélisation et de cartographie (SE signifie service essentiel) (source : CRP de Montréal[45])

Les premiers résultats issus de la méthodologie proposée ici, moins complète et automatisée, mais plus précise spatialement, appuient les échanges entre les gestionnaires. Cette approche semble plus propice à l'identification de solutions qu'une modélisation nécessairement contestable ou incomplète. En effet, c'est l'itération de la boucle d'analyse entre besoins des composants et défaillance des services qui permet d'identifier des décalages entre les besoins identifiés et les services réellement fournis (Figure 6-5).

[45] http://www.polymtl.ca/crp/recherche/outil.php

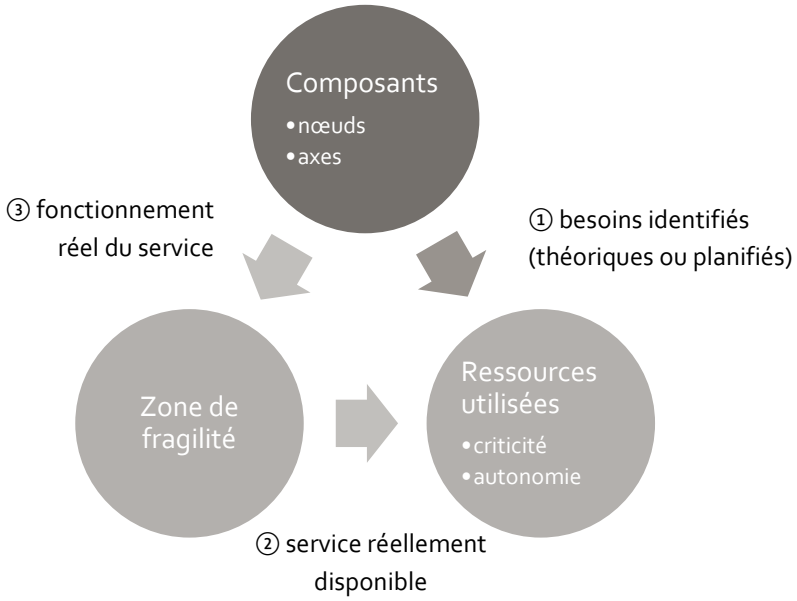


Figure 6-5 : Boucle d'analyse du fonctionnement des services urbains

Ce principe oriente la conception de la base de données[46] qui organise les informations collectées concernant les interdépendances (cf. 6.2). Par ailleurs, ces résultats permettent ensuite de représenter les impacts sur le territoire et d'en analyser la résilience, ce qui avait été identifié comme amélioration possible lors de la construction de l'outil du CRP (Pellet, 2009). Pour cette évaluation, l'importance de la dimension temporelle a déjà été mise en avant (cf. 6.1.2). Les grandeurs à suivre sont :

- l'aléa : extension de la zone inondable ;
- la criticité des interdépendances : variable qualitative attribuée à un composant ;
- les zones de fragilité : apparition et extension de portions de territoire sur lesquelles le service est dégradé.

Si les outils SIG n'ont pas été conçus pour intégrer la dimension temporelle, de nombreuses recherches portent sur l'intégration de cette problématique. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées (Bordin, 2006), mais ce travail cartographique se limite à l'intégration d'une donnée de temps dans les attributs des objets considérés, comme le fait l'outil DOMINO du CRP. En effet, concernant les interdépendances, les grandeurs temporelles collectées à l'aide de l'autodiagnostic sont aisément incorporées dans une table décrivant le composant et ses besoins (cf. 6.2.2). Concernant l'évolution d'objets surfaciques (zones de fragilité et d'aléa), l'objectif est de présenter une vision discrète plus fine que celle utilisée actuellement (cf. 6.1.2). Cette représentation appuie alors le travail collaboratif et n'a pas vocation à être analysée directement en termes d'évolution (en réalité on cherchera plutôt à évaluer l'évolution des impacts sur les populations). L'analyse temporelle discrète des phénomènes observés dans le cas de l'inondation de Paris devrait donc être satisfaisante dans un premier temps. Cependant, il serait possible d'envisager l'utilisation d'outils de modélisation dynamique plus poussés, notamment à des fins de communication.

Finalement, l'outil utilisé pour affiner l'analyse des interdépendances des services urbains est un SIG dans lequel est incluse une dimension temporelle. Les repères de temps (dates ou durées) sont incorporés dans les attributs caractérisant les objets recensés dans la base de données. Alors l'outil SIG permet de représenter les

[46] Une base de données permet de stocker et structurer des informations puis d'en extraire certaines parties à l'aide de requêtes. Les données peuvent notamment comporter une information géographique et ainsi être représentées à l'aide d'un SIG.

données géoréférencées (une table listant des objets correspondant à une couche) puis d'effectuer des analyses spatiales, y compris en y intégrant la dimension temporelle.

TERRITOIRE ETUDIE

Les services urbains étudiés sont nombreux à Paris et l'information déjà collectée au niveau de granularité supérieur (cf. partie 2) est importante. Ainsi, étant donné la précision d'analyse recherchée maintenant, il semble plus pertinent de limiter cette deuxième étape à un territoire restreint. Travailler à l'échelle de la ville de Paris, qui correspond au plus petit périmètre commun de l'ensemble des services urbains étudiés, semble déjà difficile étant donnée la densité des réseaux sur le territoire (cf. chapitre 3). Aussi, il est préférable de limiter l'analyse à une portion de la ville seulement, afin d'éviter également au gestionnaire de dévoiler l'ensemble de la structure de son réseau. Le choix du périmètre étudié tient tout d'abord à son intérêt pour la problématique du risque d'inondation. Ainsi, les arrondissements parisiens les plus touchés sont le Sud-Est (12^{e} et 13^{e}) et le Sud-Ouest (15^{e}) (cf. chapitre 3). Par ailleurs, les enjeux particuliers sont nombreux dans ces deux zones : hôpital européen Georges Pompidou, futur Ministère de la Défense, lieux touristiques, dalle de Beaugrenelle, nouveau quartier d'Issy-les-Moulineaux et usine de traitement des déchets Isséane dans le Sud-Ouest parisien ; hôpital de la Pitié Salpêtrière, Bibliothèque nationale, gares de Lyon et de Bercy, ZAC Paris-Rive Gauche, usine de traitement des déchets Ivry-Paris XIII dans le Sud-Est parisien par exemple. Cette dernière zone a également l'intérêt d'être approvisionnée par un réseau de froid Climespace, ce qui n'est pas encore le cas côté Ouest. De plus, la ZAC Paris-Rive Gauche accueille plusieurs directions des services de la Ville de Paris, le campus de l'université Paris-Diderot, ainsi que de nombreux sièges d'activités fortement liées à la ville et aux services urbains : Caisse des Dépôts, RFF, et diverses banques, entreprises, etc. Du point de vue des services urbains, le 12^{e} est également un arrondissement pilote pour le plan de continuité d'activité des services de propreté. La section territoriale de voirie correspond par ailleurs au périmètre conjoint 12^{e}-13^{e} ce qui permet une vision cohérente d'un territoire de part et d'autre de la Seine et semble intéressant pour étudier les possibilités de déplacement en cas de fermeture des ponts.

Le choix s'est donc porté sur le territoire 12^{e}-13^{e} auquel sont ajoutées les communes de Charenton et d'Ivry (Figure 6-6), limitrophes de Paris en bord de Seine. Ivry présente notamment l'intérêt d'avoir un niveau de protection inférieur à celui de Paris puisque la crue de référence est celle de 1955, soit plus d'un mètre plus bas que 1910. Ainsi, si Paris parvient à se protéger jusqu'au niveau de 1910, les eaux pourront pénétrer par Ivry, dans le 13^{e} arrondissement. Il est donc intéressant d'étudier une zone présentant des niveaux de référence hétérogènes, des enjeux particuliers et des contraintes fortes, afin d'analyser comment ces éléments interagissent et influent sur la résilience du territoire.

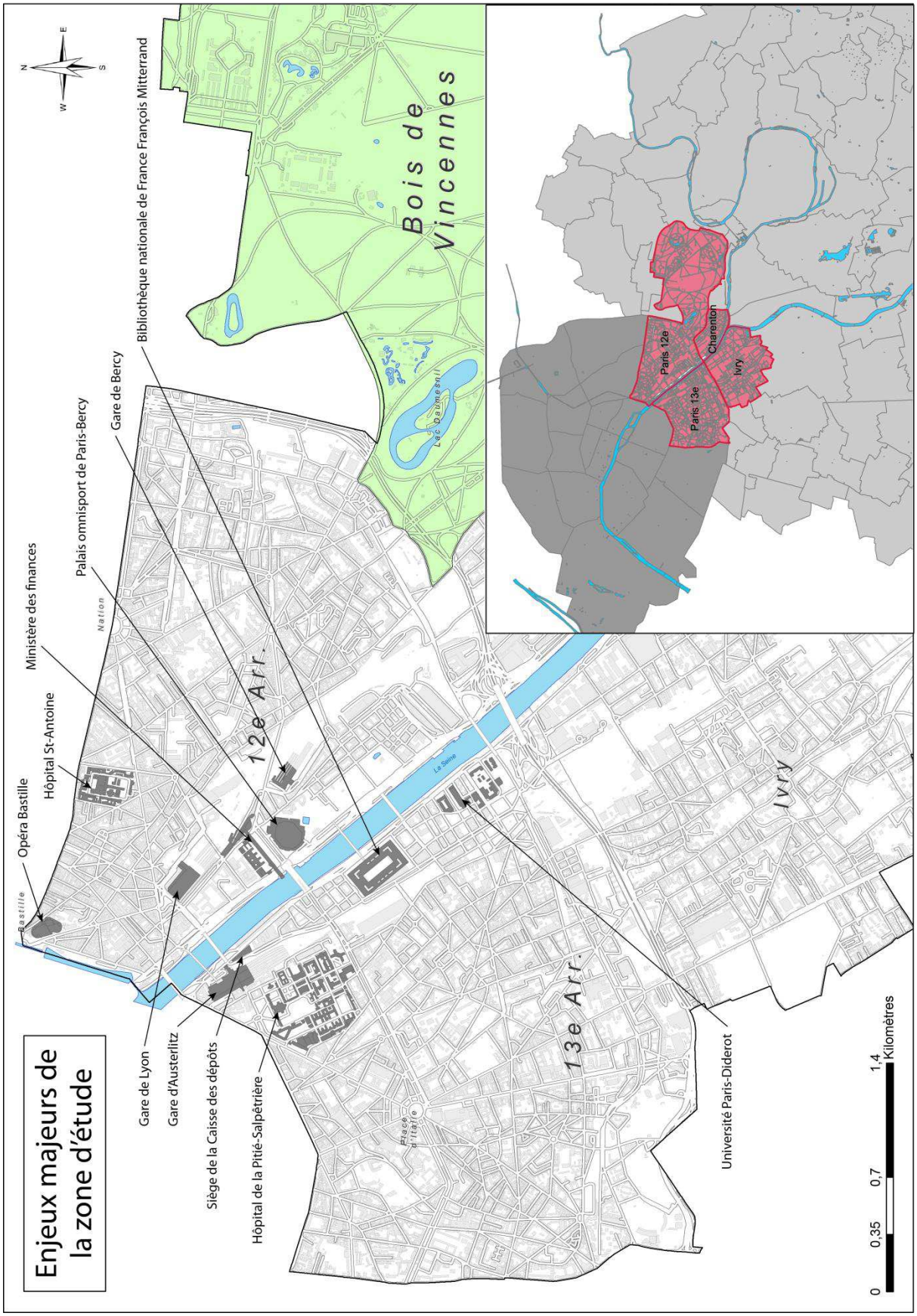


Figure 6-6 : Localisation de la zone d'étude et de quelques enjeux majeurs identifiés

Synthèse

L'identification des solutions montre bien le besoin de spécifier quels sont les composants du réseau concernés par telle ou telle mesure car les conséquences ne sont pas les mêmes sur le fonctionnement du service. De plus, les solutions isolées ne suffisent pas à appréhender la capacité globale du service à fonctionner ; il faut pour cela identifier l'ensemble de la stratégie mise en place. En particulier, les actions à réaliser dépendent du moment de la crise et influent sur le degré de fonctionnement du système. Ainsi, la dimension temporelle est essentielle pour identifier les marges de manœuvre des gestionnaires, les périodes de perturbation et vérifier la compatibilité des différentes stratégies. Il faut donc pour cela aller au-delà du modèle généralement utilisé par les acteurs de la gestion des risques qui propose une vision trop discontinue et imprécise de l'inondation à Paris. Le recours au SIG facilite l'analyse spatiale mais il permet également d'inclure la dimension temporelle qui manque actuellement dans la gestion des interdépendances. Au contraire de l'approche du CRP, le modèle développé s'appuie sur les données géoréférencées des gestionnaires mais dont le nombre est limité. L'objectif est de fournir des supports au travail collaboratif. Pour cela, l'analyse est limitée à un territoire restreint de la région parisienne : 12^{e} et 13^{e} arrondissements, Ivry, Charenton. Ce périmètre illustre l'exposition d'enjeux divers à des niveaux de référence de crue hétérogènes, dans un territoire pourtant relativement homogène.

6.2. COLLECTE ET CONSTRUCTION DES DONNEES

Pour constituer le matériau d'analyse, une deuxième série d'entretiens est menée avec les gestionnaires des services étudiés, entre mai et septembre 2012. Les rencontres ont parfois eu lieu avec les mêmes référent crue qu'à la première étape, parfois avec des exploitants locaux, directement en prise avec la gestion quotidienne des réseaux étudiés. Les données hétérogènes collectées ont été formalisées pour permettre l'implémentation sous SIG par le biais d'une base de données, dont la structure est présentée ci-dessous.

6.2.1. ENTITES IDENTIFIEES

COMPOSANTS CRITIQUES DU RESEAU

Lors des entretiens, le gestionnaire localise les composants majeurs de son service sur une carte de la zone étudiée. Il peut s'agir d'éléments ponctuels (site d'exploitation, équipement particulier, site de production) ou plus rarement d'éléments linéaires (conduites principales, tronçons particuliers : traversées de Seine par exemple). Le niveau de description est intermédiaire mais non exhaustif (voir annexe 1) ; l'inventaire peut donc être complété par la suite pour affiner la description des services (Tableau 6-1 et Figure 6-7).

Tableau 6-1 : Objets répertoriés par système (certains sont situés en dehors de la zone d'étude)

Système	Code	Objet	Rôle
ERDF	1	Direction	Pilotage du service régional et décision
GRDF	2	Direction	Pilotage du service régional et décision
	3	Site d'exploitation	Accueil des équipes d'intervention
CPCU	4	Site d'exploitation	Accueil des équipes d'intervention
	5	Centre de pilotage	Pilotage du service
	6	Chaufferie	Production de chaleur
Climespace	7	Direction	Pilotage, décision et accueil des équipes d'intervention
	8	Centrale	Production de froid
Eau de Paris	9	Vanne	Régulation des flux
	10	Vanne	Régulation des flux
	11	Vanne	Régulation des flux
	12	Site d'exploitation Sud	Accueil des équipes d'intervention
	13	Site d'exploitation Est	Accueil des équipes d'intervention
	14	Direction	Décision
	15	Centre de contrôle	Pilotage du service
SAP	16	Usine de relevage et de crue (Austerlitz)	Régulation des flux
	17	Usine de relevage et de crue (Tolbiac)	Régulation des flux
	18	Usine de pompage et de crue (Chamonard)	Régulation des flux
	19	Usine de pompage et de crue (Watt)	Régulation des flux
	20	Usine de relèvement et de crue (Mazas)	Régulation des flux
	21	Direction	Décision
	22	Centre de pilotage	Pilotage du service
	23	Site d'exploitation	Accueil des équipes d'intervention
	24	Centre de pilotage de secours	Pilotage du service
SIAAP	25	Site d'exploitation	Accueil des équipes d'intervention
	26	Centre de pilotage	Pilotage du service régional et décision
	27	Usine prétraitement Charenton	Traitement des eaux usées
	28	TIMA	Stockage des eaux usées
	29	Bassin stockage Proudhon	Stockage des eaux usées
	30	Bassin stockage Cormailles	Stockage des eaux usées
	31	Usine refoulement Cormailles	Régulation des flux
Propreté	32	Atelier 12/3	Accueil des agents
	33	Magasin	Stockage de matériel
	34	Atelier 12/6	Accueil des agents
	35	Atelier 12/4	Accueil des agents
	36	Division 12	Organisation du service
	37	Atelier 12/1	Accueil des agents

	38	Atelier 12/2	Accueil des agents
	39	Ateliers 12/5	Accueil des agents
	40	Ateliers 12/7	Accueil des agents
	41	Ateliers 12/8	Accueil des agents
	42	Resserre à outils place Félix Éboué	Stockage de matériel
	43	Point Relais Mobile place Mazas	Accueil et stockage de déchets
	44	Marche Saint-Eloi	Repli pour stockage de déchets
	45	Déchèterie bld Carnot	Accueil et stockage de déchets
	46	Division 13	Organisation du service
	47	Atelier 13T1	Accueil des agents
	48	Atelier 13T2	Accueil des agents
	49	Direction DPE	Décision
	50	Atelier 13T3	Accueil des agents
	51	Atelier 13T4	Accueil des agents
	52	Atelier 13T5-6	Accueil des agents
	53	Atelier 13F1	Accueil des agents
	54	Atelier 13^{E}1-2	Accueil des agents
	55	Atelier 13F2	Accueil des agents
	56	Espace propreté bld Vincent Auriol	Accueil et stockage de déchets
	57	Resserre à outils bld Vincent Auriol	Stockage de matériel
	58	Resserre à outils bld de l'Hôpital	Stockage de matériel
	59	Resserre à outils bld Auguste Blanqui	Stockage de matériel
	60	Déchèterie rue Jacques Destrée	Accueil et stockage de déchets
	61	Garage SMM	Stockage et entretien des véhicules
	62	Hippodrome de Vincennes	Repli pour véhicules
SYCTOM	63	Direction	Décision
	64	Usine de traitement IP13	Traitement des déchets
PC Lutèce	65	PC de régulation	Pilotage du service
Voirie	66	Direction	Décision
	67	STV8	Organisation du service
	68	Site d'exploitation	Accueil des équipes d'intervention
	69	PC Berlier	Pilotage du service
	70	Stock batardeaux 12^{e}	Stockage de matériel
	71	Stock batardeaux 13^{e}	Stockage de matériel
EVESA	72	Site d'exploitation	Accueil des équipes d'intervention
	73	Direction	Décision
Fonctionnelle	74	UVH	Production et stockage de sel
RATP métro	75	Maison de la RATP	Pilotage du service régional et décision
	76	Plateforme logistique	Stockage de matériel
	78	Plateforme logistique	Stockage de matériel
Orange fixe	79	NRA Masséna	Acheminement des télécommunications
	80	NRA Diderot	Acheminement des télécommunications
	81	NRA Ivry	Acheminement des télécommunications

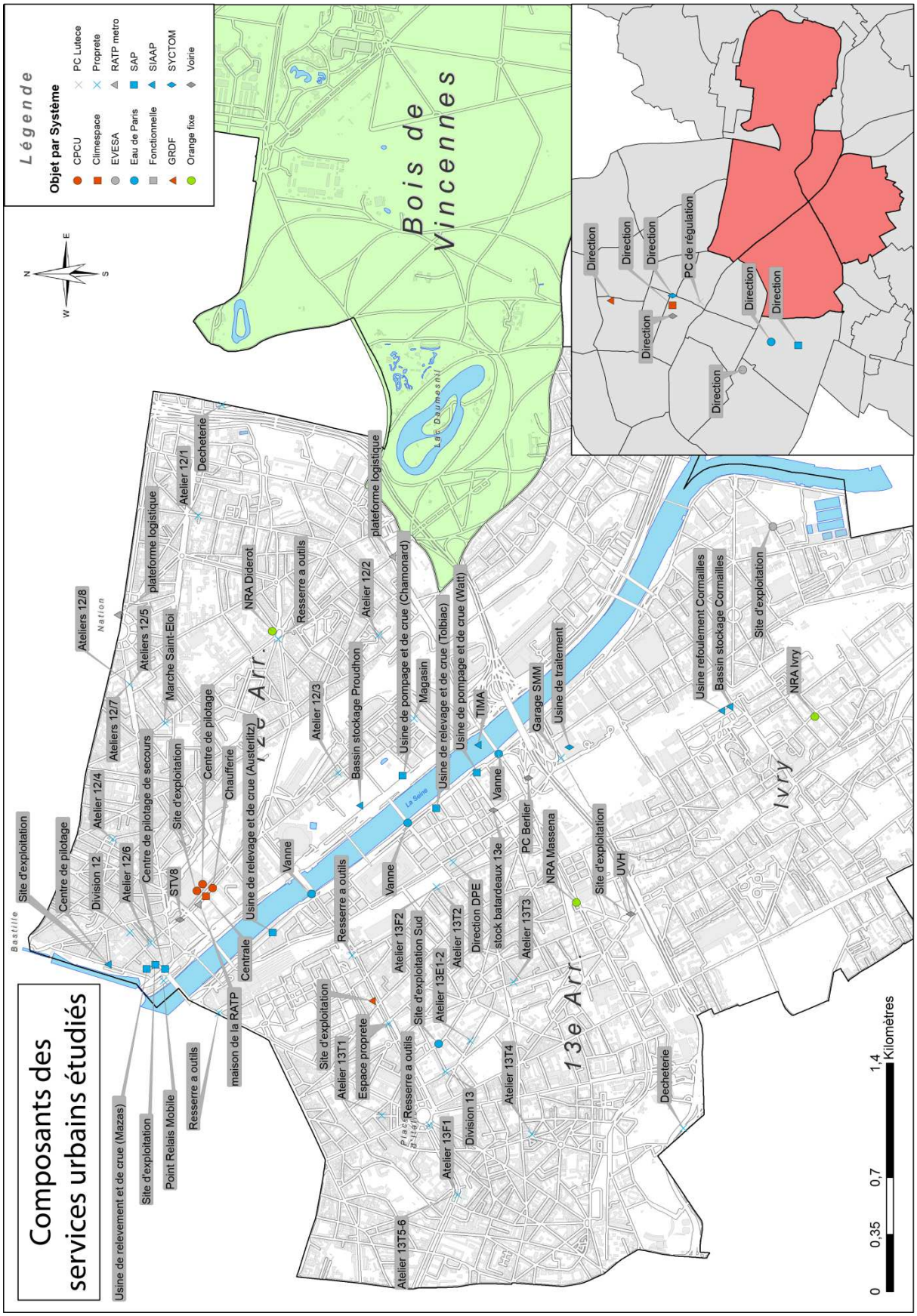


Figure 6-7 : Localisation des objets étudiés dans la zone d'étude et autres objets en interaction hors de la zone d'étude

ZONES DE FRAGILITE

Le fonctionnement interne des services n'est pas pris en compte dans l'analyse au niveau global (cf. chapitre 4). La méthodologie ne permet donc pas d'évaluer les impacts subis par les services urbains. Il est uniquement possible d'identifier les fonctionnements dégradés au niveau des composants, grâce au diagnostic des dépendances. Le gestionnaire est cependant capable d'en déduire ensuite l'impact sur l'ensemble de son service. Ainsi, les connaissances des gestionnaires sont utilisées pour cartographier les zones de fragilité (Tableau 6-2). Cette étape est possible dans ce cas d'étude car les gestionnaires parisiens ont déjà beaucoup travaillé à la préparation de leur service à l'inondation. Ils ont identifié les zones de fragilité de leur service qui servent donc d'information de base pour discuter les effets de la défaillance d'un service sur les autres services.

Tableau 6-2 : Hypothèses prises en compte pour la représentation des impacts subis par chaque service

Service	Hypothèses
ERDF	Les cartes de fragilité ne sont pas publiques ; la zone d'impact est représentée par une zone tampon de 100 m autour de la zone inondable. Cette hypothèse n'est pas irréaliste car, dans tous les cas, l'électricité ne sera pas maintenue dans les zones inondées, par sécurité pour les personnes. Cette hypothèse ne tient cependant pas compte de la structure complexe du réseau électrique qui peut induire des perturbations bien au-delà de 100 m autour d'un poste inondé ou, à l'inverse, permettre la desserte de certaines zones proches de l'inondation, grâce à la réalimentation d'un poste non inondé mais isolé du réseau.
GRDF	Les zones de fragilité à R0.6, R0.8, R1 et R1.15 ont été transmises par GRDF.
CPCU	Le plan et les impacts qui en découlent a été expliqué par la CPCU mais la CPCU souhaite que ces informations restent confidentielles.
Climespace	Le plan et les impacts qui en découlent a été expliqué par Climespace : le service est assuré si l'électricité est maintenue au niveau de la centrale Bercy.
Eau de Paris	Le gestionnaire assure qu'il n'y aura pas d'impact sur l'approvisionnement en eau, sauf pour les bâtiments de hauteur supérieure à 20 m, privés d'électricité.
SAP	Le cahier de consignes a été transmis par la SAP : des rejets en Seine sont possibles ainsi que des débordements non identifiés.
SIAAP	Le plan et les impacts qui en découlent a été expliqué par le SIAAP : rejets possibles en Seine.
Propreté	Le plan de continuité de la division du 12^{e} a été transmis : maintien du service dans les zones non inondées.
SYCTOM	Le plan et les impacts qui en découlent a été expliqué par le gestionnaire de l'usine IP13 : arrêt de l'unité à partir de R0.6.
Voirie	Le plan des fermetures de voies de la préfecture de police a été transmis par la direction de la voirie et des déplacements. Les cahiers de consignes d'EVESA et de la section territoriale de voirie 8 (montage de batardeaux) ont été transmis.
RATP	Le PCA de la RATP a été transmis : protection et fermeture progressive des stations.
Orange	La zone de fragilité a été transmise par Orange, à laquelle est ajouté l'arrêt du nœud de raccordement abonné d'Ivry à R1, comme indiqué par le gestionnaire.

Il est cependant important d'envisager des incertitudes ou des erreurs sur ces zones de fragilité, afin d'analyser d'autres perturbations. Par ailleurs, dans l'optique de généraliser la méthodologie, la méthode doit être adaptée à une collectivité dont les gestionnaires ne connaitraient pas les possibles défaillances de leur service en cas de perturbation (cf. chapitre 9).

6.2.2. REPRESENTATION DES DEPENDANCES

SIMPLIFICATIONS EFFECTUEES

Pour affiner la première analyse (cf. partie 2), les dépendances au niveau intermédiaire des composants majeurs du service urbain (listés au 6.2.1) sont identifiées. Cette analyse prend appui sur le diagnostic effectué au niveau supérieur[47] ou sur les entretiens complémentaires avec le gestionnaire à propos des dépendances spécifiques à ces composants. La première étape (cf. chapitre 5) a montré qu'il est intéressant de prendre en compte les variations temporelles dans la dépendance à une ressource : avant, pendant ou après la crise. Comme le rétablissement n'est pas encore réellement abordé par les gestionnaires et pose des difficultés supplémentaires, l'analyse se limite aux phases de fonctionnement normal, d'action et de fonctionnement dégradé (Figure 6-8).

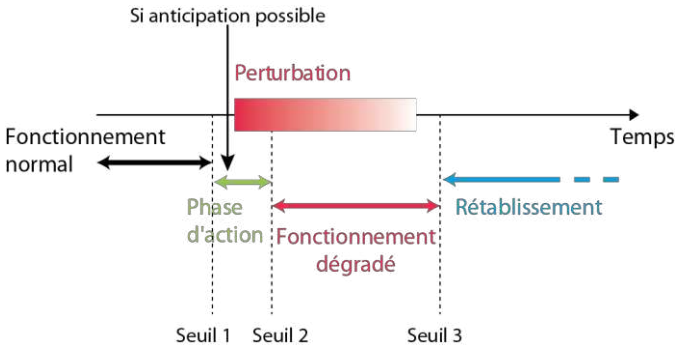


Figure 6-8 : Phases de la crise et seuils temporels

La dépendance d'un composant vis-à-vis d'une ressource est représentée sous la forme d'un profil, défini par trois valeurs de criticité (toujours suivant le code utilisé dans le diagnostic de la partie 2) et deux valeurs de seuil délimitant la phase d'action, puisqu'elle peut varier suivant les ressources et suivant les systèmes. La complexification de cette représentation des dépendances est réduite par la limitation aux principales ressources utilisées par les services urbains, sans tenir compte de fournisseurs éventuellement différents, ni des particularités de chaque système. Ainsi, dix ressources extérieures, ainsi que la ressource en personnel sont considérées (Tableau 6-3). Pour précision, la ressource « telecoms » rassemble l'ensemble des moyens autres que mobile, fixe et internet, à savoir les réseaux de fibre, la radio, la téléphonie par satellite. La ressource personnel correspond à un effectif lorsqu'il est connu (une criticité sinon) et n'est donc pas « normalisée » de 1 à 4 comme les autres criticités.

[47] Si les précisions n'apparaissent pas dans le tableau de diagnostic qui se veut très global, de nombreuses informations complémentaires ont déjà été données par le gestionnaire et consignées dans les comptes-rendus d'entretien.

Tableau 6-3 : Liste des ressources prises en compte pour la modélisation des dépendances

Code	Ressource
1	electricite
2	gaz
3	climatisation
4	carburants
5	eau potable
6	assainissement
7	fixe
8	mobile
9	internet
10	telecoms
11	personnel

REPRESENTATION ET ANALYSES POSSIBLES

La question est maintenant de savoir si la dépendance est caractérisée « dans l'absolu » ou si elle tient compte des solutions déjà mises en place par le gestionnaire. Par exemple, si un gestionnaire a identifié que l'un de ses sites d'exploitation sera privé d'électricité à partir d'un certain niveau d'évènement, il peut avoir prévu de positionner un groupe électrogène. Dans ce cas, le besoin est toujours représenté, mais il n'est plus assuré par le même fournisseur. Ou alors le gestionnaire peut avoir décidé de délocaliser son site, auquel cas son besoin en électricité devient négligeable. Cela évite donc de mettre en avant un décalage entre besoin et ressource disponible qui ne pose pas de difficulté puisque le gestionnaire l'a anticipé (Figure 6-9).

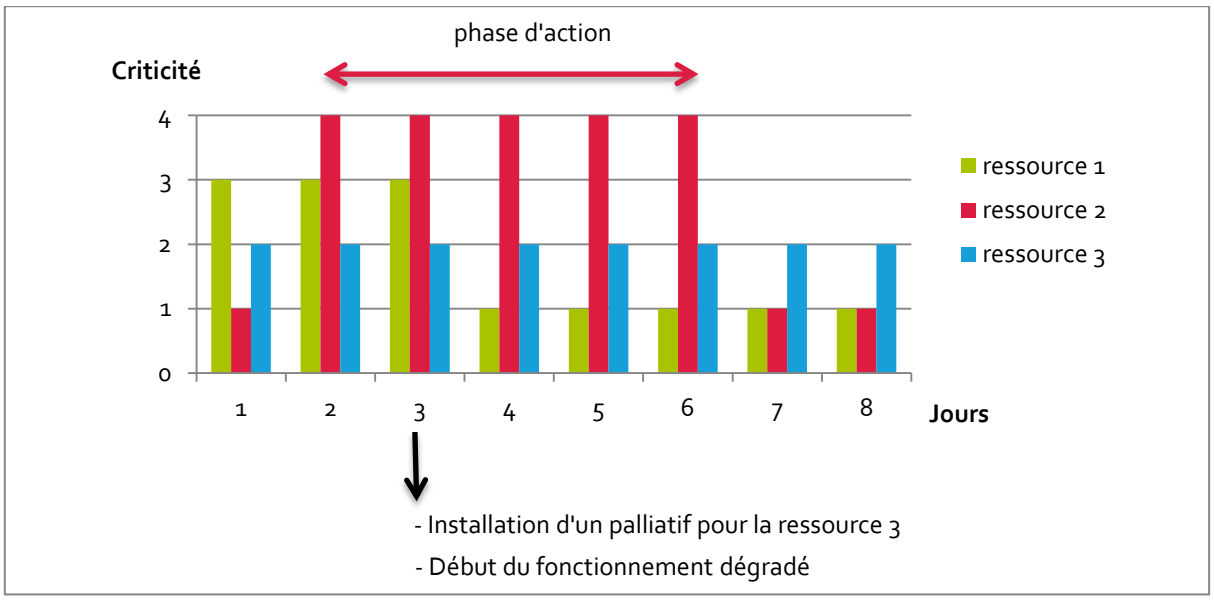


Figure 6-9 : Différents profils d'un système dépendant : la ressource 2 devient indispensable durant la phase d'action, la ressource 1 devient négligeable durant le fonctionnement dégradé, la ressource 3 est remplacée par un palliatif, ce qui semble transparent dans le profil

Lorsque la stratégie du gestionnaire est connue, sa dépendance est représentée en tenant compte de ses actions. Toutefois, certaines actions n'ont pas été indiquées et les profils peuvent présenter des décalages avec ce que le gestionnaire a prévu, ce n'en sera que plus riche de discussion lors des ateliers collaboratifs. De

même, les hypothèses et les simplifications effectuées sont contestables et pourraient être améliorées avec le gestionnaire pour être plus réalistes, mais elles fournissent une base de discussion déjà précieuse. Sur le principe de la représentation précédente, les dépendances des composants peuvent être implémentées dans le SIG et représentées sur les cartes produites. Une fonctionnalité du logiciel permet de représenter un jeu de valeurs en histogramme. Alors la représentation peut se faire à un instant t avec plusieurs dépendances, ou au contraire représenter la variation temporelle d'une même ressource (Figure 6-10).

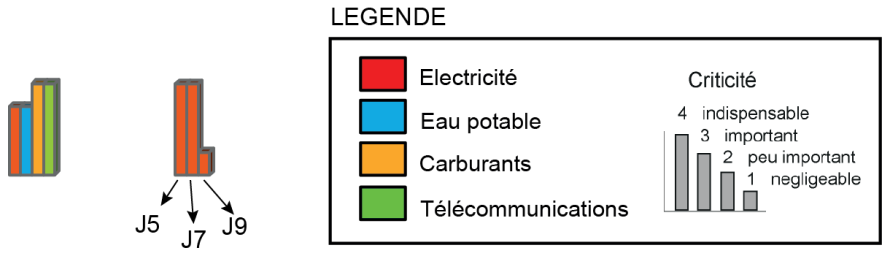


Figure 6-10 : Exemples de représentation en histogramme, à gauche par ressource, à droite par jour

L'un des intérêts majeurs de la structure de données choisie est illustré ici : la possibilité d'analyser les dépendances par système ou par jour.

6.2.3. Synthese des actions

References utilisees

La majorité des gestionnaires s'appuie sur le scénario mesuré lors de l'inondation de 1910 pour planifier leurs actions et identifier les impacts sur leur service. Cependant, de nombreuses manières de se référer à la crue existent et rendent difficile la communication entre acteurs (Figure 6-11). Ainsi par exemple, les services de la Ville de Paris utilisent les niveaux de Seine, mesurés en mètres suivant le nivellement orthométrique de la Ville de Paris qui se trouve 33 cm plus bas que la cote NGF[48]. Les services disposent donc de cahiers de consignes de crue répertoriant, suivant les niveaux de Seine, les équipements qui seront impactés (suivant leur cote d'implantation et la marge de sécurité choisie) et les actions à réaliser (suivant le temps nécessaire). La SAP raisonne, elle, en termes de blocs, correspondant à un ensemble d'actions à mener suivant les niveaux de Seine atteints. La RATP a également défini quatre phases d'actions, mais l'objectif est de les mettre en œuvre avec le plus de marge possible, c'est-à-dire suivant l'annonce prévue par le SPC. Par exemple, si le service annonce que la Seine atteindra 6,74 m à l'échelle d'Austerlitz dans 48 h, alors les actions de la phase 2 commencent. La plupart des autres gestionnaires raisonne suivant les scénarios de la DRIEE : Ro.6, Ro.8 et R1. Cependant, les niveaux d'alerte définis par la ZDS sont également différents, avec l'activation du centre opérationnel de zone (COZ) lorsque la Seine atteint 5,50 m, puis un passage en vigilance rouge à 7 m (Figure 6-11).

[48] nivellement général de la France

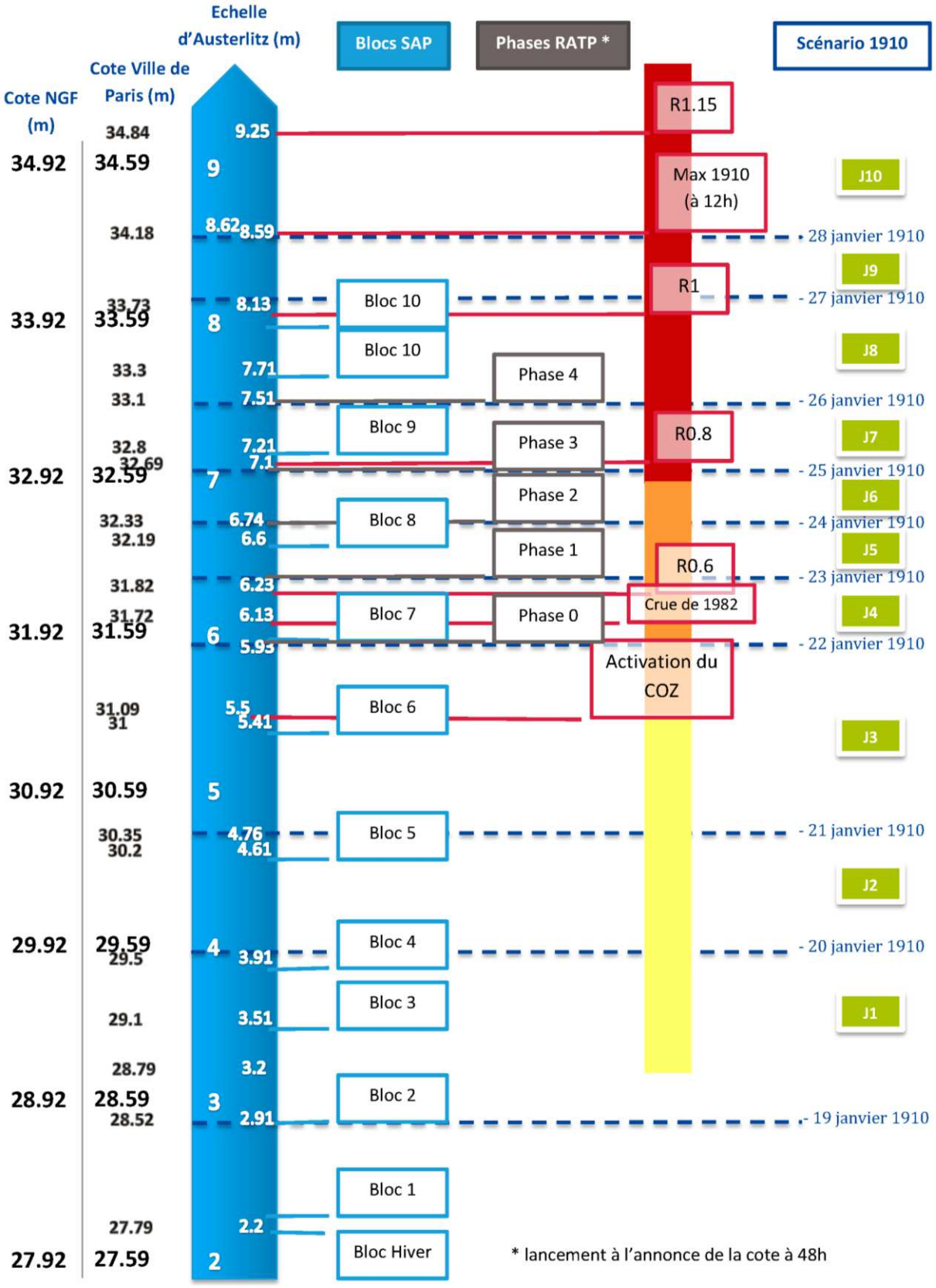


Figure 6-11 : Les différentes références aux niveaux de crue

Comparaison des temporalités

Pour comparer la temporalité des interventions des différents services en période de crise, l'ensemble des actions ou des impacts est recensé en fonction du niveau de Seine correspondant. Puisque la base d'analyse est également le scénario vécu en 1910 (cf. chapitre 3), toutes les informations relatives aux services sont rassemblées dans le jour correspondant pour simplifier. Par exemple, les actions ayant lieu entre la cote 7,51 m et 8,16 m (échelle d'Austerlitz) sont considérés comme réalisées au jour J8 (Figure 6-11). Le début du scénario (J1) est le début de la crue de la Seine le 19 janvier 1910, soit 2,91 m.

Pour le recensement des actions sont précisés, si possible ou applicable :

- le système concerné ;
- l'objet sur lequel porte l'action ;
- le site d'intervention depuis lequel doit être effectuée l'action ;
- le site stockant le matériel nécessaire (cela permet d'évaluer la possibilité de relier ce site aux sites d'intervention, par la voirie) ;
- les effets sur le service ou le composant.

Finalement, l'ensemble des informations collectées permet de dresser une carte synthétique du système (l'ensemble des cartes synthétiques sont incluses à la description de chaque service dans l'annexe 1).

Synthèse

La base de données est d'abord constituée des 15 systèmes étudiés et des 81 composants majeurs recensés au sein de la zone d'étude. Un profil de besoin est déterminé pour chaque composant, détaillant la criticité des 10 ressources de base, durant 3 phases différentes : avant l'inondation, durant la phase d'action préparatoire, et après la phase d'action qui correspond donc au fonctionnement dégradé. Les actions à réaliser par les systèmes sont également répertoriées puis synthétisées dans une même échelle de crue permettant la comparaison des temporalités de chaque service. Ces actions comportent la mention de l'objet de l'intervention, le site d'exploitation ou de stockage du matériel nécessaire, le cas échéant.

6.3. MODELISATION DE L'EVENEMENT

Les scénarios fournis par la DRIEE ne donnent l'enveloppe d'inondation que pour des pas de temps de deux jours, alors que les actions planifiées par les gestionnaires se réfèrent au niveau réel de la Seine. Comment pourrait-on alors identifier le rôle des interdépendances dans la gestion de l'inondation avec une vision si condensée de l'évènement ? Afin d'illustrer l'importance de la prise en compte des évolutions temporelles des besoins en ressources pour faire face à la crise et des impacts liés aux inondations et aux interventions, un scénario détaillé est reconstruit à l'échelle de la journée. Cela permet d'affiner la structure de la base de données et de multiplier les analyses possibles.

6.3.1. RECONSTRUCTION JOUR PAR JOUR DE L'INONDATION

HYPOTHESE SUR LES HAUTEURS D'EAU

Pour utiliser une modélisation au jour par jour, une reconstruction des niveaux d'inondation à partir de la cote de la Seine est nécessaire (Figure 6-11). Cette dernière est appuyée sur la topographie de la zone étudiée, reconstituée à partir de la BD Topo®[49] de la région parisienne. Cette base de données géolocalisée des différents objets géographiques (bâtiments, routes, éléments naturels, etc.) comporte notamment les cotes d'altitude de différents points, notamment les bâtiments, fournissant ainsi un maillage relativement serré à Paris. Si le niveau du sol n'est pas un attribut direct, il se retrouve aisément à partir de la cote haute du bâtiment et de sa hauteur propre (Figure 6-12).

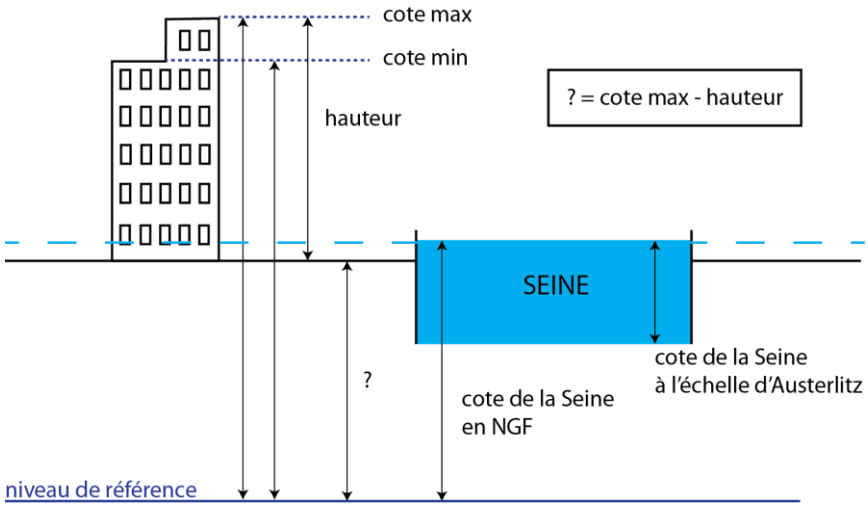


Figure 6-12 : Reconstruction du niveau du sol à partir de la BD Topo, sans tenir compte des protections locales

Le modèle numérique de terrain reconstitué sur la zone d'étude semble relativement fiable[50]. Toutefois, la BD Topo® ne donne qu'une hauteur par bâtiment alors que certains bâtiments présentent plusieurs cotes d'altitude ou plusieurs niveaux de terrain naturel (terrain en pente). Des anomalies peuvent donc apparaître, notamment dans les zones où le nombre de bâtiments est faible (autour du Palais omnisport de Paris-Bercy par exemple). Le niveau de la Seine aux différents jours de la crue est ensuite utilisé pour reconstituer la zone inondable comme si l'ensemble du terrain dont la cote est inférieure à la cote de la Seine était rempli d'eau. Ainsi, la crue est « étalée » sur le territoire sans tenir compte des protections entourant la Seine (Figure 6-12).

[49] La BD TOPO®, base de données vecteur de référence, fournit une information en 3 dimensions à tous les acteurs de la gestion et de l'aménagement du territoire, pour analyser, situer et représenter tout type de données dans leur contexte géographique (source : IGN).
[50] Le modèle numérique de terrain étant reconstitué par triangulation de cotes issues des bâtiments, la précision des mailles dépend de la densité de bâtiments.

Cette hypothèse, a priori défavorable, n'est pas si pessimiste que cela car les protections locales pourraient défaillir, ou les remontées par la nappe et les réseaux souterrains pourraient remplir ces espaces, même sans débordement direct. La RATP par exemple, prend comme hypothèse que la nappe sera au même niveau que la Seine avec une légère inflexion vers le bas plus l'on s'en éloigne.

CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES

Une cartographie des zones inondables jour par jour (Figure 6-13) est ainsi élaborée. Elle semble relativement proche des modélisations données dans le PPRI qui ne tient pas compte des protections amovibles (Figure 6-14). Certaines différences apparaissent au niveau du quartier Paris-Rive Gauche car il a la particularité d'être en partie construit sur dalle, au-dessus des voies de chemin de fer de la gare d'Austerlitz. La Bibliothèque François Mitterrand, par exemple, apparait inondable dans le modèle alors qu'elle ne l'est pas dans le PPRI. En effet, cela dépend de la cote considérée : celle des tours construites au niveau du parvis, bien au-dessus de la Seine, ou celle de la structure du parvis, qui descend jusqu'au quai haut ? Le modèle semble prendre en compte le niveau du quai, ce qui n'est pas aberrant puisque de nombreuses salles et équipements sont installés sous les tours. Ils pourraient donc être infiltrés par la nappe ou par débordement direct si les protections étanches sont défaillantes. Au contraire, l'eau semble pénétrer plus avant dans le quartier au-delà de l'université Paris-Diderot dans le PPRI. Le modèle fondé sur la cote des bâtiments donne donc le niveau de la voirie à cet endroit, qui est en superstructure au-dessus des voies ferrées ; elle ne sera donc pas inondée. Le PPRI, lui, doit prendre en compte le niveau des voies ferrées qui peut effectivement être submergé. La question est alors de savoir à quel niveau se trouvent les réseaux techniques et les équipements pour savoir quel sera l'impact sur les différents services.

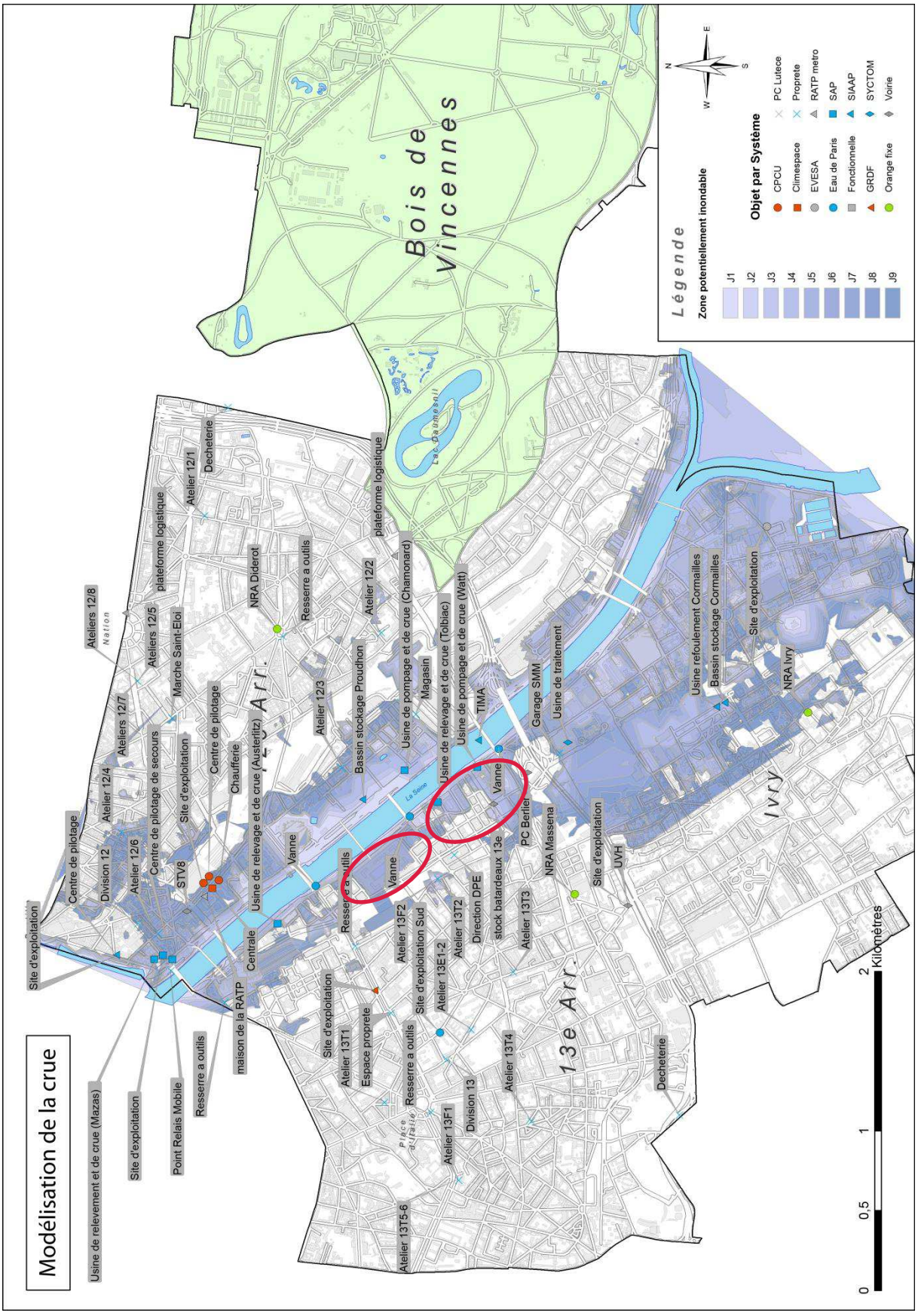


Figure 6-13 : Reconstitution des niveaux de la Seine jour par jour

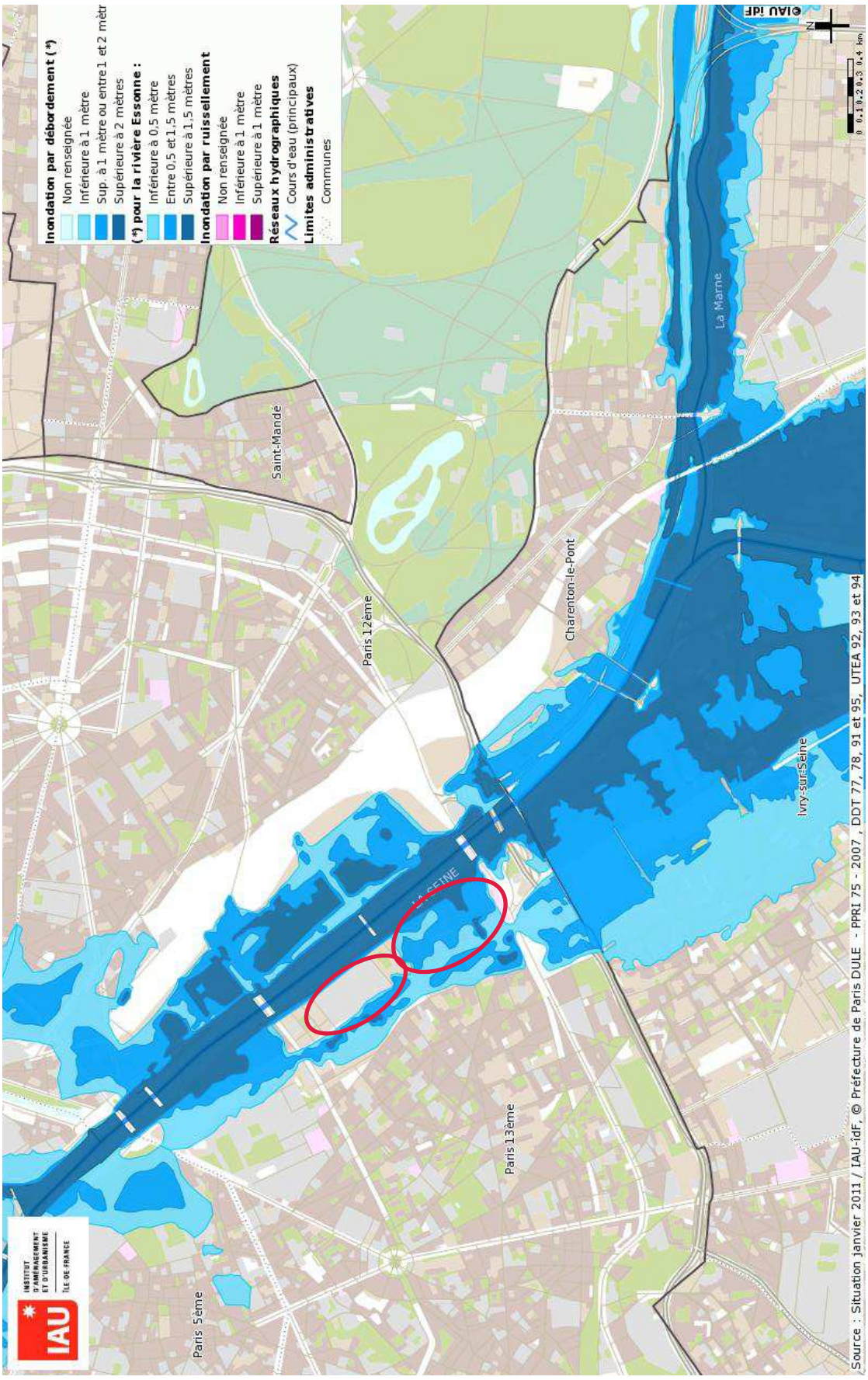


Figure 6-14 : Zones inondables de la zone d'étude d'après le PPRI (source : VisIAU Risques) et décalages avec le scénario modélisé (cercles rouges)

6.3.2. STRUCTURE DE LA BASE DE DONNEES

MODELE ENTITE-ASSOCIATION

La description détaillée des données collectées et de la modélisation de l'inondation permettent maintenant de constituer une base de données (BDD) relationnelle. Elle facilite l'implémentation sous SIG et peut être interrogée directement, sans la visualisation spatiale (Pellet, 2009). À chaque système est attaché un certain nombre d'objets ou composants du réseau. Ces objets sont reliés aux ressources consommables par une relation de dépendance traduite dans la table des « besoins » structurée comme indiqué au 6.2.2. La table des actions est reliée à l'évènement par une relation d'« intervention » traduite dans la table des « actions » structurée comme indiqué au 6.2.3. L'entrée ou les requêtes dans la BDD peuvent donc se faire par système ou par jour, suivant le type d'analyse recherché (Figure 6-15).

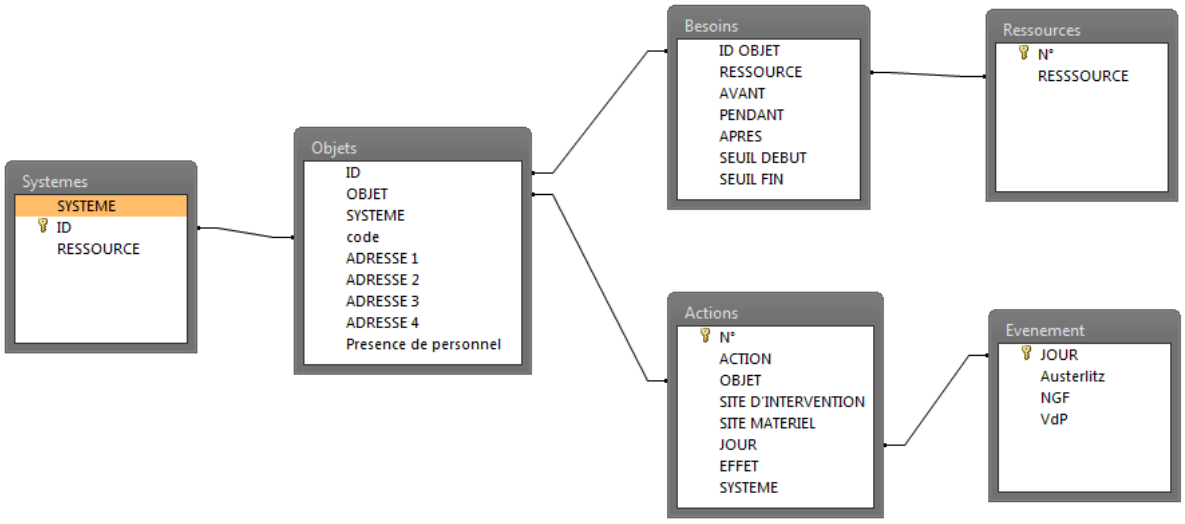


Figure 6-15 : Modèle entité-association de la base de données créée

RENSEIGNEMENT DES TABLES

Les tables de besoins sont renseignées à partir d'extrapolations issues des premiers entretiens ou bien à partir des informations plus précises données par les gestionnaires locaux. La table ne donne cependant pas immédiatement la criticité d'un besoin à un jour donné. Il faut d'abord identifier où se situe ce jour par rapport aux seuils de début et de fin de la phase d'action, puis en déduire si la criticité correspond à la valeur « avant », « pendant » ou « après » la phase d'action. La table des actions est issue de la synthèse des actions renseignées à l'aide des cahiers de consignes de crue ou des entretiens réalisés avec les gestionnaires locaux (Figure 6-16).

Table des systèmes reliée à la table des objets

Obj... | Besoins | Systemes

SYSTEME	ID	RESSOURCE	Cliquer pour ajouter
ERDF	1	electricite	
GDF	2	gaz	
CPCU	3	chauffage	
Climespace	4	climatisation	
hydrocarbures	5	carburants	
Eau de Paris	6	eau potable	

ID	OBJET	SYSTEME	ADRESSE 1	ADRESSE 2	ADRESSE 3	ADRESSE 4	Presence de
9	Vanne	Eau de Paris	Pont de Bercy	75013	PARIS	France	NON
10	Vanne	Eau de Paris	Pont de Tolbiac	75013	PARIS	France	NON
11	Vanne	Eau de Paris	Pont National	75013	PARIS	France	NON
12	Site d'exploitation	Eau de Paris	177 rue du Chateau	75013	PARIS	France	OUI
13	Site d'exploitation	Eau de Paris	199-207 rue des Pyre	75020	PARIS	France	OUI
14	Direction	Eau de Paris	9 rue Victor Schoelch	75014	PARIS	France	OUI
15	Centre de contrôle	Eau de Paris	9 rue Victor Schoelch	75014	PARIS	France	OUI

autres syndicats	7	eau potable	
SAP	8	assainissement	

Table des objets

Objets

ID	OBJET	SYSTEME	code	ADRESSE 1	ADRESSE 2	ADRESSE 3	ADRESSE 4	Presence de
1	Direction	ERDF	1			PARIS	France	OUI
2	Direction	GRDF	2	6 rue Condorcet	75009	PARIS	France	OUI
3	Site d'exploita	GRDF	2	76 boulevard Vincent	75013	PARIS	France	OUI
4	Site d'exploita	CPCU	3	185 rue de Bercy	75012	PARIS	France	OUI
5	Centre de pilo	CPCU	3	185 rue de Bercy	75012	PARIS	France	OUI
6	Chaufferie	CPCU	3	185 rue de Bercy	75012	PARIS	France	OUI
7	Direction	Climespace	4	2 rue de Turbigo	75001	PARIS	France	OUI
8	Centrale	Climespace	4	185 rue de Bercy	75012	PARIS	France	OUI
9	Vanne	Eau de Paris	6	Pont de Bercy	75013	PARIS	France	NON
10	Vanne	Eau de Paris	6	Pont de Tolbiac	75013	PARIS	France	NON
11	Vanne	Eau de Paris	6	Pont National	75013	PARIS	France	NON
12	Site d'exploita	Eau de Paris	6	177 rue du Chateau de	75013	PARIS	France	OUI
13	Site d'exploita	Eau de Paris	6	199-207 rue des Pyrer	75020	PARIS	France	OUI
14	Direction	Eau de Paris	6	9 rue Victor Schoelche	75014	PARIS	France	OUI
15	Centre de cont	Eau de Paris	6	9 rue Victor Schoelche	75014	PARIS	France	OUI

Table des besoins

Obj... | Besoins | Evenement

ID OBJET	RESSOURCE	AVANT	PENDANT	APRES	SEUIL DEBUT	SEUIL FIN
3	1	3	3	2	6	10
3	2	0	0	0	6	10
3	3	0	0	0	6	10
3	4	4	4	0	6	10
3	5	3	3	3	6	10
3	6	0	0	0	6	10
3	7	0	0	0	6	10
3	8	3	3	3	6	10
3	9	0	0	0	6	10
3	10	3	4	0	6	10
3	11	13	13	0	6	10
4	1	4	4	4	3	5
4	2	0	0	0	3	5
4	3	0	0	0	3	5
4	4	4	4	4	3	5
4	5	4	4	4	3	5
4	6	0	0	0	3	5
4	7	0	0	0	3	5

Besoins de l'objet 3

Besoins de l'objet 4

Table des actions

Obj... | Besoins | Systemes | Ressources | Evenement | Relations | Actions

N°	ACTION	SYSTEME	OBJET	SITE D'INTERVENTION	SITE MATERIEL	JOUR	EFFET
5	depose detendeurs	2	zone gaz R1	3		4	plus de gaz
6	mise en securite postes DP	2	zone gaz R1	3		4	plus de gaz
7	protection	3	6	4		4	
8	mise en securite	4	8	8		3	?
9	pompage	3	quai rive gauche	4		5	
10	coupure alimentation electrique	14	pont Charles de Gaulle	72	70	3	
11	consignations de 9 projecteurs	14	pont d'Austerlitz	72	70	3	
12	coupure alimentation electrique (corolles)	14	pont Charles de Gaulle	72	70	6	
13	coupure alimentation electrique	14	PS pont Charles de Gaulle	72	70	8	
39	fermeture station	18	Dugommier	75		4	ligne 6 inaccessible
41	fermeture station	18	Quai de la Gare	75		4	ligne 6 inaccessible
42	fermeture station	18	Chevaleret	75		4	ligne 6 inaccessible
43	fermeture station	18	Nationale	75		4	ligne 6 inaccessible
45	fermeture station	18	Olympiades	75		4	ligne 14 inaccessible
48	fermeture station	18	Gare de Lyon	75		4	ligne 14 inaccessible

Table des jours

Obj... | Besoins | Evenement

JOUR	Austerlitz	NGF	VdP
1	2,93	28,85	28,52
2	4	29,92	29,59
3	4,76	30,68	30,35
4	5,93	31,85	31,52
5	6,25	32,17	31,84
6	6,74	32,66	32,33
7	7,09	33,01	32,68
8	7,51	33,43	33,1
9	8,16	34,08	33,75
10	8,59	34,51	34,18
11	8,57	34,49	34,16
12	8,34	34,26	33,93
13	8	33,92	33,59
14	7,64	33,56	33,23
15	7,22	33,14	32,81
16	6,62	32,54	32,21
17	5,82	31,74	31,41
18	5,1	31,02	30,69

Figure 6-16 : Extraits des tables renseignées dans la base de données

En vue d'automatiser l'implémentation, des formulaires relativement simples pourraient être proposés aux gestionnaires qui pourraient alors renseigner seuls la base de données. Cette structure simple permet alors de relier des systèmes entre eux, de manière à représenter les interdépendances et les actions impliquant divers sites, dont l'analyse a l'avantage d'être cartographique.

Synthèse

L'analyse des besoins et des actions détaillés au jour par jour s'appuie sur des cartes d'aléas à un pas de temps plus fin que celui utilisé pour les cartes disponibles actuellement. Une reconstruction du niveau de la zone inondable suivant le scénario mesuré en 1910 est alors définie, sans tenir compte des protections locales. Des anomalies subsistent cependant par rapport au terrain réel ou au PPRI. La connaissance des hypothèses prises pour la réalisation permet toutefois de discuter ces résultats et susciter l'intérêt des gestionnaires. En particulier, est présenté un modèle d'inondation plus pessimiste que celui pris en compte, mais qui peut se rapprocher d'un scénario probable d'inondation par la nappe. Ce scénario permet la construction d'une base de données dont la dimension temporelle est traduite par les niveaux de Seine. L'ensemble des données, issues des entretiens avec les gestionnaires mais organisées de manière cohérente, peut alors être analysé selon différents points de vue.

6.4. SYNTHESE DU CHAPITRE

La première analyse des difficultés et des solutions (cf. chapitre 5) montre bien l'importance des spécificités de chaque système, mais également de chaque composant à l'intérieur des systèmes. L'analyse globale des interdépendances et la discussion des solutions ne suffisent pas à évaluer la capacité d'un système à assurer son service ; de fortes disparités géographiques doivent être prises en compte. Pour cela, il faut descendre d'un niveau dans la description des systèmes et identifier les composants critiques. Alors, la description des interdépendances peut être affinée au niveau intermédiaire, afin de prendre en compte les actions déjà menées localement par le gestionnaire. La stratégie globale de chaque service impacte également le service et donc les autres systèmes en dépendant, mais elle est difficilement traduisible dans les portraits sectoriels. En particulier, les actions mises en place peuvent impacter directement ou indirectement les systèmes proches géographiquement ou dépendant fonctionnellement du service. La dimension temporelle de ces impacts semble également non négligeable et mériterait d'être approfondie. En effet, les scénarios d'inondation actuels ne prennent en compte qu'un pas de temps de deux jours quand les marges de manœuvre des gestionnaires sont parfois inférieures à 12 h.

L'accès aux données quantifiées et spatialisées des services urbains est une difficulté majeure des travaux cherchant précisément à évaluer la résilience d'un territoire. Pourtant, les outils SIG ont un fort potentiel en termes de synthèse de données, d'analyse, mais aussi de visualisation de résultats et de support de collaboration. L'analyse de l'approche développée par le CRP concernant la gestion des interdépendances appuie la construction d'une méthodologie visant à répondre aux enjeux de la spatialisation et de la dynamique des interdépendances. Au vu du niveau de description déjà atteint lors de la première étape, l'analyse spatiale peut débuter à partir des composants majeurs des services urbains, identifiés par les gestionnaires. Suivant l'échelle spatiale des services urbains, ces composants sont plus ou moins nombreux et répartis sur le territoire. Le périmètre d'étude est donc fixé sur deux arrondissements parisiens et deux communes limitrophes. Cela permet de réduire le nombre d'objets considérés, tout en permettant une réflexion intéressante. La structure de base de données peut s'adapter aux informations disponibles et permettre une analyse pertinente de l'évènement choisi : la crue centennale de la Seine. En particulier, la représentation des dépendances est qualitative ; elle prend en compte trois valeurs différentes possibles : avant, pendant et après la phase d'action (l'après correspondant alors au fonctionnement dégradé qui peut durer un certain temps avant la décrue, qui n'est pas traitée). Ces phases diffèrent suivant les systèmes mais également suivant les composants ou les ressources utilisées. Cela affine considérablement l'analyse des interdépendances, mais elle pourrait encore être approfondie par une quantification des échanges (volumes, puissances, nombre d'unités, etc.).

Avec cette méthode, les données collectées ne permettent pas d'identifier les impacts sur le service, puis sur les services dépendants, puisque le fonctionnement interne du système n'est pas abordé. La connaissance du gestionnaire permet cependant de cartographier les impacts subis par le service. Alors l'analyse spatiale permet d'identifier des décalages entre les besoins évalués pour un composant et la localisation du composant dans une zone de fragilité ou non. L'évènement de référence a été modélisé plus précisément pour pouvoir prendre en compte la temporalité fine (c'est-à-dire jour par jour) des besoins, des impacts et des actions de chaque service. En effet, chacun se réfère à sa manière à l'inondation, sans qu'une vérification de la cohérence n'ait été effectuée. La description jour par jour du scénario d'inondation permet donc de recenser les actions mises en place par les gestionnaires et d'identifier d'éventuelles incompatibilités (dans le temps et l'espace) entre les stratégies de chacun. L'ensemble des analyses produites à l'aide du SIG, par thématique ou par jour, a été présenté aux gestionnaires lors du dernier atelier collaboratif.

Chapitre 7 : Analyse collaborative des interdépendances au niveau intermédiaire

Suivant la démarche de l'étape précédente au niveau supérieur, les résultats fournis par la modélisation des interdépendances au niveau intermédiaire (cf. chapitre 6) sont également discutés lors d'un atelier collaboratif avec les gestionnaires, afin de contribuer au partage de connaissance et à la mise en place d'une meilleure collaboration entre gestionnaires.

Sur la base des données collectées et de la structure de données choisies, un scénario de crise est reconstruit. Dans un premier temps, il présente les impacts prévisibles aux services urbains, afin de dresser un portrait plus précis de l'inondation de type 1910 à Paris. En particulier, la vision jour par jour est présentée aux gestionnaires lors du troisième atelier collaboratif. Ensuite, des cartes thématiques permettent de mieux cibler les difficultés et les solutions dans la gestion des interdépendances (Figure 7-1).

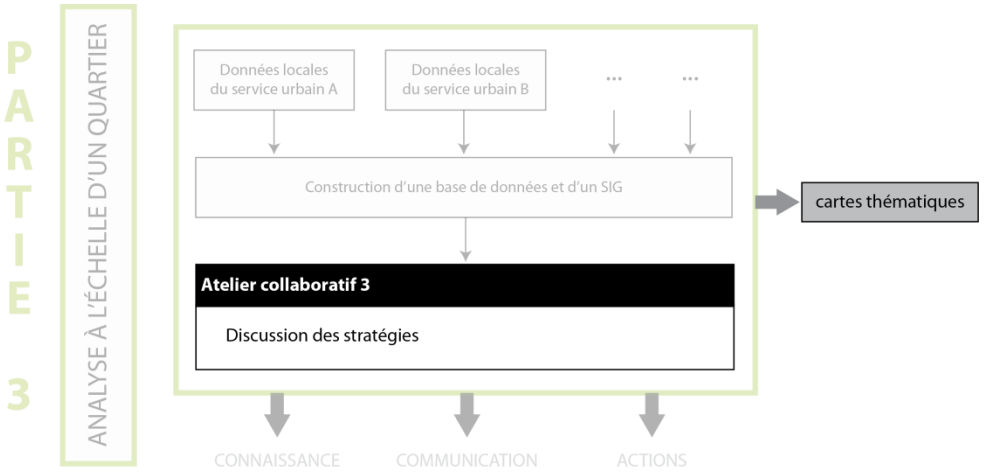


Figure 7-1 : Un troisième atelier collaboratif autour du modèle spatial d'interdépendance des services urbains parisiens

Ces travaux appuient une réflexion objective sur la résilience des services urbains et mettent déjà en avant des pistes d'amélioration, que ce soit en prévention de l'évènement ou durant sa gestion. L'intérêt de la question des interdépendances et surtout l'importance de partager des informations précises, tant quantitatives que spatiales sont ainsi démontrés.

En conclusion du travail de traitement de données et de représentation cartographique, il est nécessaire d'évaluer l'intérêt de l'exercice. Un questionnaire-bilan a été renseigné par les gestionnaires ayant participé aux ateliers, dans le but de conclure quant à l'intérêt de l'aspect collaboratif de cette démarche qui constituait l'un des éléments majeurs de cette recherche. Le bilan de la deuxième et dernière étape de cette méthodologie permet ainsi de déterminer si les objectifs recherchés ont été atteints puis de dessiner les pistes d'amélioration qui sont détaillées dans le chapitre final.

7.1. RESULTATS CARTOGRAPHIQUES

Le scénario jour par jour de l'inondation telle que mesurée en 1910 (Tableau 7-1) est reconstruit et enrichi avec les impacts subis par les réseaux d'aujourd'hui, en fonction des données collectées avec les gestionnaires. Les cartes sont rassemblées dans l'atlas concluant ce mémoire. Ces résultats ont été présentés lors du troisième et dernier atelier collaboratif pour recueillir les avis des gestionnaires quant à la crédibilité des hypothèses et des simplifications effectuées.

Tableau 7-1 : Rappel des cotes et des références de l'inondation de 1910 (la ligne rouge marque la fin du scénario modélisé)

	Jour	crue 1910	Austerlitz	NGF	VdP
	1	19-janv	2,93	28,85	28,52
	2	20-janv	4	29,92	29,59
	3	21-janv	4,76	30,68	30,35
	4	22-janv	5,93	31,85	31,52
Ro.6	5	23-janv	6,25	32,17	31,84
	6	24-janv	6,74	32,66	32,33
Ro.8	7	25-janv	7,09	33,01	32,68
	8	26-janv	7,51	33,43	33,1
R1	9	27-janv	8,16	34,08	33,75
	10	28-janv	8,59	34,51	34,18
	11	29-janv	8,57	34,49	34,16
	12	30-janv	8,34	34,26	33,93
	13	31-janv	8	33,92	33,59
	14	01-févr	7,64	33,56	33,23
	15	02-févr	7,22	33,14	32,81
	16	03-févr	6,62	32,54	32,21
	17	04-févr	5,82	31,74	31,41
	18	05-févr	5,1	31,02	30,69

7.1.1. CARTOGRAPHIE DU FONCTIONNEMENT DES SERVICES JOUR PAR JOUR

DE J1 A J3

Deux jours (Figure 6 de l'atlas) avant l'activation du centre opérationnel de zone (à 5,50 m à l'échelle d'Austerlitz, cf. 6.2.3), la fermeture des voies sur berges commence (vers 3,20 m) et les niveaux bas des plans de la SAP et du SIAAP sont activés (ils le sont quasiment chaque hiver). Les premières actions de la SAP permettent de contrôler le bon fonctionnement des équipements ; les interventions s'effectuent depuis le site d'exploitation situé place Mazas, qui est en zone inondable. Pour le SIAAP, il s'agit d'isoler les ouvrages de gestion des pluies d'orage afin de les protéger de la montée de la Seine et de protéger le reste du réseau. À J2 (Figure 7 de l'atlas), la navigation s'arrête (4,30 m) car le tirant d'air sous les ponts n'est pas suffisant. La SAP poursuit ses actions avec notamment l'installation de groupes électrogènes sur les usines qui n'en sont pas équipées. Au jour J3 (Figure 8 de l'atlas), les premiers batardeaux sont mis en place autour du passage souterrain Van Gogh près de la gare de Lyon et au niveau du quai vers Ivry, avec notamment un batardeau à placer en travers de la voie sous le pont National pour empêcher l'entrée d'eau venant d'Ivry (protégé 1 m plus

bas que Paris). La section des moyens mécaniques (SMM)[51] de la Propreté de Paris débute son déménagement vers l'hippodrome de Vincennes (cette hypothèse n'est pas encore complétement validée) car deux jours sont prévus pour déménager les bennes à ordure, les véhicules et le matériel. La centrale Climespace est mise en sécurité grâce à des batardeaux. Le service ne peut plus être piloté mais il reste assuré si l'électricité est maintenue. La maison de la RATP est préparée pour assurer la gestion de crise : installation d'un groupe électrogène, apport de matériel (lits de camp) et de vivres pour le maintien des équipes, puis mise en place de protections par batardeaux.

De J4 a J6

À J4 (Figure 9 de l'atlas), les premières stations de métro sont fermées, notamment au niveau de la ligne 14. Plusieurs raisons conduisent à cet arrêt d'activité : (1) la station doit être protégée par des murettes en parpaings (notamment Bercy, Cour St-Émilion et Bibliothèque François Mitterrand) ; (2) il existe un risque d'intrusion d'eau par les tunnels ; (3) la station ne peut plus être desservie, du fait du manque d'électricité ou de la fermeture de stations adjacentes. Le quai bas est entièrement fermé en rive droite, limitant alors les accès aux ports et notamment aux péniches. GRDF débute également sa campagne de dépose des détendeurs au niveau des clients (qui sont donc coupés du gaz) et sur le réseau basse pression car il est prévu 3 à 5 jours d'intervention. Les équipes intervenant dans le périmètre d'étude sont basées boulevard Vincent Auriol, en rive gauche.

À J5 (Figure 10 de l'atlas), les premiers effets sur la desserte en gaz sont cartographiés à Ivry. L'évacuation des déchets de l'unité de valorisation d'Ivry-Paris XIII débute car il faut deux jours pour terminer l'incinération avant la protection du site. Les déchets collectés à Paris notamment, sont dès lors déviés vers un site de stockage non identifié (plusieurs sites ont été étudiés, comme le parc des expositions de la Porte de Versailles, mais aucune contractualisation n'a eu lieu). La chaleur produite pendant les deux jours d'arrêt n'est plus exploitée par la CPCU qui commence également à mettre en sécurité son réseau. Plusieurs stations de métro supplémentaires sont fermées et deux ateliers de propreté commencent leur déménagement, évalué à deux jours. Les usines de crue de la SAP sont sécurisées, c'est-à-dire qu'elles sont protégées et aptes à fonctionner en autonomie, grâce notamment aux groupes électrogènes qu'il faut continuer à alimenter en fioul. Leur fonctionnement est ensuite surveillé afin de les arrêter si les niveaux en entrée deviennent trop importants et risquent d'endommager les infrastructures.

D'autres ateliers de propreté entament leur déménagement au jour J6 (Figure 11 de l'atlas) et des barrières anticrue sont montées en milieu de voie au niveau du quai haut d'Austerlitz et voie Mazas. D'après la modélisation, le site d'exploitation d'EVESA situé à Ivry serait inondé (peut-être même isolé dès J4) mais il n'a pas été prévu de plan de déménagement (les gestionnaires ne connaissaient pas leur situation).

De J7 a J9

Une fois la fosse à déchets éliminée, l'usine de valorisation d'Ivry-Paris XIII est mise en sécurité à J7 (Figure 12 de l'atlas). Notamment elle doit être protégée vis-à-vis du réseau d'égout du SIAAP (la mise en place d'un clapet anti-retour est à réaliser), des batardeaux sont montés et les pompes doivent tourner pour éviter l'ennoiement des équipements en sous-sol. Les déposes de détendeurs gaz se poursuivent, les premiers impacts sur le réseau électrique apparaissent. ERDF évalue à 22 000 foyers électriques et 70 clients HTA les impacts dans le 12^{e} et 13^{e} (pas nécessairement exactement répartis dans la zone modélisée par une zone tampon, cf. 6.2.1). Ces clients sont également privés de chauffage (y compris si le gaz est maintenu car les chaudières nécessitent de l'électricité pour des raisons de sécurité) et d'eau potable si l'immeuble nécessite un

[51] La SMM est le service chargé de l'entretien et la conduite des véhicules de propreté (camions-bennes-, laveuses, etc.). Les véhicules sont stockés dans plusieurs garages (dont celui de Bruneseau situé à côté de l'usine du SYCTOM) et effectuent les tournées de collecte avec les éboueurs des directions de propreté suivant une rotation planifiée.

surpresseur pour faire monter l'eau. Ces immeubles nécessiteront éventuellement la mise en place par Eau de Paris de rampes d'approvisionnement en voirie. L'alimentation du NRA d'Ivry est remplacée par un groupe électrogène mais la puissance installée maintient seulement un service dégradé sur l'ensemble de la zone. D'après la modélisation, le siège et centre de pilotage du SIAAP, le PC Berlier et l'atelier 12/2 de la Propreté seraient situés dans la zone de fragilité électrique, sans qu'un plan précis de déménagement ait été communiqué (le principe est acté pour le PC Berlier et le SIAAP mais sans détails).

À J8 (Figure 13 de l'atlas), le pont de Bercy et le pont Charles de Gaulle sont fermés ainsi que de nombreuses voies autour de gare de Lyon et le quai Panhard et Levassor au niveau de l'université Paris-Diderot.

À J9, l'impact électrique est étendu, atteignant 30 000 foyers électriques et 90 clients HTA, et induisant de nouveaux foyers privés d'eau potable (Figure 14 de l'atlas). La majeure partie des impacts sur la desserte en gaz survient (Figure 15 de l'atlas), avec 4 000 clients touchés dans le 12^{e}, 1 300 clients dans le 13^{e}, dont les hôpitaux de la Pitié-Salpêtrière et Saint-Antoine (cf. Figure 6-6) d'après GRDF. Certains sous-répartiteurs de rue Orange sont inondés dans les zones cartographiées, entrainant la perte des télécommunications fixes et internet des abonnés concernés. La couverture mobile est dégradée mais les communications *outdoor* sont maintenues. Le NRA d'Ivry doit être protégé pour limiter l'endommagement des serveurs, le service est complètement interrompu sur la zone, y compris pour les antennes mobiles raccordées au NRA (Figure 15 de l'atlas).

À J9, les voiries fermées sont toujours celles de J8. À J10, le niveau de l'eau monte à 34,51 m, soit le niveau atteint en 1910, les gestionnaires n'ont plus d'actions à mener et les impacts restent les mêmes. Ensuite, le niveau peut redescendre progressivement comme en 1910, ou bien continuer à monter (cf. chapitre 8)…

7.1.2. Mise en lumiere et discussion de decalages et de solutions

Les trois problèmes majeurs identifiés par les gestionnaires lors des premiers ateliers (cf. chapitre 5) permettent l'analyse transversale des impacts de l'inondation. Les gestionnaires peuvent discuter les difficultés mises en avant par ces analyses thématiques et identifier des pistes d'amélioration de la gestion des interdépendances au niveau intermédiaire.

Dependance a l'electricite

Les hypothèses concernant la zone de fragilité électrique sont la défaillance dans une zone de 100 m autour de la zone potentiellement inondable (cf. 6.2.1). Les besoins en électricité des différents composants des services urbains sont ceux indiqués par les gestionnaires, à savoir que l'électricité est indispensable pour la quasi-totalité des sites. Les besoins sont représentés aux jours J5, J7 et J9 (Figure 16 de l'atlas).

Les principales solutions recensées dans la base de données sont des actions ponctuelles palliatives (cf. chapitre 5) avec l'installation de groupes électrogènes (GE). Si des groupes électrogènes sont intégrés à certains équipements alors ils n'apparaissent pas dans les actions. Le besoin en électricité est cependant assuré, même si l'équipement est situé en zone de fragilité électrique (c'est le cas par exemple des usines de crue de la SAP). D'autres solutions consistent à s'affranchir de la perte de l'électricité en quittant le site impacté. C'est notamment la stratégie choisie par la Propreté avec le redéploiement des ateliers vers des sites approvisionnés. Ainsi, une fois l'atelier évacué, l'électricité n'est plus nécessaire (la valeur attribuée est 1 : négligeable) ce qui montre qu'il n'y a pas de décalage avec la présence en zone de fragilité (par exemple, l'atelier 12/3 n'a plus besoin d'électricité au jour J7, soit au début de la perturbation du service électrique à Ro.8). Le modèle montre toutefois certains décalages entre le service assuré et les besoins recensés, comme c'est le cas notamment pour l'atelier 12/2 dont le déménagement n'est pas prévu mais qui semble pourtant situé dans la zone de fragilité. Cette analyse ne montre pas nécessairement que le site n'a pas correctement anticipé les impacts car de nombreuses incertitudes persistent. Elle met simplement en avant des points

difficiles qui nécessitent une analyse approfondie. Dans cet exemple, le gestionnaire de la Propreté devrait s'assurer auprès d'ERDF que l'atelier 12/2 sera bien approvisionné en électricité ou, le cas échéant, prévoir une solution (groupe électrogène ou déménagement). Le dernier type de solution qui n'apparait pas ici directement mais qui a été précisé lors du troisième atelier collaboratif est la mise en place d'une deuxième ligne d'alimentation sécurisée, à la demande et aux frais du gestionnaire. Cette ligne dédiée ne transite pas par des postes inondables et l'agence de conduite régionale d'ERDF peut informer le client directement en cas de perturbation, et surtout inclure cette exception dans les procédures de mise en sécurité. Alors il se peut que l'équipement soit situé en zone de fragilité électrique mais que son alimentation dédiée ne soit pas interrompue (s'il est en zone inondée, quoiqu'il arrive son alimentation sera a priori coupée, pour des raisons de sécurité).

DEPENDANCE AUX TELECOMMUNICATIONS

Les zones de fragilité d'Orange à R1 ont été fournies par l'opérateur ; elles sont basées sur l'ennoiement potentiel des sous-répartiteurs de rue en fonction de leur cote d'implantation et du niveau de la Seine. Les besoins en télécommunications sont également représentés ici à R1 (J9) et synthétisent l'ensemble des besoins en télécommunications fixe, mobile, internet et autres raccordement spéciaux, qu'ils soient opérés par Orange ou un autre opérateur (Figure 17 de l'atlas). En effet, même gérés par d'autres opérateurs, de nombreux réseaux empruntent les infrastructures d'Orange et l'on peut considérer que le niveau de service des autres opérateurs ne sera pas meilleur que celui d'Orange.

Le modèle montre que de nombreux équipements nécessitent un pilotage par moyens télécoms (que ce soit la remontée d'informations par GSM ou la télécommande par fibre optique), or la zone de fragilité des télécommunications opérées par Orange est large. Là encore, cela ne signifie pas que le service est indisponible mais qu'il faut s'assurer du maintien ou non de chaque ligne. Par ailleurs, certains gestionnaires ont la possibilité d'intervenir directement sur l'ouvrage si le pilotage est défaillant, notamment la SAP et Eau de Paris, mais cela nécessite alors d'avoir accès aux sites (cf. paragraphe suivant). De nombreux services nécessitent également des moyens de télécommunications avec les équipes sur le terrain mais leur dépendance forte aux opérateurs mobiles est difficilement maîtrisable. Étant donnée l'optimisation de couverture annoncée par Orange, ils supposent qu'ils parviendront à joindre leurs équipes, moyennant le déplacement vers les zones couvertes, mais cela ne peut se planifier.

BESOIN DE SE DEPLACER

Le plan de fermeture de voirie est celui transmis par la DVD, il inclue le jour J13 qui correspondrait à R1.15 en cas de poursuite de la montée de la Seine. Les fermetures de station de métro sont celles prévues par la RATP dans son PCA. La localisation des stations-services (seules les stations Total sont étiquetées) est incluse puisque l'approvisionnement en hydrocarbures sera également un enjeu majeur de la capacité à se déplacer (Figure 18 de l'atlas).

La principale difficulté à surmonter en termes de déplacement, outre l'autorisation de circuler et l'approvisionnement en carburant (cf. chapitre 5), est la communication entre les rives droite et gauche. Plusieurs ponts sont coupés à J8 et si les ponts restants ne fermeraient qu'à J13, il est possible que des incertitudes concernant leur résistance aux débits et à la poussée de la Seine entrainent une fermeture anticipée. Les gestionnaires considèrent donc bien souvent que les seules traversées possibles seront au niveau des ponts du périphérique, mais les deux échangeurs encadrant la traversée de Seine dans la zone d'étude seront également fermés, rallongeant ainsi les temps de parcours. C'est pourquoi plusieurs gestionnaires ont prévu de fonctionner de manière indépendante sur chaque rive, comme par exemple la Fonctionnelle[52] qui envisage d'utiliser l'une de ses unités de viabilité hivernale (UVH : site de production de sel)

[52] service « spécial » de la Propreté de Paris, cf. chapitre 3

du 13e comme base complémentaire de la direction située porte des Lilas. D'autres gestionnaires comme GRDF réalisent leur phase d'action avant la fermeture des ponts et estiment donc que l'accessibilité ne sera pas problématique. Quid alors du rétablissement à la décrue si les ponts restent fermés ? L'autre difficulté sous-jacente est la capacité des personnels à venir prendre leur poste, notamment pour ceux dépendants des transports en commun. En effet, les fermetures de stations de métro commencent très tôt car elles anticipent sur la coupure de l'électricité. Une grande partie du matériel roulant doit être évacuée vers des lignes hors d'eau, notamment via la trémie de Bercy qui pourrait être impactée relativement tôt et nécessite un important linéaire de protection. Ainsi, les gestionnaires n'ont pas nécessairement planifié de solution pour répondre à ces difficultés d'accessibilité de leur personnel, mais la RATP signale que des services de bus seront mis en place. Certains gestionnaires envisagent également de maintenir le personnel de gestion de crise sur site (maison de la RATP ou usine IP13 par exemple), de manière à limiter les déplacements et assurer le suivi de l'inondation. Les informations relatives à l'approvisionnement en hydrocarbures sont limitées à la localisation des stations-services, et notamment les stations Total. En effet la Ville de Paris, par exemple, s'approvisionne préférentiellement à celles-ci, ce qui limite les possibilités. Par ailleurs, 60 % des camions-bennes roulent au gaz (GNVert) qui n'est distribué que par une station située à proximité de l'emplacement du garage SMM, qui sera déplacé car inondé, une station située près de la gare de Bercy et inaccessible et deux autres situées en banlieue à Noisy-le-Sec et Saint-Denis. Les gestionnaires comptent alors sur un redéploiement des véhicules roulant au GNV vers des sites disposant d'une station-service proche, afin de disposer majoritairement de véhicules au gasoil sur le site de repli de Vincennes et continuer à assurer la collecte de la zone étudiée. Ils pourraient également étudier la fiabilité et l'accessibilité des deux points d'approvisionnement en banlieue.

Synthèse

La chronologie cartographique fondée sur les stratégies de chaque service présente une vision complète et détaillée de l'inondation de type 1910 et de ses conséquences pour la ville de Paris. Aux premiers jours de préparation, à l'annonce de la crue, succèdent rapidement les premières perturbations avec la mise en place de mesures de protection qui dégradent le fonctionnement des services. Puis les dysfonctionnements se généralisent, avec des propagations inévitables d'un système à l'autre. Ensuite, les endommagements augmentent avec le niveau atteint par la Seine qui pourrait, le cas échéant, dépasser le niveau de référence utilisé dans les scénarios de préparation à la crise (8,60 m à l'échelle d'Austerlitz). L'analyse spatiale permet ensuite d'identifier des décalages entre les besoins exprimés par les gestionnaires et le service effectivement disponible au niveau du composant. Ainsi, la dépendance à l'électricité montre de nombreux manques potentiels, même si plusieurs solutions (installation de groupe électrogène ou déplacement du site) sont utilisées. La dépendance aux télécommunications est très variée et montre davantage la complexité de l'identification de la disponibilité du service. Ainsi, comme pour l'électricité, le modèle met en avant des points sensibles qui nécessitent une étude approfondie de la disponibilité ou, le cas échéant, des solutions envisageables pour limiter l'impact de l'interruption de distribution ou d'usage de la ressource. Les impacts de l'inondation sur les déplacements montrent les difficiles déplacements entre la rive droite et la rive gauche à partir de J8. S'y ajoute un service de métro rapidement dégradé qui nécessite d'envisager des solutions de réorganisation des sites d'exploitation, pour être au plus près des interventions, voire de maintien du personnel sur site.

7.2. INTERETS ET LIMITES DE L'APPROCHE SPATIALE POUR L'ANALYSE DES INTERDEPENDANCES

Ces premières analyses démontrent l'intérêt d'analyser spatialement et temporellement les interdépendances des services urbains et mettent également en avant des pistes d'approfondissement. Il faut donc inclure ce niveau d'analyse inférieur dans la méthodologie et les outils, afin de permettre ce changement d'échelles imbriquées, propre à l'analyse systémique et nécessaire à l'évaluation de la résilience.

7.2.1. VERS UNE EVALUATION QUANTITATIVE ?

CAPACITES DE POMPAGE ET REJETS

La connaissance des interdépendances au niveau de granularité supérieur ne suffit pas à appréhender réellement les conséquences sur le fonctionnement des services. Ainsi, l'interaction entre la RATP et la SAP, du fait des rejets d'eaux de pompage dans le réseau d'égouts, a été identifiée (cf. chapitre 4), mais la collecte de données dans la deuxième étape n'a pas permis de localiser les points d'échange. Or, les gestionnaires de la SAP ont déjà reconnu comme majeure cette interaction et ils ont besoin de données plus précises concernant les volumes et les points de rejets. En effet, lors du dernier atelier collaboratif, de nombreux autres gestionnaires ont déclaré avoir prévu des moyens de pompage pour protéger leurs installations : ERDF, Climespace ou Orange entre autres. Malgré les avertissements de la SAP qui ne souhaiterait pas voir son réseau surchargé, les gestionnaires semblent donner la priorité à leurs infrastructures et ils connaissent des moyens d'évacuer les eaux, quel que soit le niveau de charge de l'égout. Ainsi, la connaissance des points d'interaction entre le réseau d'égout et les autres équipements permettraient d'affiner les interdépendances.

QUANTIFICATION DES INTERDEPENDANCES

En particulier, ces interactions « matérielles » pourraient être quantifiées pour permettre une meilleure anticipation de l'ensemble des acteurs. Au lieu d'une simple qualification de la dépendance, les tables de données pourraient inclure des valeurs de « flux ». Par exemple, les capacités de pompage prévues par les gestionnaires correspondent à un flux entrant pour le réseau d'assainissement. La précision des interdépendances serait aisément réalisable, si les données sont suffisantes, sur le même principe que la table des besoins (cf. 6.2.2), mais en remplaçant la criticité par une valeur, qui pourrait donc varier dans le temps. Cela permettrait par exemple de prendre en compte des puissances minimales calculées par le gestionnaire pour faire fonctionner les équipements indispensables de ses sites (par exemple la puissance électrique nécessaire pour faire tourner une pompe ou pour maintenir quelques ordinateurs et l'éclairage d'un site d'exploitation), ou les consommations d'eau nécessaires au maintien des agents (volumes d'eau par jour pour l'hygiène), etc.

7.2.2. VERS LA LOCALISATION FINE DES IMPLANTATIONS ?

FERMETURE DES VOIES ET MISE EN PLACE DE BATARDEAUX

L'utilisation de données géographiques a également l'intérêt de permettre la localisation précise d'un équipement par rapport à un autre. L'un des problèmes discutés lors du dernier atelier était justement la possibilité de se déplacer ou d'intervenir une fois les voiries fermées ou les batardeaux mis en place. En effet, les gestionnaires ne semblaient pas avoir une connaissance précise des fermetures, et encore moins des niveaux de Seine à partir desquels elles interviennent. Or, il est apparu durant la collecte des données que certains services pourraient avoir besoin d'accéder à leurs équipements, après que la voirie ait été condamnée. En particulier, la base de données indique une action de coupure de l'alimentation électrique de l'éclairage du

pont Charles de Gaulle par EVESA (Figure 7-2) alors que le pont est coupé, que des barrières anticrue sont positionnées en rive gauche et que les voiries d'accès sont fermées en rive droite.

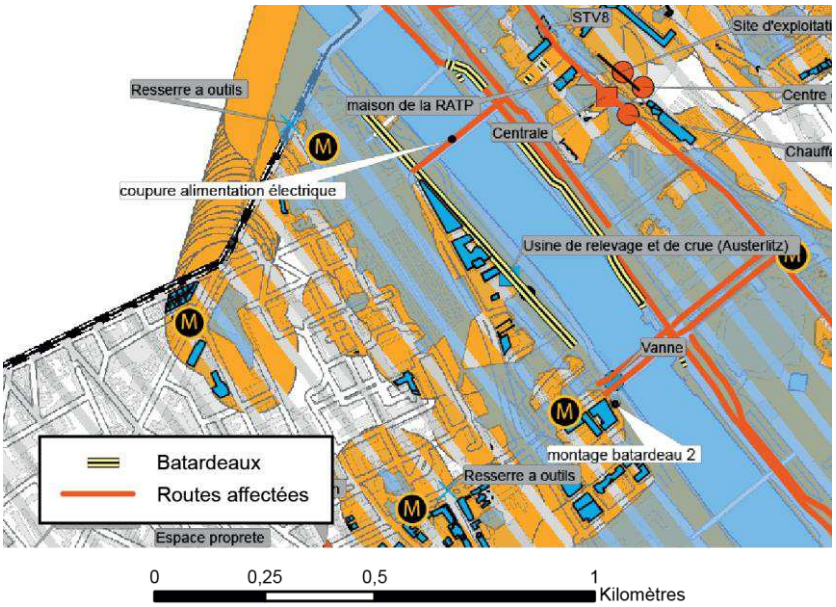


Figure 7-2 : Contraintes aux déplacements et aux interventions au jour J8 dans le secteur gare d'Austerlitz (Toubin *et al.*, 2014a)

EVESA étant un service fortement lié à la DVD de la Ville de Paris, on peut supposer qu'ils auront coordonné leurs actions ou, du moins, qu'EVESA sera informé de la fermeture des accès. Cependant, cet exemple montre que d'autres contradictions pourraient exister entre les interventions des services et la fermeture des voiries ou la mise en place des batardeaux. Pour les identifier, il faut effectuer une analyse d'itinéraire entre deux points, tenant compte des modifications de la voirie. La représentation approximative de l'implantation des protections locales n'est donc pas suffisante, il faut descendre à l'échelle plus fine encore de la voirie.

Proximite geographique

L'ensemble des sites d'intervention de chaque service n'a pas été répertorié (par exemple, GRDF a indiqué ses actions de dépose des détendeurs mais sans les points d'action précis). Les gestionnaires ont cependant planifié finement leurs interventions et sont capables d'identifier leur besoin d'accéder aux voiries ou aux équipements. Il leur faut donc connaître le plan d'implantation précis des barrières anticrue par exemple, ce que la DVD a effectivement réalisé (sous logiciel de CAO et non sous SIG). Alors cette représentation fine permet d'identifier les équipements présents « au-delà » (c'est-à-dire du côté inondé) de la barrière et qui seraient potentiellement inaccessibles une fois la protection mise en place. Ici par exemple, des tampons d'égout, des bouches d'eau potable et des mâts d'éclairage public sont situés du côté Seine de la barrière (Figure 7-3).

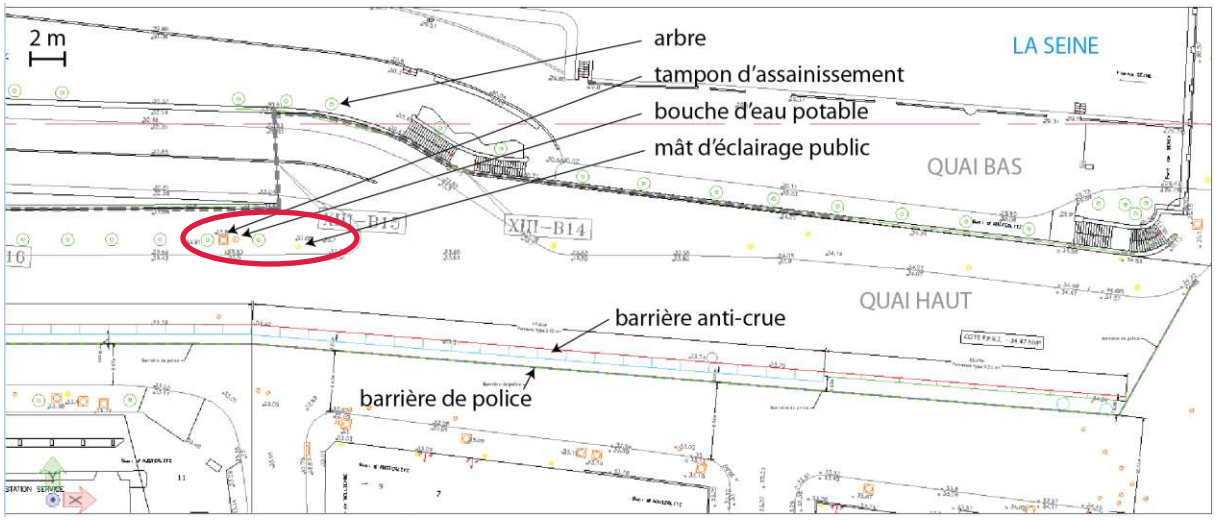


Figure 7-3 : Extrait du plan d'implantation de la barrière anticrue quai d'Austerlitz (source : fond de plan de la DVD)

Ces équipements pourraient donc nécessiter l'intervention des gestionnaires correspondants : étanchement des tampons par la SAP, dépose d'équipement électrique par EVESA. Ces services sont tous liés aux services de la Ville de Paris, mais il pourrait y avoir également des équipements GRDF ou Orange par exemple, sans que les gestionnaires n'aient connaissance de ce problème. En effet, si les gestionnaires ont pris en compte le niveau de la Seine pour planifier leur action, ils n'ont pas nécessairement pris en compte le fait que la barrière sera mise en place bien avant l'arrivée de l'eau. Dans ce cas particulier, la barrière n'est pas continue puisque le niveau de la voirie remonte (ce que l'on visualise sur la droite de la Figure 7-3), il sera donc possible de passer derrière la barrière, si les autorités le permettent. D'autres batardeaux visent davantage à « étancher » le lit de la Seine et seraient donc plus difficiles à franchir.

7.2.3. De nombreuses incertitudes persistantes

Sur l'evenement et ses impacts

Malgré, ou à cause, de la relative connaissance de l'évènement et de sa temporalité, la gestion de crise présente de nombreux points délicats (cf. 7.1.2). Ainsi, déjà dans les stratégies prévues, des contradictions et des décalages apparaissent lorsque les interdépendances sont analysées finement. Mais quelques éléments inattendus pourraient accentuer ces incompatibilités et remettre en cause la résilience globale des services. Concernant l'évènement, s'il est déjà difficile pour les gestionnaires de se comprendre du fait des nombreuses échelles utilisées (cf. 6.2.3), une légère variation temporelle dans l'évolution (en plus ou en moins rapide) modifierait les plans des gestionnaires. Sans parler de niveau maximum au-dessus des prévisions, une montée de la Seine plus rapide pourrait empêcher la bonne réalisation de toutes les actions. À l'inverse, une montée plus lente allongerait les temps de fonctionnement en mode dégradé et pourrait modifier les besoins en ressources stockées (besoins en fioul pour les groupes électrogènes, en réactifs pour les traitements de l'eau par exemple). Les incertitudes majeures concernant l'évolution de la nappe sont une source réelle de préoccupation qui a poussé la Ville de Paris à mener des travaux complémentaires[53] et prévoir la modernisation du parc de piézomètres (grâce au PAPI notamment, cf. chapitre 3). Ces études, ainsi que les nouvelles données de niveaux de nappe disponibles en temps réel, devraient apporter de nombreuses informations complémentaires concernant l'évolution de l'inondation. L'ensemble des stratégies des gestionnaires pourrait être remis en question si l'inondation des sous-sols est généralisée. Par ailleurs, l'adaptation de chaque gestionnaire à l'évènement (par rapport aux cotes constatées, prévues ou aux

[53] Thèse d'Aurélie Lamé sur la modélisation des flux hydrauliques souterrains (Lamé, 2013) réalisée au sein de l'Inspection générale des carrières (IGC).

indications du SGZDS) modifie la temporalité des actions et pourrait à nouveau poser des problèmes d'incompatibilité entre les actions. Ainsi, il semble indispensable de pouvoir suivre en temps réel les mesures mises en place par les gestionnaires, afin que chacun puisse anticiper les actions des autres.

Le fonctionnement des services est parfois très incertain et leur continuité ne repose que sur quelques conditions que le gestionnaire ne maîtrise pas nécessairement. Alors la modélisation et les analyses réalisées sont également sujettes à caution. Elles ne visent pas à transcrire la réalité, ni à planifier précisément la gestion de crise, mais davantage à mettre en avant l'intérêt d'une analyse spatiale et temporelle conjointe du fonctionnement des services. Cette approche devrait être portée par une autorité organisatrice légitime pour exiger des informations et de la collaboration de la part des gestionnaires. En effet, c'est également leur degré d'implication et de volonté à partager des informations qui assure la pertinence de l'analyse. Dans le cas de Paris, on peut se demander si la Ville de Paris ne serait pas la mieux placée pour assurer ce rôle, en coordination avec l'autorité organisatrice de la gestion de crise à l'échelle régionale : le SGZDS.

Sur le poids des arbitrages politiques

Les gestionnaires ont mentionné en effet l'importance des décisions prises par la cellule de crise, qui peut à tout moment remettre en cause des actions concertées entre gestionnaires. Notamment, du fait de l'importance de Paris pour le fonctionnement de la France (cf. chapitre 3), il est probable qu'une crise telle que l'inondation centennale soit gérée au plus haut niveau de l'État. Alors ce sont des arbitrages, plus ou moins politiques, qui s'imposeront aux uns et aux autres, éventuellement au détriment des plans prévus par les gestionnaires et des réflexions collaboratives menées en amont. Le rôle du SGZDS est effectivement de donner les grandes lignes de la réponse à l'inondation afin d'assurer une cohérence entre les stratégies des différents territoires et des acteurs (coordination stratégique) et d'assurer l'équité dans le traitement du risque (Beucher et Reghezza-Zitt, 2008). Cependant, la coordination opérationnelle fine, au niveau local, des actions des gestionnaires ne semble pas réalisable par un seul et même acteur à l'échelle de la région. En effet, la complexité des interactions génère des arbitrages inévitables dont les conséquences en chaine sont difficiles à anticiper au niveau opérationnel. La question se pose donc de la prise en considération de l'éventuelle contradiction entre des objectifs locaux et des objectifs plus larges, ainsi que celle de la prise de décision en situation d'urgence. En effet, la multiplication des acteurs impliqués dans la gestion de crise peut compliquer la prise de décisions parfois critiques. À l'inverse, une décision prise sans connaître les répercussions sur l'ensemble de la ville peut s'avérer pénalisante sur le long terme. On peut se demander si la Ville de Paris qui, ayant mené une démarche préalable d'analyse collaborative de la gestion des services urbains, ne serait pas plus à même de faire le choix le plus efficace pour le territoire. Sur la base de sa solide connaissance de son territoire et grâce aux leviers d'action sur ses services urbains, elle pourrait mettre en œuvre sa réponse opérationnelle locale, suivant les directives stratégiques du SGZDS (approvisionnement des sites stratégiques de décision par exemple) et les objectifs dépassant son périmètre.

Synthèse

Malgré l'avancée permise par le SIG dans l'analyse des interdépendances, la nécessité de descendre jusqu'au niveau inférieur des composants apparait lors du dernier atelier. En effet, l'analyse au niveau intermédiaire met en avant des points sensibles qui nécessitent une évaluation encore plus fine, que ce soit au niveau de la quantification des interdépendances ou de l'analyse des interactions géographiques. Alors, la méthodologie doit pouvoir intégrer ce niveau d'analyse ou du moins les résultats issus de travaux complémentaires. La quantification des interdépendances peut se faire sans modification de la base de données, en remplaçant la criticité qualitative par des valeurs de flux. La proximité géographique peut être incluse dans l'outil SIG, si les données d'implantation

sont suffisamment précises et adaptées au format logiciel. Suivant les analyses effectuées, il apparait que le scénario tel qu'attendu par les gestionnaires montre déjà des difficultés dans la gestion des interdépendances ou la coordination des stratégies. Mais d'autres incertitudes viennent remettre en cause les plans prévus. Ainsi, la préparation à ces éventualités et la communication entre gestionnaires durant la crise sont essentielles. En particulier, les décisions imposées par les autorités modifient les stratégies des gestionnaires et nécessitent également des échanges en temps réel permettant à chacun d'ajuster son fonctionnement. Pour pallier ce problème, une gestion des arbitrages locaux semble plus adaptée au niveau communal, en coordination avec le SGZDS qui assure la cohérence régionale.

7.3. Bilan de la demarche

La démarche présentée ici a un potentiel certain en termes d'approfondissement de l'analyse, mais elle présente également certaines limites inhérentes à la modélisation. Dans un contexte de gestion de crise impliquant de nombreux acteurs, la collaboration est importante mais elle est également remise en question par l'autorité organisatrice. Un questionnaire de « satisfaction » a été envoyé aux 40 gestionnaires ayant participé à ces travaux, dans le but de recueillir leur avis concernant la démarche : l'intérêt des ateliers, les suites qu'ils imaginent y donner, etc. (cf. annexe 3). Treize gestionnaires ont répondu, ils représentent 10 des 14 services étudiés et 47 % de la présence globale sur les 3 réunions auxquelles il y eut 19, 10 puis 16 participants. Ils ont tous participé à la dernière réunion. Ce bilan est ensuite discuté au regard de la démarche complète présentée dans ces travaux, notamment au niveau supérieur (cf. partie 2).

7.3.1. Bilan des gestionnaires

Constitution d'un reseau

Conformément à la méthode de la traduction (cf. chapitre 2), le réseau d'acteur s'est constitué progressivement. Les premiers entretiens ont permis d'identifier les services urbains en présence, les contraintes et les intérêts liés à leur fonctionnement. Le premier atelier a ensuite permis d'identifier une problématique commune : la gestion des interdépendances. À cette étape, le traducteur est représenté par l'équipe de recherche. Les services urbains sont alors représentés au sein du réseau par le référent rencontré lors des entretiens, mais leur capacité de traduction au sein de leur propre entité est difficile à évaluer. Pour la majorité des gestionnaires ayant répondu au questionnaire, outre l'intérêt pour le travail de recherche et la manière dont les données qu'ils avaient transmises ont été analysées, l'intérêt majeur réside dans la rencontre avec d'autres gestionnaires (10/13) et le partage d'informations (11/13). Si certains se connaissaient déjà et travaillaient parfois ensemble sur les thématiques de gestion d'inondation (ERDF et GRDF, CPCU et Climespace, SYCTOM et CPCU), tous ne se côtoient pas régulièrement ou ne connaissent pas la personne « référente crue » car ce type de poste est sujet à renouvellements fréquents. En particulier, il semble que les échanges entre gestionnaires, en dehors d'une structure formelle et hiérarchisée, favorisent un dialogue ouvert et constructif.

On peut considérer que l'investissement en temps des participants aux trois ateliers constitue une première étape vers un investissement de forme. Notamment, la mobilisation des moyens des entités sur des tâches précises dans l'intérêt du groupe permettrait la cimentation du réseau. Cette étape n'a pas été atteinte, dans le cadre de cette démarche. Cependant, la quasi-totalité des gestionnaires ayant répondu (12/13) confirment qu'ils seraient intéressés pour participer à d'autres réunions de ce réseau sous l'égide de la Ville de Paris, ce que le responsable de la DPP a proposé lors du dernier atelier. La moitié des réponses (7/13) indiquent que des contacts ont déjà été pris par des gestionnaires lors de ces rencontres, ce qui améliore la connectivité entre les acteurs et donc la complétude des décisions pour une meilleure résilience (Carmeli *et al.*, 2013). Par ailleurs, 5 gestionnaires déclarent envisager de lancer une coopération plus approfondie avec ces contacts, ce qui confirme là encore la nécessité d'entretenir une relation d'échange afin de mieux préparer les services ou de pouvoir réagir rapidement lors de la crise. Le maintien du réseau passe donc d'abord par l'enrôlement et la mobilisation des entités toutes entières, puis il pourra être étendu à d'autres acteurs (cf. chapitre 9), moyennant vigilance et transparence.

Apprentissage collectif

L'apprentissage étant l'une des capacités majeures pour l'amélioration de la résilience (cf. chapitre 1), il est également intéressant d'évaluer si les gestionnaires ont tiré des leçons utiles pour leur service lors de ces

ateliers qui s'apparentaient à une simulation de crise. Ainsi, ils déclarent presque tous avoir appris des choses lors de ces ateliers (11/13) avec des scores similaires pour les quatre catégories proposées :

- connaissance des interdépendances (8/13) ;
- problèmes rencontrés dans la gestion de la crue (7/13) ;
- solutions techniques mises en œuvre par d'autres gestionnaires (5/13) ;
- solutions organisationnelles mises en œuvre par d'autres gestionnaires (6/13).

Alors les ateliers visant à augmenter la connaissance commune concernant le problème des interdépendances semblent avoir rempli leur rôle puisque 10 gestionnaires ont jugé ces réunions assez utiles (6/13) ou très utiles (4/13) pour leur système. Les gestionnaires reconnaissent d'ailleurs l'effet bénéfique pour la ville puisqu'ils sont également 10 à avoir jugé assez utile (4/13) ou très utile (6/13) ces travaux pour la résilience de Paris en général.

La discussion autour des interdépendances a donc permis au groupe de gestionnaires de partager, si ce n'est une vision commune (encore qu'il n'y ait pas eu de réel conflit concernant la nature des interdépendances), au moins une vision des points de vue des différents services. L'apprentissage semble aussi avoir été fructueux au niveau de l'échange de solutions techniques et organisationnelles, ce qui était particulièrement recherché lors du deuxième atelier. L'identification de solutions mises en place par d'autres sur des problématiques similaires a donc pu inciter les gestionnaires à mettre en place des actions, ce qui est indiqué par 4 gestionnaires sur 13 répondants, les domaines concernés étant :

- études complémentaires (3/4) ;
- renforcement (0/4) ;
- protection (0/4) ;
- organisation (3/4) ;
- préparation (1/4).

Cela confirme que les solutions organisationnelles semblent plus facilement transposables d'un système à un autre, au contraire des mesures techniques, trop contraintes par les spécificités techniques de chaque service (cf. chapitre 5).

Vers la collaboration et le long terme

Les réunions de ce réseau ainsi constitué ont débouché sur quelques collaborations. Il s'agit principalement de coopérations bilatérales (au sens de la coordination des résultats des efforts à propos de tâches communes bien délimitées, cf. chapitre 2) concernant les deux problématiques identifiées lors de la deuxième étape (cf. 7.2). La SAP a donc demandé à Orange de lui fournir les points et les capacités de pompage prévus pour protéger les installations télécoms. Cela permettra aux gestionnaires des égouts d'évaluer la surcharge produite sur leur réseau et ils pourront en retour informer les gestionnaires d'Orange de la capacité ou non des égouts à évacuer ces volumes. Un autre échange, davantage communicatif que coopératif (au sens où les acteurs se parlent mais n'ont pas le souci d'harmoniser leurs actions), concerne la mise en place des protections locales. La DVD, chargée de leur mise en place, a ainsi fourni les plans d'implantation précis (cf. 7.2.2) aux gestionnaires de GRDF qui en avaient fait la demande, afin d'identifier s'ils avaient besoin d'accéder à la voirie ainsi condamnée.

Ces deux exemples ne sont peut-être pas isolés ou présagent d'une collaboration de plus en plus poussée des gestionnaires du réseau. Il s'agit en effet des premiers résultats de ce réseau informel qui se poursuivra par une « implémentation » officielle avec la Ville de Paris. Alors la transformation de la gouvernance des risques et de la ville pourrait éventuellement aboutir à une traduction réglementaire (Rijke *et al.*, 2013). À l'issue de cette expérimentation, le niveau « court terme » de l'apprentissage (apprentissage collaboratif autour des processus

de collaboration entre acteurs : niveau inférieur des interactions entre deux acteurs) (Pahl-Wostl *et al.*, 2007) est atteint. Mais le maintien du réseau par la Ville de Paris relève de l'apprentissage à moyen terme avec le changement du réseau d'acteur (enjeux pris en compte, processus et amélioration continue : niveau intermédiaire du réseau d'acteur). Le troisième niveau d'apprentissage à long terme touche ensuite la structure de gouvernance (institutions, valeurs et normes : niveau supérieur de la structure sociale et de gouvernance), mais il est encore loin. Cependant, on pourrait envisager que les réseaux de gestionnaires de services urbains deviennent, si ce n'est obligatoires, au moins une composante fortement recommandée des plans de prévention des risques (ou de tout autre nouveau dispositif d'amélioration de la résilience). Alors, en prévention d'un évènement prévisible ou de perturbations quelconques sur l'un des services, de telles structures permettraient de mettre en place une stratégie commune de réponse, des outils de partage d'informations afin de mutualiser les efforts (cf. chapitre 9).

Finalement, il est possible d'affirmer qu'une partie des objectifs de la recherche a d'ores et déjà été remplie : faire interagir les gestionnaires afin de les aider à identifier et gérer collaborativement leurs interdépendances (Figure 7-4).

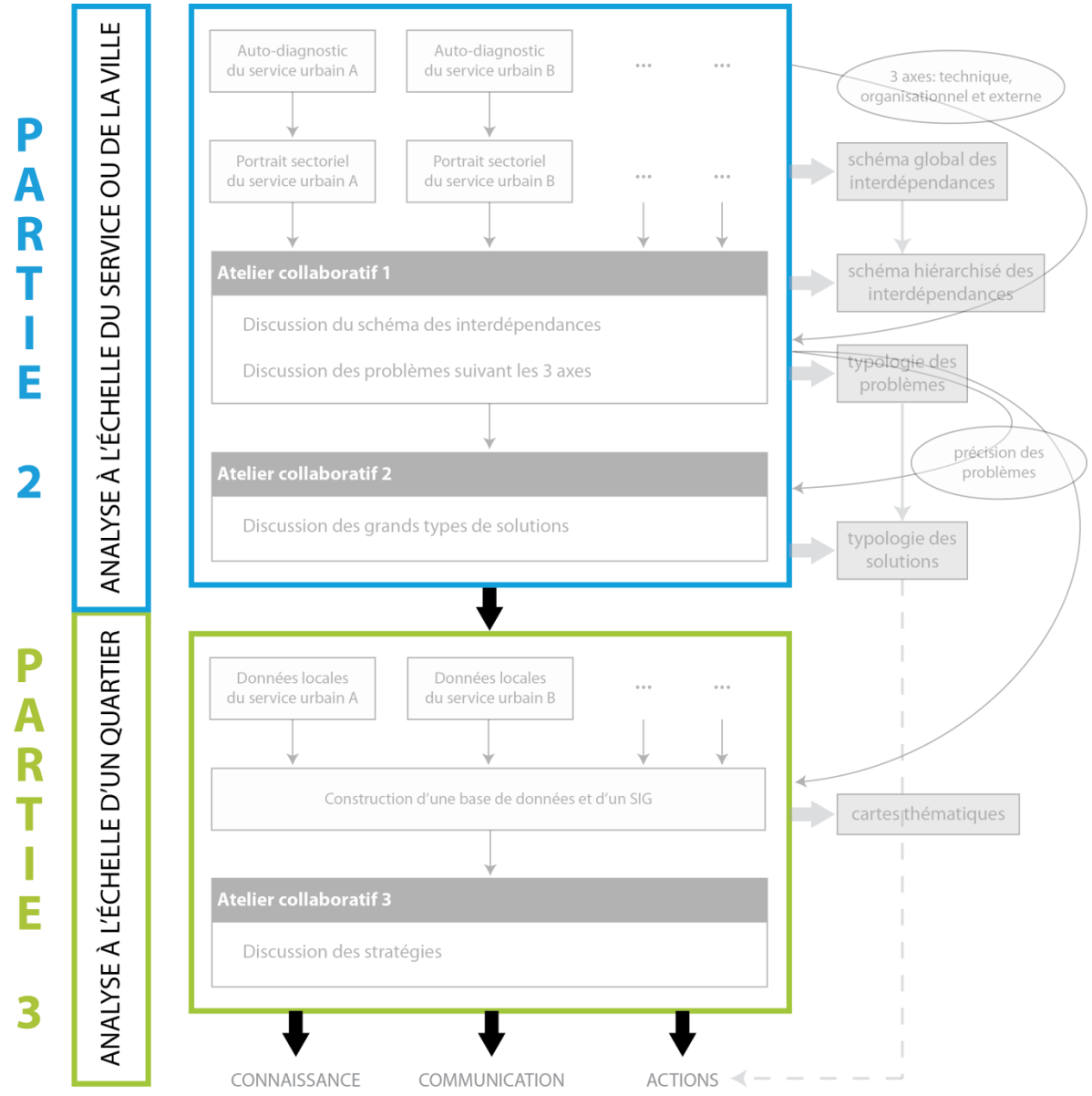


Figure 7-4 : La démarche méthodologique de l'expérimentation, aboutissant effectivement à une meilleure communication, à une connaissance partagée entre gestionnaires parisiens, voire à des actions

Toutefois, la connaissance et la collaboration impulsées avec cette démarche ne correspondent qu'à la mise en commun de connaissances détenues individuellement par chaque gestionnaire. Or, d'autres données ne sont pas prises en compte par les gestionnaires car elles leur sont inconnues. Dans la première analyse des interdépendances au niveau supérieur, la propagation des défaillances a été mise en avant, mais il est apparu difficile de les caractériser à partir des portraits sectoriels. Pourtant, l'analyse du système de systèmes créé par les interdépendances permet de « générer des connaissances que les experts des réseaux de manière individuelle ne possèdent pas, mais que de manière collective, ils possèdent » (Pellet, 2009).

7.3.2. Retour au systeme de systemes interdependants

Analyse structurelle du graphe

Le graphe constitué des dix-huit systèmes interdépendants peut être analysé grâce à la théorie des graphes. Le nombre de nœuds est toutefois relativement faible, il faudra donc vérifier la pertinence des indicateurs qui sont souvent adaptés à l'analyse de grands graphes. Par ailleurs, la signification de ces indicateurs dans le cadre de l'analyse de réseaux sociaux (Bodin *et al.*, 2006) pourrait être utile. En effet, puisque les interactions correspondent à un échange de ressource ou de service, il s'agit bien d'un lien connu (éventuellement par un seul des deux systèmes) entre deux gestionnaires. Cependant, des caractéristiques positives pour la résilience d'un réseau social peuvent s'avérer négatives pour le système puisque tout lien correspondant à une dépendance est à la fois un potentiel de propagation de perturbation et un potentiel de rétablissement ou d'optimisation (Ouyang et Dueñas-Osorio, 2011). Un des intérêts de l'évaluation de la structure du graphe des interdépendances des services urbains parisiens (Figure 7-5) serait la comparaison avec d'autres systèmes de services urbains, dans le but d'identifier des similarités ou des différences qui pourraient aider à caractériser des structures résilientes. À notre connaissance, une telle analyse du système de services urbains n'a jamais été menée. Aussi ce travail vise à porter un regard critique sur le premier bilan de cette démarche afin d'identifier des pistes d'amélioration (cf. chapitre 9).

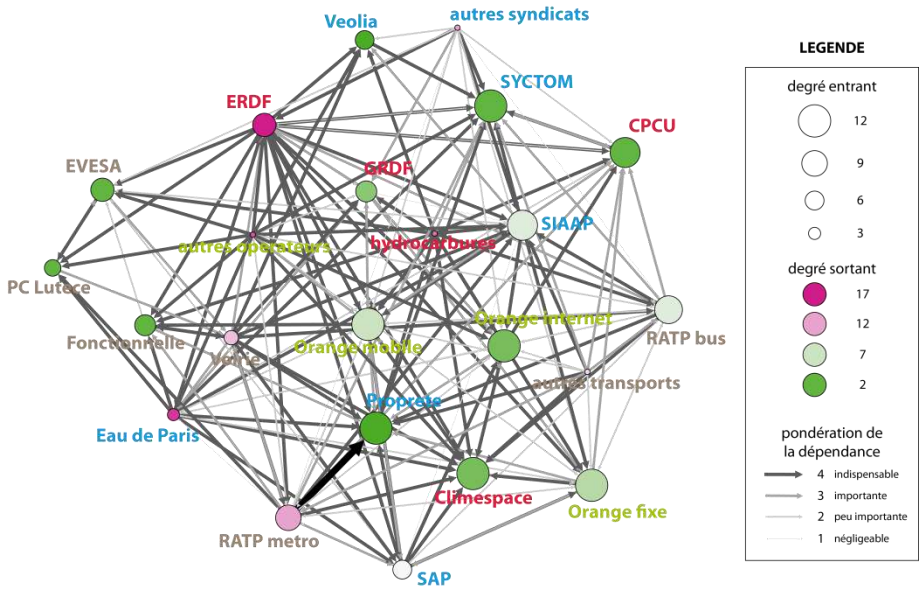


Figure 7-5 : Graphe des services urbains interdépendants (cf. chapitre 4)

~ Le diamètre du graphe est de 4. Cela signifie que chaque système est relié à l'ensemble des autres systèmes par un chemin de longueur maximale 4. Alors la défaillance d'un système sera susceptible d'impacter l'ensemble des services urbains en moins de 4 diffusions de la défaillance, si elle n'est pas maîtrisée. Cet indicateur montre bien l'importance d'avoir une vision globale des interdépendances.

~ L'allongement moyen entre deux nœuds est de 1,794. C'est-à-dire qu'en moyenne, deux nœuds sont reliés par moins d'un intermédiaire, ce qui se traduit également dans l'indicateur de centralité *closeness centrality* (distance moyenne depuis un nœud vers tous les autres) (Figure 7-6). Cet indicateur montre l'étroitesse des liens entre les différents services.

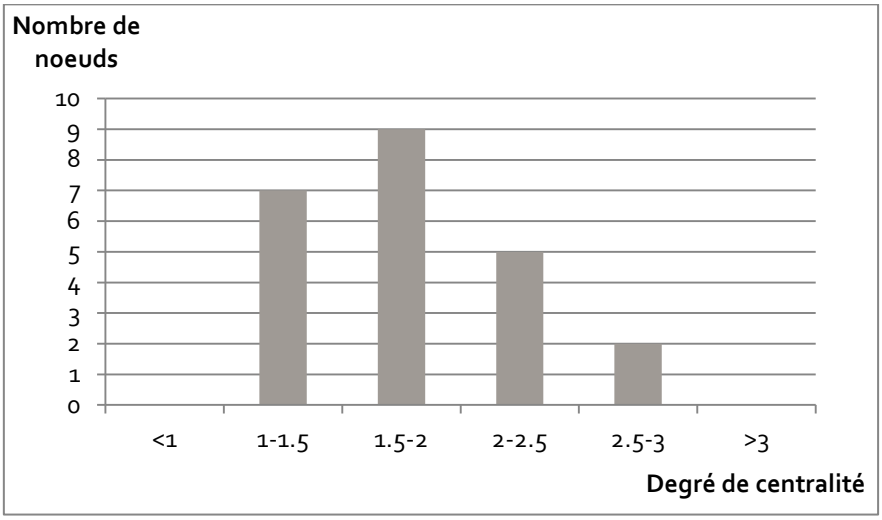


Figure 7-6 : La majorité des nœuds sont reliés à l'ensemble des autres par un chemin de longueur comprise entre 1 et 2

~ La densité du graphe est son degré de complétude (un graphe complet est un graphe de densité 1 dont tous les nœuds sont reliés deux à deux) ; elle vaut 0,330. Cela signifie que les services urbains ne sont pas tous dépendants entre eux mais cette densité est déjà relativement élevée pour un graphe.

~ La modularité du graphe vaut 0,079 et n'est pas signifiante (inférieure à 0,4). Il est donc impossible de détecter des communautés (groupes de services dépendants entre eux).

~ L'indicateur de *betweenness centrality* donne la probabilité qu'un nœud apparaisse sur le plus court chemin entre deux nœuds (Figure 7-7). La plupart des systèmes ont une probabilité faible d'apparaître sur le plus court chemin reliant deux nœuds mais ERDF a plus de 20 % de chance d'apparaître sur ce chemin. Cela confirme le caractère central du distributeur d'électricité, que l'on connaissait déjà. La Voirie et le SYCTOM sont également des systèmes intermédiaires importants, ce qui est plus étonnant. Il faut signaler également que le système Orange mobile devient un intermédiaire important lorsque l'importance des liens est prise en compte. Si l'on traduit une criticité élevée en distance courte entre deux nœuds (en utilisant l'inverse du poids), Orange mobile devient davantage intermédiaire, ce qui signifie que le service qu'il rend est important pour les utilisateurs.

Finalement, ces systèmes intermédiaires sont fortement influents, mais également d'importants intermédiaires, c'est-à-dire des potentiels propagateurs de perturbation entre deux systèmes au départ non directement dépendants : ils sont les vecteurs d'interdépendances de deuxième ordre. Or les interdépendances de deuxième ordre font partie de ces connaissances ne pouvant être mises en avant que par l'analyse de la connaissance collective des gestionnaires (Pellet, 2009).

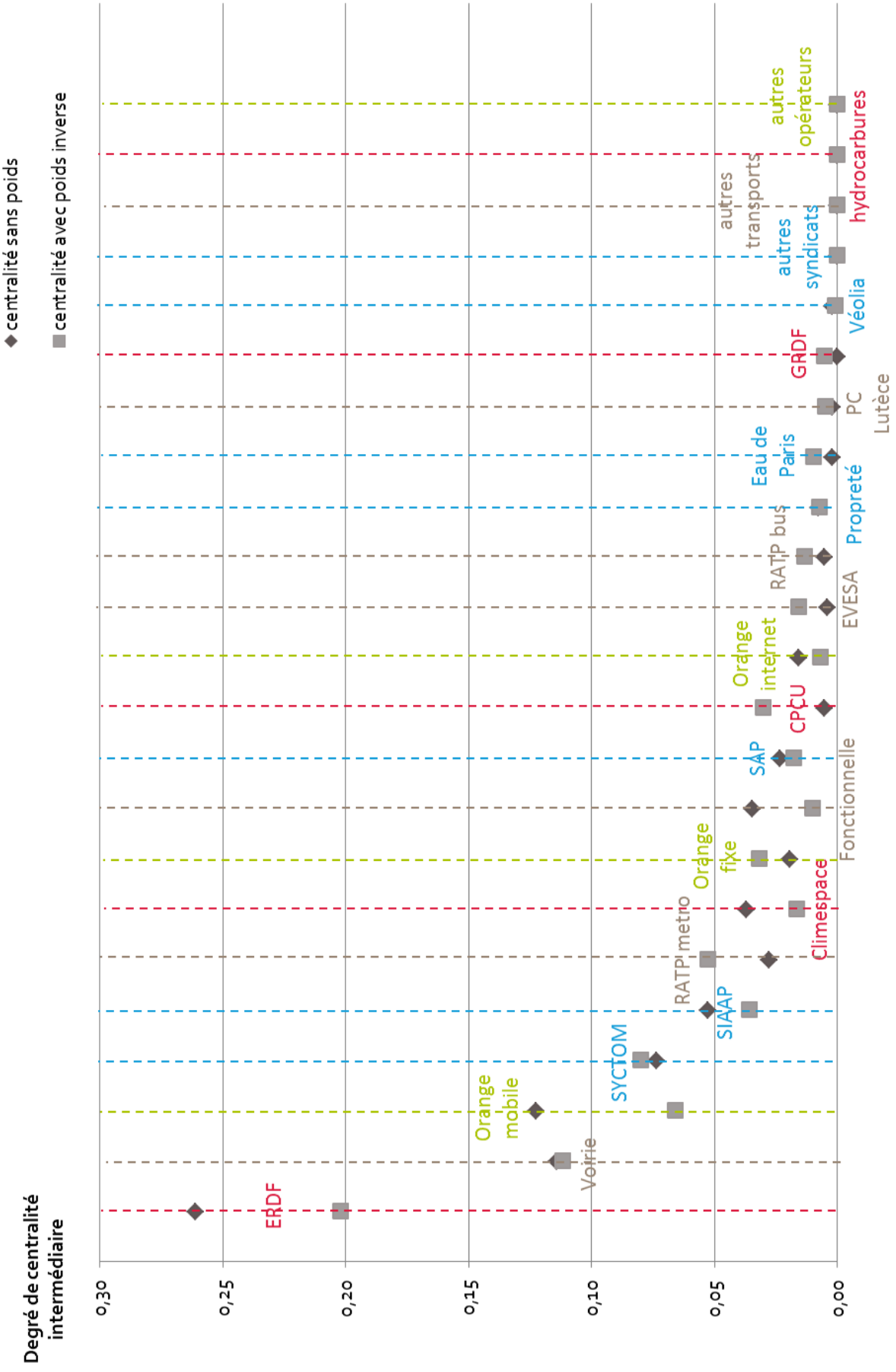


Figure 7-7 : La majorité des nœuds ont moins de 10 % de chance d'être sur le plus court chemin entre deux nœuds

INTERDEPENDANCES DE DEUXIEME ORDRE

En mettant la matrice d'interdépendance (cf. chapitre 4) au carré, les interdépendances de deuxième ordre apparaissent. En effet, si le système A fournit une ressource au système B et que B fournit une ressource au système C, alors indirectement, C est aussi dépendant de A. En particulier, les interdépendances de deuxième ordre font apparaître les rétroactions d'un système sur lui-même. Elles traduisent l'impact d'un système sur son propre rétablissement si la défaillance première entraîne le dysfonctionnement d'un service qui lui fournissait une ressource essentielle (Figure 7-8).

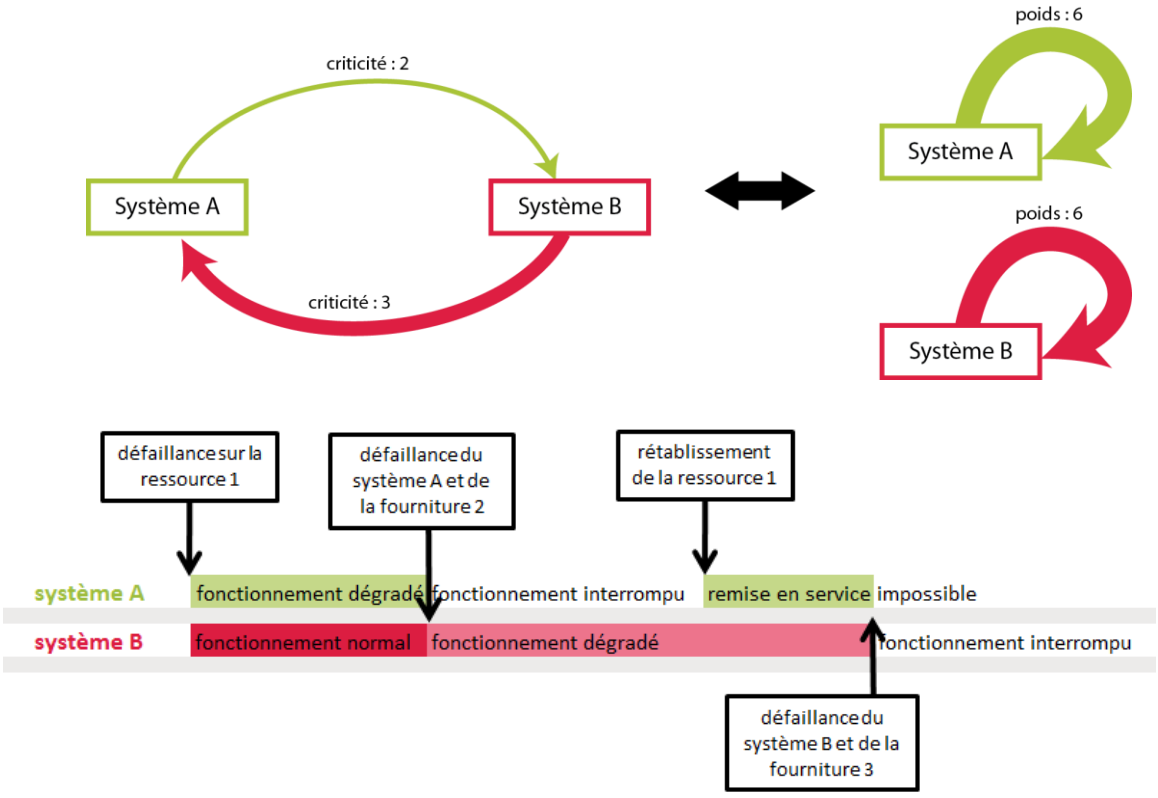


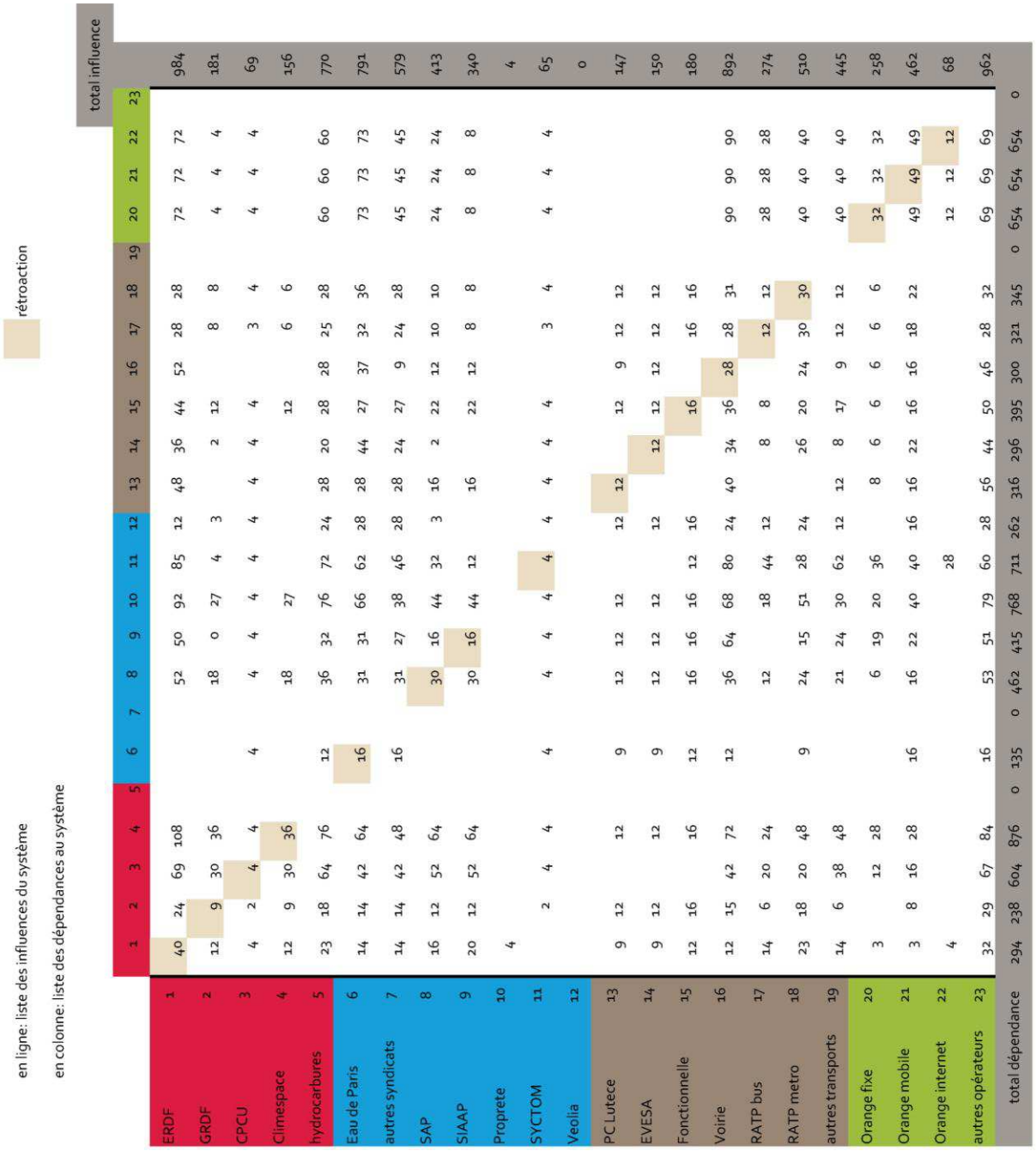
Figure 7-8 : Dépendance de deuxième ordre, rétroaction et perturbation de la remise en service

Ainsi s'il existe k tel que $x_{ik} \neq 0$ et $x_{kj} \neq 0$, alors $a_{ij} \neq 0$, et il existe bien un système K tel que I fournit une ressource à K et K fournit une ressource à J, donc I fournit une ressource à J.

$$a_{ij} = \sum_{k=1}^{n} x_{ik}\, x_{kj}$$

Où n est la dimension de la matrice carrée (23 systèmes dans cet exemple). La matrice ainsi obtenue (Tableau 7-2) peut alors à nouveau être représentée en graphe (Figure 7-9) et analysée en termes d'influence et dépendance (Figure 7-10).

Tableau 7-2 : Matrice des interdépendances de deuxième ordre



Les interdépendances de deuxième ordre sont très nombreuses dans le système parisien où les services sont fortement interconnectés (Figure 7-9). Il est toutefois possible de dégager les interdépendances d'ordre 2 majeures, comme celles reliant les opérateurs télécoms à la CPCU ou celle reliant ERDF à la CPCU. Si la dépendance de la CPCU à ERDF existait déjà dans les interdépendances directes, la CPCU ne dépend par contre pas directement des autres opérateurs car les télécommunications de la CPCU sont opérées par Orange. Cette interdépendance de deuxième ordre apparaît alors car de nombreux services dépendent des télécommunications pour fonctionner puis fournissent une ressource à la CPCU (Eau de Paris par exemple). Ainsi, une défaillance d'un opérateur de télécoms, autre qu'Orange, pourrait tout de même avoir un impact indirect sur la CPCU via un fournisseur de ressource.

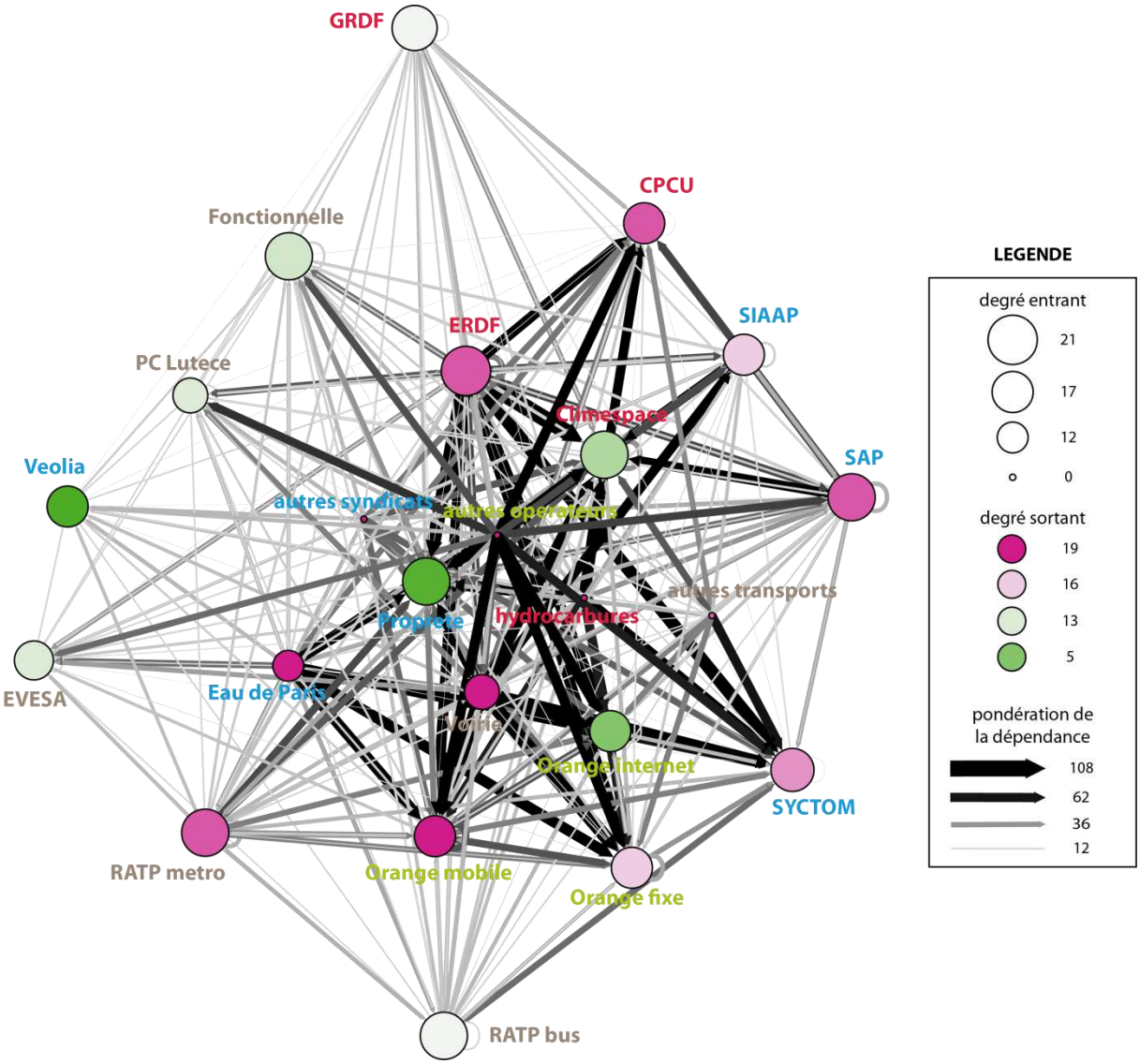


Figure 7-9 : Représentation des interdépendances de deuxième ordre des services urbains parisiens selon la spatialisation force-atlas obtenue avec le logiciel Gephi

La hiérarchie des systèmes influents ou dépendants semble également largement modifiée avec des systèmes peu influents au premier ordre (SAP, SYCTOM) qui deviennent fortement influents au deuxième ordre. Il faut faire attention cependant au fait que cette représentation ne tient compte que du nombre de liens et non de la pondération des liens. Ainsi, l'analyse du nombre total de liens d'influence avec la pondération montre que ces deux services restent peu influents (Figure 7-10). Finalement, la répartition globale sur le plan influence-dépendance reste relativement la même entre les interactions d'ordre 1 et d'ordre 2. Seule l'analyse détaillée du graphe ou de la matrice, centrée sur un système, permet d'identifier des potentiels de défaillance indirecte du fait de la propagation d'une perturbation à partir d'un système au départ non influent.

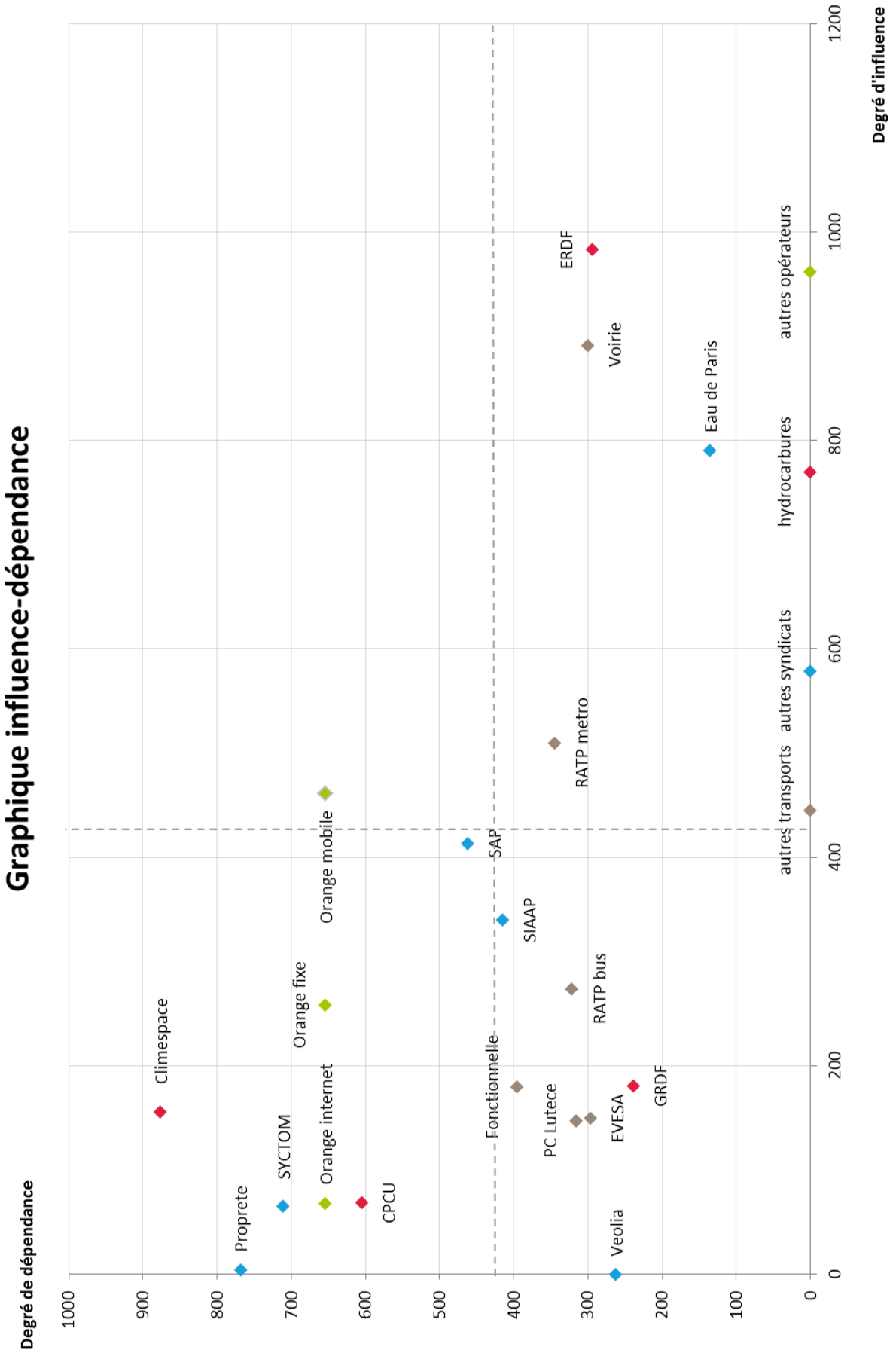


Figure 7-10 : Positionnement des services urbains parisiens dans un plan influence-dépendance de deuxième ordre

Ces analyses complémentaires mettent en avant des liens peu pris en compte entre les services urbains car aucun outil ne permettait de les identifier et les caractériser. Alors, les solutions mises en œuvre au niveau d'un système sur la base de l'analyse des interdépendances de premier ordre peuvent s'avérer insuffisantes à maîtriser les interdépendances d'ordre supérieur. Il apparait en effet que si un seul des systèmes n'améliore pas sa résilience, c'est l'ensemble des autres services qui sont rapidement impactés. La reconnaissance de ces interdépendances dépassant le simple lien direct fournisseur-consommateur devrait permettre de consolider le groupe de gestionnaires (cimentation du réseau en théorie de la traduction). En effet, la considération du système dans son ensemble souligne la nécessité pour chacun d'agir à son niveau, dans l'intérêt du système global.

Synthèse

Bien que modérément représentatif, le bilan effectué par les gestionnaires est positif et confirme de nombreuses hypothèses de la recherche. Tout d'abord, la constitution d'un réseau de gestionnaires capables d'échanger des informations, efficacement et en toute confiance, est un préalable à la résilience des services. L'apprentissage collectif qui en découle favorise l'échange de bonnes pratiques, principalement organisationnelles, et encourage à l'échange plus poussé concernant des problématiques restreintes. D'autres analyses montrent cependant des caractéristiques d'interdépendance peu prises en compte. Des systèmes intermédiaires, comme ERDF évidemment, mais également la voirie ou Orange mobile, apparaissent. Ils peuvent à la fois jouer un rôle majeur dans la propagation des perturbations, mais sont aussi essentiels au fonctionnement des autres systèmes et devraient donc faire l'objet d'attention particulière de la part du réseau de gestionnaire. De la même manière, l'analyse des dépendances de deuxième ordre met en avant des potentiels de défaillance méconnus des gestionnaires. Ces résultats montrent la nécessité d'alimenter le travail collaboratif par des considérations dépassant la connaissance actuelle des gestionnaires.

7.4. SYNTHESE DU CHAPITRE

Les données collectées et leur structuration dans la base de données permettent dans un premier temps de produire une chronologie détaillée de l'évènement. La méthode conduit à une synthèse jour par jour des actions et des impacts sur l'ensemble des services du territoire, ce qui constitue une avancée majeure dans la compréhension de l'inondation à Paris. Les cartes réalisées permettent de visualiser les impacts apparaissant progressivement, d'identifier les déplacements qui seront nécessaires entre les sites d'exploitation et les équipements, puis de suivre l'avancée des perturbations sur le territoire. L'impact sur le territoire commence à se faire réellement sentir dès J4 (5,93 m à l'échelle d'Austerlitz) avec la fermeture de nombreuses stations de métro, puis à J7 (7,09 m) avec les premiers impacts sur les services de distribution d'électricité, de gaz, de chauffage urbain et d'eau potable. Le retour aux trois problématiques majeures (dépendance à l'électricité, dépendance aux télécommunications et déplacement) permet de mieux illustrer les analyses facilitées par le SIG afin de discuter les difficultés et les solutions mises en place par les gestionnaires. L'analyse spatiale permet d'identifier des décalages entre le besoin annoncé par le gestionnaire et le service dont il disposera réellement. Ce décalage ne signifie pas forcément que les besoins ne seront pas assurés, car des solutions internes ont pu être mises en place (palliation de la ressource manquante ou réorganisation du service pour s'y adapter). Il permet par contre d'identifier des points sensibles qui nécessitent une vérification des mesures prises ou une évaluation plus fine de la desserte par les réseaux. C'est particulièrement le cas pour la dépendance aux télécoms pour le pilotage des équipements, qui peut se faire par GSM, par fibre optique ou par un réseau interne, et qui ne peut donc être évaluée à ce niveau de description.

En effet, certaines problématiques requièrent un niveau d'analyse encore plus fin : le niveau de granularité inférieur. Alors la base de données pourrait s'enrichir de données quantifiées pour affiner les interactions entre systèmes. Par exemple, la connaissance des volumes pompés et rejetés dans les égouts pour protéger les infrastructures serait pour la SAP une donnée précieuse afin de mieux préparer son service à des conditions de fonctionnement dégradé. Au niveau géographique, l'analyse montre également le besoin de descendre au niveau inférieur dans la localisation des actions et notamment des ouvrages construits en voirie comme les barrières anticrue. Ce n'est qu'à cette échelle que les gestionnaires peuvent identifier s'ils possèdent des ouvrages du côté inondé, sur lesquels ils ont besoin d'intervenir, le cas échéant, avant ou après la mise en place des protections. Ces exemples montrent bien que l'évaluation de la résilience nécessite des allers-retours constants entre les différents niveaux d'analyse et que sa mise en œuvre doit également intégrer toutes les échelles. Au vu de ces travaux, la coordination opérationnelle par chaque commune responsable de ses administrés et de ses services, en adéquation avec la coordination stratégique de la ZDS et les impératifs nationaux semble préférable.

La collaboration est confirmée comme essentielle par les gestionnaires ayant répondu au questionnaire-bilan. La constitution d'un réseau de gestionnaires est une première étape qui pourrait se poursuivre dans un cadre plus formel, voire réglementé. Il pourrait être le lieu de décisions stratégiques visant à la résilience globale, et de coopérations bilatérales répondant aux problématiques locales. Pour cela, le partage de connaissance et l'apprentissage collectif qui en résulte améliore les marges de manœuvre des gestionnaires et facilite la gestion intégrée des services par la collectivité organisatrice. Cependant, le retour au niveau de granularité supérieur, avec l'analyse de la structure du graphe d'interdépendance, relativise les résultats de la collaboration. L'analyse des interdépendances de deuxième ordre met en avant des interactions méconnues des gestionnaires. En effet, la défaillance d'un système peut se propager plus ou moins rapidement aux autres services si les interdépendances d'ordre 2 sont fortes. Si les leviers d'action des gestionnaires sont davantage réduits s'agissant des dépendances de deuxième ordre, ce type d'analyse met en avant la complexité des interdépendances et la nécessité de travailler conjointement à leur maîtrise, afin d'éviter des effets dominos entrainant la chute de l'ensemble du système.

CONCLUSION DE LA PARTIE 3

Pour analyser la résilience des services urbains parisiens face à la crue centennale, un scénario d'inondation détaillé jour par jour a été reconstruit. Le niveau atteint par la Seine au fil de la montée des eaux induit une inondation de surface sur le terrain reconstitué sous SIG. L'inondation impacte progressivement les bâtiments et les composants majeurs des services urbains, identifiés par les gestionnaires. Il est alors possible de situer les actions et les défaillances prévues par les gestionnaires dans le temps et dans l'espace. Les interdépendances sont également représentées à partir de la méthodologie de la partie 2 afin de prendre en compte les variations de criticité aux différentes phases de la crise et suivant les composants concernés.

Ces données permettent de reconstituer l'évolution de l'inondation et de ses impacts sur le fonctionnement urbain. Ce scénario appuie une analyse collaborative des interdépendances des services urbains au niveau intermédiaire. Les interdépendances fonctionnelles des composants sont étudiées plus particulièrement concernant la dépendance à l'électricité et aux télécommunications. L'outil SIG permet en effet d'identifier les décalages entre le besoin exprimé et le service réellement disponible selon l'opérateur. Les interdépendances géographiques sont illustrées par l'analyse des capacités de déplacement d'un site à un autre, suivant les fermetures de voies et l'arrêt des transports en commun. L'analyse collaborative met cependant en avant le besoin d'une analyse encore plus fine, concernant les interventions en voirie notamment, afin d'évaluer l'accessibilité des équipements. De même, le besoin de quantifier les dépendances apparait dans la prise en compte des volumes pompés par les gestionnaires pour protéger leur infrastructure. En effet, le système récepteur (le gestionnaire du réseau d'égouts) doit connaître les volumes échangés afin d'évaluer la capacité de son réseau à supporter cette surcharge. Toutes les interdépendances pourraient ainsi être quantifiées pour affiner l'analyse de la résilience des services, mais si l'outil peut intégrer cette donnée, elle reste difficile à obtenir.

L'identification des décalages entre stratégie prévue et situation réelle serait alors encore plus fine et devrait montrer davantage d'incohérences dans la réponse globale. En effet, déjà sur le scénario pris en compte par tous les gestionnaires, des difficultés apparaissent. En particulier, l'articulation entre les échelles des interdépendances, des services urbains et des territoires pose la question de l'échelle de gestion de crise. La démarche collaborative a alors l'intérêt de favoriser la réponse collective des gestionnaires, par la construction d'un réseau d'acteurs capable de partager les informations, décider et agir en coordination. Elle doit cependant être alimentée par la formalisation de connaissances issues du savoir des gestionnaires en tant que collectif. Le réseau de gestionnaires peut alors aborder la gestion des incertitudes et de la complexité dans le but d'améliorer la résilience de leurs services. Les conditions du maintien de l'identité de Paris face à l'inondation peuvent ensuite être abordées dans la dernière partie, à partir du scénario présenté ici.

PARTIE 4 : ÉVALUER LA PORTEE DE LA DEMARCHE

Photo 4 : Repère de crue sur le mur anticrue du quai Panhard et Levassor

INTRODUCTION DE LA PARTIE 4

> Le risque est ce qu'il reste à discuter une fois que le travail d'exploration des incertitudes techniques et politiques a été conduit à son terme.
>
> (Callon *et al.*, 2001)

L'analyse de la résilience des services urbains dans la partie précédente met en avant de nombreuses incertitudes qui peuvent être en partie réduites par la collaboration des parties prenantes. Cependant, leur prise en compte nécessite des arbitrages en faveur de l'un ou l'autre des systèmes, dont les conséquences sont éminemment politiques. Une fois ces incertitudes identifiées et ces priorités exprimées, les parties prenantes doivent pouvoir négocier des stratégies contribuant à la résilience de la ville et pas seulement à un seul gestionnaire, un seul quartier ou une seule fonction urbaine. Sinon, le risque est d'aboutir à des prises de décisions diminuant la résilience du système urbain. Il est donc nécessaire de dépasser le cadre d'analyse précédent, limité aux services urbains, et de prendre en compte des échelles plus petites. Cet élargissement de l'analyse permet donc d'évaluer la portée de la démarche en identifiant d'autres conditions à la mise en œuvre de la résilience urbaine. Relativiser les résultats précédents appuie également les perspectives d'approfondissement quant à la méthodologie et les concepts sous-jacents.

Le scénario fondé sur la résilience des services urbains est extrapolé dans le chapitre 8 pour analyser la résilience de la ville, puis de l'agglomération, face à une inondation centennale. Il ne faut toutefois pas négliger de remettre ces résultats en relation avec les dynamiques temporelles plus longues de l'aménagement urbain (projets et schémas directeurs). En effet, l'exemple de Paris montre bien comment ces échelles s'articulent, rendant difficile l'implémentation de la résilience. Les difficultés mises en avant ici nécessitent des évolutions dans les manières de faire et gouverner la ville. Une piste est proposée au chapitre 9 par la généralisation de la démarche présentée ici. Elle s'appuie pour cela sur un autre cas d'étude et sur le retour aux enjeux de la résilience urbaine identifiés dans la première partie. Ce retour aux concepts permet également de dessiner des pistes de recherche théorique.

Chapitre 8 : Les conditions de la resilience de Paris sont-elles reunies ?

Ce chapitre revient aux caractéristiques de la résilience présentées dans la partie introductive afin de discuter la résilience de Paris au regard de ces travaux. Déterminer si Paris est résilient n'est pas aisé, suggérant peut-être que ce n'est pas la bonne question à se poser. Ce chapitre montre en effet la difficulté de répondre à une telle question, afin de préparer la discussion des concepts issue de ces travaux (cf. chapitre 9). Tenter d'évaluer la résilience de Paris met notamment en avant la difficulté, déjà mentionnée, des échelles d'analyse. Les trois échelles du service urbain, de la ville, puis de l'agglomération sont donc analysées successivement.

L'analyse aux échelles supérieures repose sur les résultats issus du travail à l'échelle des services urbains, extrapolés au territoire de la ville puis de l'agglomération. D'autres facteurs doivent cependant être pris en compte car ils jouent un rôle majeur pour la résilience de la ville et réinterrogent les résultats précédents. Les informations restituées ici sont issues des suppositions émises par les acteurs de la gestion des risques rencontrés à Paris ou des publications lues au cours de ces travaux. Ce chapitre propose donc finalement un « scénario catastrophe » qui est appuyé sur les analyses scientifiques menées sur les réseaux. Ce faisant, il ne s'agit pas d'alarmer le lecteur, ni de le rassurer d'ailleurs, mais de mettre en avant les points sensibles et les marges d'amélioration pour la résilience de la ville.

En effet, l'analyse des stratégies mises en place par chaque gestionnaire démontre la posture choisie par l'organisation (que ce soit un service, une ville ou une structure supracommunale), en fonction de leurs objectifs et de leurs contraintes propres. L'articulation des différentes postures (dans l'espace, mais aussi dans le temps) explicite les dysfonctionnements de fond qui peuvent réduire la résilience urbaine. Ces interactions-clés pour la résilience du territoire sont donc autant de pistes d'améliorations de la démarche ; elles sont abordées dans le chapitre conclusif.

8.1. Au niveau des services urbains

L'évaluation de la résilience est relativement bien formalisée pour les systèmes techniques comme les services urbains. Cependant, même cette première analyse montre les difficultés liées à la prise en compte de la dimension « service » de ces objets sociotechniques. Ainsi, les stratégies mises en place par chaque service illustrent bien les contraintes techniques et organisationnelles liées au système, son histoire, sa politique, etc. Les informations collectées auprès des gestionnaires permettent de moduler l'analyse en fonction de trois scénarios d'inondation afin de discuter la pertinence des stratégies de réponse.

8.1.1. Trois capacites de resilience

Synthese par systeme

Le cadre d'analyse développé dans le chapitre 1 pose l'importance des réseaux pour la résilience de la ville. Après l'analyse poussée des impacts subis par les réseaux, des actions mises en œuvre et des niveaux de fonctionnement attendus, il est donc possible d'analyser les trois capacités de résilience (Figure 8-1) des services urbains parisiens (Lhomme, 2012a) :

- La capacité de résistance traduit la capacité du réseau à limiter les endommagements matériels face à des contraintes du fait de sa conception, des matériaux utilisés, etc.
- La capacité d'absorption est la capacité du système en réseau à répartir la contrainte ou à mobiliser des alternatives en s'appuyant sur sa structure (au sens topologie du graphe).
- La capacité de récupération traduit la capacité du système à rétablir son fonctionnement en mobilisant les moyens nécessaires, en organisant les interventions, notamment au regard des priorités et de l'accessibilité des équipements.

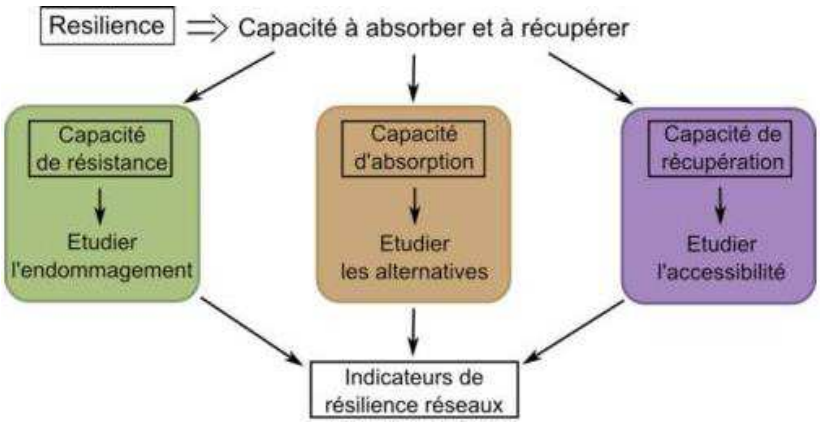


Figure 8-1 : Les capacités à étudier pour analyser la résilience des réseaux techniques (Lhomme, 2012a)

Ainsi, à partir des entretiens réalisés avec les gestionnaires, il est possible d'analyser qualitativement les capacités de résilience des réseaux étudiés, en tenant compte des mesures prises, même si elles relèvent de solutions d'urgence (Tableau 8-1). En revanche, l'analyse ne tient pas compte ici des interdépendances qui peuvent remettre en question ces capacités ou ces mesures d'urgence ; elles ont déjà été abordées dans les parties précédentes. La gradation de couleur traduit le bon (vert) ou le mauvais niveau de résilience (rouge), au vu du comportement du réseau face à l'inondation. Il faut bien noter que les autres types de risques ne sont pas pris en compte ici, bien que certaines capacités puissent jouer négativement face à un autre risque. Ainsi, l'analyse des solutions à mettre en œuvre pour améliorer la résilience globale des services doit tenir compte de l'ensemble des perturbations possibles et s'appuyer sur un arbitrage clair en « faveur » de tel ou tel risque.

Tableau 8-1 : Les trois capacités de résilience des services urbains parisiens face à l'inondation centennale, sans tenir compte des interdépendances

	résistance	absorption	récupération
ERDF	le réseau ne doit pas être en contact avec l'eau	les multiples sources peuvent amortir la perte de quelques postes sources le maillage du réseau permet de contourner des zones impactées (pilotage par l'agence de conduite régionale)	les effectifs et les moyens mobilisables sont importants et disponibles la mise en sécurité doit favoriser le rétablissement
GRDF	le réseau basse pression ne doit pas être ennoyé (dépose des détendeurs)	le réseau est peu maillé la perte d'un poste impacte plusieurs clients sans possibilité de reprise	les effectifs et les moyens mobilisables sont importants et disponibles la dépose doit favoriser le rétablissement
CPCU	les caniveaux ne doivent pas être ennoyés mais des moyens de pompage locaux peuvent contenir l'infiltration	le réseau est maillé plusieurs sources de production alimentent le réseau mais leur rayon d'action est limité le pilotage est indispensable	les moyens sont limités la remise en service de tronçons ennoyés est longue
Climespace	le réseau et les centrales sont étanches	le réseau est peu maillé une seule centrale alimente la zone	l'endommagement de la centrale est difficile à anticiper
Eau de Paris	le réseau en pression ne craint pas l'inondation les usines sont hors crue	le réseau est fortement maillé de nombreuses sources sont disponibles la perte du pilotage est gérable	les endommagements devraient être limités (conduites en pleine terre éventuellement) les effectifs sont assez importants
SAP	le réseau est conçu pour supporter des volumes importants	les usines de crue régulent les débits (rejets en Seine) le réseau fonctionne en gravitaire des interventions manuelles en direct sont possibles	les moyens sont importants l'endommagement des usines de crue est limité, sauf au-delà de 1910
SIAAP	plusieurs usines et ouvrages sont soumis à la contrainte de l'eau ou sont inondables	les ouvrages de gestion des eaux pluviales doivent être isolés de la Seine (rejets en Seine) le pilotage est indispensable	l'endommagement des usines de traitement (ou dérèglement des processus bactériens) est long à rétablir
Proprete	plusieurs ateliers sont en zone inondable (notamment la SMM)	le maillage des ateliers permet une réorganisation des services	les effectifs et les moyens sont importants
SYCTOM (IP13)	l'usine est protégée de la crue	l'usine doit s'arrêter	l'endommagement de l'usine est difficile à anticiper
Voirie	les voies sont protégées localement par batardeaux	le maillage est important sauf pour les traversées de Seine la régulation de trafic et l'éclairage défaillent	le nettoiement des voies pourra être long mais les moyens disponibles sont importants le rétablissement de la régulation de trafic est incertaine
RATP metro	le réseau est protégé des entrées d'eau	le réseau est fortement maillé ce qui oblige à l'arrêt du service très tôt, sur de grandes portions de lignes	si les protections fonctionnent, le rétablissement est rapide sinon, les dommages seront très longs à réparer
Orange	les NRA exposés sont protégés, les équipements de répartition ne doivent pas être en contact avec l'eau	le réseau est fortement maillé la perte d'un NRA interrompt tous les services de la zone couverte	les effectifs et les moyens mobilisables sont importants et disponibles la dépose doit favoriser le rétablissement

Légende des niveaux de résilience
bon
plutôt bon
plutôt mauvais
mauvais
inconnu

Discussion

La moitié des services étudiés reposent sur des infrastructures qui ne sont pas adaptées à la submersion et qui sont donc peu résistantes à l'inondation. Seuls les réseaux fonctionnant en pression, comme l'eau potable, ou relativement récents, comme le réseau de froid, ont été conçus pour supporter l'immersion. D'autres semblent résistants, jusqu'à un certain niveau de crue, puisque la stratégie du gestionnaire repose sur la protection, comme la RATP (même si intrinsèquement, le réseau de métro supporte mal l'ennoiement). Des techniques existent pourtant aujourd'hui pour concevoir des réseaux adaptés à l'inondation : mise en pression des câbles télécoms, étanchéité du réseau de chauffage urbain, mise hors d'eau des postes de transformation électrique ou des sous-répartiteurs de rue télécoms, surélévation des bouches d'aération et des entrées de métro, etc. (Vigneron *et al.*, 2006). L'adaptation de réseaux existants est plus délicate, ce qui explique les faibles performances des services parisiens en termes de résistance. Les gestionnaires peuvent alors agir sur les autres capacités, sachant que l'endommagement se répercute rapidement sur le fonctionnement et sur le rétablissement.

Les réseaux les plus maillés et hiérarchisés (grands réseaux nationaux) présentent les meilleures capacités d'absorption qui, dans le cas de l'inondation, facilitent l'utilisation d'alternatives, que ce soit au niveau des sources ou au niveau des tronçons. En revanche, le maillage peut être désavantageux s'il facilite la propagation du risque. Ainsi, le réseau RATP peut être rapidement ennoyé par une seule entrée d'eau puisque les tunnels sont interconnectés. Cependant, ce maillage apparent ne permet pas à la RATP de maintenir le service car la fermeture de quelques stations entraine la fermeture de grandes portions de réseau. Cela est dû en réalité à des contraintes liées au rail : orientation des tronçons, voies de stockage et de retournement et à des questions de sécurité. Ainsi, le réseau RATP est faiblement maillé au sens exploitation, pas au sens utilisateur puisque, pour l'usager, les interconnexions sont nombreuses entre lignes. De la même manière, le réseau CPCU semble fortement maillé, mais en réalité, les rayons d'influence des usines ne permettent pas d'apporter la chaleur en tout point du réseau suivant la configuration des usines arrêtées.

Les moyens de récupération sont relativement hétérogènes avec de forts moyens mobilisables par les grands opérateurs nationaux (ERDF, GRDF et Orange) et par les services de la Ville de Paris (Propreté, SAP) alors que les moyens sont faibles pour des opérateurs qui font souvent appel à la sous-traitance (CPCU, Climespace). La récupération dépend grandement de l'endommagement initial et certains services ont des difficultés à anticiper les temps de récupération nécessaires car le niveau d'endommagement dépend de nombreux facteurs externes. Il faut noter cependant que si les services ont choisi de déposer les équipements sensibles pour un rétablissement plus rapide, ils dépendent toutefois des autres acteurs de la ville lors du rétablissement. Ainsi, si ERDF déclare rétablir l'électricité sous cinq jours, ce temps tient-il compte des expertises qui seront nécessaires dans les bâtiments inondés (dommages structurels et humidité persistante), avant le rétablissement du courant ? Sans parler de la probable pénurie d'experts associée…

Finalement, cette analyse, discutable car qualitative et subjective, permet d'évaluer les capacités de résilience de chaque service. Les services comme ERDF, GRDF et Orange qui sont peu résistants à l'inondation, présentent un bilan plutôt positif en favorisant les capacités de récupération. À l'inverse, certains systèmes plutôt résistants disposent de faibles capacités d'absorption et présentent un temps de rétablissement conséquent, notamment si l'évènement centennal est dépassé (RATP, SAP). Un service présente de faibles niveaux de résilience dans les trois capacités : la CPCU ; le réseau est très sensible à l'inondation et les moyens de rétablissement envisagés ne correspondent pas aux enjeux. À l'inverse, un autre service semble performant sur toutes les capacités ; Eau de Paris ; le système résiste bien à l'immersion, les sources d'eau brute sont nombreuses et les moyens humains mobilisables sont relativement conséquents. Il faut cependant tenir compte du fait que de nombreuses hypothèses dépendent du niveau de perturbation et de la réussite de certaines stratégies.

8.1.2. DES NIVEAUX DE RESILIENCE DEPENDANT DU SCENARIO

SCENARIO « 1910 IDEAL »

Avant d'aborder des scénarios pessimistes, un scénario optimiste a été évalué avec les gestionnaires lors du dernier atelier, à la demande de la Ville de Paris. La Ville a investi dans un certain nombre de protections amovibles pour compléter ou surélever les murs anticrue le long de la Seine (cf. chapitre 7). Si aucune pièce ne manque, que la mise en place est effectuée dans les temps prévus et qu'aucun objet ne vient endommager les protections, alors il serait possible d'empêcher tout débordement direct jusqu'à 8,60 m[54] (échelle d'Austerlitz). Il faut signaler que cette hypothèse n'a pas été prise en compte dans le PPRI, de même que l'hypothèse pessimiste de la rupture des protections permanentes, alors que c'est le cas pour les territoires protégés par des digues par exemple (les servitudes imposent parfois un retrait pour limiter l'exposition des populations à une rupture de digue). La question est donc de savoir comment les acteurs de la ville ont pris cet aspect en compte, et notamment s'ils pourront assurer leur service. Il faut mentionner qu'il semblait que la Ville de Paris ne communiquait pas beaucoup sur ces protections, ce qui peut s'expliquer par leur manque de confiance dans le dispositif mais également par les effets négatifs induits sur l'amont (rétention d'eau et donc élévation du niveau) et l'aval (augmentation des vitesses et donc de l'étalement de la crue). Ce deuxième point est abordé plus loin (cf. 8.2.2) et le premier semble finalement infondé, puisque les gestionnaires ont été interrogés sur leur vision de ce dispositif.

La RATP déclare qu'elle mettra de toute façon en place son dispositif de protections locales autour de chaque entrée d'eau et fermera ses lignes, par mesure de sécurité. L'opérateur ne souhaite donc pas se reposer sur une protection collective, ce qu'il confirme d'ailleurs dans son refus de participer au financement de l'ouvrage de la Bassée[55]. La RATP signale toutefois que leurs protections par parpaings ont été dimensionnées pour résister à une pression statique de l'eau et non à une pression dynamique due à une vague créée par une rupture de batardeaux. La CPCU déclare également mettre en place son plan de protection car elle ne peut pas courir le risque que les conduites de vapeur soient ennoyées ; mais elle signale qu'en cas de succès des protections alors le rétablissement sera bien plus rapide puisque les caniveaux n'auront pas été noyés. Les gestionnaires d'ERDF expliquent qu'en théorie l'inondation serait transparente puisque leurs cartographies sont fondées sur l'inondation de surface uniquement. Ils mentionnent cependant la remontée de la nappe phréatique qui pourrait ennoyer des zones inattendues ; ERDF envisage pour cela de positionner des guetteurs aux endroits stratégiques pour identifier en temps réel les niveaux d'eau et les besoins d'intervention[56]. GRDF n'a pas envisagé ce cas de figure. Enfin, la SAP mentionne que les égouts pourraient devenir générateurs d'inondation en voirie, en particulier si l'ensemble des autres services sont opérationnels (notamment l'électricité). En effet les capacités de pompage pourraient alors fonctionner à plein et rejeter d'importants volumes dans les égouts (cf. chapitre 7).

Si la situation correspond aux prévisions des gestionnaires, la protection par batardeaux mise en place par la Ville de Paris empêche donc le débordement direct de la Seine, la nappe ne remonte pas et n'ennoie pas les infrastructures souterraines et le personnel prévu pour gérer la crise est capable d'assurer sa mission. La synthèse des conséquences sur les services urbains dans la zone d'étude 12e-13e-Ivry, en termes de perturbation et de temps de retour à la normale (Tableau 8-2), montre d'emblée des temps de retour à la normale relativement courts, voire immédiats. En effet, l'endommagement limité grâce à la protection contre le débordement réduit les temps de réparation et de nettoyage. Certains systèmes mettent tout de même en place leur plan, induisant des perturbations sur le service, mais alors le rétablissement reste facilité.

[54] Niveau correspondant à la hauteur d'eau mesurée en 1910, mais qui est aujourd'hui difficile à qualifier en termes de période de retour puisque les lacs-réservoirs sont censés réduire la ligne d'eau de 70 cm à 1 m.
[55] ouvrage de rétention des crues, cf. chapitre 3
[56] Un projet en cours vise par ailleurs à équiper chaque chambre souterraine de capteurs de niveau d'eau télérelevés.

Tableau 8-2 : Synthèse des conséquences sur les services urbains dans un scénario « idéal »

	début des perturbations	intensité des perturbations au max de la crue	temps de retour à la normale
ERDF	aucune : pas d'inondation de voirie, pas de remontée d'eau dans les transfos souterrains (pas de coupure préventive)	aucune	immédiat
GRDF	l'hypothèse de l'efficacité de la protection n'a pas été étudiée par GRDF, les résultats ne peuvent donc pas être donnés sans études complémentaires		
CPCU	malgré la protection, la CPCU met en place son plan mais les résultats ne sont pas communiqués		
Climespace	aucune : la centrale est protégée et l'électricité est maintenue	aucune	immédiat
Eau de Paris	aucune : le réseau fonctionne et il n'y a pas de clients privés d'électricité	aucune	immédiat
SAP	J1 : le réseau doit tout de même activer les actions du fait de la montée de la Seine	rejets en Seine, possibilité de débordements	immédiat
SIAAP	J1 : le réseau doit tout de même activer les actions du fait de la montée de la Seine	rejets en Seine	immédiat
SYCTOM	J5 : l'usine d'Ivry n'est pas protégée, il faut évacuer les matières	arrêt d'IP13 (les protections fonctionnent), déviation des bassins versants	quelques jours : pour le rallumage
Propreté	le plan est basé sur les côtes de la Seine, quid si l'eau ne déborde pas en voirie ? le plan de redéploiement est-il mis en œuvre ?		
Voirie	J1 : les voies sur berge sont fermées tout de même	les voies basses sont inaccessibles	quelques jours : nettoyage des voies
RATP	J4 : la RATP met en œuvre son plan	22 stations de métro sur 34 sont fermées (les protections fonctionnent), impactant les lignes 1, 5, 6, 8, 10 et 14	quelques jours : contrôles à effectuer avant de rouvrir
Orange	J5 : le NRA d'Ivry doit être protégé	pas d'impact à Paris mais le NRA d'Ivry s'arrête à R1 : plus de service	quelques jours : nettoyage du NRA, remontage des pièces

Légende des niveaux de résilience	bon	plutôt bon	plutôt mauvais	mauvais	inconnu

Ce scénario ne fait donc pas l'unanimité parmi les gestionnaires mais il semblerait en capacité de limiter fortement les endommagements sur les réseaux les plus vulnérables (RATP, CPCU, ERDF), tout en exacerbant d'autres risques. Pour la RATP notamment, la défaillance des protections provoquerait une vague contre laquelle leurs protections ne sont pas dimensionnées, remettant alors en cause la stratégie du gestionnaire. À l'inverse, si la protection par batardeaux fonctionne, elle mettra également en avant d'autres dysfonctionnements puisque des débordements en voirie sont à prévoir, du fait de la saturation des égouts, et du fait du niveau de protection plus faible côté Ivry. Ce scénario montre déjà comment la modification des hypothèses de départ peut modifier profondément les réponses à apporter, d'autant plus lorsqu'elles sont fixées sur un objectif unique comme empêcher l'intrusion de l'eau.

Scenario « 1910 difficile »

Dans un scénario 1910 plus difficile, mais plus probable, la Seine ne dépasse pas les 8,60 m (échelle d'Austerlitz) mais la protection par batardeaux défaille, que ce soit du fait d'une mauvaise installation ou d'un accident dû à une péniche emportée par le courant par exemple. La nappe phréatique remonte et inonde les sous-sols ; les hypothèses optimistes effectuées par les gestionnaires ne fonctionnent pas. Les impacts aux services sont alors importants, avec également des temps de rétablissement rallongés (Tableau 8-3) par rapport au scénario optimiste. En effet, les entrées d'eau, même sans dommages aux équipements dont les parties sensibles auront été démontées, impliquent un nettoyage approfondi : du matériel de nettoyage et de l'eau sont alors nécessaires.

Tableau 8-3 : Synthèse des conséquences sur les services urbains dans un scénario « difficile »

	début des perturbations	intensité des perturbations au max de la crue	temps de retour à la normale
ERDF	J7	30 000 foyers électriques et 90 clients HTA	quelques semaines : nettoyage des postes inondés (5 jours par poste, 650 postes sur tout Paris) et contrôles
GRDF	J4 : début des déposes pour anticiper	5 300 clients impactés	quelques semaines : repose des détendeurs et nettoyage des postes de détente (même estimation qu'ERDF ?)
CPCU	données confidentielles		
Climespace	J3 : fermeture de la vanne d'entrée d'eau de Seine	100 % des clients dans la zone (l'électricité est interrompue au niveau de la centrale)	quelques jours : réparation des conduites endommagées par les entrées d'eau en voirie (grille de ventilation)
Eau de Paris	J7 : du fait de la défaillance électrique	IGH > 20 m privés d'électricité	quelques jours : temps de réparation des surpresseurs
SAP	J1 : activation des actions hiver	rejets en Seine, débordements en voirie	quelques jours : nettoyage des équipements
SIAAP	J1 : activation des actions hiver	rejets en Seine	plusieurs semaines : remise en état du centre de pilotage et d'exploitation, nettoyage des équipements
SYCTOM	J5 : sécurisation de l'usine IP13	arrêt d'IP13 (endommagement en sous-sol), déviation des bassins versants	plusieurs semaines : réparation des équipements endommagés
Propreté	J3 : début des déménagements, notamment SMM	repli de 5 ateliers, service dégradé dans les zones non inondées (camions, personnel, carburant)	plusieurs semaines : nettoyage des locaux et déménagements
Voirie	J1 : fermeture des voies sur berge	fermeture de nombreuses voies	plusieurs jours : nettoyage des voiries
RATP	J4 : mise en œuvre du plan	22 stations de métro sur 34 sont fermées (les protections fonctionnent), impactant les lignes 1, 5, 6, 8, 10 et 14	plusieurs jours : nettoyage et contrôles avant de rouvrir
Orange	J7 : impact électrique sur le NRA d'Ivry	impacts à R1 sur les télécommunications fixes et dégradation des communications GSM, arrêt du service à Ivry	plusieurs semaines : nettoyage et remplacement de pièces

Légende des niveaux de résilience	bon	plutôt bon	plutôt mauvais	mauvais	inconnu

Scenario « au-dela de 1910 »

Au scénario R1.15 (115 % du débit mesuré en 1910), la Seine atteint 9,25 m à l'échelle d'Austerlitz. L'expansion sur la zone d'étude n'est pas négligeable (cf. Figure 19 de l'atlas), notamment aux alentours du bassin de l'Arsenal. Le niveau d'eau est supérieur d'environ 60 cm par rapport au maximum de la crue de 1910 ou le jour J10 de la modélisation (cf. chapitre 6). Les dommages seront donc bien supérieurs à ce niveau, du fait de la poussée hydrostatique de l'eau, notamment sur les ponts qui seraient tous fermés, mais également sur de nombreux équipements. En effet, les usines de crue de la SAP, par exemple, sont dimensionnées pour résister à la poussée hydrostatique de la crue centennale mais pas au-delà. Certains gestionnaires évoquent d'ailleurs la possibilité d'ennoyer leurs équipements plutôt que d'évacuer l'eau à tout prix et les soumettre à de trop fortes pressions ; cela peut notamment être pertinent pour des sous-sols. La RATP, par exemple, s'interroge sur la capacité des tunnels à résister à une poussée vers le haut, au niveau du radier, du fait de la remontée de nappe. À 9,25 m, l'eau entrera malgré tout dans le réseau, puisque les protections locales autour des stations et des ouvertures sont protégées jusqu'au niveau de 1910 (8,60 m). L'endommagement sera bien plus important qu'à R1 et le rétablissement sera donc beaucoup plus long, voire impossible, pour certaines infrastructures. C'est également le cas pour de nombreuses infrastructures déjà arrêtées durant la montée de la Seine, qui subiront un dommage plus grand du fait des hauteurs d'eau atteintes (usine du SYCTOM).

Finalement, en termes d'impact sur les services, le scénario R1.15 ne semble pas affecter davantage le territoire, à part ERDF dans le 15^{e} arrondissement de Paris notamment, du fait de la perte d'un poste source RTE à Meudon à ce niveau de crue. Les déplacements sont également rendus plus difficiles avec la fermeture de tous les ponts, ainsi que de l'échangeur de Bercy (cf. chapitre 7 et Figure 19 de l'atlas). En revanche, les stratégies reposant sur la protection des ouvrages sont alors dépassées et l'eau peut pénétrer les installations qui n'ont par ailleurs pas été déposées ou préparées à la submersion. Ainsi, les temps de rétablissement sont considérablement rallongés par rapport aux scénarios 1910. En effet, de plus larges portions sont touchées, avec parfois un endommagement supérieur du fait des plus fortes pressions (Tableau 8-4). Le rétablissement prend alors probablement plusieurs mois pour de nombreux services, avec la possibilité que certaines infrastructures soient définitivement abandonnées.

Tableau 8-4 : Synthèse des conséquences sur les services urbains dans un scénario dépassant 1910

	début des perturbations	intensité des perturbations au max de la crue	temps de retour à la normale
ERDF	J7	pas plus de transformateurs impactés a priori	temps de rétablissement rallongé du fait de l'impact sur les autres systèmes ?
GRDF	J4 : début des déposes pour anticiper	zone d'impact identique	idem
CPCU	données confidentielles		
Climespace	J3 : fermeture de la vanne d'entrée d'eau de Seine	endommagement de la centrale par poussée hydrostatique ?	plusieurs semaines ?
Eau de Paris	J7 : du fait de la défaillance électrique	inconnue	temps de rétablissement rallongé du fait de l'impact sur les autres systèmes ?
SAP	J1 : activation des actions hiver	déstabilisation des usines de crue	plusieurs mois ?
SIAAP	J1 : activation des actions hiver	endommagement des ouvrages ?	plusieurs mois ?
SYCTOM	J5 : sécurisation de l'usine IP13	endommagement d'IP13 par entrées d'eau	plusieurs mois ? Voire abandon de l'usine ?
Propreté	J3 : début des déménagements, notamment SMM	inconnue	temps de rétablissement rallongé du fait de l'impact sur les autres systèmes ?
Voirie	J1 : fermeture des voies sur berge	endommagement de la voirie ?	idem
RATP	J4 : mise en œuvre du plan	entrées d'eau dans le réseau	plusieurs mois (années ?) Voire abandon de certaines lignes ?
Orange	J7 : impact électrique sur le NRA d'Ivry	endommagement d'ouvrages ?	plusieurs mois ?

Légende des niveaux de résilience	bon	plutôt bon	plutôt mauvais	mauvais	inconnu

Lorsque ce scénario est abordé lors du dernier atelier collaboratif, les gestionnaires semblent comme paralysés par l'idée d'un scénario dépassant le modèle de 1910, soit qu'ils n'en ont pas étudié les conséquences sur leur service, soit qu'ils savent pertinemment que les dommages deviendraient alors incommensurables. Ce niveau de crue ne semble pourtant pas si improbable que cela (elle a parfois été évaluée comme une crue de période de retour 500 ans (Meloux-Marbeuf, 2012)), notamment selon le point de vue de la directive européenne (cf. chapitre 3). Pourtant, l'ensemble des stratégies mises en place par les gestionnaires sont remises en cause et les dommages dépassent les capacités de prévision des acteurs de la ville. Déjà sur le scénario classique pris en compte, les incertitudes sont fortes et les difficultés encore nombreuses à régler.

8.1.3. Mise en lumiere des strategies choisies

Protection versus *continuite de service ?*

L'analyse des capacités de résilience des services urbains met en avant les contraintes, mais aussi les objectifs sous-jacents dans le choix des stratégies par les gestionnaires. Ainsi, suivant les stratégies choisies, le service peut être assuré ou non, sur l'ensemble du territoire ou sur certaines zones, à son niveau habituel ou de manière dégradée (Tableau 8-5).

Tableau 8-5 : Impact des stratégies de chaque gestionnaire sur la continuité du service sur la zone étudiée

Service	Hypothèses
ERDF	Le réseau est progressivement arrêté avec l'inondation des transformateurs ; certaines zones peuvent être réalimentées mais les puissances peuvent être réduites sur l'ensemble des zones alimentées.
GRDF	Le réseau est progressivement arrêté avec la dépose des détendeurs ; le service est normal dans les zones desservies.
CPCU	Données confidentielles
Climespace	Si la production est maintenue, l'eau froide est transportée jusqu'au branchement client.
Eau de Paris	La production est maintenue et l'eau potable est distribuée jusqu'à 20 m de hauteur dans les immeubles.
SAP	Le réseau gravitaire évacue les eaux usées ; les usines de crue peuvent rejeter les eaux en Seine en cas de niveaux trop élevés.
SIAAP	Le réseau gravitaire évacue les eaux usées ; les ouvrages peuvent rejeter les eaux en Seine si les capacités de traitement sont dépassées.
Propreté	Le service est assuré sur l'ensemble du territoire grâce à la réorganisation des services, éventuellement avec des moyens réduits.
SYCTOM	L'organisation modifie l'exutoire des déchets en fonction des équipements impactés pour assurer l'évacuation des déchets.
IP13	L'usine de traitement est arrêtée pour assurer la protection des équipements sensibles.
Voirie	Le débordement est empêché par la mise en place de protections locales ; certaines voies sont coupées ; les déplacements sont difficiles sur les axes restants, du fait de la perte de la régulation de trafic et de l'éclairage notamment.
RATP métro	Le service est interrompu sur de nombreuses lignes du fait de la protection des stations contre les entrées d'eau ; le service peut être dégradé sur les lignes en fonctionnement du fait de la perte du pilotage ou du manque d'électricité.
Orange	Les équipements sensibles sont déposés, interrompant le service des abonnés concernés ; le service de téléphonie mobile est dégradé, limité à l'*outdoor*.

Les capacités de résistance et d'absorption définissent la capacité du système à s'adapter à la contrainte, ici l'inondation. On peut donc situer les systèmes sur un axe allant de la résistance à l'adaptation en considérant les deux indicateurs précédents. Ainsi, la protection et la dépose relèvent de stratégies tournées vers la résistance, quand la modification et l'adaptation (à long terme) des systèmes s'approchent davantage de l'adaptation. Le deuxième axe représente le degré de continuité du service atteint grâce à ces stratégies (Figure 8-2). La capacité de rétablissement n'est donc pas représentée ici puisqu'elle intervient davantage au niveau du rétablissement et n'influe pas sur le maintien du service pendant la perturbation. Les indicateurs sous-jacents d'accessibilité des équipements et de disponibilité des moyens (Figure 8-1) influent cependant sur la capacité de l'opérateur à maintenir un fonctionnement dégradé en intervenant sur les équipements pour les protéger, les déposer ou les modifier.

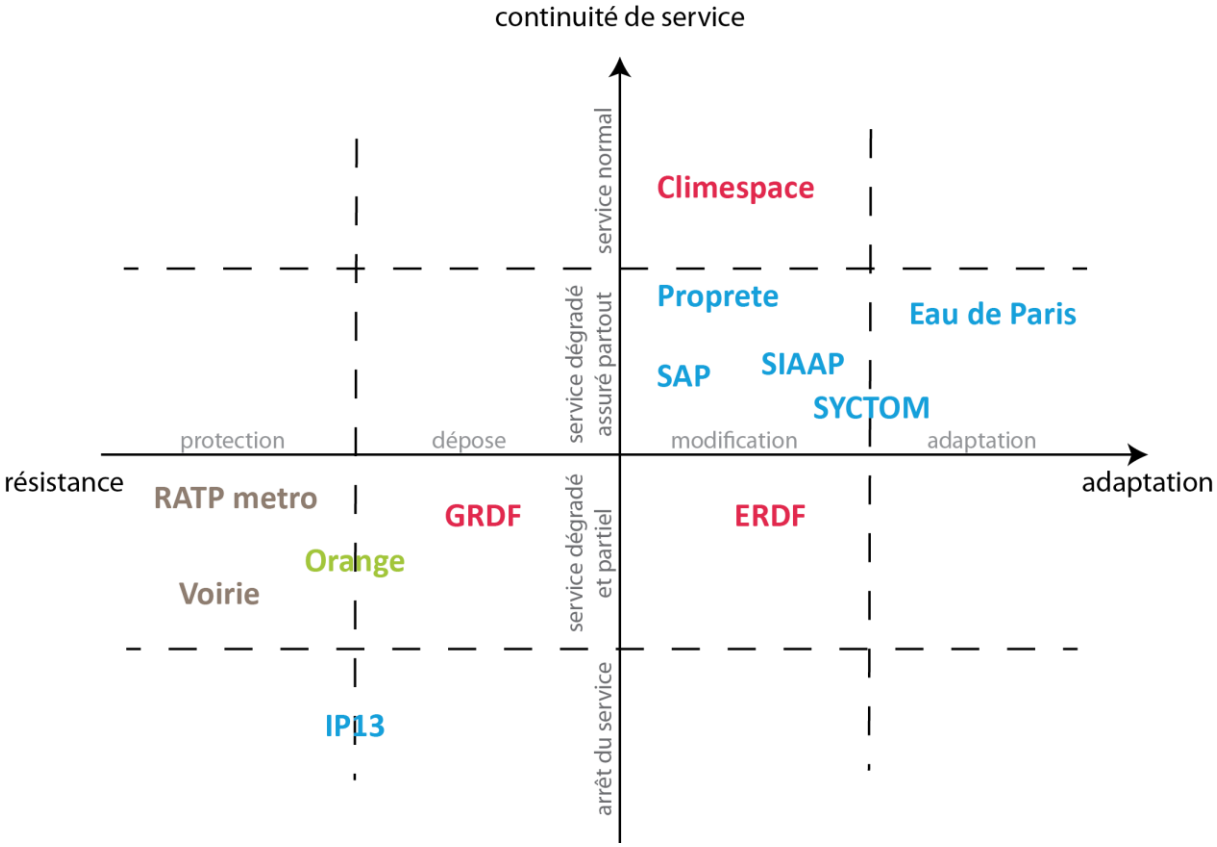


Figure 8-2 : Positionnement des stratégies des gestionnaires de la résistance à l'adaptation, de l'arrêt à la continuité du service (Toubin *et al.*, 2014a)

Cette représentation montre d'emblée les difficultés à maintenir un service, même dégradé, lorsque la stratégie repose sur la résistance à l'inondation : le quart supérieur gauche est vide. Par ailleurs, la gradation des stratégies de la résistance à l'adaptation sous-tend également la capacité du service à s'adapter à un aléa différent ou plus intense. Les systèmes misant sur l'adaptation, c'est-à-dire ne nécessitant pas ou peu d'actions à l'annonce d'une crue, sont plus à même de maintenir leur fonctionnement si les niveaux sont dépassés par exemple. De même, un système dont la stratégie est fondée sur la modification de sa structure ou de son organisation dispose encore de marges de manœuvre en cas de dépassement (y compris le recours à la dépose ou à la protection). Une stratégie reposant sur la dépose a l'avantage minimal d'assurer la réduction des endommagements mais elle ne peut pas permettre le maintien du service. Enfin, une stratégie fondée sur la protection ne laisse pas de solution de repli lorsque les niveaux sont dépassés, induisant bien souvent des dommages supérieurs et donc un temps de rétablissement plus long.

Finalement, très peu de services présentent une réelle stratégie d'adaptation, ce qui constitue pourtant le fondement de la résilience. En effet, seul Eau de Paris et dans une moindre mesure Climespace, ont adapté de manière proactive leur service à la contrainte de l'inondation. Cependant, il faut bien noter que ce résultat n'est pas généralisable à l'ensemble des opérateurs d'eau potable puisque l'alimentation en eau potable sera un problème pour l'ensemble de l'agglomération parisienne. En réalité, c'est notamment la diversité des sources, souterraines et de surface, qui permet à Eau de Paris d'assurer un meilleur service que les autres opérateurs de la région. Pour la plupart des autres services urbains, si des travaux ont effectivement été réalisés pour améliorer la résistance des équipements ou limiter la propagation des effets négatifs, la submersion prévue implique un certain nombre d'actions à mettre en place, de manière réactive à l'annonce du niveau de Seine. D'autres mesures sont réactives par rapport à l'endommagement ou aux dysfonctionnements constatés, mais elles relèvent encore moins de l'adaptation. L'analyse des services urbains parisiens montre alors que la stratégie du gestionnaire peut être tournée vers la réponse,

l'anticipation, la surveillance, l'apprentissage (cf. chapitre 1) ou une combinaison de ces capacités. La focalisation sur l'un des aspects ne signifie pas que le système soit moins résilient (Hollnagel, 2011), mais elle traduit une vision du service et de ses objectifs.

QUELLE STRATEGIE POUR QUEL INDICATEUR ?

Derrière ces stratégies, plus ou moins proactives, tournées vers la continuité de service ou le rétablissement, apparaissent les indicateurs choisis par les gestionnaires pour évaluer la résilience de leur service. Certains cherchent à minimiser le temps de fonctionnement dégradé, comme c'est le cas pour ERDF qui annonce un rétablissement dans les cinq jours. Alors pour y parvenir, la priorité est mise sur la dépose et l'arrêt des équipements sensibles, au détriment de la continuité de service. Ils cherchent évidemment à minimiser le nombre de clients impactés mais le temps de coupure reste un indicateur majeur, notamment dans leurs contrats (cf. chapitre 1). Pour la RATP, l'objectif prioritaire est d'assurer la sécurité des personnes, mais également de limiter l'endommagement du matériel et des infrastructures qui induirait des coûts exorbitants pour l'exploitant. Là encore, la stratégie est donc tournée vers la protection, au détriment de la continuité de service. La dégradation des transports est d'ailleurs le premier impact, et le plus visible, pour la ville et son fonctionnement puisque la ligne 14 est arrêtée dès J4. Pour la plupart des opérateurs, la dimension coût de remise en service est évidemment majeure. Cependant certains gestionnaires raisonnent davantage en nombre de clients impactés, comme Orange ou GRDF[57], quand d'autres effectuent des analyses à plus long terme, incluant parfois des notions de coût d'exploitation ou de maintenance. En effet, les infrastructures sont pensées et conçues sur des durées de vie de l'ordre de 10-30 ans sur lesquelles peuvent se calculer des coûts d'exploitation, par exemple réduits du fait de l'implantation en zone inondable. Ainsi, si les usines de traitement des déchets du SYCTOM sont situées en bord de Seine, c'est notamment pour l'avantage apporté par le fleuve pour le transport des déchets puis des sous-produits du traitement, mais aussi pour la proximité de l'eau utile au process. Il est donc normal que l'évaluation coût-bénéfice tienne compte des avantages liés à une implantation ou à une technologie moins coûteuse, et de la probabilité de voir l'infrastructure endommagée par une inondation. La difficulté est alors d'évaluer cette probabilité et d'être capable de trouver un compromis acceptable, mais surtout reconnu et accepté, entre le gain et le risque (cf. 9.1.2). Pour autant, quelques mesures minimales permettraient souvent de concilier des avantages de long terme, durables, et l'exposition à un risque certain mais difficilement quantifiable, comme c'est le cas par exemple pour l'urbanisation en zone inondable (cf. 8.3.2). Définir la résilience des services urbains n'est donc pas aisé et fortement sujet à subjectivité selon que l'on considère :

- les surfaces impactées ;
- le nombre de clients impactés ;
- le nombre de jours de défaillance (interruption ou dégradation ?) ;
- le coût des dommages ;
- les coûts d'exploitation ou de maintenance.

Cette recherche aborde alors les questions d'arbitrages politiques concernant des décisions d'aménagement ou de gestion qui produisent des conséquences majeures sur la résilience de la ville. Elle n'ira cependant pas plus loin que l'énoncé du fait que le choix des indicateurs mis en avant influe sur ces arbitrages. Ces indicateurs induisent par ailleurs des stratégies parfois très hétérogènes qui interagissent de manière négative sur la résilience des services urbains, mais également du territoire.

[57] Peut-être car ce sont des services dont les clients ont le choix d'une alternative (autre opérateur ou autre énergie) si le niveau de service est jugé insuffisant, ce qui n'est pas le cas d'ERDF ou la RATP qui bénéficient d'un monopole ou sont incontournables.

Synthèse

Les trois capacités de résilience présentées par les services étudiés montrent des niveaux hétérogènes qui traduisent des stratégies différentes. Pour certains réseaux, dont l'adaptation au risque d'inondation est difficilement réalisable, la réponse est axée sur le rétablissement et notamment les nombreux moyens humains nécessaires. Pour d'autres, des mesures proactives ont été mises en œuvre depuis plusieurs années pour permettre la continuité du service en cas d'inondation. Ces stratégies sont mises en avant à travers l'étude de trois scénarios de crise. Le scénario tel qu'attendu par les gestionnaires montre déjà des difficultés dans la gestion des interdépendances ou la coordination des stratégies. Mais lorsque d'autres scénarios (optimiste, comme le succès de la protection par batardeaux mise en place par la Ville de Paris ou pessimiste, comme le niveau R1.15) sont analysés, des difficultés supplémentaires apparaissent. Ces scénarios montrent la possibilité pour un service misant sur l'adaptation de répondre à une perturbation différente, alors que les stratégies de protection sont dépassées et entrainent des impacts plus importants sur le service. Juger si l'une des stratégies est plus résiliente que l'autre nécessite de choisir l'indicateur de mesure : un temps de rétablissement plus court, des dommages réduits, des clients privés de service peu nombreux, etc. ; choix qui devient éminemment politique.

8.2. Au niveau territorial

L'analyse des impacts aux services dans la zone d'étude permet d'en déduire l'impact sur les quartiers étudiés, en termes de surfaces habitables privées de services urbains. Par extrapolation sur la ville de Paris, il est possible d'en déduire des zones d'impact aux services urbains, mais la cartographie précise reste à déterminer. Les impacts subis par les réseaux dans la zone d'étude se propagent également à un territoire plus large, du fait de la défaillance de grands équipements.

8.2.1. Impacts sur la ville

Impacts chiffres sur la zone d'etude

Les impacts aux services, tels que modélisés dans la partie 3, sont évalués en considérant les surfaces habitables situées dans les zones de fragilité des différents réseaux. En effet, les données INSEE permettant de donner une évaluation fine, en termes de population, sont difficiles à obtenir. Cette méthode a cependant l'avantage de donner des informations concernant les surfaces d'activités également[58]. Est considéré habitable tout bâtiment de la BD Topo dont la surface au sol est supérieure à 25 m², de manière à éliminer les locaux tels les réserves, les garages, etc. À partir de la hauteur du bâtiment, le nombre d'étages est calculé en utilisant une hauteur moyenne de 3 m (arrondi au nombre inférieur). Enfin, est considéré comme impacté, tout bâtiment intersectant la zone de fragilité, même s'il ne se trouve pas intégralement dans la zone. Les résultats sont donnés pour le périmètre étudié (12e, 13e, et Ivry), aux jours J7 (soit Ro.8) et J9 (soit R1), avec une précision éventuelle sur une seule des communes (Tableau 8-6).

Tableau 8-6 : Synthèse des impacts sur le territoire concernant la desserte en eau, électricité, gaz et télécommunications Orange

	% des surfaces habitables totales (12e+13e+Ivry)	% des surfaces habitables de la commune concernée
en zone inondable J7	23,4	
fragilité eau J7	-	8,5 (12-13)
fragilité électricité J7	44,5	
fragilité gaz J7	3,8	20,1 (Ivry)
fragilité telecoms J7	18,9	100 (Ivry)
en zone inondable J9	31,5	
fragilité eau J9	-	6,7 (12-13)
fragilité électricité J9	47,3	
fragilité gaz J9	40,5	
fragilité telecoms J9	40,4	26,5 (12-13)

Ces résultats sont difficilement comparables aux estimations données par les opérateurs qui raisonnent en termes d'abonnés. Pour ERDF par exemple, un foyer électrique correspond à un contrat, au niveau d'une famille ou d'une entreprise par exemple. Pour le gaz ou les télécoms, le taux d'équipement n'est pas de 100 % ce qui réduit le nombre d'abonnés réellement impacté par rapport à ces estimations. Les résultats les plus significatifs sont d'abord la proportion de surfaces habitables en zone inondable : 23 % à Ro.8 et 32 % à R1. Il faudrait ensuite préciser le niveau d'aléa : quelle proportion en aléa moyen et fort (supérieur à 1 m d'eau), qu'il

[58] Ce qui nécessiterait de compléter les données INSEE par les bases de données des CCI.

faudra probablement évacuer ? Quelle proportion en aléa faible (inférieur à 1 m d'eau), qui pourrait éventuellement être maintenue dans les logements ?

Par ailleurs, les gestionnaires mentionnent lors du dernier atelier qu'ils peuvent uniquement donner une estimation des populations impactées fondée sur des ratios, mais elle reste imprécise. En particulier, elle ne permet pas de cartographier précisément les impacts, notamment du fait de la configuration des différents réseaux (cf. chapitre 7). Il faudrait pour y parvenir effectuer une étude de disponibilité point par point, appuyée sur la modélisation du fonctionnement des réseaux en cas d'inondation. Les résultats concernant l'eau potable ont été affinés en tenant compte des spécificités de la desserte en eau (difficile au-dessus de 20 m s'il n'y a pas d'électricité), ce qui indique au final 7 % de de surfaces habitables hors zone inondable, mais potentiellement privées d'eau potable (Figure 8-3).

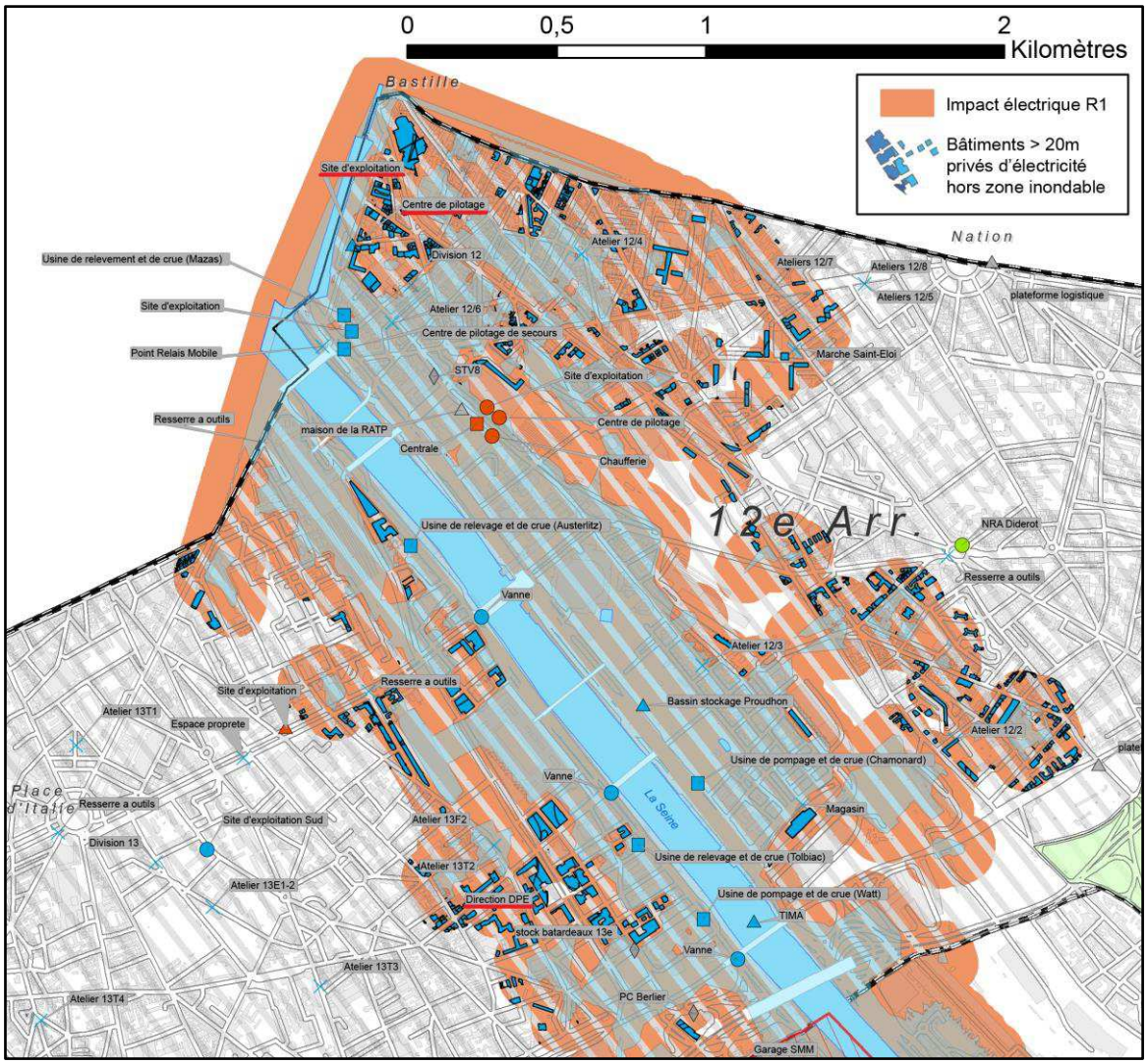


Figure 8-3 : Identification des immeubles potentiellement privés d'eau potable (en bleu)

Pour Eau de Paris, la connaissance de ces sites est précieuse pour identifier les zones où ils devront éventuellement mettre en place des rampes d'approvisionnement en voirie. Mais il leur faudrait également connaître les usagers prioritaires parmi ces clients impactés. En effet, bien qu'ils aient une liste d'abonnés prioritaires (centres de santé par exemple), l'analyse des interdépendances lors des ateliers leur a montré l'importance du service qu'ils délivrent pour divers autres services. Ainsi, ils pourraient également coter la criticité de ces services et les inclure dans leur planification de mise en place de rampe ou de rétablissement. Le scénario développé ici permet déjà d'identifier quelques enjeux des services urbains qui seraient concernés

par ce manque d'eau potable : la direction du SIAAP, qui sert également de centre de pilotage et a déclaré l'eau potable indispensable à son fonctionnement, la direction de la Propreté du 12e, qui devrait être déménagée dès J7 et la direction de la DPE, qui n'a pas été étudiée (soulignés en rouge sur la Figure 8-3). Le renseignement plus précis de la base de données avec la destination de chaque bâtiment et une évaluation par le propriétaire de l'importance de l'eau potable pour son activité permettrait aux gestionnaires d'Eau de Paris de prioriser l'ensemble des usagers (cf. 9.1.2). Les gestionnaires des autres services pourraient également réaliser une priorisation plus fine de leurs clients afin de prendre en compte les dépendances fortes de certains services indispensables au fonctionnement de la ville.

Effets du dysfonctionnement des reseaux sur la ville

Après l'analyse des défaillances des services urbains dans la zone d'étude, il est possible d'extrapoler ces résultats à l'ensemble de Paris (Figure 8-4) dans le cas du scénario 1910 « difficile » (cf. 8.1.2). La délimitation des zones ne correspond pas à des données réelles mais à un principe général des différents impacts attendus. Dans la zone inondée, si la hauteur d'eau est faible, les accès peuvent se faire à pied[59], sinon par bateau. Les immeubles ayant les pieds dans l'eau seront systématiquement privés d'électricité, de gaz, de chauffage urbain et de télécommunications (fixe et internet), car les branchements à ces réseaux seront ennoyés. La collecte des déchets sera également interrompue puisque les camions ne pourront pas accéder aux rues. Ainsi, dans cette zone, les habitants ne seront pas nécessairement évacués mais ils subiront des conditions de vie fortement dégradées. Les entreprises ne pourront pas non plus fonctionner.

Au pourtour de la zone inondable, se trouve une zone non inondée en surface mais, relativement impactée, dont la limite floue est due à la topographie d'une part et aux incertitudes concernant les remontées de nappe d'autre part. En fonction de la structure des réseaux et de l'inondation des sous-sols, les services précédents (électricité, gaz, chauffage urbain et télécommunications) pourront être également interrompus, ainsi que l'eau potable (pour les immeubles de plus de 20 m privés d'électricité) et l'assainissement (dont les débordements aux points bas peuvent induire des inondations localisées en voirie ou dans les sous-sols). Les déplacements seront possibles dans cette zone, mais de nombreux quartiers pourraient être privés d'éclairage public autour des zones de défaillance électrique. En revanche, la collecte des déchets pourra être assurée dans les rues non inondées. Suivant les services interrompus, les habitants seront plus ou moins impactés par l'inondation. Certains services pourront être remplacés : citernes et bouteilles d'eau potable, chauffage électrique si le gaz ou le chauffage urbain sont interrompus mais pas l'électricité. Pour les entreprises également, la capacité à fonctionner doit être étudiée au cas par cas, en fonction des services disponibles et des besoins de l'activité.

Tout le reste de Paris, non inondé, subira également des perturbations sur de nombreux services. La qualité des services précédents pourra être dégradée, même s'ils sont assurés. Par ailleurs, du fait de la perte d'équipements centraux, certains services seront interrompus : la perte du PC Lutèce entraine l'interruption de la signalisation lumineuse tricolore et de la régulation du trafic. De la même manière, l'inondation de certaines stations de métro, dans la zone inondée et par les sous-sols, induit la fermeture de larges portions de ligne. Ainsi, aucune ligne ne fonctionne dans le cercle central formé par les deux lignes circulaires 2 et 6. La seule traversée de Seine restante est celle de la ligne 6 à l'Ouest ; la traversée de l'Est devant être fermée pour empêcher l'entrée d'eau par la trémie de Bercy. Les traversées de Seine par la voirie sont également réduites aux deux ponts du périphérique. La téléphonie mobile devrait être maintenue sur toute la zone mais seulement en extérieur. Le réseau de froid pourra également être interrompu pour certains clients, du fait de l'ennoiement du branchement particulier. Le fonctionnement normal de la ville sera donc rendu difficile par la dégradation de ces services supports, notamment du fait des difficultés de déplacement. Des solutions de fortune pourront toutefois permettre de maintenir certaines activités.

[59] Sachant que l'on considère que, pour des raisons de sécurité, il ne vaut mieux pas circuler lorsque l'on ne voit pas le sol (obstacles, bouches d'égout soulevées, etc.).

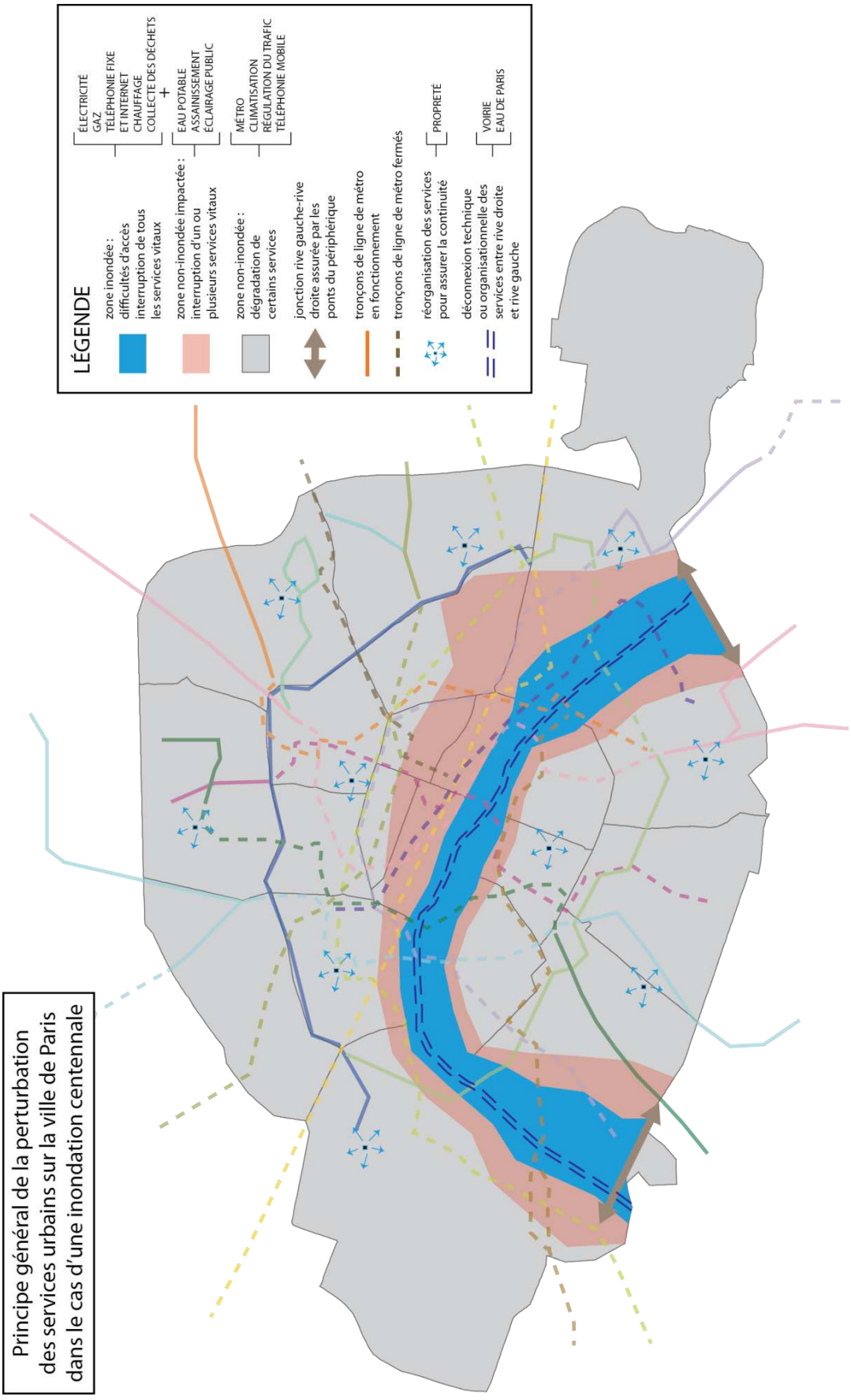


Figure 8-4 : Synthèse des impacts aux services urbains sur le territoire parisien dans le scénario 1910 « difficile »

8.2.2. IMPACTS SUR L'AGGLOMERATION ET AU-DELA

EN TERMES DE DEPLACEMENTS

Dans la zone d'étude passent plusieurs lignes de métro structurantes (lignes 1 et 14 notamment), ainsi que plusieurs grands nœuds de transport en commun à l'échelle régionale :

- Nation (RER A) ;
- gare de Lyon (RER A et D) ;
- gare d'Austerlitz (RER C) ;

et à l'échelle nationale :

- gare de Lyon pour les lignes grande vitesse de Lyon, Marseille, Nice puis vers la Suisse, l'Italie et l'Espagne ;
- gare de Bercy pour les lignes Intercités vers le centre-Est de la France ;
- gare d'Austerlitz pour les lignes Intercités vers le centre-Ouest et pour les trains de nuit vers toute la province.

Le plan prévu par la RATP a été étudié (cf. chapitre 7), mais pas ceux concernant les lignes RER et les lignes SNCF. Cependant, les données collectées concernant l'étendue de l'inondation, les coupures d'électricité ou de télécommunications, laissent supposer une forte perturbation des points centraux tels que la gare de Lyon. En particulier, ce point d'interconnexion entre les réseaux RATP (métro et RER) et SNCF (RER et train) est très sensible et implique de nombreux acteurs. Si les voies SNCF ne sont pas inondables, le quartier entourant la gare l'est et plusieurs gestionnaires ont prévu de mettre en place des protections locales : barrières anticrue autour de la gare, batardeaux de la Ville de Paris au niveau du passage souterrain Van Gogh, barrière anticrue autour de la maison de la RATP (rue de Lyon), batardeaux autour de la centrale Climespace et de la centrale CPCU (rue de Lyon). L'objectif est d'empêcher l'eau de pénétrer dans les sous-sols des différents locaux et du réseau de transport, afin d'en limiter l'endommagement. Dans tous les cas, les voies SNCF de gare de Lyon sont inondées au niveau d'Alfortville, impliquant l'arrêt du service. Comme en 1910 (cf. chapitre 3), la gare de Lyon constituera donc une île entourée par des batardeaux mais qui ne pourra pas assurer son rôle de nœud majeur de transport.

Si l'impact subi par les transports en commun est relativement bien connu, l'impact résultant sur la ville est plus difficile à évaluer. En effet, la complexité des échanges à l'intérieur du territoire, mais également avec le reste du pays, voire du monde, propage les effets d'une perturbation bien au-delà des frontières du système. Certains de ces flux sont connus, comme les déplacements domicile-travail entre communes de la région (Figure 8-5). Il est donc possible d'analyser leur possible dégradation du fait des perturbations subies par les réseaux de transports en commun et les réseaux de voirie. Ainsi, les habitants de la zone d'étude travaillent principalement dans les arrondissements parisiens et les communes de proche banlieue, avec notamment un fort effectif travaillant à la Défense. Or les immeubles de la Défense seront probablement impactés par la défaillance de certains services (cf. 8.3.1) et la desserte repose majoritairement sur le RER A (qui n'a pas été étudié) et la ligne de métro 1 dont les stations du 12^{e} sont fermées dès J5. De la même manière, l'accès des travailleurs aux entreprises de la zone d'étude sera limité car les transports n'arriveront pas jusqu'au centre de Paris, d'autant que les déplacements semblent émaner de zones plus éloignées (jusqu'à la grande couronne, de l'Est notamment). Pour la zone d'étude, les déplacements assurés en transport en commun sont bien plus importants que les flux routiers et couvrent un périmètre plus grand ; leur dégradation impacte donc directement l'activité économique puisque le report vers le véhicule particulier est limité par un taux de motorisation faible à Paris. De plus, les voies, et notamment les traversées de Seine seront rendues difficiles, si ce n'est interdites.

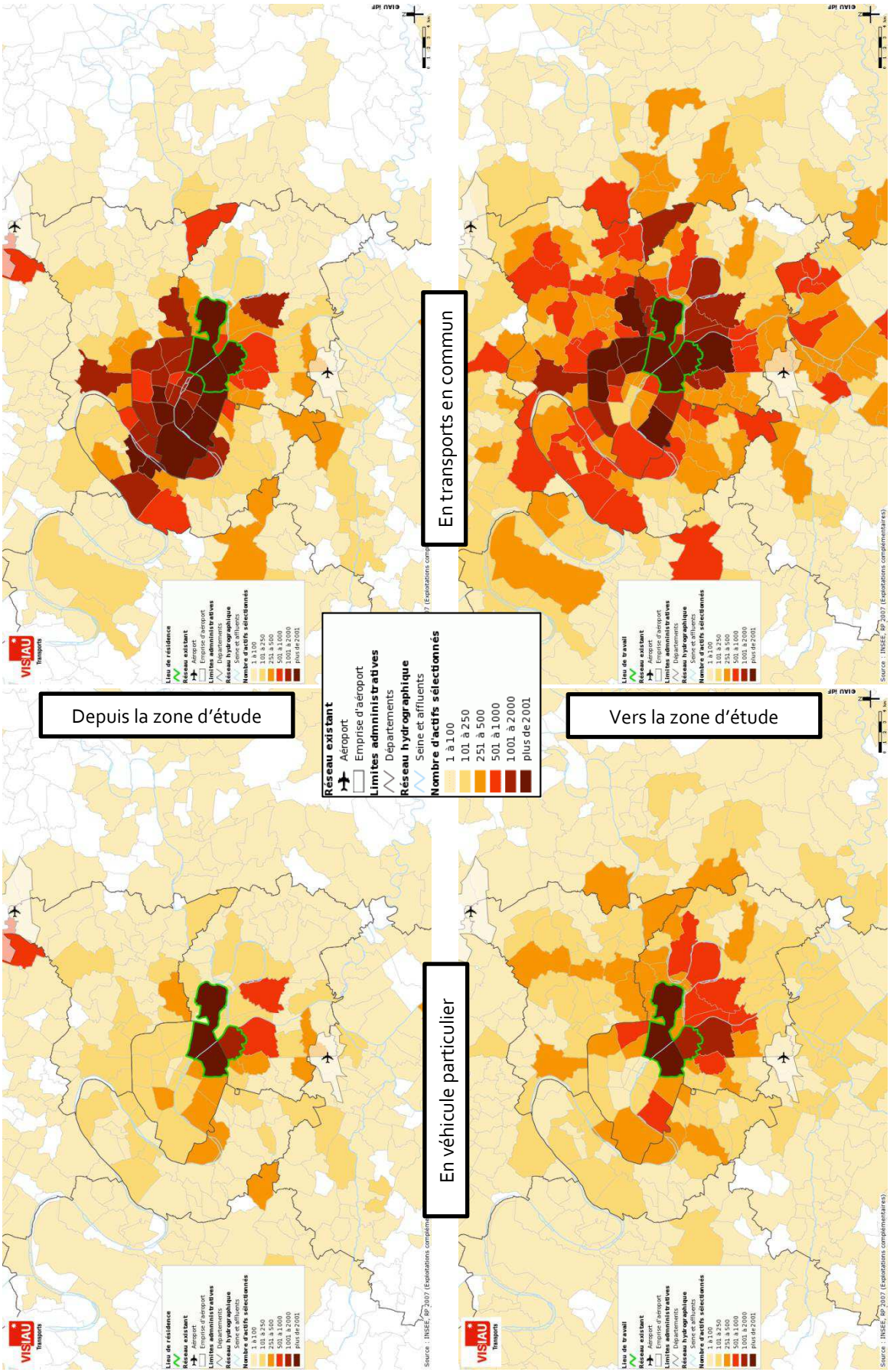


Figure 8-5 : Cartes de déplacement domicile-travail depuis et vers la zone d'étude, en véhicules ou en transports en commun (source : IAU)

Les flux de marchandises, de matières premières, de produits agricoles ou de capitaux sont également nombreux au sein du territoire francilien et soutiennent une grande part de l'économie de la région. Ils reposent sur les axes de fret (ferré, fluvial et routier) et sur les réseaux de télécommunications pour les flux immatériels. Certains travaux s'attachent à identifier et quantifier ces flux (voir les travaux sur le métabolisme urbain (Barles *et al.*, 2011) et le projet ANR Confluent notamment), généralement à des fins d'évaluation de l'empreinte écologique. Ils permettraient donc d'identifier les possibles perturbations générées par une inondation.

EN TERMES D'ENVIRONNEMENT

D'autres nœuds majeurs des services urbains se trouvent dans la zone d'étude et peuvent impacter un territoire bien plus vaste :

- l'usine de valorisation IP13 du SYCTOM à Ivry (cf. annexe 1) ;
- le centre de pilotage des réseaux du SIAAP dans le 12^{e} (cf. annexe 1).

Située en bord de Seine, l'usine IP13 doit être protégée de la montée des eaux pour préserver les équipements sensibles de cette installation industrielle coûteuse. L'usine ne peut donc plus accueillir et traiter les déchets durant l'inondation. Or, un large bassin versant est centralisé sur ce site, bien au-delà de Paris (Figure 8-6).

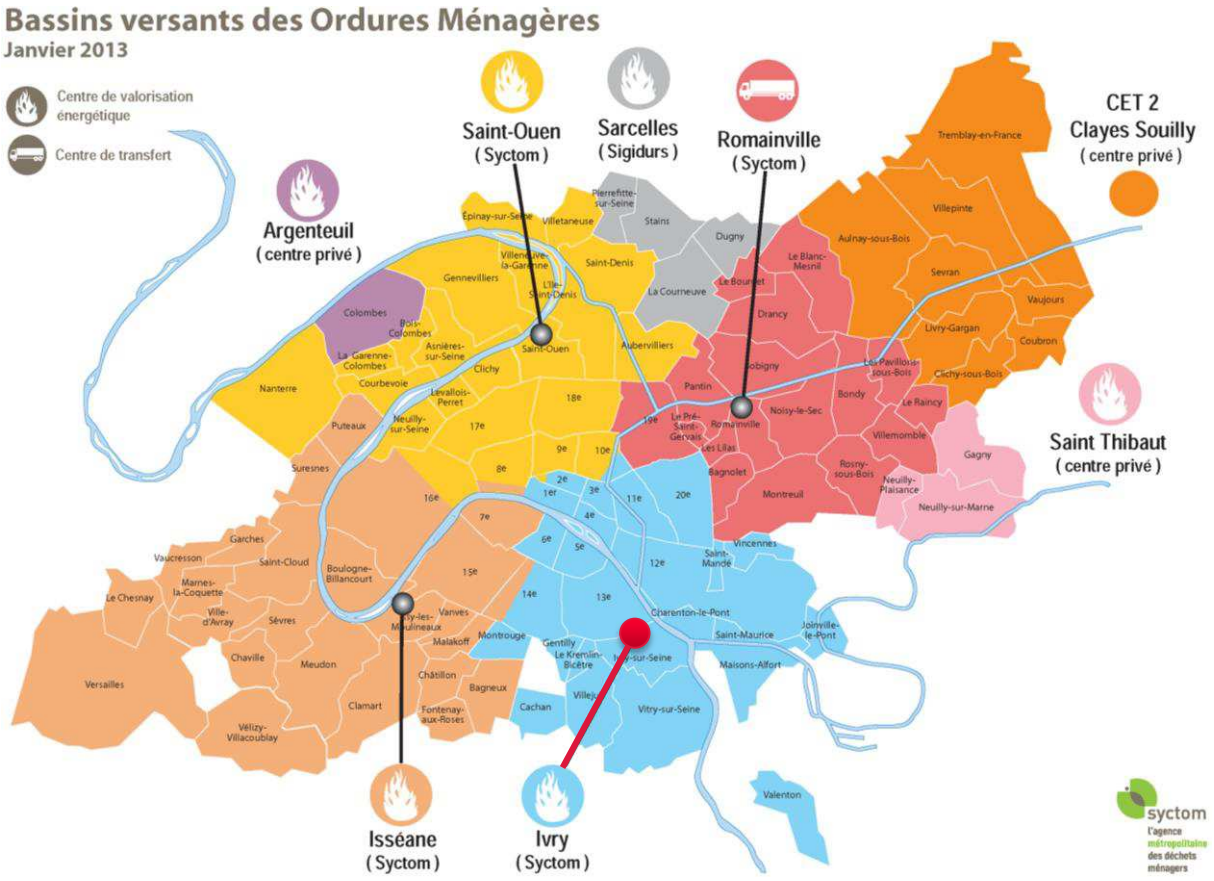


Figure 8-6 : Les bassins versants des usines d'incinération du SYCTOM dépassent largement les enjeux locaux (source : SYCTOM)

Ainsi, des problématiques très locales de protection, d'approvisionnement en électricité ou d'évacuation des déchets induisent des perturbations sur un territoire bien plus vaste, avec la nécessité de réorganiser la collecte, traiter différemment ou stocker temporairement les déchets collectés.

Le deuxième nœud majeur impacté dans la zone d'étude est le centre de pilotage de l'ensemble du système du SIAAP. Situé en bordure de la zone inondable, son inondation n'est pas certaine, mais son alimentation en électricité l'est encore moins. Par ailleurs, de nombreuses lignes télécoms (ADSL ou fibre) raccordent ce site aux équipements du service dans toute la région. La défaillance de l'électricité, la perte des connexions télécoms ou tout simplement l'impossibilité pour les agents de venir travailler (cf. paragraphe précédent concernant les déplacements) remettent en question le maintien du pilotage. S'il peut être repris manuellement, il est important pour le bon fonctionnement des usines, en particulier pour réorienter les flux vers les équipements non impactés. Son dysfonctionnement serait transparent pour le fonctionnement de la ville, mais des impacts importants à l'environnement sont à craindre, non pas durant l'inondation mais dans les semaines et mois qui suivent. En effet les rejets non traités seraient fortement dilués dans la Seine en crue, mais si les usines sont endommagées durablement par des volumes trop importants et par la poussée hydrostatique, la défaillance du traitement posera des questions environnementales à prendre en compte pour l'image de la ville notamment (cf. 8.3.1). En effet, au-delà de la zone d'étude, les stations d'épuration constituent également des enjeux majeurs pour la région toute entière. Ainsi, chaque nœud d'un réseau a un rayon d'influence plus ou moins large (de la desserte locale au fonctionnement régional) qui peut être remis en cause par des perturbations locales, elles-mêmes générées par des défaillances plus ou moins lointaines (cf. 9.2.2).

La prise en compte des enjeux au-delà des périmètres de compétence est difficile pour les collectivités. Or, comme pour les services urbains, la décision d'un maire peut impacter une autre commune, soit du fait de l'impact sur un équipement structurant, soit du fait de l'impact sur l'aléa. En effet, les réflexions concernant le risque d'inondation doivent intervenir au niveau du bassin versant (cf. chapitre 3) puisque les décisions de l'amont jouent sur le risque à l'aval. Ainsi, les niveaux de protection à Paris et à Ivry ne sont pas les mêmes, ce qui amène la Ville de Paris à installer un batardeau dès le jour Jo entre Paris et Ivry pour empêcher l'entrée d'eau. Alors l'inondation côté Ivry sera aggravée puisque l'eau ne pourra s'évacuer vers Paris. De manière plus générale, les stratégies de protection le long de la Seine modifient l'écoulement du fleuve en limitant notamment les champs d'expansion, accélérant alors les débits (notamment à l'aval de Paris) ou augmentant la ligne d'eau (comme à Ivry). Comment alors assurer la cohérence des mesures mises en place à l'échelle de la région ?

Synthèse

Le dysfonctionnement des services urbains dans la zone d'étude induit la perturbation des conditions de vie des habitants et des activités des entreprises. L'extrapolation de ces résultats à l'ensemble de territoire est cependant difficile car les configurations locales (topographie, interconnexions) sont importantes. Il est cependant possible de distinguer deux zones touchées directement par l'inondation : la zone inondée dans laquelle la majorité des services sont interrompus, et la zone non inondée impactée par l'arrêt des réseaux. Il faut cependant considérer que l'ensemble de la ville de Paris sera perturbé par la dégradation des services liés aux déplacements. Certains nœuds majeurs de ces services sont d'ailleurs particulièrement touchés dans la zone d'étude. Alors les conséquences de leur dysfonctionnement se font ressentir sur toute l'agglomération, voire sur le pays et le continent. À des échelles plus larges, la résilience repose donc sur une analyse fine des interactions au sein du territoire et avec l'extérieur, mais également sur des facteurs plus difficiles à anticiper.

8.3. AUTRES FACTEURS A PRENDRE EN COMPTE

La focalisation sur les services urbains, dans leur dimension ingénierie ne permet pas de tenir compte des facteurs socio-économiques qui contribuent à la résilience du territoire. Pourtant, les populations, mais aussi les entreprises, sont des acteurs majeurs de l'inondation : comme générateurs de pression sur les services ou de force motrice au service de la résilience du territoire. Si l'aspect économique est indéniablement un moteur de la reconstruction, les aspects sociaux sont également majeurs (Campanella, 2006) et parfois plus sensibles. Ces autres facteurs de résilience viennent donc interroger les résultats issus de l'analyse de la résilience des services urbains et dessinent des pistes d'approfondissement.

8.3.1. ASPECTS SOCIO-CULTURELS

DEGRADATION DES CONDITIONS DE VIE ET RESILIENCE INDIVIDUELLE

Face à la défaillance des services urbains, la capacité des usagers à se passer ou non d'une ressource peut relever d'une capacité intrinsèque ou de la capacité à mobiliser d'autres sources. Si certains travaux tentent d'évaluer les capacités de résilience individuelles en fonction de critères socio-économiques (Bures et Kanapaux, 2011 ; Cutter *et al.*, 2008), il n'y a pas de moyen facile d'évaluer la résilience des individus. En effet, des populations plutôt aisées seront, a priori, aptes à investir pour assurer leurs ressources ou des alternatives, si tant est qu'elles soient disponibles. À l'inverse, des populations plus défavorisées disposeront d'un réseau de proches, peut-être plus solidaire ou seront habituées à la « débrouille ». Mais ces clichés peuvent également être contredits. Ainsi, chaque foyer présente sa propre capacité de résilience qui traduit par ailleurs son niveau d'acceptabilité du risque et de ses conséquences (cf. chapitre 1). Ce niveau peut cependant fortement varier d'une personne à l'autre, sans explication rationnelle de niveau de vie ou d'éducation. Alors pour augmenter la résilience des personnes, il faut d'abord les informer des conséquences attendues, puis des comportements à avoir afin de les inciter à se préparer. Ainsi, l'impact du comportement des populations sur les services urbains pourrait être mieux anticipé, ce qui fait actuellement défaut aux gestionnaires.

En plus des services urbains étudiés, d'autres difficultés pourront limiter les actions des populations, comme par exemple les difficultés d'approvisionnement en nourriture et biens de première nécessité. Si l'approvisionnement des Parisiens a posé problème déjà en 1910, alors que les Halles assuraient les échanges, en plein centre, et que les commerçants assuraient des tournées auprès des habitants, qu'en sera-t-il demain ? Le marché international de Rungis est la plateforme tournante de la quasi-totalité de l'approvisionnement de la capitale. Il ne se situe pas en zone inondable mais la desserte du territoire pose question, notamment aux passages de la Seine mais aussi de la Marne. Cette problématique fait donc l'objet d'un groupe de travail spécifique du SGZDS (cf. chapitre 3), qui s'appuie notamment sur les opérateurs de la grande distribution, mais devrait également intégrer les commerçants de proximité ou les vendeurs sur marchés. En effet, il ne faut pas compter que les Parisiens auront effectué des stocks de nourriture préalablement à l'inondation, mais plus probablement qu'ils se précipiteront sur les stocks des supermarchés une fois l'inondation annoncée. Cet enjeu concerne alors majoritairement les personnes dépendantes qui ne peuvent pas se rendre aux supermarchés, notamment s'ils sont plus éloignés ou mal desservis par les transports en commun.

Un point similaire, qui peut vite devenir bloquant pour la vie quotidienne est l'accès à la monnaie pour les achats quotidiens. Les banques seront-elles capables d'ouvrir leurs guichets ? Les convoyeurs pourront-ils approvisionner les distributeurs ? Y compris dans des zones peut-être un peu moins sûres que d'habitude ? Faut-il alors envisager des systèmes de bons distribués par les autorités ? Ces questions relèvent de problématiques plus générales de maintien des populations dans un environnement dégradé, pour plusieurs semaines ; des groupes de travail sont mobilisés par le SGZDS pour les traiter (cf. chapitre 3). Il ne faut pas les négliger car elles jouent un rôle majeur dans la perception de la crise par la population, notamment via l'information relayée par les médias, ce qui influence probablement la volonté de résilience des populations.

RECONSTRUCTION ET ATTRACTIVITE ECONOMIQUE

Le rétablissement physique de la ville, infrastructures et bâtiments, est fortement dépendant du déroulement de la montée des eaux, de l'efficacité des mesures mises en place et des réactions des populations. Ainsi, il parait difficile d'anticiper le déroulement du rétablissement, mais les gestionnaires rassemblés lors des ateliers ont déjà évoqué des difficultés majeures : le grand nombre d'expertises nécessaires avant la réintégration des locaux ou le redémarrage des installations, les difficultés assurantielles qui en découlent, le nettoyage des voies et des bâtiments de la boue, des détritus et des biens endommagés. Et pourtant, il faudra que les activités de reconstruction débutent rapidement, et donc également que le nettoyage ait eu lieu rapidement pour rétablir la circulation et surtout l'aspect de la ville. Ce sont bien des questions d'image qui sont sous-jacentes, pour démontrer la capacité de la ville à se relever rapidement. En effet, si les entreprises auront souffert de pertes d'activité durant l'inondation, un rétablissement lent augmentera davantage leurs pertes et pourrait les inciter à se délocaliser. La mission de retour d'expérience, organisée par le Haut Comité français pour la défense civile (HCFDC) suite à l'ouragan Sandy à New-York, a en effet mis en avant la position des entreprises new-yorkaises qui demandent les moyens de se préparer puis de réinvestir leurs locaux dans les meilleurs délais, sans quoi elles risquent de ne pas revenir. Ainsi, le redémarrage à tout prix est l'objectif principal à New York, même s'il faut pour cela reconstruire d'abord du temporaire.

En Île-de-France, considérant que 600 000 emplois sont exposés (cf. chapitre 3), le maintien des activités est préconisé dans des quartiers comme la Défense qui seront principalement touchés par des perturbations des services urbains. Les besoins indispensables à maintenir sont alors l'électricité, la sécurité et la sauvegarde des données, mais également l'assainissement, le chauffage et l'eau potable (Andreu, 2010). Il faut noter cependant que ces immeubles de grande hauteur sont soumis à des normes de sécurité drastiques, qui seraient difficiles à maintenir dès lors que les services urbains sont perturbés. Par ailleurs, l'interruption de l'alimentation est bien souvent due, non pas à la défaillance du service, mais au raccordement client qui se trouve en sous-sol et peut donc être inondé. L'accent doit donc être mis sur une anticipation de l'évènement qui permette aux entreprises d'adapter leur fonctionnement, puis un rétablissement rapide réduisant leurs pertes d'activité. L'un des intervenants de la restitution de la mission Sandy exprime ainsi les besoins des entrepreneurs franciliens : « partir facilement pour revenir facilement ». La reconstitution du tissu économique est donc un enjeu majeur de la gestion du risque inondation qui n'a pas été inclus dans ces travaux. Cependant, l'outil de diagnostic des dépendances a été conçu de manière à pouvoir évaluer la dépendance de n'importe quelle organisation aux différents services urbains (cf. chapitre 4). Ces données pourraient donc facilement être intégrées au modèle SIG, afin d'évaluer la capacité de ces entreprises à poursuivre leur activité. À l'aide des mêmes tables et de la géolocalisation des entreprises, des analyses similaires à celles effectuées pour les équipements des services urbains (cf. chapitre 7) pourraient aider les gestionnaires à mettre en place des mesures adaptées de protection, de renforcement, de mobilisation et positionnement de ressources alternatives ou de déplacement des activités (cf. 9.1.2).

Après la reconstruction des infrastructures et des réseaux (résilience de court terme), le retour des habitants et du dynamisme économique (moyen terme) est possible. L'ensemble permet enfin le développement socio-culturel, dernière étape de long terme dans la résilience d'une ville (Maret et Cadoul, 2008), difficile à atteindre. En effet, le cas de la Nouvelle-Orléans montre le difficile équilibre entre l'aide publique qui dépossède les habitants de l'initiative et n'incite pas nécessairement à l'adaptation, et la prise en main directement par les habitants, en réponse aux manques de l'administration. Dans ce cas, les individus peuvent se replier sur leur communauté et fragiliser le tissu social pourtant essentiel à la résilience (Hernandez, 2009). Étant données les fortes inégalités au sein du territoire francilien (Fleury *et al.*, 2007), il est probable que ces difficultés se poseront également après une inondation centennale. Il faut donc au préalable identifier ce qui maintient ce lien social et fait l'urbanité de la ville, afin de trouver les leviers d'actions pour les entretenir ou les rétablir en cas de perturbation, notamment dans les zones les plus sensibles. C'est pourquoi une vision transdisciplinaire de la ville (cf. chapitre 1) est essentielle afin de pouvoir prendre en compte tous les aspects

de cet objet complexe. Il faut donc maintenant compléter ces résultats pour analyser davantage l'aspect sociologique de l'inondation à Paris.

8.3.2. Dynamiques temporelles

Role des strategies urbaines

Il est intéressant d'étudier comment est présenté le rapport à la Seine dans les projets d'aménagement en Île-de-France puisque la majorité des grandes opérations en cours ou achevées récemment concernent des emprises de bord de Seine (Figure 8-7), souvent des friches industrielles en cours de renouvellement : Ivry Confluence, ZAC Paris-Rive Gauche, ZAC de Bercy, Issy-Val de Seine, les Docks de Saint-Ouen, l'Île Seguin, etc. Ce mouvement, qui n'est pas propre à Paris, est interprété par certains urbanistes et sociologues comme un retour au fleuve (Rode, 2010), lui redonnant toute sa dimension d'aménité et de vecteur de services écologiques, mais rarement de vecteur de risque. Pour Paris par exemple, si certains projets taisent largement le risque d'inondation, la reconnaissance des changements d'usage des berges de Seine : autrefois très diversifiés, puis limités au déplacement automobile et aujourd'hui rouvert aux activités économiques et aux loisirs (APUR, 2010), s'accompagne d'une sensibilisation à la variabilité du fleuve et supporte même des réflexions que peu de gestionnaires n'osent aborder :

> Est-il envisageable que le domaine ferroviaire se décloisonne vers celui du fleuve[60] ? Ce qui se ferait, après tout, au plus grand bénéfice des usagers qui pourraient ainsi profiter de son paysage… Comment traiter les berges pour accompagner les crues, donner à voir les plus modestes et inscrire Paris dans le rythme du fleuve ? Nos regards changent ! (APUR, 2010)

Figure 8-7 : Affirmation de l'importance de la Seine dans le développement de la métropole parisienne (source : couverture du Paris Projet #40 (APUR, 2010))

[60] Allusion au RER C le long de la Seine dans Paris qui est sur le quai bas, mais protégé par des murs dont les ouvertures ont été bouchées. L'APUR suggère que la destruction d'une partie de ce mur améliorerait la perception de ces deux espaces, faciliterait les flux de voyageurs mais également la gestion du tunnel (débit d'air). Plutôt qu'une protection permanente, des protections amovibles pourraient alors être utilisées en cas de crue, compte tenu de la faible fréquence de ces inondations.

Ainsi, si certains acteurs de la ville tiennent des discours innovants visant à mieux intégrer le risque d'inondation au quotidien, la majeure partie des projets échouent à en intégrer les contraintes ou les ignorent tout simplement. Le niveau global de prise en compte du risque d'inondation par débordement par les aménageurs peut être évalué par (Anglès, 2013) :

- la connaissance suffisante de l'aléa et des enjeux ;
- la mise en place de moyens de prévention adaptés au bâti et dépassant les simples règles de construction du PPRI dans le but d'assurer la cohérence d'ensemble du projet ;
- l'existence d'un plan d'évacuation ;
- la prise en compte de la protection des réseaux.

Suivant ces critères, il apparait que les projets urbains des Hauts-de-Seine sont peu nombreux à prendre en compte de manière suffisante le risque d'inondation (Figure 8-8).

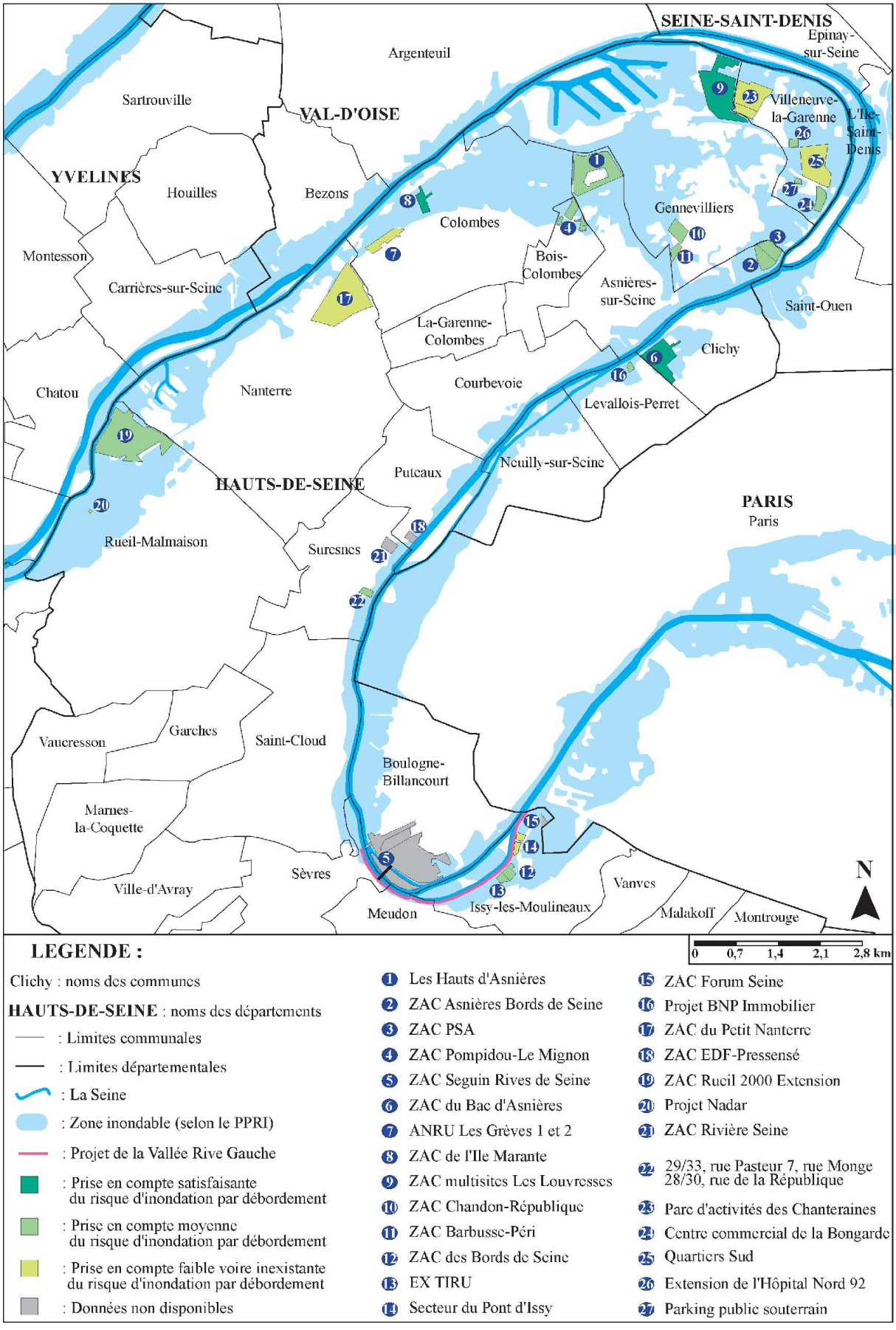


Figure 8-8 : Prise en compte du risque d'inondation par débordement pour 27 projets urbains des Hauts-de-Seine (Anglès, 2013)

Les facteurs explicatifs sont divers (Anglès, 2013) et viennent renforcer l'importance du travail sur les réseaux. Tout d'abord, il apparait que les aménageurs manquent d'information et de formation ; ils se sentent isolés lorsqu'il s'agit de traiter la question du risque d'inondation. Aussi, et également du fait du caractère déterritorialisé, expert et contraignant du PPRI, ils se tournent vers la Préfecture ou des bureaux d'études pour se « défausser » de la problématique. De la même manière, concernant l'adaptation des réseaux au risque d'inondation, les aménageurs laissent la responsabilité au gestionnaire de répondre aux obligations réglementaires. Or, sans orchestration par l'aménageur, les interactions entre services urbains, bâtiments et usages, ne peuvent être prises en compte de manière cohérente. De plus, le PPRI est peu contraignant pour l'existant, et encore moins pour les réhabilitations (cf. chapitre 3) qui représentent une grande part des projets en Île-de-France. C'est donc à l'aménageur qu'il incombe d'impulser une dynamique allant au-delà des obligations minimales afin d'assurer la résilience du nouveau quartier.

Sinon, ces nouveaux projets d'aménagement accentuent encore l'exposition au risque avec de nombreux habitants et de nombreux emplois en zone inondable, sans que cela n'ait été pris en compte dans la conception, ni même dans les plans de gestion des risques. Si l'extension urbaine ou la densification en zone inondable en Île-de-France semble inévitable, elle peut être réalisée de manière à ne pas créer de risque supplémentaire (principe de transparence hydraulique), d'une part, et d'autre part à ne pas exposer inconsidérément des populations. Des formes urbaines adaptées (Balsells *et al.*, 2013), avec des bâtiments *waterproof*, des services urbains maintenus (notamment les déplacements) peuvent tout à fait s'inscrire dans un projet acceptant le risque d'inondation et répondant aux impératifs de développement. Cependant, au vu des projets actuels (Anglès, 2013), le changement de posture dont parle l'APUR n'a pas encore eu lieu et la situation tend davantage vers moins de résilience. Par ailleurs, cette évolution suit logiquement les schémas directeurs élaborés par la Région, qui donnent les grandes orientations en termes d'aménagement et incitent donc, ou pas, à la prise en compte du risque d'inondation.

En Île-de-France, c'est le schéma directeur de la Région d'Île-de-France (SDRIF) qui décrit les orientations en termes de développement ; mais il n'a que peu orienté l'urbanisation en zone inondable depuis son entrée en vigueur en 1994 (cf. chapitre 3), voire il a contribué à la densification en zone inondable (Anglès, 2013). La version révisée en 2008 (qui n'est toujours pas en vigueur) était cependant davantage tournée vers la prise en compte du risque avec :

- le défi 1.2 : « Anticiper et répondre aux mutations ou crises majeures, liées notamment au changement climatique et au renchérissement des énergies fossiles » ;
- l'objectif 2.4 : « Préserver, restaurer, valoriser les ressources naturelles et permettre l'accès à un environnement de qualité ».

Le SDRIF propose alors des préconisations en termes de préservation de la trame bleue, notamment de limitation de l'imperméabilisation des sols (Figure 8-9), même si finalement, les orientations majeures, qui se sont d'ailleurs réalisées, prévoient la densification ou l'urbanisation de nombreuses zones en bord de Seine (Figure 8-10).

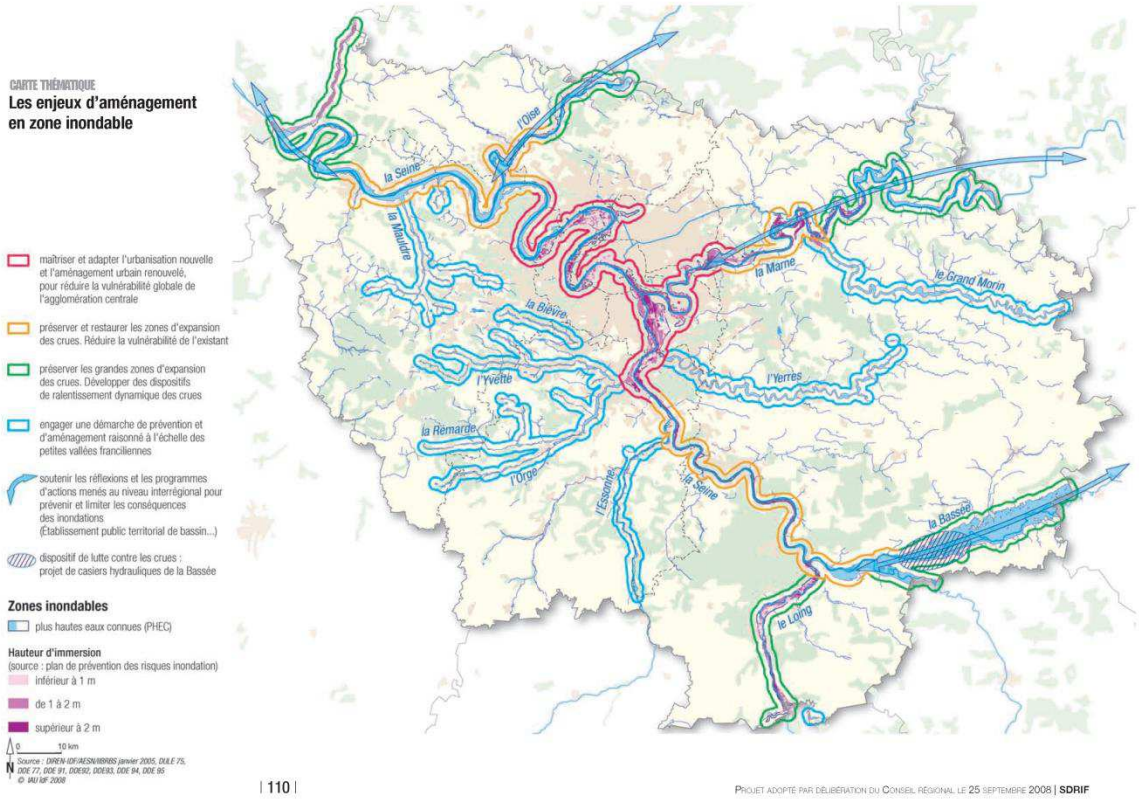


Figure 8-9 : Enjeux d'aménagement en zone inondable identifiés dans le SDRIF 2008 (zone rouge : « maîtriser et adapter l'urbanisation nouvelle et l'aménagement urbain renouvelé, pour réduire la vulnérabilité globale de l'agglomération centrale ») (source : IAU)

Pour le projet 2030, les préconisations concernant la prise en compte du risque d'inondation sont toujours de mise, avec :

- le défi 1.2 : « Anticiper les mutations environnementales » ;
- l'objectif 4.4 : « Gérer durablement l'écosystème naturel et renforcer la robustesse de l'Île-de-France ».

Mais là encore, les orientations d'aménagement restent tournées vers la densification de zones exposées, déjà densément peuplées (Figure 8-12). Cette densification est notamment liée au projet de transport du Grand Paris avec de nouvelles gares qui amèneront une plus forte densité, parfois en zone inondable… (Figure 8-11)

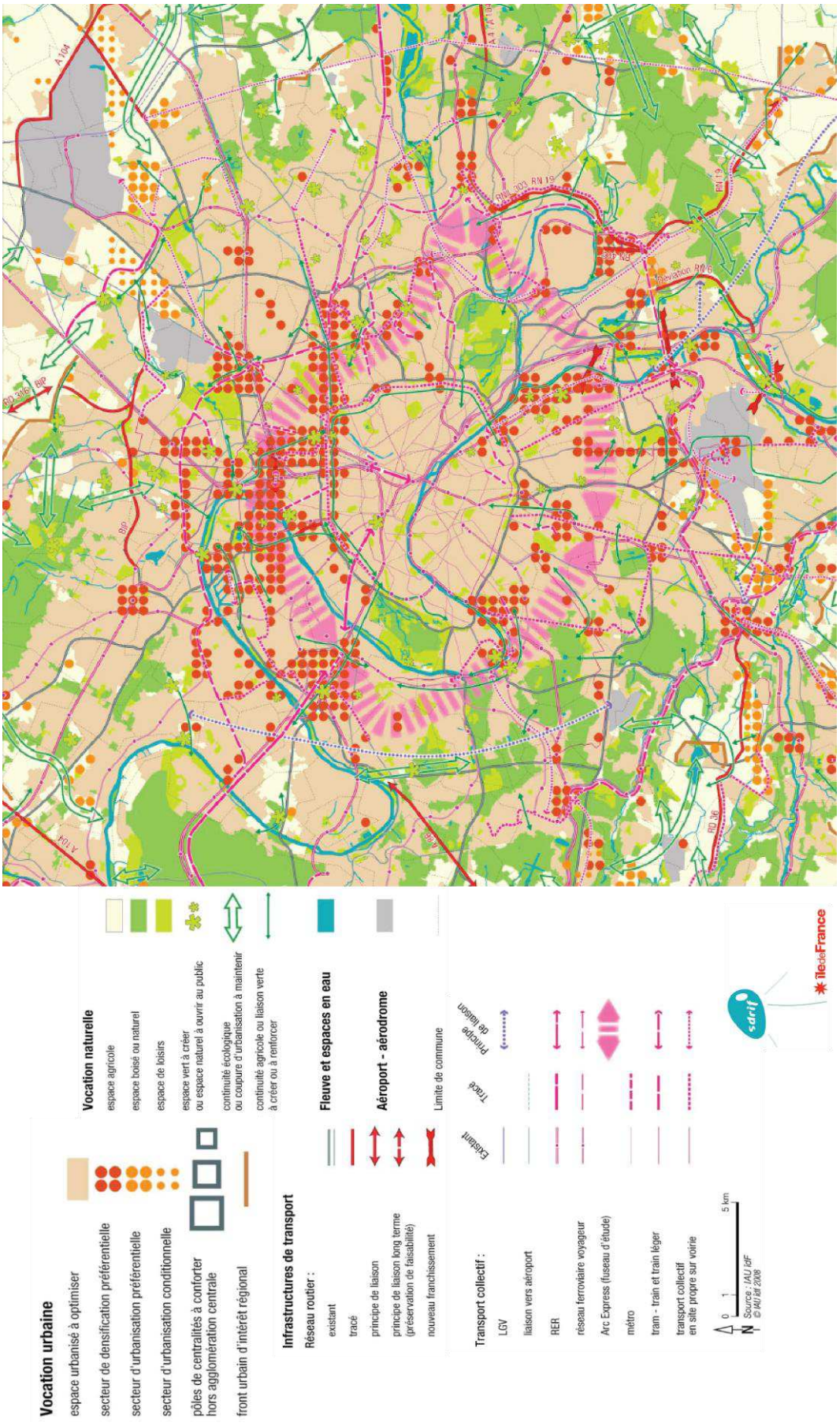


Figure 8-10 : Extrait de la carte de destination générale du SDRIF 2008 (source : IAU)

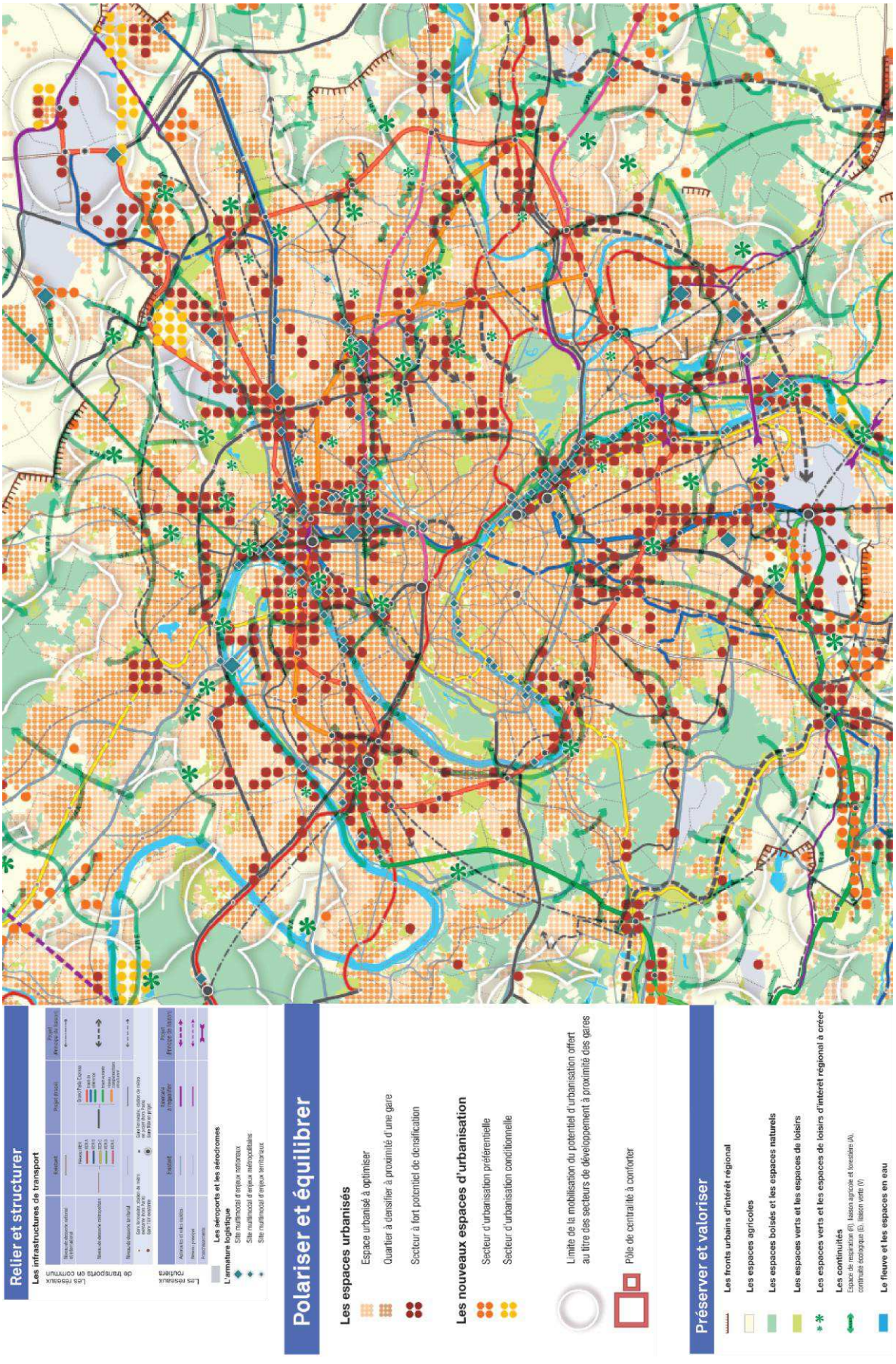


Figure 8-11 : Extrait de la carte de destination générale du SDRIF 2030 (source : IAU)

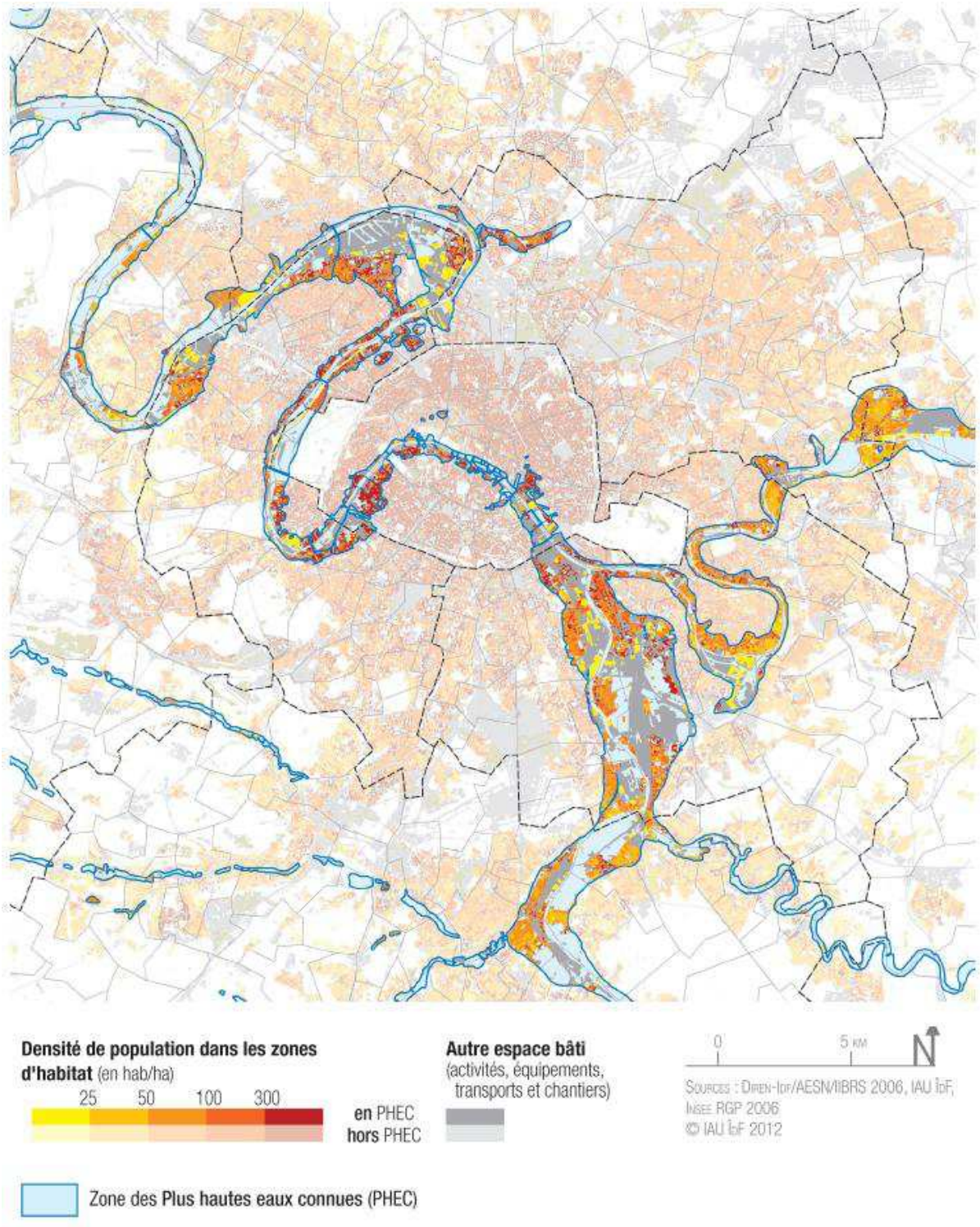


Figure 8-12 : Importante densité de population dans les zones inondables identifiée dans le SDRIF 2030 (source : IAU)

Le projet de développement de la Région ne semble donc pas intégrer pleinement le risque d'inondation dans sa stratégie à long terme, alors que les choix stratégiques se font justement à cette échelle. Ces derniers doivent en effet assurer une prise en compte uniforme du risque et donc une répartition uniforme de la pression qu'il induit sur les territoires. Ainsi, en l'absence d'obligations, voire en la présence d'incitations à urbaniser sans tenir compte des risques (quand les PPRI sont insuffisants), chaque commune est libre d'implanter des logements et des activités toujours plus nombreux en zone inondable, accentuant encore la course à l'exposition massive au risque d'inondation (Figure 8-13).

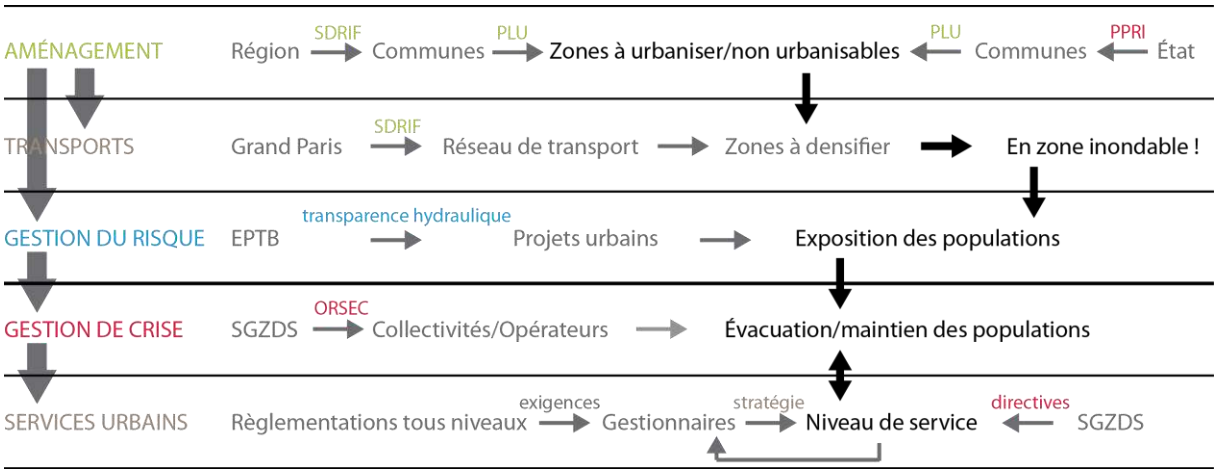


Figure 8-13 : Articulation entre aménagement urbain, gestion des risques et gestion de crise

Ces choix sont bien souvent induits par des objectifs à court et moyen terme d'avantages économiques ou de réponse à la pression immobilière (Dubois-Maury, 2002). Or, il est peu probable qu'ils s'avèrent durables sur le long terme si les communes ne mettent pas en place les moyens de gérer une inévitable inondation. Si elle est évidemment difficile à mettre en place, tant pour des raisons politiques que techniques, la vision à long terme est essentielle pour améliorer la résilience d'un territoire. En effet, les choix d'aujourd'hui influencent la résilience de demain, tout comme ceux du passé influencent la résilience d'aujourd'hui.

Et par rapport a 1910 ?

L'analyse des conséquences des choix effectués après 1910, et notamment l'apprentissage qu'il reste aujourd'hui de cet évènement permet d'aborder la résilience à long terme de l'agglomération parisienne et de ses sous-systèmes (ville de Paris, services urbains). La situation aujourd'hui est complètement différente de 1910, tant au niveau de l'aléa, que de l'exposition et des services urbains ; il est donc difficile de comparer la situation d'alors avec les scénarios étudiés ici. Un premier constat est que les dommages sont relativement similaires, indiquant que pour de nombreux services, aucune adaptation de fond au risque d'inondation n'a été effectuée, ce qui était déjà apparu dans l'analyse des stratégies de réponse (cf. 8.1). Certains choix d'implantation semblent même persister jusqu'à aujourd'hui, puisque les trois usines principales de traitement des déchets en 1910 étaient Saint-Ouen, Issy-les-Moulineaux et Vitry (cf. chapitre 3), soit des localisations fort semblables aux trois usines actuelles (l'usine de Vitry étant remontée vers Ivry). Comme le montrent les géohistoriens, ou archéogéographes, il s'agit là d'une certaine résilience de la forme urbaine dans l'histoire d'une ville, que ce soit par persistance de la fonction ou de la forme : « la résilience d'une forme se construit par une dialogique (à la fois dialectique et pragmatique) entre des intentionnalités sociales spatio-temporellement situées et les héritages spatiaux des configurations précédentes » (Noizet *et al.*, 2013). C'est pourquoi l'on retrouve des situations héritées de 1910, malgré les désavantages certains : soit que de nouveaux choix ont porté à reproduire le schéma d'alors, soit que la forme elle-même a persisté et s'impose alors naturellement comme site adapté à tel usage. Quoiqu'il en soit, ces fonctions ont également beaucoup évolué et se sont notamment technicisées, ce qui modifie considérablement les impacts d'une défaillance, sur la reprise du fonctionnement notamment (cf. 8.1.2). En effet, les temps de perturbation semblent équivalents en moyenne : environ sept jours avec des temps de rétablissement d'un à deux mois pour certains équipements récents n'ayant pas connu l'inondation de 1910 ou s'étant considérablement développés depuis (réseau de métro). En revanche, le retour à un fonctionnement aussi performant qu'avant l'inondation devrait largement dépasser les délais mesurés en 1910. La résilience de la forme urbaine s'articule donc avec les résiliences de court et de long terme.

Alors la résilience du territoire dépend aussi de la capacité des usagers à se passer du service défaillant (cf. 8.3.1). En cela il est intéressant de noter que la criticité des services urbains en 1910 ne correspond pas à la criticité actuelle. Par exemple, la défaillance de l'électricité n'eut que peu d'impacts puisque d'autres sources d'énergie étaient utilisées (gaz, air comprimé, force animale), alors qu'aujourd'hui la dépendance à l'électricité est quasiment totale. Par ailleurs, les solutions apportées aux différents problèmes en 1910 correspondent aux moyens et aux normes de l'époque. Aujourd'hui, d'autres problématiques s'ajoutent, comme la dépendance à la monnaie et aux télécommunications, mais surtout, l'acceptabilité de la dégradation des conditions de vie a changé et les solutions à apporter ne répondent plus nécessairement aux normes actuelles. Verra-t-on comme en 1910 des passerelles et des échelles fleurir pour desservir les logements inondés (Le journal des débats, 1910) ? Ou bien des impératifs de sécurité amèneront-ils le préfet à interdire ces solutions de fortune ? Sera-t-on capables de mobiliser autant de bateaux et de chevaux pour assurer les déplacements ? Il serait donc intéressant de pouvoir comparer la capacité des Parisiens de 1910 à se passer des services urbains et la capacité des Parisiens d'aujourd'hui.

Il n'existe pas d'indicateur fiable de la résilience individuelle, a priori, la comparaison est donc hasardeuse. La conscience du risque peut toutefois être discutée. Car si l'histoire retient une relative indifférence des parisiens à l'égard de la Seine, l'« exception dans ce phénomène, les inondations de 1910, dont l'empreinte durable au palmarès des psychoses parisiennes est peut-être en partie le fait d'un brutal retour de réalité » (APUR, 2010) semble aujourd'hui déjà loin. En effet, cet évènement est maintenant trop ancien pour susciter encore une mémoire du risque, notamment au sein d'une population changeante, relativement détachée de son territoire et de son environnement (Langumier, 2008). Si l'évolution permise par l'inondation de 1910 est difficile à évaluer, il est certain que la prise de conscience à partir des années 2000, puis la célébration du centenaire de l'inondation de 1910 ont davantage contribué à l'apprentissage des gestionnaires, et dans une moindre mesure du public. Il reste donc à vérifier qu'après la prochaine inondation, les leçons de la catastrophe soient tirées et que les acteurs de la ville acceptent enfin la possibilité de perturbations dépassant les scénarios prévus (Lagadec, 2003).

> On ne s'imagine pas assez que les mêmes phénomènes se produisant, des conséquences identiques, ou plus graves même, comme ce fut le cas, sont fatalement à craindre. Le lamentable aspect de nos ports enfin libérés sera un enseignement… pour quelques années. (Le journal des débats, 1910)

Synthèse

La défaillance des services urbains génère ou aggrave de nombreuses autres perturbations pour la vie quotidienne durant l'inondation. Ainsi, les difficultés de déplacements se répercutent sur l'approvisionnement de la capitale, y compris en monnaie et en biens de première nécessité. Avec les problèmes d'énergie et de télécommunications, l'activité des entreprises est également fortement perturbée, y compris sur le temps long lors de la reconstruction, alors que leur reprise d'activité est une condition indispensable de la résilience du territoire. Or, les orientations, données dans le SDRIF notamment, pour assurer l'attractivité du territoire, ont tendance à favoriser l'exposition des habitants et des emplois à l'inondation, en préconisant la densification autour des moyens de transport, soit dans des zones exposées. De plus, les contraintes de l'inondation ne sont pas toujours bien intégrées à l'échelle de ces projets d'extension ou de requalification. Les collectivités doivent pour cela tirer les leçons du passé et dépasser les objectifs court-termistes, en mettant en place des mesures de réduction des risques, des dispositifs de sauvegarde adaptés, accompagnés par une sensibilisation de tous les acteurs.

8.4. SYNTHESE DU CHAPITRE

Le matériau constitué dans les deux parties précédentes permet d'évaluer les conditions de la résilience de Paris aux différentes échelles temporelles et spatiales, en s'appuyant sur le cadre théorique du concept. Les capacités de résistance, d'absorption et de récupération des services urbains sont diverses et montrent des niveaux hétérogènes entre les services reposant sur un support ou sur une organisation humaine et suivant le statut de l'organisation (opérateur national ou concessionnaire local). Les trois capacités induisent des niveaux d'endommagement et des temps de rétablissement variant en fonction des scénarios pris en compte. Le scénario modélisé sous SIG concernant les impacts de l'inondation centennale sur le Sud-Est parisien (cf. chapitres 7 et 8) est un scénario « idéal » fondé sur le bon fonctionnement de l'ensemble des stratégies prévues par les gestionnaires, dans une situation d'inondation connue et anticipée. L'exercice réalisé avec les gestionnaires montre déjà un certain nombre de faiblesses, malgré la connaissance de l'évènement. Or, il apparait que, dans un scénario différent ponctué d'imprévus, d'autres difficultés se posent et questionnent les stratégies de réponse des gestionnaires. L'analyse des trois scénarios met en effet en avant la stratégie du gestionnaire : tournée vers la protection du réseau et son rétablissement, ou vers une adaptation plus ou moins proactive de son fonctionnement, afin de maintenir un service dégradé. Ainsi, il est difficile de conclure quant au niveau de résilience du service, puisque selon l'indicateur choisi, les conclusions peuvent être contradictoires. Par exemple, le nombre de clients impactés par la défaillance électrique semble montrer un niveau de résilience faible d'ERDF, mais le rétablissement annoncé en quelques jours montre un fort niveau de résilience. Tout dépend finalement de l'objectif final qui devrait être déterminé conjointement avec la ville qui subit ces perturbations.

Les impacts sur la ville entière sont difficiles à cartographier précisément mais il est possible d'identifier les grands principes avec une zone inondable privée de l'ensemble des services et difficilement accessible, une zone bordant la zone inondable subissant la perte d'un ou plusieurs services vitaux (électricité, gaz, chauffage urbain) et l'intégralité du territoire subissant des conditions de vie dégradée, du fait de la perturbation des déplacements principalement. Les résultats montrent également les répercussions de la défaillance d'un équipement du fait d'interdépendances locales dans la zone étudiée, sur un territoire beaucoup plus vaste. Ainsi, les impacts indirects de l'inondation sont également largement sous-estimés puisque les enjeux dépassent les limites de la ville. Dans une région où les déplacements sont essentiels à l'activité économique, la perturbation des transports dans la zone d'étude 12^{e}-13^{e}-Ivry se ressent dans toute l'Île-de-France, notamment au niveau des pôles d'activité comme la Défense ou dans les communes plus résidentielles à l'Est de Paris (sans compter qu'elles seront, elles aussi, touchées directement par l'inondation et la perturbation des réseaux). C'est pourquoi il est important de sensibiliser les entreprises aux conditions de fonctionnement qu'elles vivront afin qu'elles puissent anticiper les perturbations et maintenir l'activité, sur site ou délocalisée, puis faciliter un rétablissement rapide. Les questions d'image à la décrue, puis lors du rétablissement, seront donc essentielles pour envoyer des signaux positifs aux habitants et aux entreprises qui contribueront à un relèvement rapide de la ville.

Les interactions entre transports et aménagement sont au cœur des projets de développement de la région, que ce soit au niveau local des projets urbains ou au niveau stratégique du SDRIF. Le rôle de ces stratégies de long terme est cependant réduit pour la gestion du risque inondation. En particulier, la densification ou l'extension urbaine à proximité des infrastructures de transport sont encouragées par le SDRIF, même en zone inondable. L'insuffisance des PPRI entraine alors une exposition accrue des habitants et des activités, sans que les mesures minimales de préparation n'aient été prises. Les projets répondent à des impératifs de court terme ne tenant pas compte des conséquences à long terme, alors qu'un regard en arrière démontre la difficulté de gérer ensuite ces situations. Les contraintes d'aujourd'hui ne sont plus les mêmes qu'au siècle dernier, mais l'exigence de sécurité et de continuité devrait justement amener à plus d'exigence concernant des projets qui font la résilience de demain.

Chapitre 9 : Perspectives de recherche

Ce chapitre conclusif propose un regard critique sur les travaux engagés et les choix méthodologiques qui les ont précédés. Il s'agit de discuter la portée de ces recherches et d'identifier des pistes de recherche future.

Dans une première partie, la généralisation de la méthode est abordée. La reproductibilité de la démarche avait été préconisée initialement, mais elle s'est trouvée largement remise en cause par l'application au cas d'étude parisien, dont les spécificités ont fortement orienté la démarche. La discussion s'appuie sur une expérimentation plus réduite sur un territoire radicalement différent : Mantes-la-Jolie. Cette expérimentation a eu lieu dans le cadre du projet ANR RESILIS et les conclusions concernant l'opérationnalisation de la méthode sont prolongées dans le cadre d'un investissement interne avec Egis.

La riche matière collectée dans ces travaux permet également de revenir aux concepts théoriques sous-jacents. Il ne s'agit pas de conclure quant à la pertinence du concept de résilience, mais de soulever les questions mises en avant par cette recherche et qui mériteraient un approfondissement théorique.

9.1. Operationnaliser la demarche

Dans le but d'en étudier la transposition à d'autres territoires, cette démarche a été expérimentée à Mantes-la-Jolie. Même si l'intérêt d'étudier la généralisation des premiers résultats concernant les interdépendances au niveau supérieur (cf. partie 2) avait été suggéré, cette deuxième expérimentation apporte quelques résultats encourageants qu'il faudrait cependant prolonger. L'objectif est donc davantage d'identifier la faisabilité et les difficultés de cette démarche, afin d'identifier des pistes d'amélioration.

9.1.1. Exemple d'une collectivite moins bien preparee : Mantes-la-Jolie

Contexte du territoire et de la recherche

Dans le cadre du projet ANR RESILIS (cf. annexe 4), une partie de la méthodologie développée pour cette thèse a été expérimentée avec l'un des territoires partenaires du projet : la ville de Mantes-la-Jolie. Avec près de 43 000 habitants, Mantes-la-Jolie est la troisième ville des Yvelines, à l'Ouest de l'Île-de-France (Figure 9-1). Elle est aussi la ville-centre de la Communauté d'agglomération de Mantes en Yvelines (CAMY), qui regroupe plus de 100 000 habitants. Avec une superficie de 9,4 km^2, elle atteint une densité de presque 4 600 habitants par km^2 (en 2009).

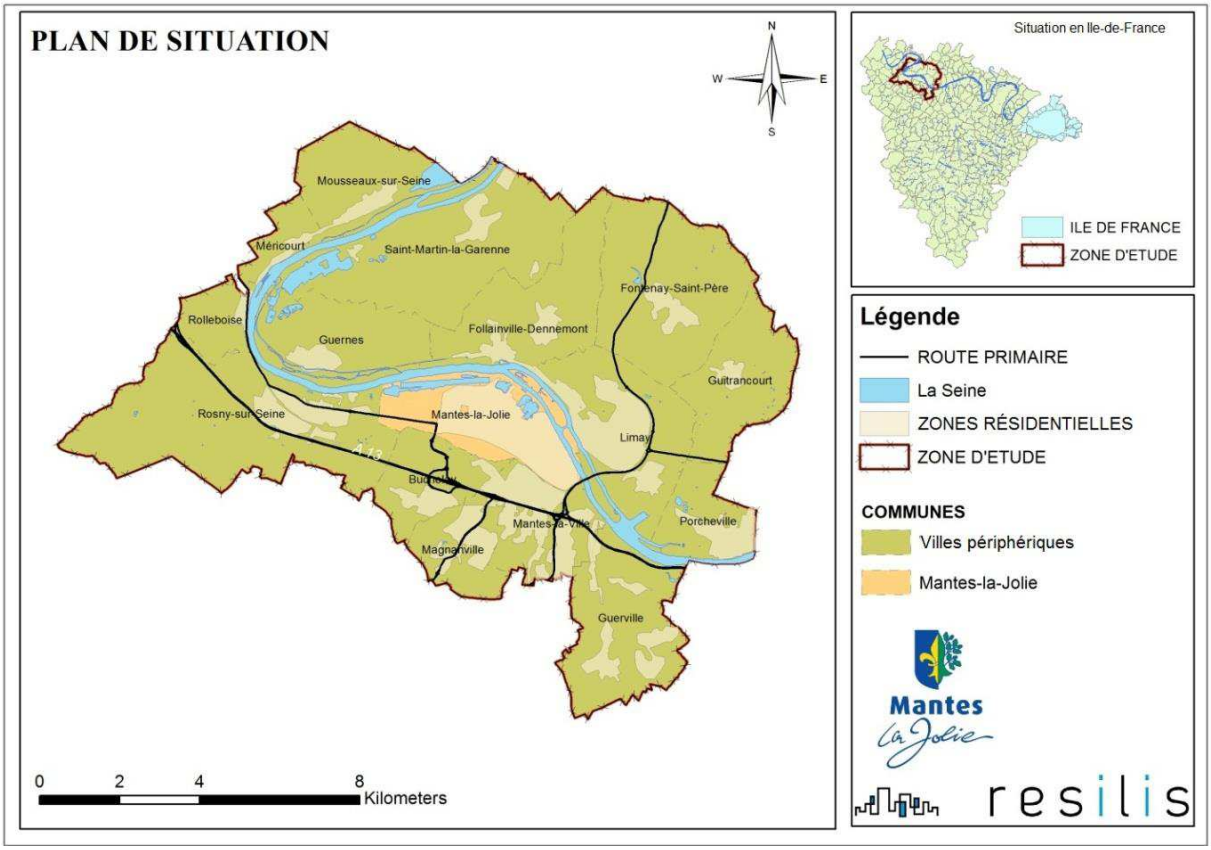


Figure 9-1 : Présentation générale du territoire de Mantes-la-Jolie (Toubin et Raymond, 2013)

Ce territoire est intéressant pour cette recherche car il est soumis au même aléa que Paris, mais dans un contexte géographique, socio-économique, technique et de gouvernance bien différent. Le niveau de la Seine lors de la crue de 1910 est également connu à Mantes, qui dispose d'une échelle de mesure. L'onde de crue est décalée de quelques jours avec un maximum de 8,13 m le 1er février 1910 (Figure 9-2), mais le territoire est

finalement peu inondable (Figure 9-3). Ce n'est cependant pas le seul risque auquel est exposé le territoire. En effet, plusieurs sites SEVESO sont situés à proximité, dans la zone industrielle de Limay-Porcheville, mais également au cœur du territoire avec l'usine Dunlopillo et plusieurs axes de transport de matières dangereuses (TMD).

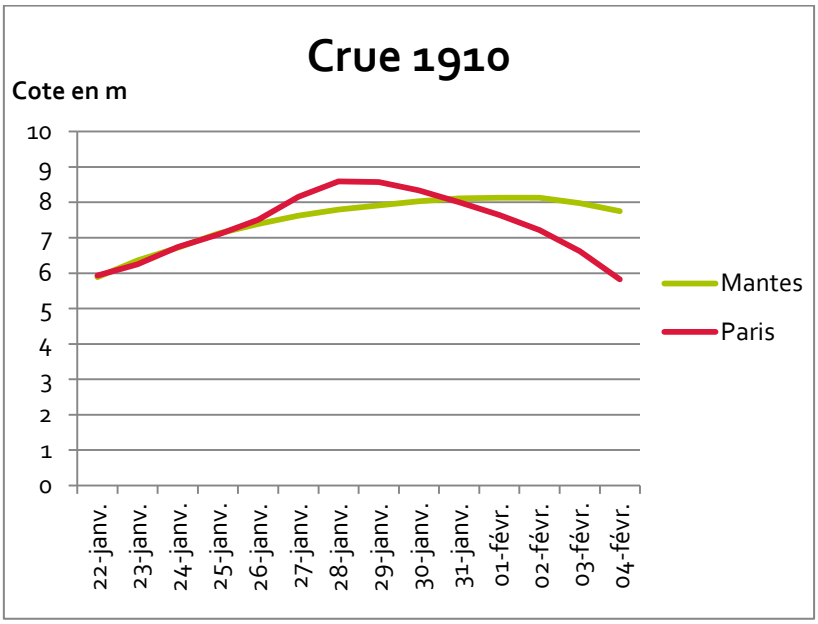


Figure 9-2 : Reconstitution des niveaux de la Seine par Vigicrue, relevés à 10 h à l'échelle d'Austerlitz pour Paris, à l'échelle de Mantes pour Mantes

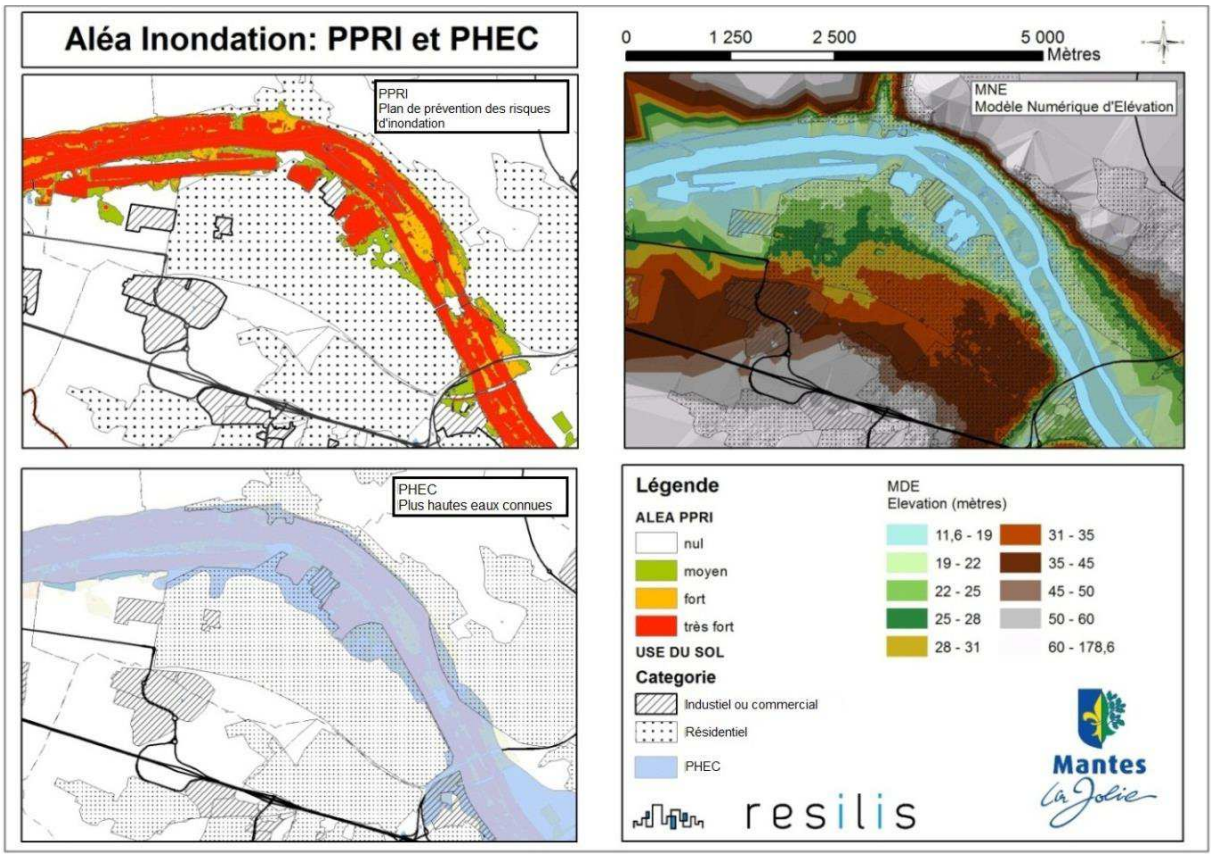


Figure 9-3 : Cartographie du risque d'inondation à Mantes, à noter que le PPRI ne correspond pas aux PHEC (Toubin et Raymond, 2013)

Le territoire est donc largement exposé aux risques majeurs (Figure 9-4) auxquels s'ajoutent des risques sociaux importants avec de fortes inégalités, notamment entre le quartier du Val Fourré à l'Ouest et le centre-ville à l'Est (Toubin et Raymond, 2013).

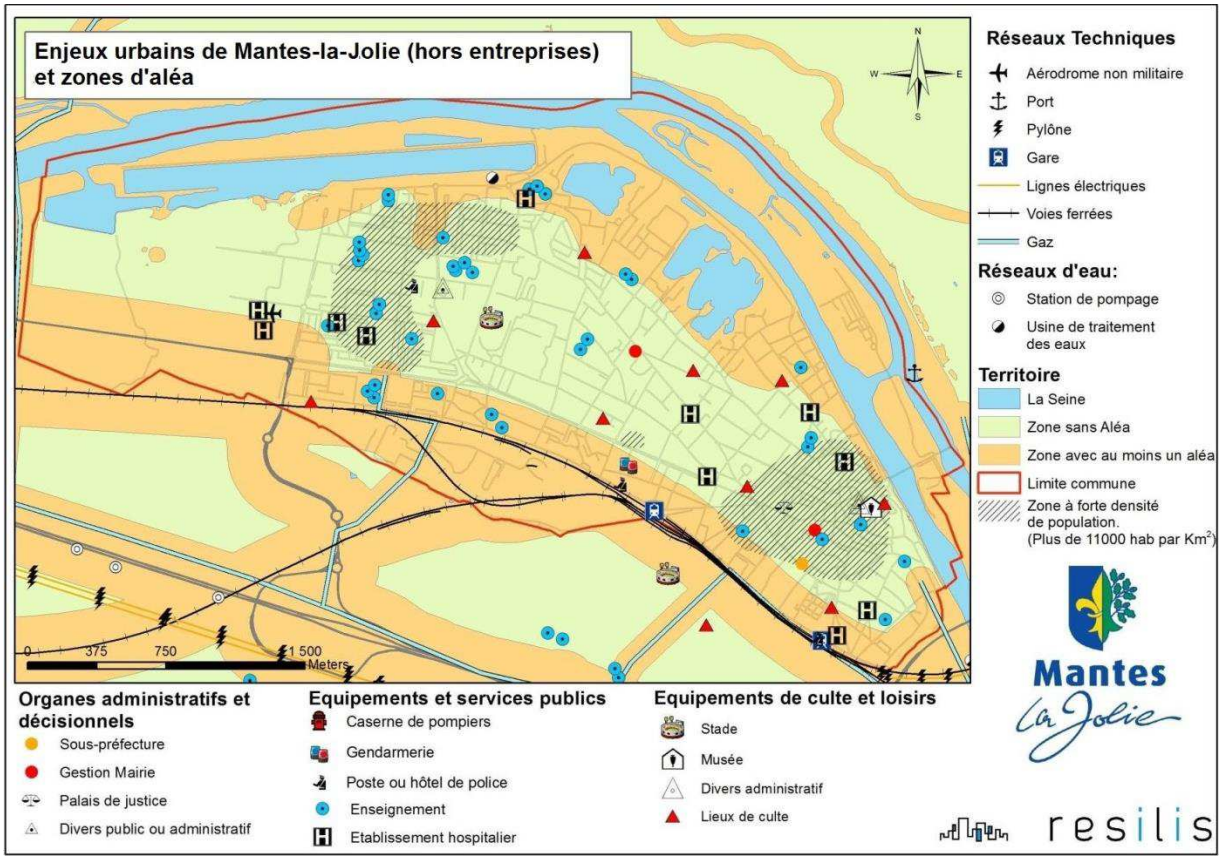


Figure 9-4 : Exposition des infrastructures publiques aux risques (Toubin et Raymond, 2013)

Donnees collectees et hypotheses

Comme pour les travaux relatifs à Paris, l'autodiagnostic des services urbains est réalisé grâce à des entretiens avec les gestionnaires de Mantes. Le référent du projet RESILIS au sein des services de la Ville de Mantes a permis ces rencontres avec des exploitants, cette fois, et non des responsables en charge du risque d'inondation comme ce fut le cas pour Paris. Dans le temps limité de cette étape d'un projet beaucoup plus vaste, seuls cinq services urbains ont été étudiés entre juillet et novembre 2012 :

- la propreté urbaine, service technique de la Ville de Mantes-la-Jolie ;
- la collecte et le traitement des ordures ménagères SOTREMA organisés par la CAMY ;
- les transports urbains par bus TAM opérés par RATP Dev ;
- la distribution d'électricité par ERDF ;
- le chauffage urbain SOMEC opéré par Dalkia.

Ces données peuvent toutefois être complétées avec les données collectées pour Orange et GRDF lors de l'expérimentation à Paris. En effet, les caractéristiques de ces grands opérateurs nationaux sont transposables à la ville de Mantes-la-Jolie, moyennant quelques compléments demandés aux interlocuteurs parisiens concernant les infrastructures de ce territoire. Le Tableau 9-1 résume les caractéristiques de gouvernance des

services urbains mantais ; seuls les deux exploitants privés Véolia et Lyonnaise des eaux, qui se partagent l'adduction d'eau potable et l'assainissement sur le territoire de la CAMY, n'ont pas été rencontrés.

Tableau 9-1 : Services urbains mantais, statuts et compétences

Désignation	Signification de l'acronyme	Statut	Rattachement	Compétence/mission	Périmètre
ERDF	Électricité réseau distribution France	Société anonyme	Filiale à 100% d'EDF	Gestion du réseau public de distribution d'électricité	Réseau piloté à l'échelle régionale avec interconnexions nationales et internationales
GRDF	Gaz réseau distribution France	Société anonyme	Filiale à 100% de GDF Suez	Activités de distribution de gaz naturel	Réseau piloté à l'échelle régionale avec interconnexions nationales et internationales
SOMEC	Société mantaise d'exploitation de chauffage	Entreprise privée	Filiale de Dalkia, branche énergie du groupe Véolia Environnement	Délégation de service public de production et de distribution de chaleur de la ville de Mantes-la-Jolie	Réseau couvrant essentiellement le quartier du Val Fourré
Véolia eau		Entreprise privée		Délégation du service public de la production à la distribution de l'eau et de l'assainissement de la CAMY	Réseau couvrant une partie des communes de la CAMY
Lyonnaise des Eaux		Entreprise privée	Filiale de Suez	Délégation du service public de la production à la distribution de l'eau et de l'assainissement de la CAMY	Réseau couvrant une partie des communes de la CAMY
Propreté urbaine		Service technique	Ville de Mantes-la-Jolie	Nettoiment des rues et collecte des ordures ménagères résiduelles	Réseau complétant l'activité de la SOTREMA, sur le territoire de la ville de Mantes-la-Jolie
SOTREMA		Société d'économie mixte	CAMY actionnaire majoritaire	Collecte et traitement des ordures ménagères	Réseau couvrant l'intégralité du périmètre de la CAMY
Voirie		Voirie au sens support de déplacement	Espace public régi par chaque commune mais où interviennent de nombreux autres services	Permettre le déplacement en véhicules et à pied, repose sur plusieurs services	
TVM	Transports voyageurs du Mantois	Entreprise privée	Filiale de RATP Dev	Exploitation du réseau de TAM de la CAMY	Réseau couvrant une partie des communes de la CAMY
Orange		Société anonyme		Anciennement service public français de télécommunications (France Télécom) : opérateur de téléphonie fixe, mobile et fournisseur d'accès internet	Réseau couvrant l'intégralité de la ville, en interaction avec les autres opérateurs télécoms

Les situations de risque identifiées par les gestionnaires portent rarement sur les risques majeurs (industriel et inondation), mais davantage sur des risques d'exploitation liés au climat (neige) et aux risques sociaux internes (grèves, blocages) ou externes (émeutes, dégradations) (Toubin, 2013). L'autodiagnostic de chaque service a donc été réalisé dans le contexte d'un fonctionnement normal, pour aboutir aux portraits sectoriels décrits dans la partie 2. Le travail réalisé avec les gestionnaires parisiens a montré l'intérêt de distinguer les dépendances techniques des dépendances organisationnelles. Ces résultats ont donc été utilisés pour caractériser les dépendances de chaque service dans le portrait sectoriel (Figure 9-5).

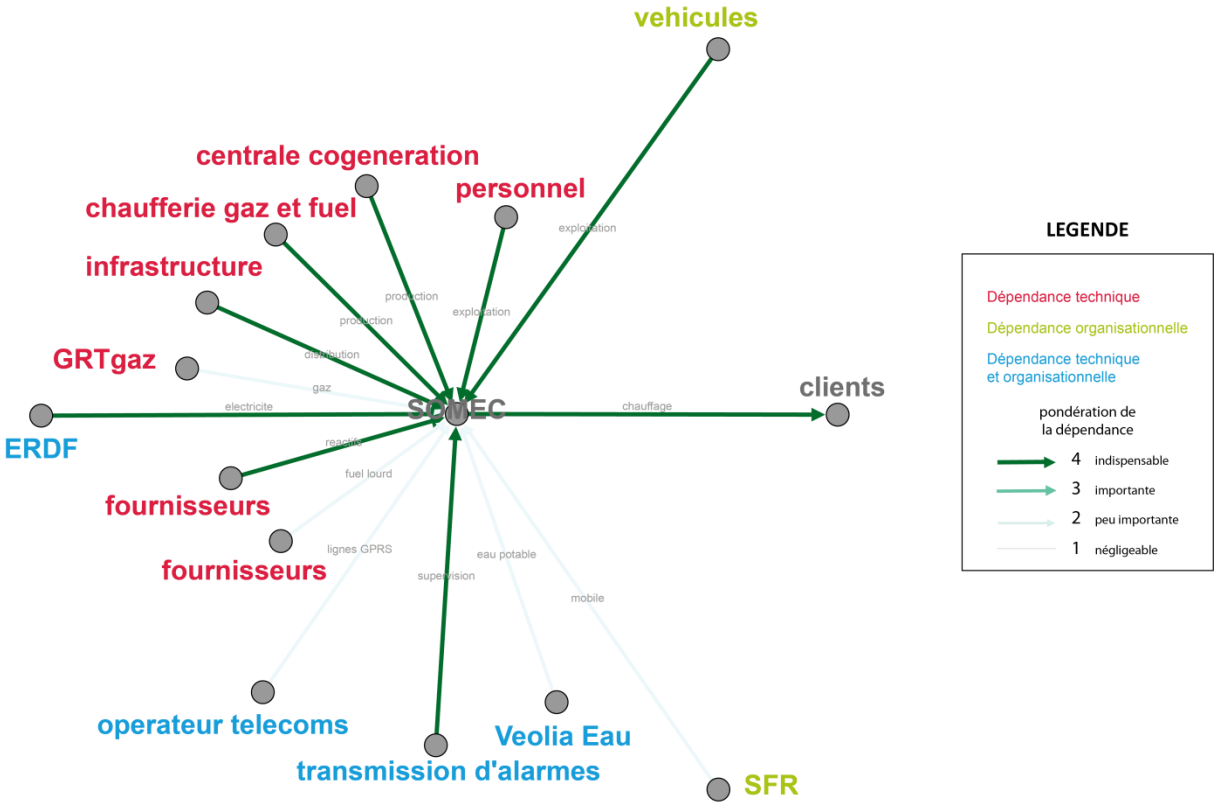


Figure 9-5 : Portrait sectoriel du service de production et de distribution de chaleur SOMEC (Toubin, 2013)

Resultats et discussion de la methodologie

Suivant le même procédé que pour l'analyse des interdépendances présentée dans la partie 2, la collecte des informations aboutit à la représentation des interdépendances des services urbains mantais (Figure 9-6). Le nombre de systèmes considérés étant plus faible (douze), la représentation semble moins complexe. Les interactions sont en effet moins nombreuses, les degrés entrants et sortants sont moins importants, mais la même hiérarchie que dans le cas parisien est mise en avant : les systèmes les plus émetteurs sont ERDF, hydrocarbures et autres opérateurs.

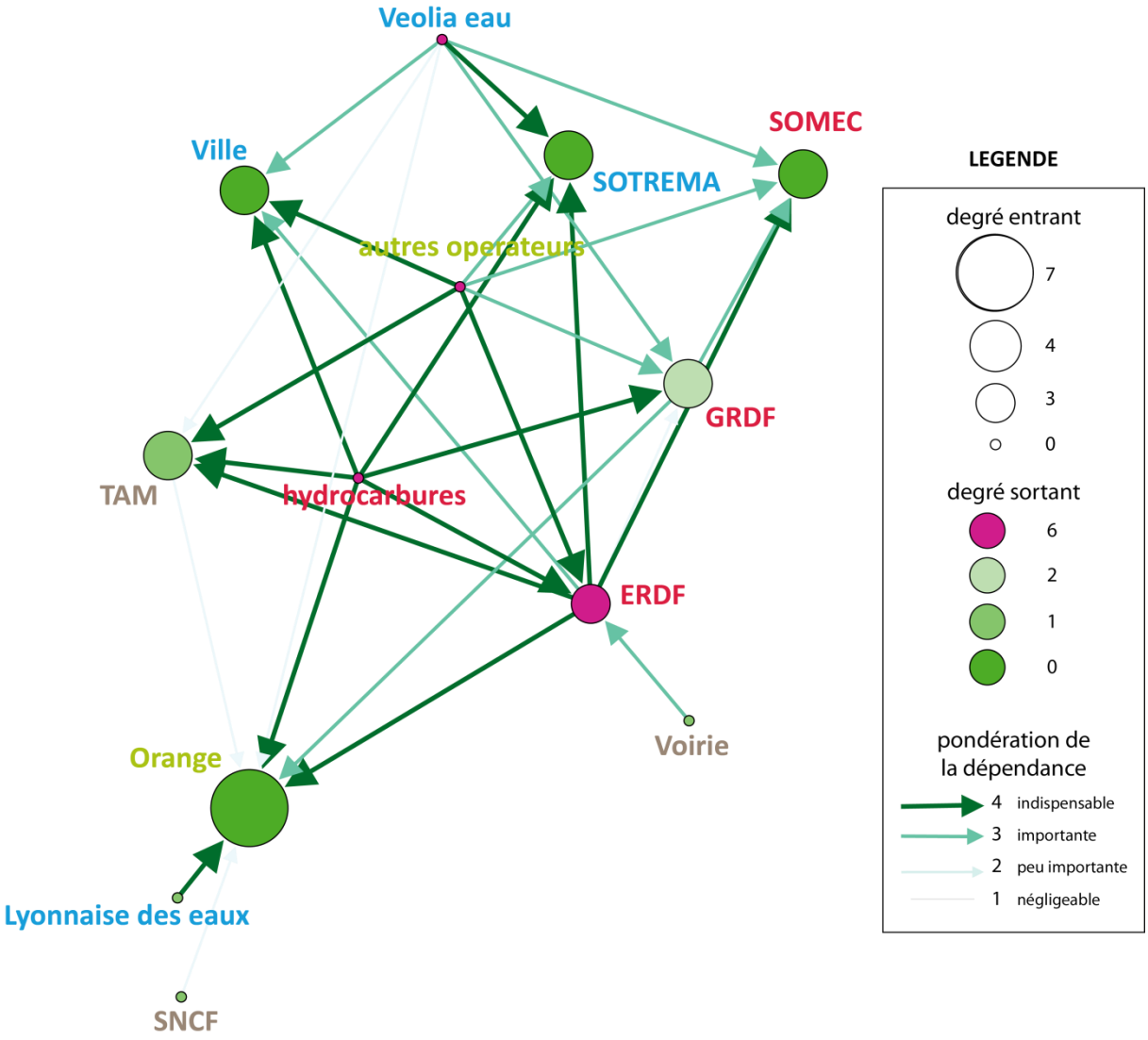


Figure 9-6 : Représentation des interdépendances des systèmes mantais suivant l'algorithme force-atlas du logiciel Gephi (les liens orientés sont les échanges de ressources entre deux systèmes, le nombre de liens entrants dans un nœud donne le degré entrant du nœud, le nombre de liens sortants donne le degré sortant)

La comparaison avec le cas parisien ne peut pas être menée plus loin, mais cette première étape semble adaptée à un terrain tel que Mantes-la-Jolie pour identifier l'interdépendance des services urbains. Ensuite, il est nécessaire d'inclure une dimension spatiale pour analyser plus en détail les interdépendances et comprendre leur rôle dans la résilience des services urbains (cf. chapitre 7). Cette étape n'a été que partiellement menée sur le territoire de Mantes. Seuls quelques enjeux majeurs des services urbains ont été identifiés (Figure 9-7) et leurs besoins n'ont pas été implémentés sous SIG (cf. partie 3).

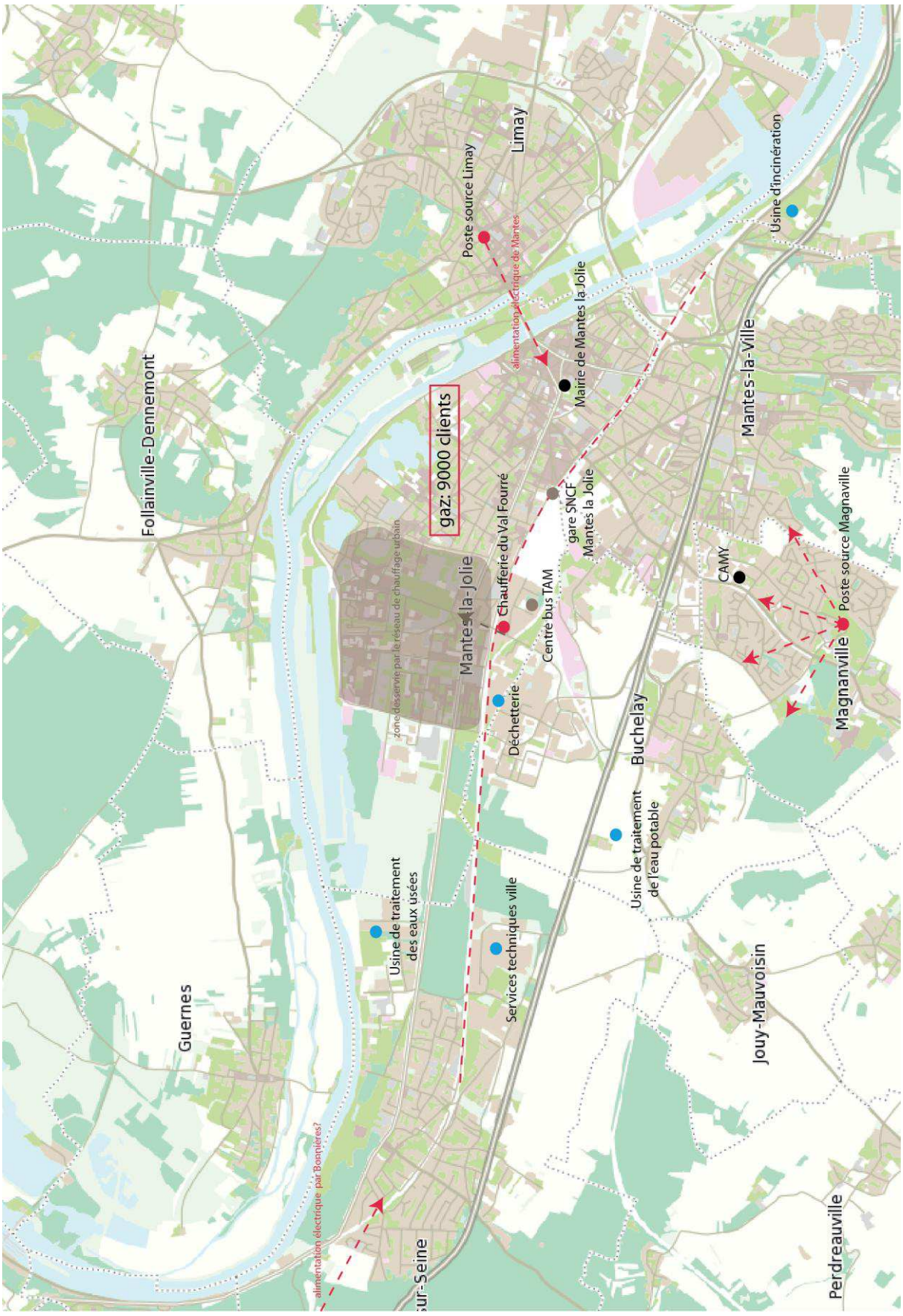


Figure 9-7 : Carte des composants critiques des services urbains du territoire de Mantes (Toubin et Raymond, 2013)

L'analyse reste donc qualitative mais elle apporte déjà quelques informations intéressantes :

> Les services urbains sont comme partout ailleurs fortement interdépendants et la dépendance à l'électricité reste prépondérante. Le territoire est alimenté par 3 postes sources RTE dont celui de Limay qui alimente une bonne partie du territoire de la ville de Mantes via un passage de la Seine. Il conviendrait d'étudier la vulnérabilité de cette traversée afin de connaître la possible défaillance en cas de crue de la Seine. Un autre poste source était également à l'étude pour assurer la redondance de l'alimentation, il faudrait en connaître le périmètre de desserte et les caractéristiques pour pouvoir le prendre en compte dans la desserte électrique de la ville. En effet, si l'électricité venait à défaillir, pour quelque raison que ce soit, l'ensemble des autres services seraient impactés, sans parler des activités, des infrastructures publiques et des logements, et très peu ont étudié la possibilité d'assurer leur service sans cette ressource. On peut signaler que le bâtiment des services techniques de la ville de Mantes la Jolie est équipé d'une éolienne capable d'alimenter au moins les pompes approvisionnant en carburants… s'il y a du vent.
>
> Une spécificité de la ville de Mantes est la desserte de tout un quartier (le Val Fourré) par un réseau de chauffage urbain. La mutualisation du chauffage a bien évidemment des objectifs économiques et environnementaux mais elle induit une dépendance collective à un service qu'il est difficile de remplacer. Le gestionnaire du service est bien préparé à assurer la continuité de son activité, le principal risque réside dans l'endommagement de la conduite de sortie d'usine, qui passe sous les voies de chemin de fer supportant des trains de matières dangereuses. Si l'on considère que le Val Fourré loge les populations les plus précaires de la commune, il serait important d'analyser plus précisément la résilience du service de chauffage urbain ou les moyens palliatifs pouvant être mis en place par la ville. (Toubin et Raymond, 2013)

Ainsi, même sans données aussi précises que celles disponibles pour le territoire parisien, l'analyse qualitative permet d'identifier des points critiques nécessitant une analyse approfondie. Une formalisation adaptée de ces données qualitatives permet cependant de renforcer les conclusions et de préparer une base de données qui peut être enrichie par la suite.

9.1.2. Améliorations possibles

Generaliser a tous les aleas et tous les degres de preparation

Comme le montre l'exemple de Mantes-la-Jolie, même sans données temporalisées précisément, comme cela est possible pour un épisode d'inondation connu et anticipé, l'identification des interdépendances au niveau supérieur permet ensuite d'appuyer des réflexions sur la résilience du territoire. Cependant, il faut pour cela reconstruire l'information concernant le fonctionnement des systèmes, puisque les gestionnaires n'ont pas forcément étudié la continuité de leur service face aux diverses perturbations. Il est donc possible de revenir à une approche par les conséquences (Robert et Morabito, 2009), relativement déconnectée de la perturbation initiale. En effet, le risque d'inondation permet de planifier précisément les actions et les impacts dans le temps d'évolution de la perturbation, alors que la majorité des autres risques sont temporellement ponctuels (séisme, explosion, tempête, etc.) et ne permettent de repérer que le début d'une phase d'action. Il apparait alors difficile pour les gestionnaires de planifier temporellement et spatialement une phase d'action répondant à un évènement d'ampleur et d'occurrence inconnues. Alors pour généraliser la méthodologie proposée ici pour le risque inondation, il apparait plus judicieux de revenir à une analyse relative des interdépendances, indépendamment de la perturbation initiale.

Dans ce cas, l'autodiagnostic aide le gestionnaire à identifier plus précisément, composant par composant, les niveaux de fonctionnement. Il peut ainsi en déduire le niveau de service global, ou du moins identifier les éventuels points critiques sur lesquels il doit effectuer des analyses complémentaires. En particulier, les notions temporelles d'inertie, de temps d'impact et de rétablissement permettent de réintroduire une notion temporelle, s'il n'est pas possible de s'appuyer sur un plan relatif à un évènement chronologiquement connu (cf. chapitre 4). Ces grandeurs permettent alors d'identifier les seuils de passage d'un fonctionnement normal à un fonctionnement dégradé puis au rétablissement. La base de données conçue pour l'expérimentation parisienne peut donc être généralisée à tout type de perturbation (Figure 9-8).

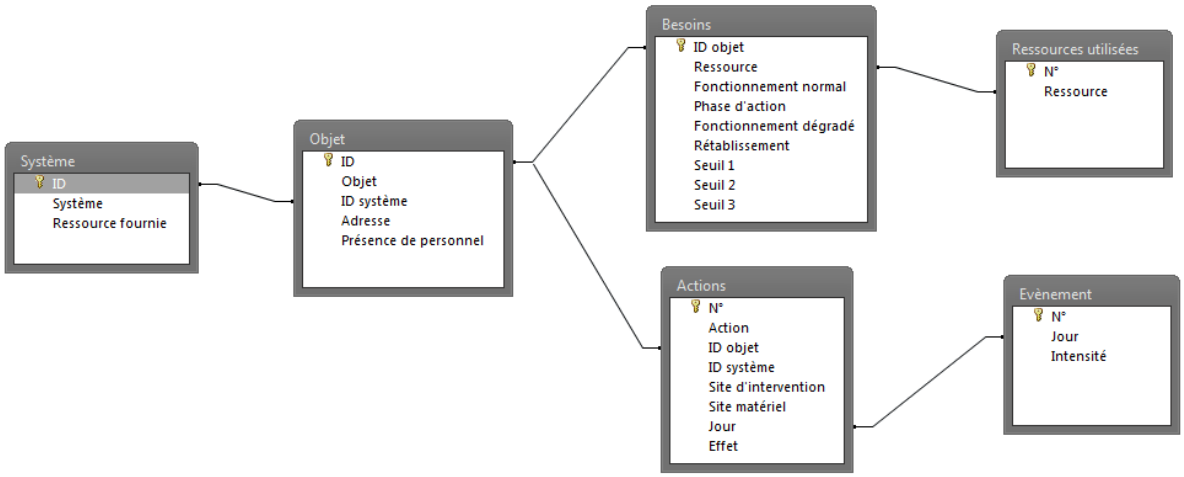


Figure 9-8 : Architecture de la base de données pour l'analyse des interdépendances sur le territoire (Serre *et al.*, 2013c)

La caractérisation des dépendances, des défaillances et de leur impact sur le système se fait alors relativement au système fournisseur : le système A tombe dans un fonctionnement dégradé tant de jours après que le système B ne lui fournit plus la ressource, puis il se rétablit tant de jours après le rétablissement de la ressource fournie par B. L'automatisation par l'outil SIG pose alors de nombreuses difficultés en partie résolues par l'outil DOMINO du CRP (Pellet, 2009). D'autres question concernant l'impact sur le territoire, et notamment les usagers, sont encore en suspens mais leur intégration oriente la démarche vers la gestion de crise ou l'anticipation.

Inclure les acteurs du territoire

Pour des raisons de confidentialité et de facilité d'organisation, les acteurs non-gestionnaires de services urbains ont été écartés de la démarche collaborative (cf. chapitre 2) mais leur importance est démontrée. Il est donc intéressant d'identifier ici les points à améliorer pour les impliquer dans une démarche d'amélioration de la résilience. Tout d'abord, il s'agit d'identifier les personnes à impliquer et la manière de le faire. Dans ces travaux, les décideurs au sens « élus » n'ont pas été impliqués, considérant qu'ils ne se plaçaient pas au même niveau que les gestionnaires, mais davantage en demandeur ou usager, tout comme les aménageurs dont l'importance a été évoquée pour les projets urbains (cf. 8.3.2). Il est cependant essentiel de sensibiliser en premier lieu ces décideurs qui sont ensuite le relais vers le public et les entreprises. Pour monter au niveau participation, il faut donc impliquer les acteurs professionnels : entreprises, représentants d'intérêts privés (Figure 9-9).

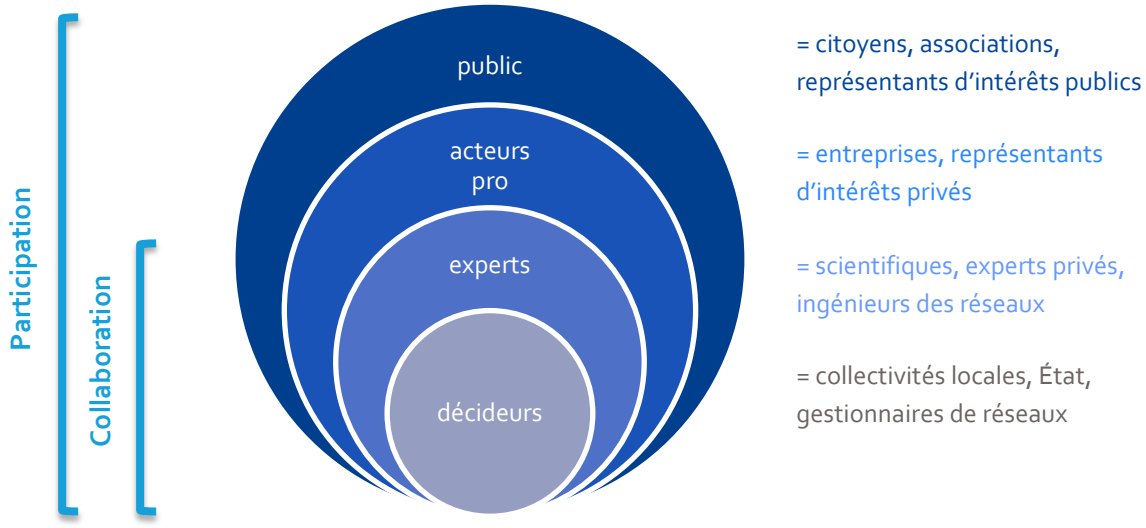


Figure 9-9 : De la participation à la collaboration (cf. chapitre 2)

Ce sont en effet des usagers des services urbains ayant des besoins spécifiques et pouvant être d'importants consommateurs de certains services urbains, justifiant leur implication par les gestionnaires. Leur implication pourrait se faire lors d'ateliers organisés par les autorités en charge de l'activité économique (chambres de commerce ou Région). L'échelle d'analyse devrait probablement être restreinte afin de présenter des résultats suffisamment détaillés pour que les gestionnaires reconnaissent leur intérêt propre à s'impliquer. Au niveau plus large se trouve le public, usagers relativement simples et prévisibles, mais nombreux et difficiles à mobiliser. En effet, les quelques décennies de concertation passées montrent la difficulté à organiser les réunions, à faire venir les gens, et notamment certaines populations pour diversifier le public. Pour cela, les autorités peuvent s'appuyer sur les relais de quartier (associations, écoles) ou sur les bailleurs qui pourraient informer efficacement, directement dans les immeubles.

Ensuite, selon le public visé, les outils et les modes de représentation doivent être adaptés : les représentations utilisées ici sont probablement trop techniques et peu parlantes pour un élu qu'il faudrait sensibiliser à la question du risque d'inondation ou pour un habitant qu'il faudrait sensibiliser à l'intérêt de se préparer. Pour cela, des représentations en trois dimensions sont souvent plus parlantes, pour le risque d'inondation, mais elles peuvent aussi devenir alarmistes. En outre, l'aspect réglementaire des données sous-jacentes (du PPR par exemple) peut bloquer la discussion, alors que les représentations 3D sont de bons intermédiaires pour la constitution d'un réseau d'acteur (Jacquinod et Langumier, 2011). Ainsi, l'autorité ayant recours à de tels outils doit également avoir conscience qu'ils sont souvent mobilisés par le jeu d'acteurs : « une représentation ne peut être réduite à l'intention de son auteur : en situation de négociation, les acteurs présents peuvent la mobiliser de manière divergente » (Jacquinod et Langumier, 2011).

Des outils tels que Google earth permettent aujourd'hui d'ajouter des couches issues de SIG aux vues 3D du territoire, avec les mêmes potentialités d'interrogation de couches qui permettraient de représenter les besoins des objets étudiés (Figure 9-10). Ainsi, en interrogeant les objets ajoutés, il est possible à un habitant ou un entrepreneur d'identifier rapidement les perturbations auxquelles il pourrait être soumis, même s'il n'est pas impacté directement par le risque.

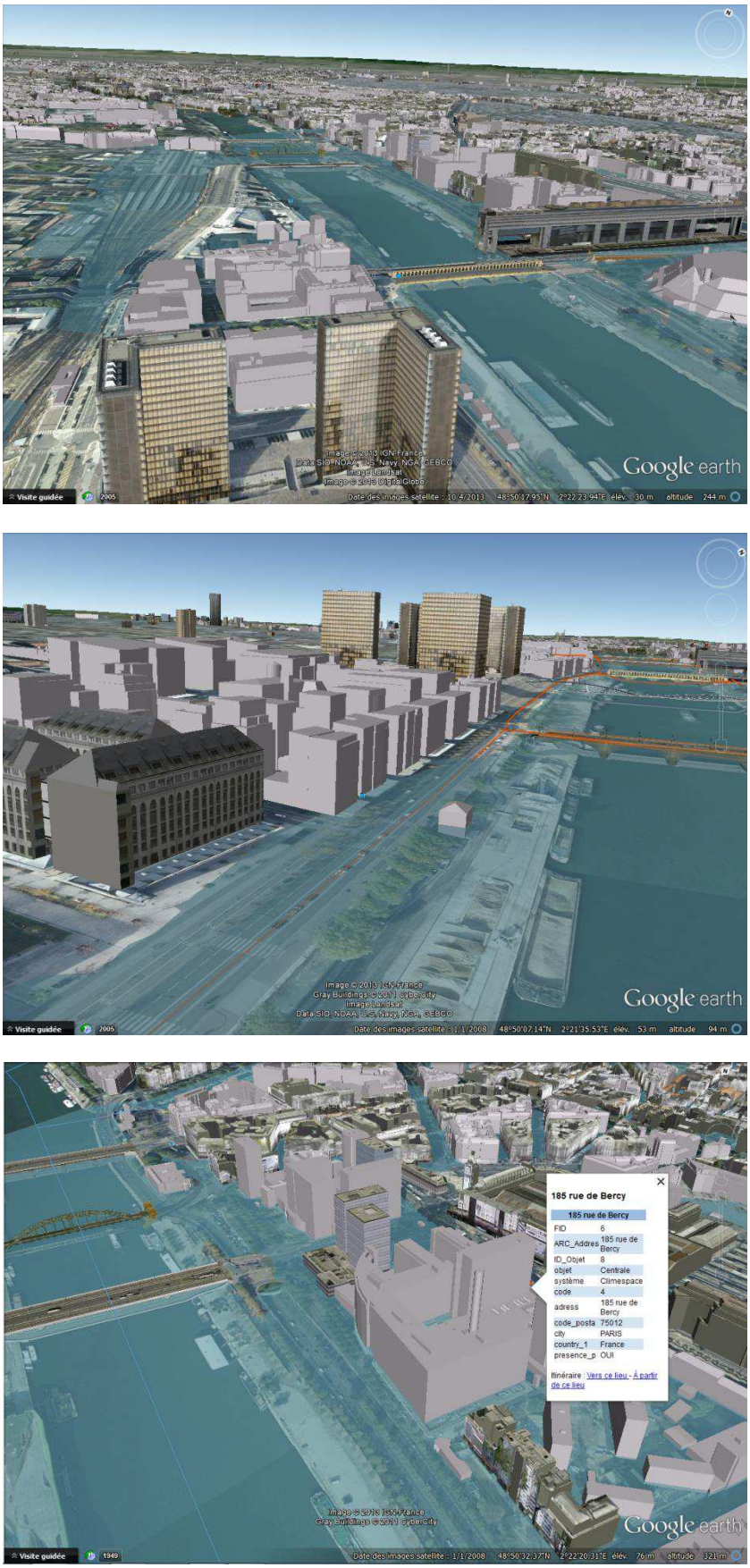


Figure 9-10 : Trois vues 3D de la zone d'étude et des bâtiments inondés à R1.15 (source : données SIG ajoutées au support Google earth)

Cette première condition de représentation adaptée au public ne fait pas un réel processus de participation. Il faut pour cela intégrer les participants à la réflexion et notamment inclure les données qu'ils peuvent fournir dans les modèles appuyant les discussions. Ces données peuvent être des informations de quantification des besoins à assurer en divers points du territoire : par exemple, le gestionnaire des équipements de santé pourrait communiquer les volumes d'eau potable ou les puissances électriques nécessaires au fonctionnement de ses établissements en cas de perturbation. De la même manière, les usagers pourraient assurer le gestionnaire de leur capacité à se passer d'un service durant un temps donné et accorder ainsi une plus grande marge de manœuvre pour le rétablissement. En phase de réflexion concernant la résilience du territoire, ces informations permettraient d'ajuster les stratégies en fonction des besoins réels des usagers, tout en incitant à la résilience individuelle. C'est précisément l'intérêt de ces démarches collaboratives cherchant à identifier et résoudre un problème touchant l'ensemble des acteurs de la ville, même si une partie seulement détient les pouvoirs de décisions (cf. chapitre 2).

En phase de gestion de crise, les usagers pourraient également participer à la remontée d'informations en temps réel, notamment concernant l'état réel du service : un gestionnaire d'office HLM pourrait informer la CPCU d'une baisse de puissance dans tel ou tel immeuble. Pour cela, la téléphonie, éventuellement mobile, et l'internet peuvent être précieux, mais il faut s'assurer de leur fiabilité. La participation du public pourrait alors se faire via des plateformes en ligne, éventuellement cartographiques, répertoriant les problèmes rencontrés, informant les usagers des difficultés à prévoir ou des interventions en cours. Alors, même si les gestionnaires ne peuvent cartographier à l'avance les impacts, ils peuvent informer les usagers et planifier des interventions favorisant le rétablissement des enjeux majeurs pour la ville. En fonction d'un ordre établi avec les autorités, les enjeux des services urbains ou des services de la ville (secours, santé, administrations, écoles, grandes entreprises, etc.) sont ainsi priorisés pour le maintien ou le rétablissement. Cette priorisation tient compte de leur importance (les écoles sont-elles plus prioritaires que les entreprises ?) et de leur dépendance à la ressource en question, évaluée par son gestionnaire (directeur d'hôpital, d'école, dirigeant d'entreprise, etc.). En effet, certaines entreprises peuvent s'estimer capables de se passer d'eau potable quand les écoles ne le pourront pas. À l'inverse, l'école peut se passer de connexion Internet quand l'entreprise le peut difficilement. Certains services par contre entrainent des conséquences majeures pour la ville s'ils sont dégradés car la demande augmente pour l'ensemble des usagers lors de la crise. C'est le cas notamment des services de collecte et traitement des déchets (encore que l'on pourrait nuancer la criticité de ces deux fonctions) dont la continuité est indispensable pendant et surtout après l'inondation (Beraud *et al.*, 2012). Il n'est alors pas possible d'agir sur la demande afin d'assurer l'adéquation entre le niveau de service et les attentes ; il faut maintenir le niveau de fonctionnement au risque d'induire des effets fortement négatifs sur l'environnement.

Vers une plateforme de gestion de crise ou un outil de conception/gestion resiliente ?

La mise en commun d'informations issues de plusieurs acteurs, y compris le public, participe de l'augmentation de la connaissance et de la collaboration entre acteurs qui acceptent alors de travailler à la mise en œuvre de stratégies communes, sur la base d'objectifs d'amélioration de la résilience urbaine définis par l'ensemble des parties prenantes, même s'ils dépassent les stratégies de chacun (cf. chapitre 2). Une plateforme en ligne accessible à toutes les parties prenantes serait le meilleur moyen de mutualiser et d'exploiter des données issues de différents systèmes, mais il faudrait étudier finement la pertinence de l'ouverture de telles données au public. Il faut également assurer la cohérence des données intégrées dans la base (Awedikian, 2013), ce qui nécessite une coordination, probablement par l'autorité centralisatrice constituée par la Ville (cf. chapitre 7), qui devra éventuellement retraiter les données. La plateforme permet alors d'identifier les points critiques et les failles des stratégies prévues par les gestionnaires (par rapport à la résilience des autres services, à l'évènement, aux décisions de l'autorité ou aux besoins des usagers) en phase d'étude de la résilience de la ville. En phase de gestion de crise, elle permet d'analyser l'état réel du service et de croiser les actions mises en place (Figure 9-11). La plateforme est un outil à double sens puisque chacun peut ensuite s'appuyer sur les modèles et les résultats :

- identification d'actions à mettre en place par les gestionnaires lors de l'analyse préalable ;
- sensibilisation des usagers aux défaillances probable en préparation d'une crise ;
- information en temps réel des gestionnaires concernant les actions et l'état des services ;
- information en temps réel des usagers concernant l'état des services et les prévisions à court terme.

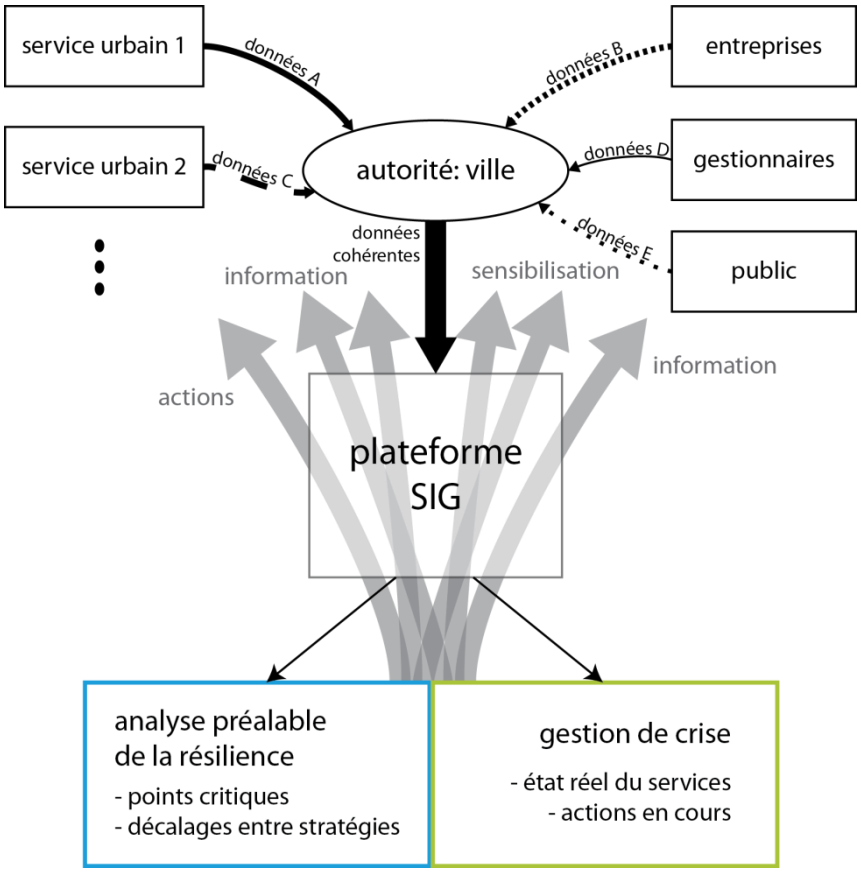


Figure 9-11 : Principe général d'une plateforme SIG pour la résilience urbaine

L'intérêt de ce type d'outils est donc majeur pour améliorer la résilience de la ville, mais ils comportent également de nombreuses contraintes qu'il faut prendre en compte. Tout d'abord, la question du format des données est essentielle puisque plusieurs outils SIG sont utilisés aujourd'hui par les gestionnaires, sans parler des outils de régulation qui peuvent leur être propres. Les données utilisées par les gestionnaires n'ont pas été utilisées, mais une autre approche aurait pu constituer en l'articulation des modèles de données utilisés par chaque gestionnaire. La reconstitution des données effectuée ici assure la pertinence de toutes les données implémentées, ainsi que la maîtrise des formats (Awedikian, 2013). La question de la mise à jour se pose toujours mais elle devrait être facilitée par le maintien d'un réseau de gestionnaires se réunissant régulièrement (cf. chapitre 7) et par la contribution du public spontanée, mais vérifiée et organisée par l'autorité.

L'intérêt de mettre en relation des acteurs de différents services est également d'identifier des solutions contribuant à la réduction des effets négatifs des interdépendances pour l'ensemble des systèmes, sans pénaliser l'un d'eux. Ces solutions sont bien plus efficaces si intégrées dans le fonctionnement normal du service, que ce soit par des modifications techniques ou des modes de gestion adaptés, ou si les services sont conçus dès le départ pour maîtriser les interdépendances. L'interdépendance des systèmes est d'abord bénéfique pour l'optimisation des services et des ressources (Ouyang et Dueñas-Osorio, 2011), mais il faut également que le service soit capable de s'« isoler » des autres services pour limiter la propagation des défaillances. Ces méthodes de conception requièrent donc une collaboration étroite, d'abord entre les

concepteurs et les exploitants (s'ils sont différents) puis entre les exploitants des différents services urbains, puis avec l'aménageur s'il s'agit d'un nouveau quartier (cf. 8.3.2). Une démarche collaborative doit mettre en place les bonnes interfaces et les bonnes procédures qui permettront aux systèmes impliqués d'être les plus résilients possibles. La méthodologie de cette recherche permet dans un premier temps d'identifier collégialement les points sensibles des services urbains et donc de reconnaître l'importance de trouver des solutions communes. Entrent ensuite en ligne de compte des contraintes ou des objectifs qui peuvent diverger selon le point de vue adopté. Mais alors la proposition de gouvernance par l'autorité locale (commune ou intercommunalité) doit favoriser les arbitrages en faveur de la résilience du territoire, qu'il reste donc à définir…

Dans la modélisation par exemple, il apparait que la mise en place d'une alimentation électrique sécurisée pour les équipements sensibles est couteuse mais permet de fiabiliser l'énergie ou au moins être alerté des perturbations attendues, puis rétabli prioritairement. Cette solution n'est valable que pour les équipements non inondés mais situés dans les zones de fragilité électrique (comme le site de pilotage du SIAAP par exemple). Pour les équipements en zone inondable, si la sécurité le permet, la seule solution est le groupe électrogène placé hors d'eau et accessible pour le ravitaillement en fioul. Il est cependant plus sûr de l'intégrer dès le départ à l'équipement pour limiter les difficultés de connexions ou de démarrage. Pour tous les services urbains utilisant du matériel mobile, le déménagement est souvent la solution favorisée (comme pour la Propreté par exemple). Mais cela nécessite toutefois une bonne organisation, qui pourrait là encore être incluse dans le fonctionnement quotidien avec par exemple un stockage dans des caisses mobiles adaptées à un déménagement rapide. Il est ainsi possible d'identifier des stratégies de conception ou de gestion qui favorisent la résilience et qui pourraient être implémentées sur d'autres territoires, en fonction des contraintes et des objectifs propres de la collectivité.

Pour conclure quant aux améliorations possibles, plusieurs pistes d'approfondissement se profilent mais ne s'excluent pas nécessairement :

- l'automatisation de l'analyse des interdépendances au sein d'un modèle spatial pour tout type de perturbation initiale ;
- l'intégration de données issues des usagers des services : administrations, entreprises, habitants, etc. ;
- la réalisation et la mise à jour d'une plateforme d'échange d'informations en ligne ;
- l'utilisation de la démarche pour la gestion de crise et l'échange d'informations en temps réel ;
- l'utilisation de la démarche pour la gestion quotidienne des services urbains ;
- l'utilisation de la démarche pour la conception de services urbains plus résilients.

Le travail réalisé avec les gestionnaires parisiens montre l'importance de la dimension collaborative dans la gestion des interdépendances (cf. chapitre 7). Ainsi, un outil puissant capable d'identifier et analyser les interdépendances afin d'aider à la décision n'est pas nécessairement la solution à une meilleure résilience de la ville. En effet, la fiabilité et l'acceptabilité des résultats sont difficiles à atteindre, de même que leur disponibilité en cas de situation d'urgence. A contrario, une approche uniquement fondée sur la connaissance et les dires des gestionnaires n'est pas suffisante (cf. chapitre 7). L'équilibre à trouver se situe donc entre la collaboration des acteurs autour de leurs connaissances propres et l'alimentation de la réflexion par des analyses théoriques dépassant cette connaissance. Pour cela, des outils de modélisation de la résilience des réseaux (Lhomme *et al.*, 2013) pourraient enrichir les réflexions, même s'ils se limitent à des cas théoriques. Il est également possible que des évolutions futures concernant le partage des données de la ville (directive européenne Inspire par exemple), permettent d'accéder à plus de données concernant les réseaux. Si elles sont plus facilement accessibles aux collectivités, il serait possible de produire davantage d'analyses pour aller

au-delà des informations communiquées par les gestionnaires et les inciter à mettre en œuvre la résilience urbaine.

Synthèse

L'expérimentation réalisée avec la ville de Mantes-la-Jolie, exposée aux mêmes aléas mais moins bien préparée que Paris, montre la pertinence de la première analyse globale des interdépendances, mais également les adaptations nécessaires pour la deuxième analyse au niveau territorial intermédiaire. En effet, pour généraliser la méthodologie à des terrains à tout stade d'avancement dans la gestion des risques, il faut reconstruire les données des interdépendances et du fonctionnement des services urbains, y compris en introduisant une dimension temporelle relative, et non plus appuyée sur un scénario connu. Alors cette méthode a l'avantage de justement mettre en avant les interactions entre services avant la définition de stratégies et pas seulement les décalages entre des stratégies préétablies. Pour cela, l'implication dès le début de l'analyse des autres acteurs de la ville (élus, acteurs professionnels et public) ajoute des données précieuses concernant les besoins, l'acceptabilité, etc. Un tel élargissement est cependant délicat à gérer ; une plateforme accessible en ligne pourrait fournir un espace de mutualisation et d'apprentissage utile à la collaboration. Plusieurs objectifs peuvent alors être poursuivis, s'appuyant sur une formalisation plus ou moins poussée des interdépendances ou sur une plus grande place laissée à l'informel collaboratif. Il faudrait donc repartir des besoins de la collectivité et des acteurs de la ville pour répondre à leurs attentes et leurs contraintes.

9.2. Discuter les concepts

Le cas d'étude de Paris permet de revenir au concept de résilience afin d'en étudier la pertinence. Les notions principales de maintien de la structure et d'effet de seuil peuvent notamment être illustrées par les données de Paris. Il apparait ainsi que certaines notions liées au concept de résilience sont plus ou moins adaptées, suivant les échelles spatiales considérées. Les différentes échelles temporelles sont également importantes pour appréhender les capacités de résilience urbaine.

9.2.1. Quelle traduction du concept de resilience pour la ville de Paris ?

Maintien de la structure du systeme

La définition première de la résilience est la capacité d'un système à maintenir son identité et les relations entre les composants qui le constituent (Holling, 1973). Suite aux analyses réalisées sur les services urbains, il est possible de commencer à évaluer si la ville de Paris est résiliente : le système est-il capable de persister et de maintenir son identité face à une inondation ? Il s'agit donc d'évaluer si la fonction finale du système est maintenue et si les fonctions secondaires, qui assurent les interactions entre composants, sont maintenues ou non. La persistance à long terme de la ville de Paris ne semble pas remise en question au vu de cette analyse. Cependant, comme le disent de nombreux acteurs de la gestion des risques, une inondation centennale sera probablement surmontée en quelques années mais deux inondations en l'espace de vingt ans imprimeront probablement des marques plus profondes qui pourraient modifier si ce n'est la ville, au moins son rang dans la hiérarchie mondiale. En effet, la puissance économique, culturelle et politique sont des composants importants des métropoles mondiales comme Paris (Reghezza, 2006), mais ils peuvent être remis en question par des chocs. Cet indicateur de résilience n'est cependant pas aisément évaluable a priori ; seule une analyse à long terme, après une inondation majeure, pourra déterminer si l'importance de la ville a été modifiée, du fait des impacts de l'inondation.

Si l'on considère maintenant le maintien des fonctions, primaires et secondaires, l'analyse de la résilience des services urbains montre qu'elles seront fortement dégradées et souvent interrompues sur certaines portions du territoire en cas d'inondation. En effet, les dommages au bâti ou les raisons de sécurité imposeront l'évacuation de certains logements, quand d'autres ne seront pas évacués mais ne disposeront pas de toutes les fonctions nécessaires à leur occupation : assainissement, eau potable, chauffage, etc. De plus, les impacts aux transports et aux télécommunications dégraderont les échanges entre les habitants et entre les activités, remettant en cause la fonction première de la ville, habiter, au sens d'« être-présent-au-monde » (Paquot, 2011). Cependant, déterminer si la ville est résiliente ou non nécessite de placer un niveau acceptable de dégradation de ces fonctions. Se pose alors la même question que pour les services urbains : doit-on considérer le temps de dégradation, le nombre de personnes évacuées ou mal logées, le coût des dommages, le temps de rétablissement ?

Il est également possible de considérer le système ville en tant qu'organisation, au sens administratif et gouvernance, dont la fonction est de permettre le maintien du système urbain. Alors en cas d'inondation, la résilience de l'organisation « Ville » est définie par le maintien des fonctions telles que l'état civil, la délivrance des permis de construire, la planification urbaine et la gestion des services non techniques comme l'éducation et la santé. Ces services publics n'ont pas été étudiés directement, mais les impacts prévisibles sur les services urbains impacteront nécessairement la réalisation de ces fonctions. Certaines seront peut-être maintenues à tout prix, comme c'est le cas pour l'état civil qui doit être l'une des plus critiques, mais il est probable que l'éducation, la planification urbaine et d'autres services, soient interrompus durant l'inondation et pendant un certain temps. Par la suite, la désorganisation de la ville amènera peut-être des changements dans les structures de gouvernance, ce qui serait le signe d'une modification profonde de la structure du système,

considérant qu'il n'est plus adapté à son environnement. Là encore, de telles modifications interviendraient plus probablement si plusieurs évènements relativement rapprochés interrompaient le fonctionnement normal de la ville, mais il n'est pas possible de l'évaluer a priori.

Effet de seuil

Une autre notion caractéristique de la résilience est l'état d'équilibre et le franchissement d'un seuil avant la perte de la structure du système. La notion d'équilibre est abordée plus loin et l'expérimentation parisienne donne déjà quelques informations concernant les effets de seuil. En effet, les défenseurs des stratégies de protection justifient le projet de la Bassée, notamment, par le besoin de passer sous un seuil de dommages importants, ce qui réduirait le coût d'une inondation centennale (cf. chapitre 3). Il est en effet apparu dans ces travaux que les dommages aux services urbains connaissaient un effet de seuil avec l'apparition quasi instantanée de nombreux impacts à partir de Ro.8 notamment. Même s'il est probable que des effets apparaissent progressivement avant Ro.8, la focalisation sur les scénarios tend à effacer les effets continus. Les gestionnaires ont identifié qu'ils ne subissaient pas d'impacts à Ro.6 et qu'ils en subissaient à Ro.8, sans regarder à quel moment entre les deux ces impacts apparaissent. Toujours est-il que ces résultats montrent que les impacts majeurs apparaissent aux alentours de 7,1 m à l'échelle d'Austerlitz (cf. partie 3). Par ailleurs, les premiers impacts visibles et conséquents sur la vie quotidienne de l'agglomération apparaissent dès J4 avec la fermeture de nombreuses stations de métro, soit un seuil de perturbation aux alentours de 6 m. Ainsi, le seuil de perturbation aux réseaux se situerait aux alentours de 7,1 m alors que celui de perturbation de la ville serait autour de 6 m. En cela, ces résultats sont plus pessimistes que les estimations fournies par la Ville de Paris dans les documents de communication sur le risque d'inondation :

> À partir de 7 m, les conséquences sur la vie des parisiens commencent à être très sensibles. À 8 m, certains quartiers sont inondés, de nombreux services publics sont suspendus ou perturbés. Certains parisiens peuvent être déplacés. Le retour complet à la normale n'aura lieu que plusieurs semaines après la remise en état nécessaire des installations inondées.[61]

Quelles que soient les sources prises en compte, le seuil de perturbation significatif pour la ville semble davantage se trouver aux alentours de 7 m que de 7,40 m, ce qui semble proche, mais compte pour beaucoup si l'on argumente le passage au-dessous du seuil de perturbation à l'aide d'un ouvrage de rétention tel que la Bassée.

Les effets de passage du seuil restent ici relativement continus, avec une évolution progressive des impacts. Cependant, ces travaux montrent également l'existence d'un seuil correspondant davantage à la notion de passage vers un état éloigné (ici endommagé) de l'état précédent. Il s'agit du passage au-delà des 8,60 m prévus par les protections (cf. 8.1.2). En effet, à ce niveau, les protections locales mises en place par la Ville de Paris pour empêcher le débordement direct, ainsi que les autres dispositifs de protection mis en place autour des équipements des services urbains, sont dépassés et l'eau s'engouffre dans l'ensemble des infrastructures : voirie, métro, usines, etc. Ainsi, si les batardeaux ont joué leur rôle jusqu'à ce niveau, l'endommagement de la ville aura été minimal mais si le seuil est dépassé, l'endommagement devient incommensurable, probablement supérieur à l'endommagement atteint « naturellement » à ce niveau sans cet effet de seuil. En effet, la force dynamique créée par l'eau déferlant induit des risques supplémentaires et les gestionnaires ayant tablé sur une stratégie de protection font face à des difficultés de réponse plus grandes si la protection est dépassée (cf. 8.1.3).

[61] Mention présente sur les plans des zones inondables disponibles sur le site Paris.fr (http://www.paris.fr/pratique/eau/la-seine/les-cartes-des-zones-inondables/rub_1314_stand_5936_port_3142)

Il semble donc préférable de ne pas chercher à relever ce seuil à partir duquel les effets deviennent critiques car le dépassement s'accompagne d'un endommagement accentué. Par ailleurs, les incertitudes quant à l'intensité de l'évènement et les possibles remontées de nappes rendent vaines toutes les stratégies d'effacement du risque et contribuent à un faux sentiment de sécurité. La protection conduit paradoxalement à l'aggravation des risques : soit directement en créant un sur-risque lors de son dépassement (digues et protections locales), soit indirectement en réduisant la conscience du risque (Faytre, 2005), comme avec le projet de la Bassée qui réduit encore les occurrences d'inondation. Il ne s'agit pas de s'affranchir des moyens de protection existants qui permettent de maîtriser des perturbations prévisibles et probables (Figure 9-12). Cependant, une gestion des risques tournée vers la résilience repose également sur des stratégies permettant de répondre à des évènements dépassant ces barrières : pour des situations irrégulières grâce aux capacités d'adaptation et d'auto-organisation du système, puis des situations exceptionnelles grâce aux capacités d'innovation (Rigaud, 2011).

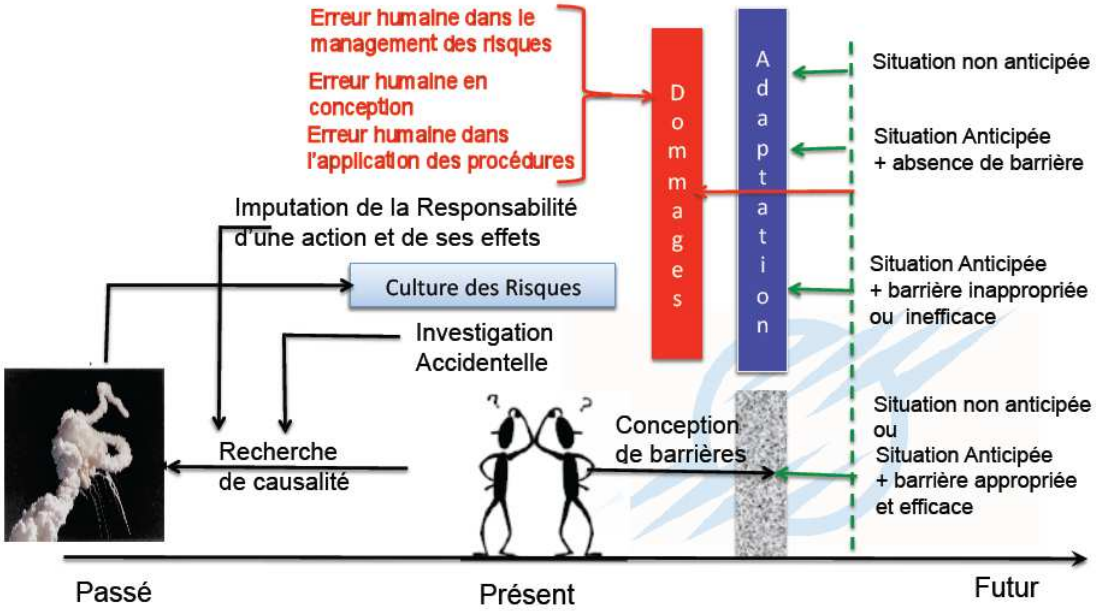


Figure 9-12 : La gestion du risque, entre barrières face à des risques anticipés et adaptation face à des situations non anticipées (source : présentation d'Eric Rigaud à la journée d'étude du CIST « approche pluridisciplinaire des risques majeurs et industriels : quelle prise en compte du territoire »)

Il apparait donc que les moyens investis dans les stratégies d'évitement du risque seraient plus efficaces s'ils étaient investis dans l'adaptation des réseaux et du bâti. La ville serait alors plus résiliente à des évènements éventuellement plus intenses que ceux pour lesquels les ouvrages de protection sont prévus.

9.2.2. Quelle pertinence du concept de resilience urbaine au regard de ces travaux ?

Emboitement d'echelles

L'un des enjeux identifiés dès le début de ces travaux était la prise en compte des différentes échelles de temps et d'espace qui interagissent et forment différents niveaux de résilience selon le point de vue adopté. Par ailleurs, les interactions entre échelles jouent un rôle majeur pour la compréhension de la résilience du territoire car les enjeux au niveau global sont remis en cause par des difficultés au niveau local, et inversement. Ainsi, la vision globale des enjeux exposés et des grandes dynamiques du territoire est une première étape dans l'analyse de la résilience ; elle permet d'ailleurs une meilleure sensibilisation des acteurs à la prise en compte du risque. Ainsi l'IAU, par exemple, met en avant ces grands enjeux à l'échelle de l'Île-de-France pour

montrer l'enjeu de la prise en compte du risque d'inondation au niveau de l'exposition des populations et des activités économiques, mais également des grands équipements régionaux (stations d'épuration, usines de traitement des déchets). En effet, ces services appuient les activités et le dynamisme du territoire, il faut donc en connaître la résilience. Pour cela, il est indispensable d'évaluer leur exposition directe au risque, mais également leur sensibilité aux dépendances face à d'autres services urbains. C'est pourquoi l'analyse globale des interdépendances donne déjà les grandes orientations concernant les équipements centraux et les interactions critiques (cf. partie 2), mais il est ensuite indispensable de descendre au niveau intermédiaire de l'équipement pour en étudier la capacité à fonctionner lors d'une perturbation (Figure 9-13).

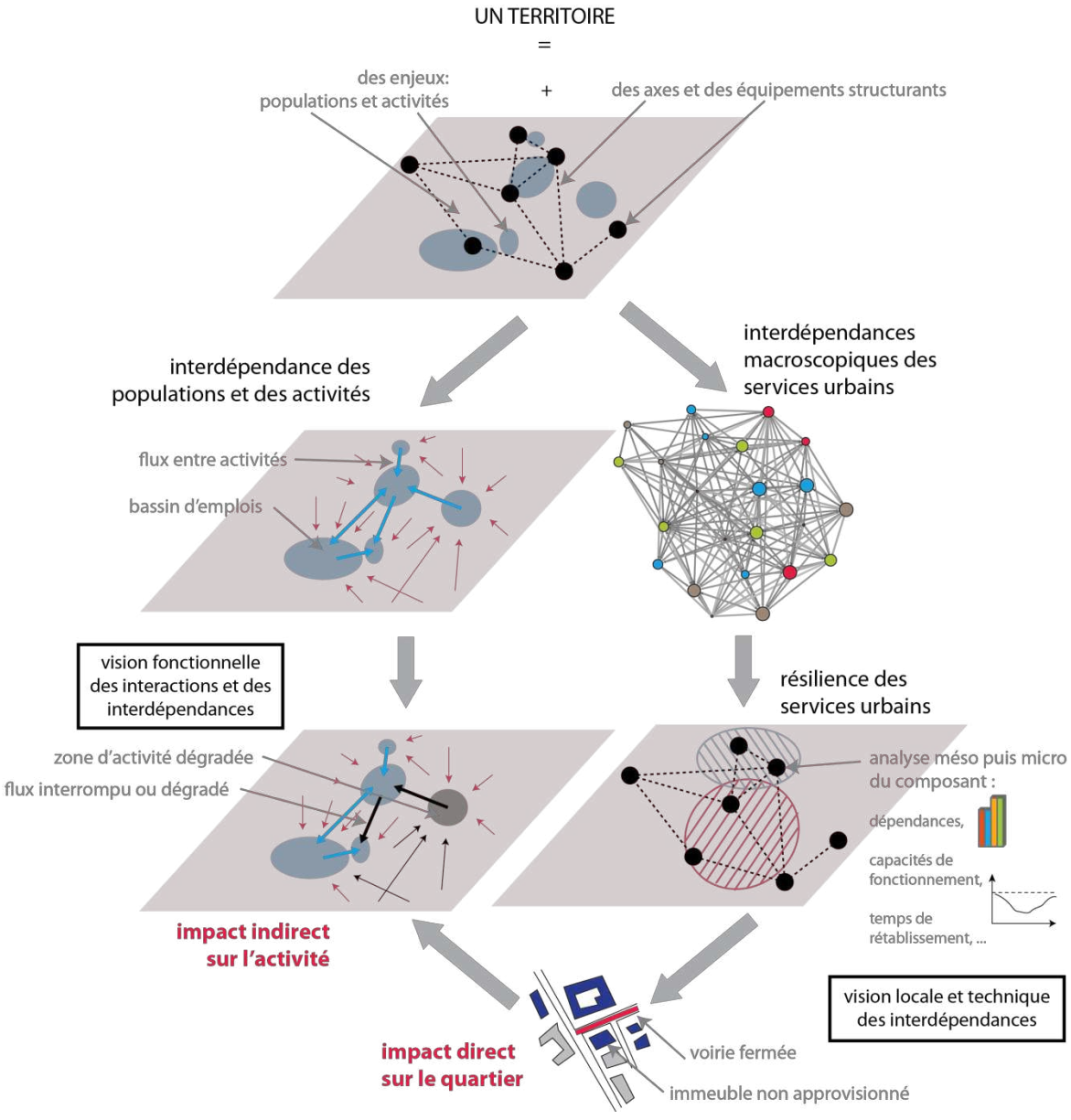


Figure 9-13 : La prise en compte de l'emboitement des échelles spatiales pour l'analyse de la résilience

En effet, l'expérimentation à Paris montre comment les enjeux locaux, tant internes (approvisionnement en ressource au lieu concerné) qu'externes (actions des autres services, accessibilité) influent sur la capacité de l'équipement à fonctionner. L'analyse locale de la résilience des services urbains permet donc d'évaluer la dépendance du composant, les stratégies mises en place et leur interaction avec l'environnement et les autres gestionnaires (cf. partie 3). Il est ensuite intéressant d'en déduire une vision locale des impacts directs sur le quartier (cf. 8.2.1), mais il est surtout indispensable de remonter ensuite aux enjeux territoriaux pour évaluer

l'impact de ce fonctionnement dégradé sur la dynamique du territoire (cf. 8.2.2) : dégradation des conditions de vie et des déplacements, remise en cause des capacité à aller travailler, échanges interrompus entre entreprises, dégradation du fonctionnement propre des activités, etc. Des allers-retours constants sont donc nécessaires entre les différents niveaux pour comprendre le rôle des articulations entre les aires d'influence et les aires de dépendance des équipements, mais aussi des quartiers et des activités (Figure 9-13).

La prise en compte intégrée des problématiques et des solutions reste délicate puisque certains acteurs ne se sentent pas concernés ou n'ont pas anticipé la difficulté de la perte d'un service, dans la mesure où il est assuré par un équipement ne relevant pas de leur compétence. Ce décalage entre les échelles de gestion et les échelles des processus des services urbains (approvisionnement, desserte, gouvernance) pose les mêmes difficultés que pour les processus écologiques et nécessite de travailler sur les réseaux d'acteurs (Ernstson, 2008). Avoir une vision globale du territoire articulant son périmètre de fonctionnement et les périmètres de risques permet de dépasser les intérêts locaux (Dubois-Maury, 2012) et, à l'inverse, assurer l'efficacité des mesures prises aux échelles supérieures. Pour réussir cette analyse, des connaissances transdisciplinaires, intégrant notamment les concepts de métabolisme urbain et d'écologie territoriale, en articulation avec l'ingénierie et les sciences sociales, doivent être mobilisées pour appuyer la collaboration des décideurs. Il est alors possible d'impulser de nouveaux modes de gouvernance moins sectorisés, verticalement et horizontalement.

Il faut également être capable d'anticiper l'évolution future des contraintes et des objectifs à atteindre, afin d'assurer la résilience de court terme, mais également de long terme. Alors les projets d'aménagement urbain ou de réhabilitation des services urbains devraient tenir compte des contraintes techniques, économiques et environnementales à l'instant t, mais également des objectifs de résilience à plus long terme : résistance ou adaptation aux risques, flexibilité et autonomie, etc. Il s'agit donc en réalité de maintenir une certaine marge de manœuvre dans les projets pour faciliter l'adaptation ultérieure à des conditions changeantes, au risque sinon d'élargir le décalage entre les performances du projet et l'environnement dans lequel il s'inscrit (y compris les besoins des usagers, les évolutions technologiques ou sociétales, etc.). C'est l'adéquation entre le système et son environnement (van der Leeuw et Aschan-Leygonie, 2000) qui repose alors sur une adaptation continue qu'il faut maintenir :

> Les turbulences sociales et économiques que nous vivons à répétition depuis quelques années nous amènent sans doute à plus de modestie en ce qui concerne la prévision des possibles, sur laquelle est fondée la planification en général et la planification urbaine en particulier. Peut-on mettre au point un mode de production de la ville qui tienne compte de ces incertitudes ? Une forme de mise au point qui soit concomitante de la mise en œuvre et qui produirait une agglomération de décisions interdépendantes plutôt qu'un tout étanche. On peut imaginer une formalisation progressive par expérimentation et ajustements successifs, qui permettrait non seulement une adaptation, mais serait une sorte de garantie d'inachèvement perpétuel, à l'instar de celui de la ville. (APUR, 2010)

Il est donc essentiel de prendre en compte à la fois les interactions entre échelles spatiales et les visions de court à long terme, afin d'ajuster continuellement le territoire et ses composants à des contraintes changeantes, parfois puissantes à l'instant t et difficilement identifiables à long terme (Figure 9-14).

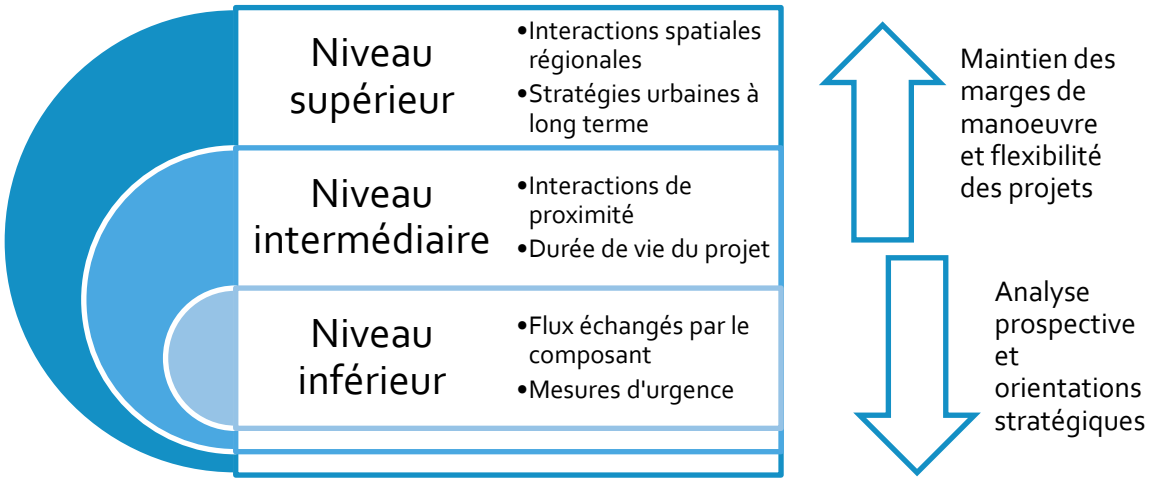


Figure 9-14 : Double emboitement des échelles temporelles et spatiales

« Le changement par la transformation à petite échelle permet la résilience à plus grande échelle alors que la capacité de transformation à petite échelle s'appuie sur la résilience à d'autres échelles »[62] (Folke *et al.*, 2010). Le concept de résilience est donc pertinent, mais il reste à en opérationnaliser l'implémentation par les décideurs, ce qui a été initié ici au niveau des services urbains.

Persistance, absorption ou retablissement

Le concept de résilience (cf. chapitre 1) d'un système suppose la fluctuation autour d'un point d'équilibre, du fait de contraintes extérieures et de variations internes. Le système développe alors des mécanismes d'adaptation pour maintenir sa structure et ses fonctions, jusqu'à ce que les contraintes dépassent un seuil critique qui l'écarte de son point d'équilibre. Ce déséquilibre requiert alors la mise en place de nouveaux processus plus profonds, modifiant temporairement ou durablement la structure du système. Comment interpréter cette notion concernant un service urbain ou une ville ? Certains chercheurs considèrent en effet que les systèmes « conçus volontairement »[63] s'appréhendent mieux selon la notion de robustesse, quand les systèmes auto-organisés (socio-écologiques par exemple) s'appréhendent mieux selon la notion de résilience (Anderies *et al.*, 2004). La notion de maintien de la structure et des fonctions tend à montrer que les services urbains parisiens et la ville de Paris sont peu résilients car l'inondation perturbe immédiatement les systèmes, avec de nombreuses dégradations et arrêts, même s'ils sont contenus à certaines parties du territoire (Tableau 9-2). En effet, il semble que les capacités d'absorption des services urbains soient faibles puisque la mise en place d'alternatives (cf. 8.1) permettant le maintien du service dans les zones impactées est difficile (bien qu'elle soit possible dans les zones impactées par la défaillance d'un service mais non inondées). La robustesse des services urbains, au sens de la « capacité à maintenir le fonctionnement lors de perturbations » (Mens *et al.*, 2011) est donc limitée dans cet exemple. C'est pourtant une notion importante de la résilience vers laquelle les gestionnaires pourraient se tourner en évaluant les effets de seuil et les changements de régime des services urbains soumis à des contraintes. L'identification de ce point d'équilibre n'est cependant pas aisée puisque ces systèmes conçus gardent une large part d'inconnu : infrastructure enterrée, longue évolution dans le temps induisant la cohabitation de plusieurs technologies au sein d'un même système, évolutions structurelles (interconnexions) parfois mal maîtrisées, etc. Sur le temps court, l'équilibre correspondrait à la gestion d'un système entre une contrainte, génératrice de dommages potentiels, et un fonctionnement dégradé répondant à une partie de la mission du service. Sur le temps long, l'équilibre correspond davantage à une vision de long terme autour d'un objectif de durabilité à atteindre (cf. conclusion).

[62] « Transformational change at smaller scales enables resilience at larger scales, while the capacity to transform at smaller scales, draws on resilience at other scales. »
[63] *engineered systems*

Tableau 9-2 : Discussion des définitions de la résilience au regard des résultats de cette recherche

Définition	Référence	Services urbains parisiens	Ville de Paris	Agglomération parisienne	Limites
Resilience of an ecosystem is the measure of the ability of an ecosystem to absorb changes and still persist.	Holling, 1973	un service urbain n'est pas un écosystème, ils persisteront a priori tous, quelle que soit la crise	la ville persistera	l'agglomération persistera également mais avec peut-être des rééquilibrages internes ?	la persistance est-elle vraiment un indicateur de résilience ?
Resilience is the speed with which a system returns to its original state following a perturbation.	Pimm, 1984	temps de rétablissement pour un niveau de crue donné, moyennant les incertitudes	temps de rétablissement pour un niveau de crue donné, moyennant les incertitudes	temps de rétablissement pour un niveau de crue donné, moyennant les incertitudes	quelle vitesse est jugée acceptable ?
It is a buffer capacity or ability of a system to absorb perturbation, or the magnitude of the disturbance that can be absorbed before a system changes its structure by changing the variables and processes that control behavior.	Holling *et al.*, 1995	les services urbains modifient leur fonctionnement immédiatement mais ils ne changent pas foncièrement sur le long terme	à court terme, la ville change sa structure puisque de nombreuses fonctions sont dégradées, à long terme y aura-t-il changement dans la gouvernance ? dans la manière de planifier ?	à court terme, la structure de l'agglomération est modifiée, puis le long terme verra peut-être des changements dans les structures économiques	échelle temporelle d'analyse
Resilience is a potential of a system to remain in a particular configuration and to maintain its feedbacks and functions, and involves the ability of the system to reorganize following the disturbance driven change.	Walker *et al.*, 2002	certains systèmes perdent temporairement leurs fonctions et contrôles, la plupart se réorganiseront après la crise, sauf dégradations trop importantes (CPCU, SYCTOM ?)	la ville sera momentanément désorganisée et perdra peut-être temporairement certaines fonctions (état civil, planification, etc.)	les connexions seront interrompues entre de nombreuses zones, la réorganisation pourra être déséquilibrée ?	échelle temporelle d'analyse
La capacité d'un système à intégrer dans son fonctionnement une perturbation sans pour autant changer sa structure qualitative (au sens géographique des interactions entre espaces et sociétés).	Aschan-Leygonie, 2000	la perturbation n'est pas vraiment intégrée dans le fonctionnement pour les services urbains (protection, évitement)	la perturbation n'est pas intégrée dans le fonctionnement de la ville : les dégradations aux services impactent la qualité de vie des sociétés	la perturbation n'est pas intégrée dans le fonctionnement de l'agglomération qui perd en qualité économique	comment identifier le basculement de structure qualitative ?
La capacité d'une ville à absorber une perturbation et à récupérer ses fonctions à la suite de celle-ci.	Lhomme *et al.*, 2010	peu de services parviennent à mobiliser des alternatives internes, l'accent est mis sur la récupération rapide	la ville planifie des approvisionnements alternatifs pour pallier la défaillance des services urbains, mais en elle-même, elle cherche à transférer la perturbation	l'agglomération subit davantage la perturbation transférée par la ville de Paris, la mise en place d'alternatives à cette échelle est plus difficile	
Ingénierie de la résilience (anticipation, monitoring, responding and learning)	Hollnagel, 2011	les services urbains anticipent, surveillent, répondent et apprennent d'une inondation	l'anticipation, la surveillance et la réponse sont organisées à un niveau fin mais l'apprentissage est plus difficile	l'anticipation, la surveillance et la réponse sont organisées à un niveau large mais l'apprentissage est plus difficile	
La résilience est la capacité d'un système à maintenir ou à rétablir un niveau de fonctionnement acceptable malgré des perturbations ou des défaillances.	Pinel, 2009	les services urbains maintiennent une partie de leur service et la durée de rétablissement est incertaine	la ville tente de maintenir la fonction « habiter » mais elle sera fortement dégradée dans certaines zones, le rétablissement dépendra des services urbains	l'agglomération tente de maintenir l'activité économique mais elle sera fortement dégradée dans certaines zones, le rétablissement dépendra des différentes villes	quel niveau est acceptable ? comment le mesurer ?
Resilient communities should be organized in such a way that the effects of a disaster are minimal and the recovery process is quick.	Mayunga, 2007	les dommages aux services urbains seront minimes si les protections fonctionnent, très importants sinon, le rétablissement en dépend	la ville tente de réduire les dommages à zéro en mettant en place des protections	la réduction des effets négatifs à l'échelle de l'agglomération est très difficile	la réduction des effets négatifs fait-elle la résilience ?

En revanche, la notion de maintien de la structure et des fonctions (Gersonius, 2012) semble adaptée pour rendre compte de la résilience de la ville (Tableau 9-2). En effet, ce sont ces fonctions et cette organisation qui supportent l'activité économique et donc l'un des indicateurs de long terme pouvant être utilisés : la place de la ville dans la hiérarchie mondiale (cf. chapitre 1). De plus, ce sont ces indicateurs qui définissent l'image renvoyée par la ville quant à sa réussite ou son échec à maîtriser la perturbation et à maintenir une organisation acceptable (d'où le caractère subjectif de la résilience). Cependant, ces fonctions reposent sur les services urbains, dont la résilience semble mieux appréhendée par la notion de rétablissement, du moins pour le cas parisien où la robustesse est plutôt faible. Ainsi, pour les services urbains, ce ne sont pas les mêmes facteurs de résilience qui entrent en jeu ; ils peuvent même être en contradiction avec la résilience de la ville. En particulier, définir la résilience par la capacité à réduire les dommages ne semble pas traduire le véritable niveau de résilience des services, puisque leur arrêt complet pendant la perturbation (donc éventuellement plusieurs jours ou semaines) peut engendrer une désorganisation profonde et durable de la ville. Son rétablissement sera par conséquent long, voire incomplet, même si les services urbains ont récupéré rapidement. L'équilibre semble donc situé entre une dégradation acceptable du fonctionnement pendant la perturbation, et un rétablissement plus ou moins rapide ensuite. Si cette notion d'équilibre est envisagée à plus long terme, la résilience d'une ville serait la capacité des décideurs à trouver l'équilibre stable entre la prise de risque dans les choix d'aménagement (qui induisent en même temps des bénéfices à plus ou moins long terme) et la probabilité d'une rupture sur une période donnée (sachant qu'elle est difficilement évaluable). Si l'équilibre est difficile à déterminer pour les systèmes urbains, c'est peut-être également que ce n'est pas le bon angle d'analyse.

L'analyse des états et des structures devrait être reliée à l'analyse des processus et des dynamiques (Pickett *et al.*, 2004). C'est pourquoi, l'analyse de la résilience des services urbains ne peut se limiter à l'analyse d'indicateurs liés à la structure ou au niveau de performance. Il est indispensable d'analyser également les processus de décisions et les évolutions sur le temps long. Ce travail a réussi à prendre en compte certaines de ses dimensions mais de futures recherches pourraient s'attacher à formaliser l'évaluation de ces aspects dynamiques de la résilience, afin de pouvoir évaluer le niveau de résilience des services urbains, puis des systèmes urbains.

Un autre aspect majeur de la résilience rarement pris en compte est la capacité à retirer des bénéfices d'une perturbation. Cette caractéristique relève de la prospective mais l'analyse d'évènements passés donne quelques pistes d'identification. Les bénéfices les plus courants sont d'ordre économique (Rose, 2011) avec la relance de nombreuses activités comme la construction, ce qui serait probablement le cas pour Paris. L'autre volet majeur sont les améliorations réglementaires et de conception suivant une catastrophe (Ramroth, 2007). Ainsi, en France, les PPR ont été institués en 1995 après les inondations meurtrières de Nîmes et Vaison-la-Romaine. On peut donc se demander quelles seraient les améliorations mises en place suite à une crue majeure de la Seine. En effet, évaluer le potentiel de changement ex-ante permet de mieux orienter une nouvelle trajectoire politique, institutionnelle et d'actions vers une société plus résiliente, une fois la perturbation avérée (Birkmann *et al.*, 2010). Le changement lui-même peut toutefois être régressif et vécu comme une sur-catastrophe (Birkmann *et al.*, 2010). La concertation et la participation sont donc indispensables pour définir au préalable un objectif d'idéal à atteindre grâce aux mécanismes de résilience (cf. conclusion).

Finalement, traduire dans une seule définition ce qui fait la résilience d'une ville, incluant tous ses sous-systèmes : services urbains, activités, populations, décideurs, etc. n'est pas aisé. Une même définition peut induire des niveaux de résilience différents selon l'échelle du système ou l'échelle de temps considérée et un même système peut avoir un niveau de résilience différent selon la définition choisie. Au vu de ces travaux, on peut toutefois conclure :

Une ville est résiliente si elle est capable d'assumer la dégradation occasionnelle de son fonctionnement sans pertes majeures à long terme. Cette capacité repose alors sur les capacités d'apprentissage à long terme qui permettent de repérer les points d'équilibre entre prise de risque et occurrence des défaillances. L'apprentissage, et surtout la collaboration, à moyen et court terme sont également essentiels pour réduire les conséquences négatives de la dégradation du fonctionnement à chaque occurrence, par l'adaptation continue des infrastructures et des personnes à ces conditions.

Synthèse

La résilience comme capacité à maintenir la structure montre que le système parisien verra nombre de ses fonctions dégradées, mais qu'une remise en cause profonde de la structure est peu probable suite à une inondation centennale. Le système fait cependant face à des effets de seuil importants au niveau de l'aléa, dus notamment aux dispositifs de protection. Les multiples définitions de la résilience traduisent donc des capacités parfois contradictoires entre sous-systèmes urbains. En particulier, la résilience des systèmes conçus, tels que les services urbains, n'est pas caractérisée par les mêmes capacités que la résilience des systèmes socio-écologiques tels que la ville. Certaines notions semblent toutefois pertinentes pour la caractérisation de la résilience mais l'analyse des changements d'état doit s'accompagner de l'analyse des processus et des dynamiques sous-jacentes. Si plusieurs définitions sont nécessaires, aux différentes échelles, il faut donc en comprendre l'articulation, y compris dans le temps.

9.3. SYNTHESE DU CHAPITRE

Dans la perspective d'opérationnaliser la démarche présentée ici, l'exemple de Mantes-la-Jolie, dont le territoire a été étudié dans le cadre du projet ANR RESILIS, met en avant les difficultés posées par l'approche expérimentée à Paris et suggère d'autres moyens d'aboutir à des résultats similaires. Tout d'abord, il apparait que l'analyse des interdépendances au niveau supérieur s'adapte très bien à des territoires ayant peu abordé ces questions, du fait du travail direct avec les gestionnaires. Elle permet de constituer cette base de connaissance et d'appuyer des analyses plus poussées sur la capacité des services urbains à fonctionner. Deux voies, pas forcément incompatibles, s'ouvrent alors : une formalisation permettant l'automatisation et la production de connaissances dépassant le savoir des gestionnaires ou une formalisation réduite davantage appuyée sur le collaboratif. Une troisième voie serait le travail collaboratif fondé sur une modélisation réelle mais réduite des services, complétée par des analyses théoriques suscitant la réflexion des gestionnaires sur des situations non-anticipées.

Alors il est également utile d'y intégrer d'autres acteurs, mais l'implication des acteurs professionnels ou des populations ne se fait pas de la même manière : les supports doivent être adaptés, les conditions de leur participation, ainsi que leur marge d'implication précisés. En effet, une réelle participation nécessite d'intégrer les informations transmises par ces acteurs dans le modèle : besoins particuliers, capacités d'autonomie ou au contraire dépendance critique, mais aussi remontée d'informations en temps réel. Pour cela, une plateforme SIG accessible à tous en ligne sert à la fois d'outil de mutualisation des données, de support de collaboration et de décision, puis de vecteur d'information et de sensibilisation. La gestion d'une telle plateforme n'est cependant pas aisée. Le champ de la recherche collaborative est relativement avancé sur ces questions mais il reste à déterminer si la gestion des risques et des services urbains ne nécessite pas des précautions supplémentaires.

Cette matière de recherche permet également de revenir sur les concepts théoriques afin de discuter leur pertinence au regard de ces travaux. Il apparait immédiatement que les défaillances des services urbains perturbent le maintien des fonctions urbaines avec une probable désorganisation des services publics (éducation, planification urbaine), mais également des services gouvernementaux (impôts, aides sociales, etc.). La fonction primaire habiter est donc largement affectée, avec une dégradation des conditions de vie, des déplacements difficiles ne permettant pas d'exercer son activité et limitant l'accès aux ressources. Ainsi, il apparait que la ville peine à maintenir sa structure et ses fonctions, avec un rétablissement difficile à évaluer. Il dépend d'ailleurs fortement du niveau d'inondation puisque des effets de seuil importants marquent la progression de la perturbation :

- ~ premières perturbations dues aux transports dès 6 m ;
- ~ premiers impacts aux services et donc aux activités dans la zone inondable et aux abords vers 7 m ;
- ~ explosion des dommages et donc du temps de rétablissement si la Seine dépasse les 8,60 m (hauteur des protections).

Selon l'objet considéré : le service urbain, la ville ou l'agglomération, les diverses définitions traduisent des niveaux de résilience hétérogènes. Ainsi, les notions d'absorption et de rétablissement semblent mieux adaptées à l'évaluation de la résilience des services urbains quand celle de maintien de la structure semble mieux correspondre aux caractéristiques d'une aire urbaine résiliente. Il est donc nécessaire d'appréhender ces différentes échelles par des caractéristiques différentes, tout en formalisant les échanges entre ces échelles. Il faut comprendre les mécanismes qui permettent de passer de services urbains résilients à une ville résiliente, ou bien d'une stratégie d'agglomération résiliente à des quartiers résilients. En effet, au-delà des échelles spatiales, les échelles temporelles sont également complexes avec l'articulation entre des réponses de court terme et des stratégies de long terme. Les notions de flexibilité et de marges de manœuvre sont donc importantes pour mettre en œuvre la résilience multi-échelle.

CONCLUSION DE LA PARTIE 4

Le retour aux capacités de résilience à partir des données constituées dans les parties précédentes montre l'intérêt du concept pour les services urbains. En effet, la décomposition en capacité de résistance, d'absorption et de récupération met en avant les objectifs poursuivis par chaque gestionnaire, en fonction des contraintes de son système. La difficile adéquation entre les réponses est alors évidente et démontre la difficile implémentation d'une stratégie globale de résilience, en particulier dans des scénarios éloignés du scénario idéal prévu. Ces conclusions mettent donc en exergue le besoin de définir des objectifs de résilience clairs, appuyés sur des indicateurs communs et négociés avec les autorités de la ville. En effet, ce sont les activités et les populations qui subissent les impacts de la défaillance des services urbains, il est donc nécessaire d'inclure le niveau territorial, à ses différentes échelles de gestion. Au-delà de la compétence de la ville, l'agglomération toute entière est perturbée par des dégradations locales des services, en particulier des transports. Pour ces petites échelles, les notions d'absorption et de récupération sont complexes, l'approche par l'identité semble plus adaptée. La résilience de la ville, c'est donc le maintien de sa structure et de ses flux internes et externes. Ces flux portés par les réseaux sont produits et consommés sur des aires parfois très différentes, ne correspondant à aucun périmètre de responsabilité. La méthodologie proposée doit donc inclure ces dimensions du métabolisme urbain pour permettre l'articulation entre les facteurs locaux de résilience des services et la capacité du territoire à maintenir ses fonctions.

La dimension temporelle de la résilience est également essentielle, à travers l'apprentissage des évènements passés et l'anticipation des contraintes environnementales sur le long terme. La planification urbaine devrait donc s'enrichir des retours d'expérience pour intégrer les leçons du passé et favoriser un développement urbain résilient. En Île-de-France, les projets sont toutefois nombreux en zone exposée qui ne dépassent pas le stade des bonnes intentions et diminuent la résilience de l'agglomération. Certes le risque d'inondation n'est pas la seule contrainte à prendre en compte et des arbitrages doivent être effectués entre risques et durabilité. La méthodologie peut donc s'adapter pour prendre en compte tout type de contrainte et ainsi permettre une analyse relative des interdépendances des services urbains. La connaissance ainsi enrichie facilite alors la prise de décision en explicitant les impacts de chaque action sur l'ensemble du système urbain, afin de mieux préparer la ville à tout type de perturbation. Dans cette optique de généralisation, les populations et les acteurs privés peuvent également contribuer à cette connaissance commune, y compris durant la perturbation. En effet, si la planification d'une réponse face à tout type de perturbation est délicate, c'est bien le réseau et la collaboration qui facilitent la réponse intégrée. Les populations font alors partie prenante de ce dispositif en remontant des informations de terrain, voire en contribuant aux actions. Dans un milieu urbain riche en interactions sociales, le potentiel d'actions pour la résilience est en effet considérable.

CONCLUSION GENERALE

SYNTHESE DE LA RECHERCHE

L'objectif de cette recherche était de contribuer à l'amélioration des conditions de la résilience urbaine. L'analyse du fonctionnement des services urbains dans la ville et face aux risques montre en effet l'importance des réseaux dans le maintien des fonctions urbaines, y compris pendant et après une perturbation. La résilience, définie comme la capacité d'une ville à maintenir ses fonctions, repose donc sur la résilience des services urbains. L'analyse des interactions entre ville, réseaux et risques, notamment via les questionnements de recherche des différentes disciplines, a montré dans la première partie la nécessité de prendre en compte les aspects sociotechniques des réseaux. Ces mêmes enjeux démontrent également la nécessité d'avoir recours aux approches collaboratives pour dépasser les difficultés liées à la complexité, à la confidentialité et à l'opérationnalisation. Enfin, l'analyse des spécificités du contexte parisien aboutit à la construction d'une méthodologie d'aide à l'identification des interdépendances des services urbains répondant à la problématique.

Cette méthodologie est constituée d'une première étape dans laquelle a été dressé et analysé le portrait des interdépendances des services urbains parisiens. Il démontre la présence de difficultés majeures comme la dépendance à l'électricité, aux télécommunications ou aux déplacements. L'inventaire de solutions qui en découle montre cependant la nécessité pour les gestionnaires d'effectuer une analyse plus fine des interdépendances, afin de mieux prendre en compte le contexte local et s'orienter vers la mise en place d'actions. La deuxième étape de la méthodologie propose donc la reconstitution d'un scénario d'inondation sur un quartier parisien, avec ses effets sur le comportement des services urbains. Ce travail d'analyse met en avant la difficulté de gérer les interdépendances pour les gestionnaires ayant établi des stratégies trop isolées. Il permet également d'évaluer la résilience des services urbains suivant différentes capacités de résilience. En particulier, il est démontré que les stratégies de résilience sont fondées sur des visions et des indicateurs différents selon les services, ce qui crée des incompatibilités. La collaboration impulsée au sein de ce réseau d'acteur montre la possibilité de dépasser ces approches isolées. Mais là encore, le besoin d'une analyse plus fine, notamment quantifiée, est mis en avant.

Cette étape permet ensuite une évaluation de la résilience de la ville et de l'agglomération grâce à l'analyse du maintien des services urbains dans le quartier parisien étudié. L'articulation avec d'autres approches territoriales est démontrée et intégrée dans les pistes d'approfondissement opérationnel de la démarche. L'interaction entre échelles est en effet l'un des enjeux majeurs de la mise en œuvre de la résilience qui n'est que partiellement résolu ici. L'intégration des usagers des services urbains (populations, entreprises, services publics) est une autre conclusion de cette recherche qui est en partie suggérée dans les possibles extensions de la démarche. Elle nécessite toutefois un changement d'approche global concernant le risque, impliquant l'acceptabilité et la prise en compte des défaillances dès la conception, la maîtrise des effets de seuil et le maintien de marges de manœuvre. La coopération et la transparence entre les opérateurs et les décideurs sont donc les conditions indispensables à la collaboration des acteurs pour une ville plus résiliente. Des changements majeurs sont attendus au niveau de la gouvernance et des postures individuelles, mais l'opportunité soulevée par le développement durable peut faciliter l'innovation et accélérer ce changement désirable.

> L'individu qui évolue dans un environnement caractérisé par des surprotections est peu armé pour fabriquer ses propres défenses. [...] Une culture de surprotection peut avoir des effets non désirés en termes de résilience. C'est une des limites des organisations hypernormées. (Koninckx et Teneau, 2010)

Les questionnements à l'origine de cette recherche n'ont pas tous été résolus mais les pistes d'approfondissement liées aux résultats de l'expérimentation à Paris ont été bornées dans la dernière partie. D'autres questions de recherche plus larges, évoquées dans le chapitre introductif, peuvent toutefois être enrichies par ces travaux. Ces quelques réflexions concernant la modularité des systèmes techniques, la dépendance aux technologies, l'articulation entre résilience et durabilité ou encore le rôle de l'innovation sont livrées ici pour élargir l'analyse.

L'« ENFER DES RESEAUX » ET LA RESILIENCE URBAINE

Les exemples parisiens montrent la forte dépendance des populations et des activités à divers services qui contribue à diminuer la résilience de la ville, lorsque les usagers n'anticipent pas leur possible défaillance. Dans le milieu urbain, le raccordement quasi universel (discutable concernant les transports en commun dans certains quartiers) tend à réduire la fracture entre les usagers, mais s'accompagne donc de nouveaux enjeux de fiabilité (Dupuy, 2011). Il ne s'agit pas de s'affranchir de la dépendance pour être résilient, mais d'en reconnaître le rôle et l'accepter (Tidball et Stedman, 2012) pour en tirer tous les bénéfices sans en subir les désavantages. En effet, puisque le maintien des services vitaux semble difficile dans certaines situations, l'amélioration de la résilience urbaine passe par la maîtrise de cette dépendance. On peut pour cela « agir sur le système », c'est-à-dire modifier des facteurs socio-économiques extérieurs pour rendre moins uniforme la désirabilité de la connexion ; ou « disloquer le réseau » en développant des stratégies d'autonomie, de palliatifs individuels ou semi-collectifs. Il s'agit alors d'intégrer le réseau central dans un système plus large dans lequel chaque consommateur pourrait potentiellement être producteur (Dupuy, 2011). Ces réseaux seraient alors des formes hybrides, multi-échelles et modulables dans lesquelles le réseau central pourrait être disloqué en plusieurs sous-structures autonomes, avec de multiples sources réparties sur le territoire. Ainsi, en cas de perturbation sur une portion du réseau, d'autres sources peuvent être mobilisées, ou bien la défaillance peut être circonscrite à une portion du réseau seulement, sans impacter le reste du système. De plus, l'ajout de la notion de diversité dans les sources (diversité en termes de qualité, mais aussi de localisation) augmente la résilience en réduisant la probabilité que toutes les sources soient affectées par le même évènement (du fait des technologies utilisées ou des localisations différentes).

D'autres systèmes complexes permettent d'optimiser les échanges entre services, notamment dans le but de réutiliser les rejets (les externalités négatives) de l'un par l'autre. Il s'agit des synergies fonctionnelles (Gey, 2012) qui sous-tendent le principe de métabolisme urbain. Ces systèmes permettent à nouveau de diversifier les sources pour la production d'un service : par exemple, l'incinération des déchets produit la chaleur distribuée par le chauffage urbain. Alors les services sont davantage interconnectés, ce qui multiplie les possibilités de propagation de défaillance. Suivant le même principe que pour la dépendance des usagers à un réseau, il est nécessaire de maîtriser la dépendance du service à ses fournisseurs, en diversifiant les sources (Agudelo-Vera *et al.*, 2012) et en organisant le réseau de manière à pouvoir l'isoler des fournisseurs potentiellement défaillants. Cela nécessite toutefois des structures redondantes et complexes qui peuvent aller à l'encontre de la durabilité recherchée au départ par la réutilisation des flux disponibles localement. De plus, l'optimisation des flux, que ce soit au sein d'un même système ou entre systèmes, requiert des systèmes de pilotage reposant sur les technologies de l'information. Ce nouveau système s'immisce alors profondément dans le fonctionnement technique des services urbains, créant de multiples et complexes dépendances.

LES ENJEUX DE LA SMART CITY *RESILIENTE*

Une *smart city* est une ville dans laquelle les technologies de l'information permettent d'améliorer la qualité de vie urbaine : informer les usagers, proposer de nouveaux services, favoriser les échanges, etc. (Vaquin et Diab, 2013). La ville intelligente est alors « plus sûre, plus attractive, mieux gérée et plus durable » (Kaplan, 2013). Ce nouveau concept de ville est donc intimement lié à la notion de fiabilité et d'optimisation des services urbains et de sécurité des usagers, mais il impose d'emblée la solution technologique qui pose pourtant question (Kaplan, 2013). En effet, la dépendance quasi universelle au seul réseau électrique pose problème dans la gestion des interdépendances, puisque la propagation des défaillances est amplifiée par les interconnexions.

En sera-t-il donc de même avec une dépendance à un réseau de télécommunications ou bien la perte d'un tel système pourrait-elle être surmontée ?

La *smart city* inclut également le concept de monitoring urbain avec la collecte et l'analyse de nombreuses données concernant l'environnement (température, ensoleillement, pollution, etc.) dans le but d'informer les usagers ou de gérer le milieu urbain et le bâti (Hégron, 2013). La connaissance en temps réel des conditions urbaines permet alors de limiter les impacts négatifs d'un composant ou au contraire profiter au maximum des apports de l'environnement : activer des fontaines ou l'éclairage urbain, abaisser ou remonter des brise-soleil, restreindre l'accès des voitures, produire de l'énergie ou mettre en place des batardeaux par exemple, à l'instar d'une maison intelligente. L'articulation du monitoring urbain (notamment le niveau des rivières, la sismicité ou les données de caméras de vidéosurveillance) avec la gestion des services urbains pourrait être un avantage pour coordonner les actions face à un évènement mesuré objectivement et non plus sujet à une décision politique. Là encore, le bon fonctionnement de ces dispositifs repose sur des réseaux de télécommunications fiables, exploités et maintenus correctement ; ce qui pose également question sur le temps long. Bien que de nombreux industriels soient focalisés sur le pilotage intelligent des services en réseau et des équipements urbains, la *smart city* n'est pas seulement la collecte et le traitement de quantités de données colossales, c'est également la participation des usagers au fonctionnement de leur ville (Picon, 2013). Il serait donc intéressant d'analyser l'ensemble des possibilités permises par de tels outils, dans une optique d'amélioration de la résilience à tous les niveaux, pas seulement de l'optimisation par la complexification, afin d'améliorer la durabilité.

La resilience comme nouveau levier pour atteindre la durabilite ?

La notion de système urbain en équilibre s'appréhende plus facilement sur le long terme comme le maintien d'une trajectoire autour d'objectifs choisis, éventuellement mouvants (taux d'urbanisation, démographie, PIB, émissions de CO_2, etc.), par rapport à un environnement et des contraintes extérieures plus ou moins connues. Alors les évolutions de temps long (démographie, technologies, gouvernance, changement climatique) exercent des pressions sur cette trajectoire, quand des risques de temps court, comme l'inondation, écartent violemment le système de cette trajectoire, entrainant ensuite des difficultés à revenir à la trajectoire initiale. Un système résilient est donc un système réussissant à se maintenir dans la trajectoire « idéale », tout en étant capable de bifurquer éventuellement vers une nouvelle trajectoire jugée désirable au regard des évolutions socio-économiques à l'œuvre. La résilience serait alors le mécanisme de maintien du système dans cette trajectoire quand la durabilité est le concept normatif cible (Strunz, 2012), subjectif et mouvant. Améliorer la résilience urbaine nécessite d'anticiper d'une part les fluctuations de la trajectoire de manière prospective et d'autre part de développer les mécanismes proactifs et réactifs permettant de maintenir ou de rétablir le système dans sa trajectoire initiale (Toubin *et al.*, 2012b).

Ainsi, les caractéristiques de la résilience urbaine, et l'ensemble des méthodologies présentées ici, contribuent à la réalisation d'un développement urbain durable (Adger, 2003), d'autant que les villes sont responsables d'une grande part des impacts sur l'environnement. Par ailleurs, elles correspondent à une échelle d'action des décideurs, ayant des effets locaux et globaux sur l'environnement (Nevens *et al.*, 2012). Les villes sont des « hotsposts[64] » poussant le changement environnemental à plusieurs échelles simultanément (Jansson, 2012), de l'individu au système mondial. Elles disposent de leviers d'action multiples : sensibilisation des individus, exigences à l'égard des gestionnaires, planification urbaine et économique, etc. Pour cela, de nombreux auteurs soulignent le rôle majeur de l'innovation (Allen et Holling, 2010), notamment dans les zones urbaines riches en échanges. L'innovation et la nouveauté permettent en effet de dépasser les référentiels existants et d'identifier de nouvelles stratégies répondant aux situations futures mal connues. Il reste donc à identifier puis implémenter des moyens de favoriser cette innovation à toutes les échelles, pour une meilleure résilience urbaine.

[64] Littéralement « points chauds », concernant le volcanisme au départ, le terme est également utilisé pour parler d'une région à riche biodiversité.

BIBLIOGRAPHIE

ADGER W. N. (2003) Building resilience to promote sustainability. *Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change* [En ligne], Vol. 2, p. 1–3.

AGUDELO-VERA C. M., LEDUC R. W., MELS A. R., RIJNAARTS H. M. (2012) Harvesting urban resources towards more resilient cities. *Resources, Conservation and Recycling* [En ligne], Vol. 64, p. 3–12.

AHERN J. (2011) From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning* [En ligne], Vol. 100, n°4, p. 341–343.

ALLEN C. R., HOLLING C. S. (2010) Novelty, adaptive capacity, and resilience. *Ecology and Society*, Vol. 15, n°3, p. 1–15.

AMBLARD H., BERNOUX P., HERREROS G., LIVIAN Y. F. (1996) *Les nouvelles approches sociologiques des organisations* [En ligne]. Éditions du Seuil, 291 p.

ANDERIES J., JANSSEN M., OSTROM E. (2004) A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecology and Society* [En ligne], Vol. 9, n°1, p. 1–18.

ANDREU S. (2010) Étude des conséquences d'une crue type 1910 sur le quartier Michelet de la Défense (Défense 10) et proposition de mesures de réduction de la vulnérabilité. *Risques d'inondation en Ile de France, 100 ans après les crues de 1910 - Colloque SHF*, Paris, France, p. 191–198.

ANGLES L. (2013) *La prise en compte du risque d'inondation par débordement dans les projets d'aménagement, privés et publics : le cas des Hauts-de-Seine (92)*. Master 2 professionnel, Université Paris-Diderot, 177 p.

APUR (2010) *Paris, métropole sur Seine*. Paris projet, Éditions Textuel, Paris, France, 160 p.

ASCHAN-LEYGONIE C. (2000) Vers une analyse de la resilience des systèmes spatiaux. *Espace géographique* [En ligne], Vol. 29, n°1, p. 64–77.

AWEDIKIAN D.-M. (2013) *Le partage d'informations confidentielles sur une plateforme web dédiée aux interdépendances entre les infrastructures essentielles* [En ligne]. Maitrise en sciences appliquées, Université de Montréal, 123 p.

BALLOY G., WOLF É., IANNI L., DESGRANGES C. (2010) La planification d'une crise liée à une inondation de la Seine en Ile-de-France. *Risques d'inondation en Ile de France, 100 ans après les crues de 1910 - Colloque SHF*, Paris, France, p. 169–175.

BALSELLS M., BARROCA B., DIAB Y., BECUE V. (2013) Urban design contribution to neighbourhood flood resilience: proposition of a model analysis. *International conference on flood resilience: experiences in Asia and Europe*, Exeter, France, p. 1–11.

BARBIER R., BEDU C. (2008) Vers une gouvernance démocratique des services urbains ? In : Hamman P (ed.) *Penser le développement durable urbain : regards croisés*, L'Harmattan, Paris, France, p. 137–160.

BARLES S., BUCLET N., BILLEN G. (2011) L'écologie territoriale : du métabolisme des sociétés à la gouvernance des flux d'énergie et de matières. *Fonder les sciences du territoire - Colloque international du CIST*, Paris, France, p. 16–22.

BARRAQUE B., LE BOURHIS J.-P., MAUREL P., RAYMOND R. (2004) *Public participation in the Dordogne river basin* [En ligne]. Case study report WP5 HarmoniCOP project, 44 p.

BARROCA B. (2006) *Risque et vulnérabilités territoriales - Les inondations en milieu urbain* [En ligne]. Thèse de doctorat, Université Paris-Est Marne-la-Vallée, 340 p.

BEAVERSTOCK J., SMITH R., TAYLOR P. (1999) A roster of world cities. *Cities* [En ligne], Vol. 16, n°6, p. 445–458.

BELLEC G., SAUVALLE B., BOYE H., ROCHAS M. (2010) *Rapport relatif à la limitation de l'impact des évènements climatiques majeurs sur le fonctionnement des réseaux de distribution d'électricité* [En ligne]. Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies, Conseil général du développement durable, 71 p.

BERAUD H., BARROCA B., HUBERT G. (2012) Functional analysis, a resilience improvement tool applied to a waste management system – application to the "household waste management chain." *Natural Hazards and Earth System Science* [En ligne], Vol. 12, n°12, p. 3671–3682.

BERKES F. (2007) Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking. *Natural Hazards* [En ligne], Vol. 41, n°2, p. 283–295.

BERTACCHINI Y. (2010) Intelligence territoriale : une lecture retro-prospective. *Revue Internationale d'Intelligence Economique* [En ligne], Vol. 2, n°1, p. 65–97.

BEUCHER S. (2007) Le risque d'inondation dans le Val-de-Marne : une territorialisation impossible ? *Annales de géographie*, Vol. 657, p. 470–492.

BEUCHER S. (2008) La gestion des inondations en Angleterre : la mise en place d'un système efficace de gouvernance du risque ? *L'Information géographique* [En ligne], Vol. 72, n°4, p. 27–43.

BEUCHER S., REGHEZZA-ZITT M. (2008) Gérer le risque dans une métropole : le système français face à l'inondation dans l'agglomération parisienne. *Environnement urbain*, n°2, p. 1–10.

BIRKMANN J., BUCKLE P., JAEGER J., PELLING M., SETIADI N., GARSCHAGEN M., FERNANDO N., KROPP J. (2010) Extreme events and disasters: a window of opportunity for change? Analysis of organizational, institutional and political changes, formal and informal responses after mega-disasters. *Natural Hazards* [En ligne], Vol. 55, n°3, p. 637–655.

BLACKMORE J. M., PLANT R. A. J. (2008) Risk and resilience to enhance sustainability with application to urban water systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* [En ligne], Vol. 134, n°3, p. 224–233.

BLANCHER P. (1998) *Risques et réseaux techniques urbains*. CERTU, 170 p.

BLUNIER P. (2009) *Méthodologie de gestion durable des ressources du sous-sol urbain* [En ligne]. Thèse de doctorat, École polytechnique fédérale de Lausanne, 258 p.

BODIN Ö., CRONA B., ERNSTSON H. (2006) Social networks in natural resource management: what is there to learn from a structural perspective? *Ecology and Society* [En ligne], Vol. 11, n°2, p. 1–8.

BOIN A., COMFORT L. K., DEMCHAK C. C. (2010) The rise of resilience. In : Comfort LK *et al.* (eds.) *Designing resilience: preparing for extreme events*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, États-Unis, p. 1–12.

BOLOGNESI T. (2013) Caractéristiques structurelles des mégapoles et vulnérabilité hydrique urbaine. *Économie appliquée* [En ligne], Vol. 1, n°66, p. 95–123.

BONNIER L. (1910) *L'évacuation des matières de vidanges à Paris*. Commission des inondations, 28 p.

BORDELONGUE (1910) *Les communications télégraphiques*. Commission des inondations, 17 p.

BORDIN P. (2006) *Méthode d'observation multi-niveaux pour le suivi de phénomènes géographiques avec un SIG*. Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 283 p.

BOREUX, HETIER, TUR (1910) *Le chemin de fer nord-sud de Paris*. Commission des inondations, 16 p.

BOREUX, TUR (1910a) *La distribution de l'électricité à Paris*. Commission des inondations, 16 p.

BOREUX, TUR (1910b) *La distribution du gaz d'éclairage à Paris*. Commission des inondations, 15 p.

BOREUX, TUR (1910c) *La distribution d'air comprimé à Paris*. Commission des inondations, 8 p.

BOUCHON S. (2006) L'application du concept de vulnérabilité aux infrastructures critiques : quelles implications pour la gestion territoriale des risques ? *Annales des Mines - Responsabilité & Environnement* [En ligne], Vol. 43, p. 35–41.

BOUCHON S. (2011) *L'identification des infrastructures critiques : réflexion à partir de l'exemple européen*. Thèse de doctorat, Université Paris Ouest-Nanterre La Défense, 600 p.

BRAND F. S., JAX K. (2007) Focusing on the meaning(s) of resilience: resilience as a descriptive concept and a boundary object. *Ecology and Society* [En ligne], Vol. 12, n°1, p. 1–16.

LE BRIS C., COUTARD O. (2008) Les réseaux rattrapés par l'environnement ? Développement durable et transformations de l'organisation des services urbains. *Flux* [En ligne], Vol. n° 74, n°4, p. 6–8.

BROWN C., MILKE M., SEVILLE E. (2011) Disaster waste management: A review article. *Waste Management* [En ligne], Vol. 31, n°6, p. 1085–1098.

BRUN A., ADISSON F. (2011) Renouvellement urbain et risque inondation : le plan-guide « Seine-Ardoines ». *Cybergéo: European Journal of Geography* [En ligne], n°561, p. 1–25.

BRUN E., BETSCH J., BLANDIN P., HUMBERT G., LEFEUVRE J. (2007) Postures des scientifiques et interdisciplinarité dans le champ de l'environnement. *Natures Sciences Sociétés* [En ligne], Vol. 15, n°2, p. 177–185.

BRUNEAU M., CHANG S. E., EGUCHI R. T., LEE G. C., O'ROURKE T. D., REINHORN A. M., SHINOZUKA M., TIERNEY K. T., WALLACE W. A., VON WINTERFELDT D. (2003) A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra* [En ligne], Vol. 19, n°4, p. 733–752.

BURES R., KANAPAUX W. (2011) Historical regimes and social indicators of resilience in an urban system: the case of Charleston, South Carolina. *Ecology and Society* [En ligne], Vol. 16, n°4, p. 1–11.

CALLON M., LASCOUMES P., BARTHE Y. (2001) *Agir dans un monde incertain*. Éditions du Seuil, Paris, France, 357 p.

CAMP'HUIS N.-G., DEVAUX-ROS C. (2006) Le diagnostic de vulnérabilité à l'inondation : un outil de prévention efficace. *Annales des Mines - Responsabilité & Environnement* [En ligne], Vol. 43, p. 41–47.

CAMPANELLA T. J. (2006) Urban resilience and the recovery of New Orleans. *Journal of the American Planning Association* [En ligne], Vol. 72, p. 141–146.

CARLSSON L., SANDSTRÖM A. (2008) Network governance of the commons. *International Journal of the Commons* [En ligne], Vol. 2, n°1, p. 34–54.

CARMELI A., FRIEDMAN Y., TISHLER A. (2013) Cultivating a resilient top management team: The importance of relational connections and strategic decision comprehensiveness. *Safety Science* [En ligne], Vol. 51, n°1, p. 148–159.

CARPENTER S., WALKER B., ANDERIES J. M., ABEL N. (2001) From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems* [En ligne], Vol. 4, n°8, p. 765–781.

CEPRI (2007) *Rapport de synthèse sur l'analyse des expériences relatives à la réduction de la vulnérabilité aux inondations des entreprises* [En ligne]. 48 p.

CEPRI (2010) *Le bâtiment face à l'inondation, diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité* [En ligne]. 53 p.

CEPRI (2011) *Bâtir un plan de continuité d'activité d'un service public* [En ligne]. 46 p.

CHEN X., KWAN M.-P., LI Q., CHEN J. (2011) A model for evacuation risk assessment with consideration of pre- and post-disaster factors. *Computers, Environment and Urban Systems* [En ligne], Vol. 36, n°3, p. 207–217.

CHOCAT B. (2013) Changement global et risques urbains. *Ouvrage introductif au 92e congrès de l'ASTEE*, Nantes, France, p. 44–45.

CIMELLARO G. P., REINHORN A. M., BRUNEAU M. (2010) Framework for analytical quantification of disaster resilience. *Engineering Structures* [En ligne], Vol. 32, n°11, p. 3639–3649.

COLMET-DAAGE (1910) *Les égouts publics et les branchements particuliers à Paris*. Commission des inondations, 19 p.

COMFORT L. K., OH N., ERTAN G., SCHEINERT S. (2010) Designing adaptive systems for disaster mitigation and response: the role of structure. In : Comfort LK *et al.* (eds.) *Designing resilience: preparing for extreme events*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, USA, p. 33–61.

COUTARD O., PFLIEGER G. (2002) Une analyse du rôle des usagers dans le développement des services de réseaux en France. *Entreprises et histoire* [En ligne], Vol. 30, n°3, p. 136–152.

COUTARD O. (2008) Placing splintering urbanism: Introduction. *Geoforum* [En ligne], Vol. 39, n°6, p. 1815–1820.

COUTARD O. (2010) Services urbains : la fin des grands réseaux ? In : Coutard O, Lévy J-P (eds.) *Écologies urbaines*, Economica, Paris, France, p. 102–129.

CUTTER S. L., BARNES L., BERRY M., BURTON C., EVANS E., TATE E., WEBB J. (2008) A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change* [En ligne], Vol. 18, n°4, p. 598–606.

DANIELL K. A., WHITE I., FERRAND N., RIBARAVO I. S., COAD P., ROUGIER J. E., HARE M., JONES N. A., POPOVA A., ROLLING D., PEREZ P., BURN S. (2010) Co-engineering participatory water management processes: theory and insights from Australian and Bulgarian interventions. *Ecology and Society* [En ligne], Vol. 15, n°4, p. 1–11.

DAUPHINE A., PROVITOLO D. (2007) La résilience : un concept pour la gestion des risques. *Annales de géographie* [En ligne], Vol. 2007/2, n°654, p. 115–125.

DEMORAES F. (2009) De l'intérêt d'une étude sur la vulnérabilité des réseaux routiers et de transport pour la compréhension des vulnérabilités territoriales - le cas du District Métropolitain de Quito (Équateur). *Cybergéo: European Journal of Geography* [En ligne], Vol. V, n°446, p. 1–18.

DESTHIEUX G. (2005) *Approche systémique et participative du diagnostic urbain. Processus de représentation cognitive du système urbain en vue de l'élaboration d'indicateurs géographiques.* [En ligne]. Thèse de doctorat, École polytechnique fédérale de Lausanne, 237 p.

DESTHIEUX G., JOERIN F., GOLAY F. (2005) Représentation systémique et cognitive des processus urbains. Approche methodologique dans le cadre de la problématique des banlieues a Québec. *Développement urbain*

durable, gestion des ressources et gouvernance - Colloque de l'Observatoire universitaire de la Ville et du Développement Durable, Lausanne, Suisse, p. 1–10.

DJAMENT-TRAN G., LE BLANC A., LHOMME S., RUFAT S., REGHEZZA-ZITT M. (2011) *Ce que la résilience n'est pas, ce qu'on veut lui faire dire* [En ligne]. 31 p.

DOURLENS C. (2003) *La question des inondations : le prisme des sciences sociales* [En ligne]. Rapport au Ministère de l'Equipement des Transports et du Logement, 105 p.

DROGUE (1910) *Les ponts et les quais de Paris*. Commission des inondations, 36 p.

DUBOIS-MAURY J. (2002) Les risques naturels en France, entre réglementation spatiale et solidarité de l'indemnisation. *Annales de géographie*, Vol. 627-628, p. 637–651.

DUBOIS-MAURY J., CHALINE C. (2004) *Les risques urbains*. Armand Colin, Paris, France, 208 p.

DUBOIS-MAURY J. (2012) Les grandes métropoles face aux risques naturels et technologiques. *Sécurité & Stratégie*, Vol. mai-août.

DUCHARNE A. (2010) Évolution potentielle du régime des crues de la Seine sous changement climatique. *Risques d'inondation en Ile de France, 100 ans après les crues de 1910 - Colloque SHF*, Paris, France, p. 49–56.

DUPUY G., OFFNER J. (2005) Réseau : bilans et perspectives. *Flux* [En ligne], Vol. 62, n°4, p. 38–46.

DUPUY G. (2008) *Urban networks - network urbanism*. Design/Science/Planning, Techne Press, Amsterdam, Netherlands, 295 p.

DUPUY G. (2011) Fracture et dépendance : l'enfer des réseaux ? *Flux* [En ligne], Vol. 1, n°83, p. 6–23.

EL-GOHARY N. M., EL-DIRABY T. E. (2010) Dynamic knowledge-based process integration portal for collaborative construction. *Journal of Construction Engineering and Management* [En ligne], Vol. 136, n°3, p. 316–328.

ERNSTSON H. (2008) *In Rhizomia: actors, networks and resilience in urban landscapes* [En ligne]. Thèse de doctorat, Stockholm University, 204 p.

ESTAUNIE (1910) *Les communications téléphoniques*. Commission des inondations, 16 p.

EUSGELD I., NAN C., DIETZ S. (2011) "System-of-systems" approach for interdependent critical infrastructures. *Reliability Engineering & System Safety* [En ligne], Vol. 96, n°6, p. 679–686.

FAYTRE L. (2005) La prise en compte des risques majeurs en Ile de France : une composante indispensable de l'aménagement du territoire. *Cahier de l'IAU*, n°142, p. 7–18.

FAYTRE L. (2010) Zones inondables : des enjeux toujours plus importants en Ile-de-France. *Note Rapide n°518* [En ligne], p. 1–6.

FAYTRE L. (2011a) Urbanisation et zones inondables : les risques encourus. *Note Rapide n°557* [En ligne], p. 1–6.

FAYTRE L. (2011b) Economie francilienne : quelle robustesse face à une inondation majeure ? *Note Rapide n°534* [En ligne], p. 1–6.

FELTS L. (2005) *Vulnérabilité des réseaux urbains et gestion de crise* [En ligne]. Rapport d'étude du CERTU, 78 p.

FERRAND N. (1997) *Modèles multi-agents pour l'aide à la décision et la négociation en aménagement du territoire*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, 305 p.

FLEURY A., SAINT-JULIEN T., FRANÇOIS J., RIBARDIERE A., MATHIAN H. (2007) Les inégalités socio-spatiales progressent-elles en Île-de-France ? *Métropolitiques* [En ligne], p. 1–7.

FOLKE C., CARPENTER S., ELMQVIST T., GUNDERSON L., HOLLING C. S., WALKER B., BENGTSSON J., BERKES F., COLDING J. (2002) *Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations* [En ligne]. Scientific background paper on resilience for the process of the World summit on sustainable development, on behalf of the Environmental Advisory Council to the Swedish Government, 34 p.

FOLKE C., CARPENTER S., WALKER B., SCHEFFER M., CHAPIN T., ROCKSTRÖM J. (2010) Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society* [En ligne], Vol. 15, n°4, p. 1–9.

FRAZIER T. G., THOMPSON C. M., DEZZANI R. J., BUTSICK D. (2013) Spatial and temporal quantification of resilience at the community scale. *Applied Geography* [En ligne], Vol. 42, p. 95–107.

FRESSOZ J.-B. (2011) Les leçons de la catastrophe. *La vie des idées* [En ligne], p. 1–12.

FROMMER B. (2010) Climate change and the resilient society: utopia or realistic option for German regions? *Natural Hazards* [En ligne], Vol. 58, n°1, p. 85–101.

FUNTOWICZ S. O., RAVETZ J. R. (2003) *Post-normal science.* [En ligne]. *Online Encyclopedia of Ecological Economics*. p. 1–10.

GALLAND J.-P. (2010) Critique de la notion d'infrastructure critique. *Flux* [En ligne], Vol. 81, n°3, p. 6–18.

GERSONIUS B. (2012) *The resilience approach to climate adaptation applied for flood risk*. Thèse de doctorat, Delft University of Technology, 170 p.

GERSONIUS B., ASHLEY R., ZEVENBERGEN C. (2012) The identity approach for assessing socio-technical resilience to climate change: example of flood risk management for the Island of Dordrecht. *Natural Hazards and Earth System Science* [En ligne], Vol. 12, n°7, p. 2139–2146.

GEY A. (2012) Penser la dimension technique de la ville durable. Les apports d'une « mécanologie » de la ville. *Flux* [En ligne], Vol. 2, n°88, p. 47–59.

GILBERT C. (2003) La fabrique des risques. *Cahiers internationaux de sociologie* [En ligne], Vol. 114, n°1, p. 55–72.

GILBERT C. (2008) Les risques collectifs : objet d'une rencontre problématique entre chercheurs et acteurs. *Sociologies pratiques* [En ligne], Vol. 16, n°1, p. 81–93.

GLEYZE J.-F., REGHEZZA M. (2007) La vulnérabilité structurelle comme outil de compréhension des mécanismes d'endommagement. *Géocarrefour* [En ligne], Vol. 82, n°1-2, p. 17–26.

GODSCHALK D. R. (2003) Urban hazard mitigation: creating resilient cities. *Natural Hazards Review* [En ligne], Vol. 4, n°3, p. 136–143.

DE GROOT M. (2011) Exploring the relationship between public environmental ethics and river flood policies in western Europe. *Journal of Environmental Management* [En ligne], Vol. 93, n°1, p. 1–9.

GUIHOU X., LAGADEC P., ERWAN L. (2006) *Les crises hors cadres et les grands réseaux vitaux - Katrina, Mission de retour d'expérience* [En ligne]. EDF - Direction des Risques Groupe, 34 p.

GUILLOIS R. (2012) *Retour d'expérience sur l'inondation de novembre 2012 du métro de New York*. EXAMO, 24 p.

GUMUCHIAN H., MAROIS C. (2000) *Initiation à la recherche en géographie, aménagement, développement territorial, environnement*. Economica, Presses Universitaires de Montréal, Canada, 425 p.

HEALY S. (2009) Toward an epistemology of public participation. *Journal of Environmental Management* [En ligne], Vol. 90, n°4, p. 1644–1654.

HEGRON G. (2013) Demain, une ville numérique ? *Ouvrage introductif au 92e congrès de l'ASTEE*, Nantes, France.

HEILEMANN K., BALMAND E., LHOMME S., DE BRUIJN K. M., NIE L., SERRE D. (2013) *Identification and analysis of most vulnerable infrastructure in respect to floods*. Livrable WP2.1 du projet FloodProBE, 56 p.

VAN HERK S., ZEVENBERGEN C., ASHLEY R., RIJKE J. (2011) Learning and Action Alliances for the integration of flood risk management into urban planning: a new framework from empirical evidence from The Netherlands. *Environmental Science & Policy* [En ligne], Vol. 14, n°5, p. 543–554.

HERNANDEZ J. (2009) The Long Way Home: une catastrophe qui se prolonge à La Nouvelle- Orléans, trois ans après le passage de l'ouragan Katrina. *L'Espace géographique* [En ligne], Vol. 38, n°2, p. 124–138.

HERNANDEZ J. (2010) *ReNew Orleans? Résilience urbaine, mobilisation civique et création d'un « capital de reconstruction » à la Nouvelle-Orléans après Katrina*. Thèse de doctorat, Université Paris Ouest-Nanterre La Défense, 510 p.

HETIER (1910) *Les tramways de Paris et de la banlieue*. Commission des inondations, 50 p.

HETIER, BIENVENÜE (1910) *Le chemin de fer métropolitain de Paris*. Commission des inondations, 19 p.

HOC J.-M., AMALBERTI R. (1994) Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie française*, Vol. 39, n°2, p. 177–192.

HOLDEN R., VAL D. V., BURKHARD R., NODWELL S. (2013) A network flow model for interdependent infrastructures at the local scale. *Safety Science* [En ligne], Vol. 53, p. 51–60.

HOLLING C. S. (1973) Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of ecology and systematics*, Vol. 4, p. 23.

HOLLING C. S., SCHINDLER D. W., WALKER B. W., ROUGHGARDEN J. (1995) Biodiversity in the functioning of ecosystems: an ecological synthesis. In : Perrings C *et al.* (eds.) *Biodiversity loss: economic and ecological issues*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 44–83.

HOLLNAGEL E. (2011) *Resilience engineering in practice - a guidebook*. Ashgate publishing, 322 p.

HOLLNAGEL E., RIGAUD E., BESNARD D. (2011) *Proceedings of the fourth Resilience Engineering Symposium*. Sophia Antipolis, France, 284 p.

HOLME P., KIM B. J., YOON C. N., HAN S. K. (2002) Attack vulnerability of complex network. *Physical Review. E*, Vol. 65, n°2, p. 1–15.

HUTTER G. (2011) Organizing social resilience in the context of natural hazards: a research note. *Natural Hazards* [En ligne], Vol. 67, n°1, p. 47–60.

JACQUINOD F., LANGUMIER J. (2011) Géovisualisations 3D en action dans l'aménagement du territoire. *Géocarrefour* [En ligne], Vol. 85, n°4, p. 303–311.

JANKOWSKI P., NYERGES T. L., SMITH A., MOORE T. J., HORVATH E. (1997) Spatial group choice: a SDSS tool for collaborative spatial decision-making. *International Journal of Geographical Information Science* [En ligne], Vol. 11, n°6, p. 577–602.

JANKOWSKI P., NYERGES T. (2001) GIS-supported collaborative decision making: results of an experiment. *Annals of the Association of American Geographers* [En ligne], Vol. 91, n°1, p. 48–70.

JANSSON Å. (2012) Reaching for a sustainable, resilient urban future using the lens of ecosystem services. *Ecological Economics* [En ligne], Vol. 86, p. 285–291.

JOERIN F. (1997) *Décider sur le territoire - Proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère* [En ligne]. Thèse de doctorat, École polytechnique fédérale de Lausanne, 269 p.

JOERIN F., LEBRETON M., DESTHIEUX G. (2005) Des systèmes d'indicateurs pour aider les acteurs à manipuler la complexité territoriale. *Développement urbain durable, gestion des ressources et gouvernance - Colloque de l'Observatoire universitaire de la Ville et du Développement durable*, Lausanne, Suisse, p. 1–9.

JOERIN F., CLOUTIER G. (2011) Changer de solutions ou de problèmes ? Réflexion et pistes autour du renouvellement des pratiques d'aménagement du territoire. *Territoire et environnement : des représentations à l'action*, Tours, France.

JOLIVEAU T. (2004) *Géomatique et gestion environnementale du territoire - Recherches sur un usage géographique des SIG* [En ligne]. HDR, Université Jean Monnet, 504 p.

JOSEPH J. (2013) Resilience as embedded neoliberalism: a governmentality approach. *Resilience: international policies, practices and discourses* [En ligne], Vol. 1, n°1, p. 38–52.

LE JOURNAL DES DEBATS (1910) *Paris inondé, la grande crue de 1910*. Réédité en 2009, Éditions du Mécène, Paris, France, 144 p.

KANNO T., FUJII T., WATARI R., FURUTA K. (2011) Modeling and simulation of a service system in a disaster to assess its resilience. *Fourth Resilience Engineering Symposium*, Sophia Antipolis, France, p. 128–134.

KAPLAN D. (2013) Ta ville, trop smart pour toi. In : Vaquin J-B, Diab Y (eds.) *Numérique et génie urbain*, Carrefours du génie urbain, Publications de l'École des ingénieurs de la Ville de Paris - École supérieure du génie urbain, Paris, France, p. 81–92.

KIRCHHOFF T., BRAND F. S., HOHEISEL D., GRIMM V. (2010) The one-sidedness and cultural bias of the resilience approach. *GAIA* [En ligne], Vol. 19, n°1, p. 25–32.

KIZITO F., MUTIKANGA H., NGIRANE-KATASHAYA G., THUNVIK R. (2009) Development of decision support tools for decentralised urban water supply management in Uganda: An Action Research approach. *Computers, Environment and Urban Systems* [En ligne], Vol. 33, n°2, p. 122–137.

KONINCKX G., TENEAU G. (2010) *Résilience organisationnelle, rebondir face aux turbulences*. Manager RH, De Boeck Université, Bruxelles, France, 295 p.

KRÖGER W. (2008) Critical infrastructures at risk: a need for a new conceptual approach and extended analytical tools. *Reliability Engineering & System Safety* [En ligne], Vol. 93, p. 1781–1787.

KUHLICKE C. (2010) Resilience: a capacity and a myth: findings from an in-depth case study in disaster management research. *Natural Hazards* [En ligne], Vol. 67, n°1, p. 61–76.

KUHLICKE C., STEINFÜHRER A., BEGG C., BIANCHIZZA C., BRÜNDL M., BUCHECKER M., DE MARCHI B., DI MASSO TARDITTI M., AL. (2011) Perspectives on social capacity building for natural hazards: outlining an emerging field of research and practice in Europe. *Environmental Science & Policy* [En ligne], Vol. 14, n°7, p. 804–814.

LACAZE Y., CHESNEAU S., RAIMBAULT E., PIOTTE O., PERRIN C., ANDREASSIAN V., BERTHET L., CORON L., FORTIER-FILION T.-C. (2010) Les modèles de prévision opérationnels d'aujourd'hui auraient-ils été fiables sur la crue de 1910 ? Analyse rétrospective critique sur une base de données de 1910. *Risques d'inondation en Ile de France, 100 ans après les crues de 1910 - Colloque SHF*, Paris, France, p. 15–23.

LAGADEC P. (2003) Toulouse, le rendez-vous manqué. *Projet* [En ligne], Vol. 273, n°1, p. 15–22.

LAGANIER R., VILLALBA B., ZUINDEAU B. (2002) Le développement durable face au territoire : éléments pour une recherche pluridisciplinaire. *Développement durable et territoire* [En ligne], Dossier 1 : Approches territoriales du développement durable, p. 1–16.

LAME A. (2013) *Modélisation hydrogéologique des aquifères de Paris et impacts des aménagements du sous-sol sur les écoulements souterrains*. Thèse de doctorat, École des Mines de Paris, [non paru].

LANGUMIER J. (2008) Appropriations locales de la tragédie collective. Approche ethnologique des inondations de novembre 1999 à Cuxac d'Aude. *Développement durable et territoire* [En ligne], Dossier 11 : Catastrophes et territoires, p. 10.

LARDON S., PIVETEAU V. (2005) Méthodologie de diagnostic pour la plupart des territoires : une approche par les modèles spatiaux. *Géocarrefour* [En ligne], Vol. 80, n°2, p. 75–90.

LEBEL L., ANDERIES J., CAMPBELL B., FOLKE C., HATFIELD-DODDS S., HUGHES T. P., WILSON J. (2006) Governance and the capacity to manage resilience in regional social-ecological systems. *Ecology and Society* [En ligne], Vol. 11, n°1, p. 1–19.

VAN DER LEEUW S. E., ASCHAN-LEYGONIE C. (2000) A long-term perspective on resilience in socio-natural systems. *Workshop on system shocks - system resilience*, Abisko, Suède, p. 1–32.

LEFEBURE B. (2010) *Étude des interdépendances géographiques entre réseaux de support à la vie* [En ligne]. Maitrise en sciences appliquées, Université de Montréal, 119 p.

LELOUP F. (2010) Le développement territorial et les systèmes complexes : proposition d'un cadre analytique. *Revue d'économie régionale & urbaine* [En ligne], octobre, n°4, p. 687–705.

LEVY J., LUSSAULT M. (2003) *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Belin, Paris, France, 1034 p.

LHOMME S., SERRE D., DIAB Y., LAGANIER R. (2010) Les réseaux techniques face aux inondations ou comment définir des indicateurs de performance de ces réseaux pour évaluer la résilience urbaine. *Bulletin de l'association des géographes français* [En ligne], p. 487–502.

LHOMME S., TOUBIN M., SERRE D., DIAB Y., LAGANIER R. (2011) From technical resilience toward urban services resilience. *Fourth Resilience Engineering Symposium*, Sophia Antipolis, France, p. 172–178.

LHOMME S. (2012a) *Les réseaux techniques comme vecteur de propagation des risques en milieu urbain. Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine*. Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot, 365 p.

LHOMME S. (2012b) *L'analyse structurelle des réseaux techniques : modélisations, propriétés, vulnérabilités* [En ligne]. groupe f.m.r., 12 p.

LHOMME S. (2012c) Penser la résilience urbaine dans un contexte de risques. In : Djament-Tran G, Reghezza-Zitt M (eds.) *Résiliences urbaines, les villes face aux catastrophes*, Le Manuscrit, Paris, France, p. 331–349.

LHOMME S., LAGANIER R., DIAB Y., SERRE D. (2013) La résilience de la ville de Dublin aux inondations : de la théorie à la pratique. *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], n°651, p. 1–18.

LORENZ D. (2010) The diversity of resilience: contributions from a social science perspective. *Natural Hazards* [En ligne], p. 1–18.

MARET I., CADOUL T. (2008) Résilience et reconstruction durable : que nous apprend La Nouvelle-Orléans ? *Annales de géographie* [En ligne], Vol. 663, n°5, p. 104–124.

MATHIEU N. (2006) Pour une construction interdisciplinaire du concept de milieu urbain durable. *Natures Sciences Sociétés* [En ligne], Vol. 14, n°4, p. 376–382.

MELOUX-MARBEUF S. (2012) *Les scénarios de crue en région Ile-de-France, notice d'utilisation* [En ligne]. DRIEE, Service de la prévention des risques et des nuisances, 22 p.

MENS M. J. P., KLIJN F., DE BRUIJN K. M., VAN BEEK E. (2011) The meaning of system robustness for flood risk management. *Environmental Science and Policy* [En ligne], Vol. 14, n°8, p. 1121–1131.

MERLIN P., CHOAY F. (2010) *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. Quadrige, PUF, Paris, France, 843 p.

MERMET L. (2006) La « concertation » : un terme flottant pour un domaine mouvant ? *Négociations* [En ligne], Vol. 5, n°1, p. 75.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005) *Ecosystem and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington DC, États-Unis, 137 p.

LE MOIGNE J.-L. (1977) *La théorie du système général, théorie de la modélisation*. Réédité en 1984, PUF, 338 p.

MOINE A. (2006) Le territoire comme un système complexe : un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie. *L'Espace géographique* [En ligne], Vol. 35, n°2, p. 115–132.

MUSTAJOKI J., HÄMÄLÄINEN R. P., MARTTUNEN M. (2004) Participatory multicriteria decision analysis with Web-HIPRE: a case of lake regulation policy. *Environmental Modelling & Software* [En ligne], Vol. 19, n°6, p. 537–547.

NEVENS F., FRANTZESKAKI N., GORISSEN L., LOORBACH D. (2012) Urban Transition Labs: co-creating transformative action for sustainable cities. *Journal of Cleaner Production* [En ligne], Vol. 50, p. 111–122.

NEWMAN P. W. G. (1999) Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning* [En ligne], Vol. 44, n°4, p. 219–226.

NOIZET H., MIRLOU L., ROBERT S. (2013) La résilience des formes, la ceinture urbaine de Paris sur la rive droite. *Études rurales* [En ligne], Vol. 191, n°1, p. 191–219.

NOUAILHAC-PIOCH, MAILLET E. (1910) *Monographie de la crue de janvier-février-mars 1910*. Commission des inondations, 94 p.

NOVEMBER V. (2012) Comment favoriser l'équité territoriale face aux risques ? *Métropolitiques* [En ligne], p. 1–5.

O'BRIEN R. (2001) An overview of the methodological approach of action research. In : Richardson R (ed.) *Theory and practice of action research* [En ligne], Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa, Brazil, p. 1–18.

OLSSON P., FOLKE C., BERKES F. (2004) Adaptive comanagement for building resilience in social–ecological systems. *Environmental Management* [En ligne], Vol. 34, n°1, p. 75–90.

OUYANG M., DUEÑAS-OSORIO L. (2011) An approach to design interface topologies across interdependent urban infrastructure systems. *Reliability Engineering & System Safety* [En ligne], Vol. 96, n°11, p. 1462–1473.

PAHL-WOSTL C., CRAPS M., DEWULF A., MOSTERT E., TABARA D., TAILLIEU T. (2007) Social learning and water resources management. *Ecology and Society* [En ligne], Vol. 12, n°2, p. 1–19.

PAIRET J.-Y. (2009) *Méthodologie d'évaluation de la résilience* [En ligne]. Maitrise en sciences appliquées, Université de Montréal, 164 p.

PAQUOT T. (2008) *Conversations sur la ville et l'urbain*. Archigraphy, Infolio, 986 p.

PAQUOT T. (2011) *Un philosophe en ville*. Archigraphy, Infolio, Gollion, Suisse, 230 p.

PARROCHIA D. (2005) Quelques aspects historiques de la notion de réseau. *Flux* [En ligne], Vol. 62, n°4, p. 10–20.

PELLET R. (2009) *Système expert de modélisation des effets dominos entre réseaux de support à la vie* [En ligne]. Maitrise en sciences appliquées, Université de Montréal, 109 p.

PETIT E. (2010) Du fil de l'eau en fils à retordre. Comment bricoler des techniques de terrain protéiformes en une méthodologie qualitative cohérente en géographie ? *L' information géographique* [En ligne], Vol. 74, n°1, p. 9–26.

PETIT O. (2002) *De la coordination des actions individuelles aux formes de l'action collective : une exploration des modes de gouvernance des eaux souterraines* [En ligne]. Thèse de doctorat, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, 410 p.

PEYRAS L. (2002) *Diagnostic et analyse de risque lié au vieillissement des barrages*. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal-Clermont II, 213 p.

PICARD A. (1910) *Rapport général*. Commission des inondations, 87 p.

PICKETT S. T. A., CADENASSO M. L., GROVE J. M. (2004) Resilient cities: meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. *Landscape and Urban Planning* [En ligne], Vol. 69, n°4, p. 369–384.

PICON A. (2013) La ville numérique : entre utopie et réalité. In : Vaquin J-B, Diab Y (eds.) *Numérique et génie urbain*, Carrefours du génie urbain, Publications de l'École des ingénieurs de la Ville de Paris - École supérieure du génie urbain, Paris, France, p. 45–55.

PIGEON G., DE MUNCK C., MASSON V., MEUNIER F., BOUSQUET P., TREMEAC B., MERCHAT M., POEUF P., MARCHADIER C. (2012) Quelle augmentation de la température. *Flow modeling for urban development - Actes du colloque du GIS Mu*, Lille, France, p. 131–138.

PIGEON P. (2010) Catastrophes dites naturelles, risques et développement durable : utilisations géographiques de la courbe de Farmer. *VertigO - La revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Vol. 10, n°1, p. 1–13.

PIMM S. L. (1984) Complexity and stability of ecosystems. *Nature*, Vol. 307, n°5949, p. 321–326.

PINEL W. (2009) *La résilience organisationnelle : concepts et activités de formation* [En ligne]. Maitrise en sciences appliquées, Université de Montréal, 142 p.

PREVIL C., THERIAULT M., ROUFFIGNAT J. (2003) Analyse multicritère et SIG pour faciliter la concertation en aménagement du territoire: vers une amélioration du processus décisionnel? *Cahiers de géographie du Québec* [En ligne], Vol. 47, n°130, p. 35–61.

PUMAIN D. (2001) Villes, agents et acteurs en géographie. *Revue européenne des sciences sociales* [En ligne], Vol. XXXIX, n°121, p. 81–93.

RAMROTH G. (2007) *Planning for disaster: how natural and manmade disasters shape the built environment*. Kaplan Publishing, 304 p.

RAMSEY K. (2009) GIS, modeling, and politics: On the tensions of collaborative decision support. *Journal of Environmental Management* [En ligne], Vol. 90, n°6, p. 1972–1980.

RANA S., JOLIVEAU T. (2009) NeoGeography: an extension of mainstream geography for everyone made by everyone? *Journal of Location Based Services* [En ligne], Vol. 3, n°2, p. 75–81.

REBOTIER J. (2012) Vulnerability conditions and risk representations in Latin-America: Framing the territorializing urban risk. *Global Environmental Change* [En ligne], Vol. 22, n°2, p. 391–398.

REGHEZZA M. (2006) *Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine : la métropole parisienne face au risque de crue centennale*. Thèse de doctorat, Université Paris X-Nanterre, Nanterre, 384 p.

REN Z., YANG F., BOUCHLAGHEM N. M., ANUMBA C. J. (2011) Multi-disciplinary collaborative building design - A comparative study between multi-agent systems and multi-disciplinary optimisation approaches. *Automation in Construction* [En ligne], Vol. 20, n°5, p. 537–549.

RIDDER D., MOSTERT E., WOLTERS H. A. (2005) *Apprendre ensemble pour gérer ensemble - améliorer la participation à la gestion de l'eau* [En ligne]. HarmoniCOP, Université d'Osnabrück, Institut de recherche en systèmes environnementaux, Osnabrück, France, 99 p.

RIGAUD E. (2011) *Résilience et management de la sécurité : pistes pour l'innovation en sécurité industrielle* [En ligne]. Les cahiers de la sécurité industrielle, FonCSI, 41 p.

RIJKE J., FARRELLY M., BROWN R., ZEVENBERGEN C. (2013) Configuring transformative governance to enhance resilient urban water systems. *Environmental Science & Policy* [En ligne], Vol. 25, p. 62–72.

RINALDI S. M., PEERENBOOM J. P., KELLY T. K. (2001) Identifying, understanding and analizing critical infrastructure interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine* [En ligne], Vol. 21, n°6, p. 11–25.

RINNER C. (2006) Argumentation mapping in collaborative spatial decision making. In : Dragicevic S, Balram S (eds.) *Collaborative GIS* [En ligne], Idea Group Publishing, p. 85–102.

RINNER C., KEßLER C., ANDRULIS S. (2008) The use of Web 2.0 concepts to support deliberation in spatial decision-making. *Computers, Environment and Urban Systems* [En ligne], Vol. 32, n°5, p. 386–395.

RIZZOLI J.-L., GACHE F., DURAND P.-Y., JOST C. (2010) La prévention des inondations en Ile-de-France, vers une stratégie globale et partagée. *Risques d'inondation en Ile de France, 100 ans après les crues de 1910 - Colloque SHF*, Paris, France, p. 109–120.

ROBERT B., MORABITO L. (2009) *Réduire la vulnérabilité des infrastructures essentielles*. TEC&Doc, Lavoisier, 80 p.

ROBERT B., PINEL W., PAIRET J.-Y., REY B., COEUGNARD C. (2009) *Résilience organisationnelle - Concepts et méthodologie d'évaluation* [En ligne]. Centre Risque & Performance, 48 p.

ROBINSON L. W., BERKES F. (2011) Multi-level participation for building adaptive capacity: Formal agency-community interactions in northern Kenya. *Global Environmental Change* [En ligne], Vol. 21, n°4, p. 1185–1194.

RODE S. (2010) Reconquête urbaine de la Loire et risque d'inondation : des représentations aux aménagements urbains. *Géocarrefour* [En ligne], Vol. 85, n°3, p. 221–228.

ROE E. (2010) *Terms, definitions and concepts related to critical infrastructures, chokepoints & services* [En ligne]. Sub-report for the RESIN project, 24 p.

RONCAYOLO M. (1997) *La ville et ses territoires*. Folio essai, Gallimard, 285 p.

ROSE A. (2011) Resilience and sustainability in the face of disasters. *Environmental Innovation and Societal Transitions* [En ligne], Vol. 1, n°1, p. 96–100.

DE ROSNAY J. (1975) *Le macroscope, vers une vision globale*. Éditions du Seuil, Paris, France, 249 p.

ROUSSEAU E. (1910a) *Le chemin de fer du quai de rive gauche*. Commission des inondations, 28 p.

ROUSSEAU E. (1910b) *Les grandes lignes d'intérêt général aboutissant à Paris et les lignes de banlieue*. Commission des inondations, 18 p.

SCARWELL H. J., LAGANIER R. (2004) *Risque d'inondation et aménagement durable du territoire*. Presses Universitaires du Septentrion, Lille, France, 240 p.

SERRE D. (2005) *Évaluation de la performance des digues de protection contre les inondations* [En ligne]. Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 366 p.

SERRE D. (2011) *La ville résiliente aux inondations, méthodes et outils d'évaluation*. HDR, Université Paris-Est, 173 p.

SERRE D., BARROCA B., LAGANIER R. (2013a) *Resilience and urban risk management*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Londres, France, 179 p.

SERRE D., TOUBIN M., BAILLY G., CORDIER M. (2013b) *Tentative de définition générale de la notion de système urbain résilient*. Rapport WP4.1 du projet RESILIS, 1–36 p.

SERRE D., TOUBIN M., BARROCA B., BAILLY G., CORDIER M. (2013c) *Méthodes d'évaluation de la résilience des sous-systèmes*. Rapport WP4.2 du projet RESILIS, 1–69 p.

SIMÃO A., DENSHAM P. J., HAKLAY M. (2009) Web-based GIS for collaborative planning and public participation: An application to the strategic planning of wind farm sites. *Journal of Environmental Management* [En ligne], Vol. 90, n°6, p. 2027–2040.

SMITH P. C., SIMPSON D. M. (2009) Technology and communications in an urban crisis: the role of mobile communications systems in disasters. *Journal of Urban Technology* [En ligne], Vol. 16, n°1, p. 133–149.

STRUNZ S. (2012) Is conceptual vagueness an asset? Arguments from philosophy of science applied to the concept of resilience. *Ecological Economics* [En ligne], Vol. 76, p. 112–118.

THIBAULT S. (2000) Le génie urbain. In : Paquot T *et al.* (eds.) *La ville et l'urbain, l'état des savoirs* [En ligne], La découverte, p. 244–254.

TIDBALL K., STEDMAN R. (2012) Positive dependency and virtuous cycles: From resource dependence to resilience in urban social-ecological systems. *Ecological Economics* [En ligne], Vol. 86, p. 292–299.

TIERNEY K. T., BRUNEAU M. (2007) Conceptualizing and measuring resilience - a key to disaster loss reduction. *TR News* [En ligne], Vol. 250, p. 14–17.

TOLMER C.-É., CASTAING C., DIAB Y., MORAND D. (2013) CityGML and IFC: going further than LOD. *International congress Digital heritage*, Marseille, France, p. 1–4.

TOUBIN M., LHOMME S., ARNAUD J.-P., DIAB Y., SERRE D., LAGANIER R. (2011a) La résilience urbaine face aux risques : une réponse transdisciplinaire. *Fonder les sciences du territoire - Colloque international du CIST*, Paris, France, p. 455–460.

TOUBIN M., SERRE D., DIAB Y., LAGANIER R. (2011b) Improve urban resilience by a shared diagnosis integrating technical evaluation and governance. *EGU General Assembly*, Vienne, France.

TOUBIN M., ARNAUD J.-P., SERRE D., DIAB Y., LAGANIER R. (2012a) Promote urban resilience through collaborative urban services management. *Global risks forum*, Davos, Suisse.

TOUBIN M., LHOMME S., DIAB Y., SERRE D., LAGANIER R. (2012b) La résilience urbaine : un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ? *Développement durable et territoires* [En ligne], Vol. 3, n°1, p. 1–15.

TOUBIN M., SERRE D., DIAB Y., LAGANIER R. (2012c) Au auto-diagnosis tool to improve urban resilience: the RATP case study. In : Serre D *et al.* (eds.) *Resilience and urban risk management*, Taylor & Francis Group, Londres, France, p. 143–150.

TOUBIN M., SERRE D., DIAB Y., LAGANIER R. (2012d) An auto-diagnosis tool to highlight interdependencies between urban technical networks. *Natural Hazards and Earth System Science* [En ligne], Vol. 12, n°7, p. 2219–2224.

TOUBIN M., SERRE D., DIAB Y., LAGANIER R. (2012e) A collaborative approach from resilient networks to resilient cities. *Water sensitive urban design Conference*, Melbourne, Australie.

TOUBIN M., SERRE D., DIAB Y., LAGANIER R. (2012f) The contribution of urban services interdependencies analysis to urban resilience. *Flow modeling for urban development - Actes du colloque du GIS Mu*, Lille, France, p. 68–78.

TOUBIN M. (2013) *Auto-diagnostic des interdépendances entre services urbains à Mantes-la-Jolie*. Rapport WP6.1.M.4 du projet RESILIS, 24 p.

TOUBIN M., RAYMOND M. (2013) *Bilan de l'expérimentation à Mantes*. Rapport WP6.2.M du projet RESILIS, 18 p.

TOUBIN M., ARNAUD J.-P., DIAB Y., SERRE D. (2013a) Le projet RESILIS, l'ingénierie de la résilience à destination des collectivités. *Ouvrage introductif au 92e congrès de l'ASTEE*, Nantes, France, p. 25–27.

TOUBIN M., LAGANIER R., DIAB Y., SERRE D. (2013b) Améliorer la résilience urbaine par une gestion intégrée des services urbains. *Colloque international du Labex Futurs Urbains*, Marne-la-Vallée, France.

TOUBIN M., LHOMME S., LAGANIER R., SERRE D. (2013c) *Paris résiliente, la ville de Paris face à la crue centennale de la Seine*. Rapport final, AAP Paris 2030, 72 p.

TOUBIN M., SERRE D., DIAB Y., LAGANIER R. (2013d) Promote urban resilience through a collaborative urban services management. *AAG annual meeting*, Los Angeles, États-Unis.

TOUBIN M., DIAB Y., LAGANIER R., SERRE D. (2014a) Les conditions de la résilience des services urbains parisiens par l'apprentissage collectif autour des interdépendances. *VertigO - La revue électronique en sciences de l'environnement*, sous presse.

TOUBIN M., LAGANIER R., DIAB Y., SERRE D. (2014b) Improving the conditions for urban resilience through collaborative learning of Parisian urban services. *Journal of urban planning and development*, sous presse.

TURNER II B. L. (2010) Vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science? *Global Environmental Change* [En ligne], Vol. 20, n°4, p. 570–576.

VALE L. J., CAMPANELLA T. J. (2005) *The resilient city - How modern cities recover from disaster*. Oxford University Press, 390 p.

DE VANSSAY B. (2006) Aperçu du développement de la sociologie des catastrophes 1917-1978. *Annales des Mines - Responsabilité & Environnement* [En ligne], Vol. 43, p. 53–56.

VAQUIN J.-B., DIAB Y. (2013) *Numérique et génie urbain*. Carrefours du génie urbain, Publications de l'École des ingénieurs de la Ville de Paris - École supérieure du génie urbain, Paris, France, 279 p.

VEYRET Y. (2004) *Géographie des risques naturels en France, de l'aléa à la gestion*. Initial, Hatier, Paris, France, 251 p.

VEYRET Y., LAGANIER R. (2013) *Atlas des risques en France : Prévenir les catastrophes naturelles et technologiques*. Autrement, Paris, France, 95 p.

VIGNERON S., DEGARDIN F., GUEZO B., OUSTRIC A. (2006) *Réduire la vulnérabilité des réseaux urbains aux inondations* [En ligne]. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 112 p.

VOIRON-CANICIO C. (2005) Pour une approche systémique du développement durable. *Développement durable et territoire* [En ligne], Dossier 4 : La ville et l'enjeu du développement durable, p. 1–8.

WALKER B., CARPENTER S., ANDERIES J., ABEL N., CUMMING G., JANSSEN M., LEBEL L., NORBERG J., PETERSON G. D., PRITCHARD R. (2002) Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* [En ligne], Vol. 6, n°1, p. 1–17.

YARNAL B. (2007) Vulnerability and all that jazz: Addressing vulnerability in New Orleans after Hurricane Katrina. *Technology in Society* [En ligne], Vol. 29, n°2, p. 249–255.

ZIMMERMAN R. (2002) Enjeux et gestion des interactions entre les différents réseaux d'infrastructure. *Flux* [En ligne], Vol. 47, n°1, p. 54–68.

ACRONYMES

BDD	Base de données
CCI	Chambre de commerce et d'industrie
CGDD	Commissariat général au développement durable
CPCU	Compagnie parisienne de chauffage urbain
CRE	Commission de régulation de l'énergie
CRP	Centre risque et performance
DCE	Directive-cadre européenne sur l'eau
DEVE	Direction des espaces verts et de l'environnement
DPE	Direction de la propreté et de l'eau
DPP	Direction de la prévention et de la protection
DRIEE	Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et l'énergie
DSTI	Direction des systèmes et des technologies de l'information
DU	Direction de l'urbanisme
DVD	Direction de la voirie et des déplacements
EPFL	École polytechnique fédérale de Lausanne
EPTB	Établissement public territorial de bassin
HCFDC	Haut comité français pour la défense civile
IAU	Institut d'aménagement et d'urbanisme
IdF	Île-de-France
IGH	Immeuble de grande hauteur
IP13	Ivry-Paris XIII (usine du SYCTOM)
NRA	Nœud de raccordement abonné
OIV	Opérateur d'importance vitale
ORSEC	Organisation de la réponse de sécurité civile
PAPI	Programme d'actions de prévention contre les inondations
PCA	Plan de continuité d'activité
PCS	Plan communal de sauvegarde
PLU	Plan local d'urbanisme
POS	Plan d'occupation des sols (maintenant PLU)
PP	Préfecture de police
R0.6	Scénario d'inondation correspondant à 60 % du débit de la Seine en 1910
R0.8	Scénario d'inondation correspondant à 80 % du débit de la Seine en 1910
R1	Scénario d'inondation correspondant à 100 % du débit de la Seine en 1910
R1.15	Scénario d'inondation correspondant à 115 % du débit de la Seine en 1910
SAGE	Schéma d'aménagement et de gestion des eaux
SAIV	Secteur d'activité d'importance vitale

SAP	Section de l'assainissement de Paris
SCOT	Schéma de cohérence territoriale
SDAGE	Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux
SDRIF	Schéma directeur de la région Île-de-France
SGZDS	Secrétariat général de la zone de défense et de sécurité
SIAAP	Syndicat interdépartemental d'assainissement
SIG	Système d'information géographique ou sciences de l'information géographique
SLT	Signalisation lumineuse tricolore
SPC	Service de prévision des crues
STPP	Services technique de la propreté de Paris
SYCTOM	Syndicat intercommunal de traitement des ordures ménagères
TIC	Technologies de l'information et de la communication
VdP	Ville de Paris
ZDS	Zone de défense et de sécurité

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS **3**

SOMMAIRE **5**

INTRODUCTION GÉNÉRALE **9**

PARTIE 1 : APPRÉHENDER LA RÉSILIENCE DES SERVICES URBAINS PAR LES APPROCHES COLLABORATIVES **13**

Introduction de la partie 1 ..... **15**

Chapitre 1 : La ville, les services urbains et les risques, un triptyque classique dont l'analyse reste à améliorer **17**

1.1. La résilience urbaine, une réponse opérationnelle ? 18
1.1.1. Des réseaux techniques complexes essentiels au fonctionnement de la ville 18
Ce que montrent les retours d'expérience 18
Qu'appelle-t-on réseaux techniques ? 19
Une dimension organisationnelle ajoutant à la complexité 20
1.1.2. Des systèmes en réseaux en constante évolution 22
Évolutions techniques 22
Évolutions organisationnelles 23
Évolutions réglementaires 24
1.1.3. La résilience des réseaux est un préalable nécessaire à la résilience de la ville 27
Résilience des systèmes 27
Résilience urbaine 28
Contribution des services urbains à la résilience urbaine 30
1.2. Une analyse du triptyque ville-réseaux-risques encore trop sectorielle 34
1.2.1. Approches territoriales 34
Co-évolution risque-développement urbain 34
Résilience en géographie 35
1.2.2. Approches techniques 36
Articulation réseaux-risques : approche par les infrastructures critiques 36
Resilience engineering 37
1.2.3. Approches socio-organisationnelles 38
Lien social et perception des risques 38
Résilience organisationnelle 40
1.3. De la nécessité des approches collaboratives 43
1.3.1. Favoriser une vision transdisciplinaire 43
Prendre en compte la complexité et les incertitudes 43
Faire apparaître et résoudre les conflits 44
1.3.2. Travailler à plusieurs échelles 45
Prendre en compte l'articulation avec les échelles supérieures 45
Combiner les savoirs techniques et organisationnels 46
1.3.3. Désectoriser pour améliorer les conditions de la résilience 47
Augmenter la connaissance pour faciliter la prise de décision 47
Favoriser l'appropriation pour préparer à la crise 49

1.4. Synthèse du chapitre 51

Chapitre 2 : Les approches collaboratives pour faciliter une approche transdisciplinaire 53
2.1. Contexte et enjeux des approches collaboratives 54
2.1.1. Origine des approches collaboratives 54
Une supposée émergence de la conscience environnementale et des risques 54
Une traduction récente dans les manières de gouverner et décider 55
2.1.2. Des enjeux similaires à ceux de la mise en œuvre de la résilience urbaine 56
Complexité des problèmes 56
Besoin d'impliquer les parties prenantes pour une meilleure acceptation 57
2.2. Méthodes et outils 60
2.2.1. Différents niveaux d'implication pour différentes finalités 60
Impliquer toutes les parties prenantes ? 60
Trouver une solution ou identifier un problème ? 61
2.2.2. Des méthodes et outils nombreux 63
Une méthode de collaboration : la traduction 63
Des outils aterritorialisés 63
Des outils territorialisés 65
2.3. Identification d'un problème entre experts et décideurs 68
2.3.1. Expliciter un problème pour augmenter la connaissance et créer une vision commune 68
Favoriser l'apprentissage par la construction d'une vision commune 68
Augmenter la connaissance d'un problème précis : les interdépendances 69
2.3.2. Impliquer les experts et les décideurs pour une meilleure collaboration 70
Impulser la collaboration entre les acteurs de la ville 70
Vers la recherche-action 71
2.4. Synthèse du chapitre 73

Chapitre 3 : La recherche-action avec les gestionnaires parisiens 75
3.1. Spécificités du contexte urbain parisien face aux risques 76
3.1.1. Situation en 1910 76
Évènement faisant aujourd'hui référence 76
Impact sur les réseaux 78
3.1.2. Aujourd'hui, une situation de risque importante et un territoire à enjeux 83
Paris face aux risques 83
Une métropole aux enjeux complexes 91
3.1.3. Des services urbains nombreux et complexes 92
Du point de vue technique 92
Du point de vue organisationnel 95
3.2. Le cadre existant n'est pas efficient 98
3.2.1. Complexité de la gouvernance 98
Paris, une ville-département au cœur de la zone de défense de Paris 98
L'intérêt de toutes les échelles de gouvernance 100
3.2.2. Outils réglementaires 102
Gestion des risques et planification 102
Aménagement urbain et réseaux 104
3.2.3. L'intérêt de la gestion des risques par la résilience et la collaboration 107
Vers plus de collaboration et de cohérence dans les stratégies de réponses 107
Vers un changement de paradigme de la gestion des risques 108
3.3. Co-construction de la démarche avec les gestionnaires 110
3.3.1. Objectifs de la recherche 110
Questions de recherche 110

Apports de la recherche 111
3.3.2. Méthodologie de l'expérimentation 111
Acteurs rencontrés 111
Démarche proposée 114
3.4. Synthèse du chapitre 116

Conclusion de la partie 1 117

PARTIE 2 : MODÉLISER L'INTERDÉPENDANCE DES SERVICES URBAINS 119

Introduction de la partie 2 121

Chapitre 4 : Construction du modèle d'interdépendance 123
4.1. Le diagnostic, principe et utilisation 124
4.1.1. Origine et principes du diagnostic 124
Etymologie du terme 124
Pourquoi utiliser un diagnostic ? 124
4.1.2. Exemples de méthode de diagnostic 125
Une évaluation des points faibles au niveau des composants 125
Un état des lieux au niveau territorial 127
4.1.3. Un diagnostic des dépendances au niveau supérieur 129
Intérêts et limites du diagnostic 129
Méthode d'évaluation de la résilience du CRP 129
Choix méthodologique 131
4.2. Construction de l'outil d'aide au diagnostic 134
4.2.1. Identification exhaustive des ressources nécessaires 134
Ressources internes 134
Ressources externes 135
4.2.2. Évaluation de la criticité des ressources 136
Autonomie et inertie 136
Rétablissement et remise en service 138
4.2.3. Identification des ressources sortantes 139
Services rendus 139
Identification et priorisation des utilisateurs 140
4.3. Expérimentation avec les services urbains parisiens 142
4.3.1. Portrait sectoriel des systèmes 142
Collecte des données 142
Traduction des portraits sectoriels en tableaux puis en graphes 144
4.3.2. Construction et analyse du système de systèmes 149
Croisement des données à l'aide de la théorie des graphes 149
Systèmes influents ou dépendants 154
4.4. Synthèse du chapitre 159

Chapitre 5 : Analyse collaborative des interdépendances au niveau supérieur 161
5.1. Difficultés techniques, organisationnelles et extérieures 162
5.1.1. Difficultés techniques 162
Dépendances majeures communes à tous 162
Autres difficultés techniques 163
5.1.2. Difficultés organisationnelles 164
Gestion du personnel et questions liées aux conditions de travail 164
Planification et communication 165

5.1.3. Difficultés extérieures 166
Acteurs extérieurs 166
Autres incertitudes 167
5.2. Typologie des interdépendances 169
5.2.1. Interdépendances fonctionnelles 169
Interdépendances techniques ou organisationnelles 169
Une autre représentation du système de systèmes 169
5.2.2. Interdépendances géographiques 171
Liens physiques et non physiques 171
Une autre représentation du système de systèmes 171
5.2.3. Hiérarchie des services urbains 173
5.3. Solutions pour la gestion des interdépendances 175
5.3.1. Des solutions à la fois techniques et organisationnelles 175
Différents types de solutions 175
Des solutions organisationnelles à des problèmes techniques 176
5.3.2. Dix problèmes majeurs et leurs pistes de solutions 177
Problèmes techniques 177
Problèmes organisationnels 182
5.3.3. Une difficile transposition des solutions aux autres services 186
Des particularités techniques fortes 186
Des contraintes organisationnelles similaires 187
5.4. Synthèse du chapitre 189

Conclusion de la partie 2 191

PARTIE 3 : ANALYSER LA RÉSILIENCE DES SERVICES URBAINS 193

Introduction de la partie 3 195

Chapitre 6 : Construction du modèle spatial 197
6.1. De la nécessité d'inclure les dimensions spatiales et temporelles des interdépendances 198
6.1.1. Prendre en compte le contexte local 198
Au niveau des composants 198
Au niveau des stratégies globales mises en place 199
6.1.2. Prendre en compte la dynamique des interactions 200
Temps de réaction et marges de manœuvre 200
Imprécision du scénario actuel 200
6.1.3. Un SIG d'analyse des interdépendances au niveau intermédiaire 202
Type d'analyse choisie 202
Territoire étudié 205
6.2. Collecte et construction des données 208
6.2.1. Entités identifiées 208
Composants critiques du réseau 208
Zones de fragilité 212
6.2.2. Représentation des dépendances 213
Simplifications effectuées 213
Représentation et analyses possibles 214
6.2.3. Synthèse des actions 215
Références utilisées 215
Comparaison des temporalités 217
6.3. Modélisation de l'évènement 218

6.3.1. Reconstruction jour par jour de l'inondation 218
Hypothèse sur les hauteurs d'eau 218
Cartographie des zones inondables 219
6.3.2. Structure de la base de données 222
Modèle entité-association 222
Renseignement des tables 222
6.4. Synthèse du chapitre 225

Chapitre 7 : Analyse collaborative des interdépendances au niveau intermédiaire 227
7.1. Résultats cartographiques 228
7.1.1. Cartographie du fonctionnement des services jour par jour 228
De J1 à J3 228
De J4 à J6 229
De J7 à J9 229
7.1.2. Mise en lumière et discussion de décalages et de solutions 230
Dépendance à l'électricité 230
Dépendance aux télécommunications 231
Besoin de se déplacer 231
7.2. Intérêts et limites de l'approche spatiale pour l'analyse des interdépendances 233
7.2.1. Vers une évaluation quantitative ? 233
Capacités de pompage et rejets 233
Quantification des interdépendances 233
7.2.2. Vers la localisation fine des implantations ? 233
Fermeture des voies et mise en place de batardeaux 233
Proximité géographique 234
7.2.3. De nombreuses incertitudes persistantes 235
Sur l'évènement et ses impacts 235
Sur le poids des arbitrages politiques 236
7.3. Bilan de la démarche 238
7.3.1. Bilan des gestionnaires 238
Constitution d'un réseau 238
Apprentissage collectif 238
Vers la collaboration et le long terme 239
7.3.2. Retour au système de systèmes interdépendants 241
Analyse structurelle du graphe 241
Interdépendances de deuxième ordre 244
7.4. Synthèse du chapitre 249

Conclusion de la partie 3 251

PARTIE 4 : ÉVALUER LA PORTÉE DE LA DÉMARCHE 253

Introduction de la partie 4 255

Chapitre 8 : Les conditions de la résilience de Paris sont-elles réunies ? 257
8.1. Au niveau des services urbains 258
8.1.1. Trois capacités de résilience 258
Synthèse par système 258
Discussion 260
8.1.2. Des niveaux de résilience dépendant du scénario 261
Scénario « 1910 idéal » 261

Scénario « 1910 difficile » 263
Scénario « au-delà de 1910 » 265
8.1.3. Mise en lumière des stratégies choisies 266
Protection versus continuité de service ? 266
Quelle stratégie pour quel indicateur ? 269
8.2. Au niveau territorial 271
8.2.1. Impacts sur la ville 271
Impacts chiffrés sur la zone d'étude 271
Effets du dysfonctionnement des réseaux sur la ville 273
8.2.2. Impacts sur l'agglomération et au-delà 275
En termes de déplacements 275
En termes d'environnement 277
8.3. Autres facteurs à prendre en compte 279
8.3.1. Aspects socio-culturels 279
Dégradation des conditions de vie et résilience individuelle 279
Reconstruction et attractivité économique 280
8.3.2. Dynamiques temporelles 281
Rôle des stratégies urbaines 281
Et par rapport à 1910 ? 289
8.4. Synthèse du chapitre 291

Chapitre 9 : Perspectives de recherche 293
9.1. Opérationnaliser la démarche 294
9.1.1. Exemple d'une collectivité moins bien préparée : Mantes-la-Jolie 294
Contexte du territoire et de la recherche 294
Données collectées et hypothèses 296
Résultats et discussion de la méthodologie 298
9.1.2. Améliorations possibles 301
Généraliser à tous les aléas et tous les degrés de préparation 301
Inclure les acteurs du territoire 302
Vers une plateforme de gestion de crise ou un outil de conception/gestion résiliente ? 305
9.2. Discuter les concepts 309
9.2.1. Quelle traduction du concept de résilience pour la ville de Paris ? 309
Maintien de la structure du système 309
Effet de seuil 310
9.2.2. Quelle pertinence du concept de résilience urbaine au regard de ces travaux ? 311
Emboitement d'échelles 311
Persistance, absorption ou rétablissement 314
9.3. Synthèse du chapitre 318

Conclusion de la partie 4 319

CONCLUSION GÉNÉRALE 321
Synthèse de la recherche 321
L'« enfer des réseaux » et la résilience urbaine 322
Les enjeux de la smart city résiliente 322
La résilience comme nouveau levier pour atteindre la durabilité ? 323

BIBLIOGRAPHIE 325

ACRONYMES **341**

TABLE DES MATIÈRES **343**

TABLE DES ILLUSTRATIONS **351**

TABLE DES TABLEAUX **356**

ANNEXES **357**

1- Description des services urbains **359**
1. Services de distribution d'énergie 359
1.1. Réseau électrique 359
Principes généraux 359
Exemple parisien 359
1.2. Réseau de gaz 362
Principes généraux 362
Exemple parisien 362
1.3. Réseau de chauffage urbain 365
Principes généraux 365
Exemple parisien 365
1.4. Réseau de froid 367
Principes généraux 367
Exemple parisien 367
1.5. Réseau de distribution en hydrocarbures 370
2. Services d'eau et de déchets 371
2.1. Réseau d'eau potable 371
Principes généraux 371
Exemple parisien 371
2.2. Réseau d'assainissement 375
Principes généraux 375
Exemple parisien 375
2.3. Réseau de collecte et traitement des déchets 381
Principes généraux 381
Exemple parisien 381
3. Services de télécommunications 386
3.1. Réseau de téléphonie 386
Principes généraux 386
Exemple parisien 386
3.2. Réseau de haut débit 390
Principes généraux 390
Exemple parisien 391
4. Services de déplacements 392
4.1. Voirie 392
Principes généraux 392
Exemple parisien 392
4.2. Réseau de transport en commun routier 397
Principes généraux 397
Exemple parisien 397

4.3. Réseau de de transport en commun ferré 398
Principes généraux 398
Exemple parisien 399

2- Support du premier atelier collaboratif 403

3- Questionnaire-bilan de l'expérimentation 404
Objectifs 404
Questions 404

4- Présentation du projet Resilis 407

RÉSUMÉ 408
Mots-clés 408

ABSTRACT 408
Keywords 408

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1-1 : Carte du rétablissement du métro new-yorkais au 1er novembre 2012 (en grisé, les lignes interrompues, principalement au Sud de Manhattan) (source : MTA) 19
Figure 1-2 : Carte du rétablissement du métro new-yorkais au 4 novembre 2012 (en grisé les lignes interrompues et mention du service dégradé en termes de fréquence et de desserte) (source : MTA)..... 19
Figure 1-3 : Analogie entre le réseau et le graphe 20
Figure 1-4 : Le service urbain composé de cinq composants en interaction (Toubin *et al.*, 2013d)..... 21
Figure 1-5 : Désavantage entre populations raccordées et populations non raccordées devient fracture lorsque la dépendance augmente (Dupuy, 2011) 23
Figure 1-6 : Réglementations liées à la distribution de l'énergie (source : Commission de régulation de l'énergie) 25
Figure 1-7 : Continuité du service de distribution d'électricité (basse tension) (source : Commission de régulation de l'énergie[6]) 25
Figure 1-8 : La résilience d'un système comme la capacité de réponse à une contrainte avant le dépassement du seuil de résilience (intersection des courbes) et l'écart de l'état d'équilibre (Carpenter *et al.*, 2001) 27
Figure 1-9 : Modélisation systémique simplifiée de la ville (Lhomme *et al.*, 2010)..... 29
Figure 1-10 : Interdépendances et infrastructures critiques (source : extrait de la présentation de l'exercice de l'OSCQ cite in (Pinel, 2009) adapté de (Rinaldi *et al.*, 2001))..... 31
Figure 1-11 : Interactions entre gouvernance, territoire, réseau et service : des échelles et des contraintes différentes (Serre *et al.*, 2013b)..... 32
Figure 1-12 : Utilisation de la courbe de Farmer illustrant la préparation de la catastrophe sur la durée : l'exemple de la vallée de l'Arve à Scionzier (Haute-Savoie, France) (Pigeon, 2010) 35
Figure 1-13 : Adaptation des dynamiques sociales aux dynamiques environnementales par l'amélioration des processus d'information (van der Leeuw et Aschan-Leygonie, 2000) 35
Figure 1-14 : Représentation de la résilience d'un système (Cimellaro *et al.*, 2010) issue du triangle de la résilience (Tierney et Bruneau, 2007) 38
Figure 1-15 : Décalage entre attentes et service rendu, en haut un niveau de fonctionnement correspondant aux besoins, en bas, lors d'une perturbation, des attentes exacerbées et un service dégradé 39
Figure 1-16 : Les services urbains à l'interface des approches territoriales, techniques et socio-organisationnelles 41
Figure 1-17 : Recherche multidisciplinaire, interdisciplinaire ou transdisciplinaire pour la résilience des services urbains, adapté de Lyall, repris par Melbourne Sustainable society Institute..... 43
Figure 1-18 : Différents niveaux du milieu urbain et potentiels de conflit, adapté de (Serre *et al.*, 2013b) 45
Figure 1-19 : Vision fractale et décomposable des réseaux incluant les aspects sociaux, économiques et politiques (Bouchon, 2011) 46
Figure 1-20 : Les trois capacités de résilience face aux défaillances des services urbains, opérationnalisées par la combinaison des approches techniques, organisationnelles et culturelles, adapté de (Serre *et al.*, 2013b)... 47
Figure 1-21 : Cadre d'analyse de la résilience d'un système socio-écologique, transposable aux systèmes urbains (Walker *et al.*, 2002) 48
Figure 1-22 : Analogie entre la résilience d'un système et le ressort (Robert *et al.*, 2009)..... 49
Figure 2-1 : Différents niveaux de complexité des problématiques environnementales..... 57
Figure 2-2 : Échelle des acteurs de la participation à la collaboration 60
Figure 2-3 : Différentes finalités des approches collaboratives pour des contextes de départ différents 62
Figure 2-4 : Les quatre niveaux de la collaboration (Joliveau 2004), d'après (Jankowskl et Nyerges, 2001) 62
Figure 2-5 : Applicabilité des outils au sein des méthodes, carré vert : applicabilité élevée, rond orange : applicabilité moyenne, triangle rouge : applicabilité faible (Ridder *et al.*, 2005) 64
Figure 2-6 : Vues d'écrans de l'outil ArgooMap, (a) vue initiale avec les marqueurs indiquant des lieux référencés dans une discussion, (b) arborescence des contributions référencées, (c) affichage d'une contribution, (d) formulaire d'ajout d'une contribution (Rinner *et al.*, 2008)..... 66

Figure 2-7 : Positionnement dans les approches collaboratives: la collaboration entre experts et décideurs pour la recherche d'un problème (Toubin *et al.*, 2012c) 70
Figure 2-8 : Des réseaux interdépendants et des acteurs nombreux et déconnectés (Toubin *et al.*, 2012b) 71
Figure 2-9 : Démarche de recherche-action initiée par une phase de diagnostic global, adapté de (O'brien, 2001) 72
Figure 3-1 : Reconstitution des niveaux de la Seine relevés à 10h à l'échelle d'Austerlitz (d'après les données Vigicrue) 76
Figure 3-2 : « Plan Boreux » des surfaces inondées (source : commission des inondations) 77
Figure 3-3 : L'arrêt de la distribution de gaz impacte l'éclairage public, les voies bordant la Seine sont inondés et de nombreuses lignes de métro sont arrêtés (les lignes 7, 8, 3 bis et 7 bis en construction étant également impactées) (données issues des rapports de la commission des inondations (Hétier et Bienvenüe, 1910 ; Boreux et Tur, 1910b)) (Toubin *et al.*, 2014a) 78
Figure 3-4 : Les communications télégraphiques sont perturbées par l'atteinte du poste central, le téléphone est coupé pour de nombreux abonnés (données issues des rapports de la commission des inondations (Bordelongue, 1910)) (Toubin et al., 2014a) 79
Figure 3-5 : De nombreuses usines de production d'électricité sont impactées, mais l'usage de l'électricité est encore peu développé, l'impact majeur tient à l'arrêt des usines de production de gaz (données issues des rapports de la commission des inondations (Boreux et Tur, 1910a et 1910b)) (Toubin *et al*., 2014a) 80
Figure 3-6 : La quasi-totalité des arrondissements est touchée par les difficultés de collecte et de traitement des déchets, le réseau d'eau potable est encore peu développé et le réseau d'égouts a bien fonctionné (données issues des rapports de la commission des inondations (Bonnier, 1910)) (Toubin *et al.*, 2014a)..... 81
Figure 3-7 : Extension de l'urbanisation entre 1982 et 2008 et enveloppe des PHEC (source : croisement de deux cartes VisIAU) 85
Figure 3-8 : Les quatre grands lacs réservoirs (source : EPTB Seine Grands Lacs séminaire IAU-Île-de-France « Aménager avec le fleuve : robustesse et risques d'inondation », table ronde n°4 du 10 décembre 2009)..... 87
Figure 3-9 : La Seine à Austerlitz, crue de janvier 1982 87
Figure 3-10 : La Seine à Austerlitz, crue de janvier 1910 87
Figure 3-11 : Perturbations des réseaux à Paris en cas de crue (Veyret et Laganier, 2013) 88
Figure 3-12 : Cartographie des zones inondables d'Île-de-France (source : visIAU Risques) 89
Figure 3-13 : Cartographie des zones inondables de Paris (source : visIAU Risques)..... 90
Figure 3-14 : Répartition de l'occupation de sol dans les zones inondables par grand type et par département, situation en 2008 (Faytre, 2010) 91
Figure 3-15 : Périmètres de gouvernance des services urbains parisiens (Toubin *et al.*, 2014a) 96
Figure 3-16 : Les sept zones de défense et de sécurité (source : ministère de la Défense/ministère de l'Intérieur) 98
Figure 3-17 : L'Île-de-France exposée aux risques (source : extrait d'une présentation du SGZDS)..... 99
Figure 3-18 : Principe du projet de la Bassée (source : EPTB Seine Grands Lacs, séminaire IAU-Île-de-France « Aménager avec le fleuve : robustesse et risques d'inondation », table ronde n°4 du 10 décembre 2009) 101
Figure 3-19 : Réduction du montant des dommages de surface (source : dossier du maître d'ouvrage) 101
Figure 3-20 : Différentes échelles de gestion du risque et de l'aménagement du territoire (les données concernant les PPRI datent du 1er janvier 2013, source : DRIEE) 103
Figure 3-21 : Zonage du PPRI et enjeux stratégiques (source : extrait d'une présentation du PPRI par la direction de l'urbanisme de la Ville de Paris) 105
Figure 3-22 : La résilience envisagée selon deux échelles de temps (Lhomme, 2012c).....107
Figure 3-23 : Cartographie des acteurs des services urbains parisiens, les services surlignés en noir ont été rencontrés (Toubin et al., 2013c).....112
Figure 3-24 : Démarche méthodologique détaillée de l'expérimentation à Paris 114
Figure 4-1 : Construction du modèle d'interdépendance des services urbains parisiens à partir d'un diagnostic sectoriel 123
Figure 4-2 : Deux types de diagnostic des causes (diagnostic de défaillance) ou des conséquences (diagnostic de vulnérabilité) 125

Figure 4-3 : Méthodologie pour la modélisation des scénarios de vieillissement (Peyras, 2002) 125
Figure 4-4 : Processus d'aide au diagnostic de barrage destiné à l'expert (Peyras, 2002) 126
Figure 4-5 : Étapes du diagnostic de vulnérabilité du bâti aux inondations (CEPRI, 2010) 127
Figure 4-6 : Itinéraire méthodologique-type de diagnostic de territoire (Lardon et Piveteau, 2005) 128
Figure 4-7 : Indicateurs reliés dans un modèle conceptuel de phénomènes selon un acteur (Desthieux *et al.*, 2005) 128
Figure 4-8 : Décomposition d'un système en fractales (Pinel, 2009).....130
Figure 4-9 : Approche système détaillant les intrants et les extrants en fonction du sous-système consommateur (Robert *et al.*, 2009) 130
Figure 4-10 : Récapitulatif de la méthodologie d'évaluation de la résilience organisationnelle (Robert *et al.*, 2009).....131
Figure 4-11 : Description méso du réseau d'eau potable.....132
Figure 4-12 : Aide-mémoire pour l'identification des ressources (Pairet, 2009) 134
Figure 4-13 : Identification des ressources internes utilisées.....135
Figure 4-14 : Identification des ressources externes utilisées et de leur fournisseur.....136
Figure 4-15 : Diagnostic des dépendances : nature, fournisseur et autonomie.....137
Figure 4-16 : Autonomie et inertie dans la propagation des défaillances entre systèmes (Toubin *et al.*, 2012d) 138
Figure 4-17 : Temps de remise en service et de rétablissement de la production dans la reprise du fonctionnement de systèmes dépendants 138
Figure 4-18 : Grille d'évaluation de la dépendance face aux ressources nécessaires au système 139
Figure 4-19 : Représentation graphique des différentes perceptions dans la criticité d'une ressource entre deux systèmes 140
Figure 4-20 : Grille d'évaluation de l'influence du système sur les systèmes dépendants.....141
Figure 4-21 : Étape préalable d'identification des différentes situations de risque 142
Figure 4-22 : Fiche de portrait sectoriel comportant les aides au diagnostic (Toubin *et al.*, 2011a) 143
Figure 4-23 : Grille de diagnostic du service de distribution de gaz GRDF 144
Figure 4-24 : La théorie des graphes appliquée aux réseaux (Lhomme, 2012a) 145
Figure 4-25 : Portrait sectoriel du système de distribution de gaz GRDF, la couleur du lien donne la criticité de la dépendance, la couleur du nœud origine donne l'autonomie de GRDF face à la ressource fournie..... 148
Figure 4-26 : Portrait sectoriel du système de distribution d'eau potable Eau de Paris 149
Figure 4-27 : Portrait sectoriel du système de traitement des déchets SYCTOM 149
Figure 4-28 : Représentation des interdépendances des services urbains parisiens selon la spatialisation force-atlas obtenue avec le logiciel Gephi (Toubin *et al.*, 2012f) 154
Figure 4-29 : Positionnement des services urbains parisiens dans un plan influence-dépendance 156
Figure 4-30 : Lien entre nombre d'entrants-sortants et potentiel de perturbation.....157
Figure 5-1 : Deux ateliers collaboratifs autour du modèle d'interdépendance des services urbains parisiens ..161
Figure 5-2 : Anticipation de la perturbation et fonctionnement dégradé du service 167
Figure 5-3 : Interdépendances techniques des services urbains parisiens 170
Figure 5-4 : Interdépendances organisationnelles des services urbains parisiens.....170
Figure 5-5 : Interdépendances de contact des services urbains parisiens.....171
Figure 5-6 : Interdépendances immatérielles des services urbains parisiens 172
Figure 5-7 : Hiérarchie générique des services urbains parisiens vue par les gestionnaires (Toubin *et al.*, 2013b) 173
Figure 5-8 : Description générique d'un service urbain en cinq composants (Toubin *et al.*, 2013d).....175
Figure 6-1 : Construction du modèle spatial pour l'évaluation de la résilience des services urbains parisiens ..197
Figure 6-2 : Fonctionnement en mode dégradé d'un service urbain dépendant, ayant réalisé un plan de continuité d'activité tenant compte des interdépendances..... 199
Figure 6-3 : Effets de seuil dans l'expansion de la crue, notamment entre Ro.8 et R1 (source : DRIEE)..... 201
Figure 6-4 : DOMINO, prototype d'outil de modélisation et de cartographie (SE signifie service essentiel) (source : CRP de Montréal) 203

Figure 6-5 : Boucle d'analyse du fonctionnement des services urbains 204
Figure 6-6 : Localisation de la zone d'étude et de quelques enjeux majeurs identifiés 206
Figure 6-7 : Localisation des objets étudiés dans la zone d'étude et autres objets en interaction hors de la zone d'étude 211
Figure 6-8 : Phases de la crise et seuils temporels 213
Figure 6-9 : Différents profils d'un système dépendant : la ressource 2 devient indispensable durant la phase d'action, la ressource 1 devient négligeable durant le fonctionnement dégradé, la ressource 3 est remplacée par un palliatif, ce qui semble transparent dans le profil 214
Figure 6-10 : Exemples de représentation en histogramme, à gauche par ressource, à droite par jour 215
Figure 6-11 : Les différentes références aux niveaux de crue 216
Figure 6-12 : Reconstruction du niveau du sol à partir de la BD Topo, sans tenir compte des protections locales 218
Figure 6-13 : Reconstitution des niveaux de la Seine jour par jour 220
Figure 6-14 : Zones inondables de la zone d'étude d'après le PPRI (source : VisIAU Risques) et décalages avec le scénario modélisé (cercles rouges) 221
Figure 6-15 : Modèle entité-association de la base de données créée 222
Figure 6-16 : Extraits des tables renseignées dans la base de données 224
Figure 7-1 : Un troisième atelier collaboratif autour du modèle spatial d'interdépendance des services urbains parisiens 227
Figure 7-2 : Contraintes aux déplacements et aux interventions au jour J8 dans le secteur gare d'Austerlitz (Toubin *et al.*, 2014a) 234
Figure 7-3 : Extrait du plan d'implantation de la barrière anticrue quai d'Austerlitz (source : fond de plan de la DVD) 235
Figure 7-4 : La démarche méthodologique de l'expérimentation, aboutissant effectivement à une meilleure communication, à une connaissance partagée entre gestionnaires parisiens, voire à des actions 240
Figure 7-5 : Graphe des services urbains interdépendants (cf. chapitre 4) 241
Figure 7-6 : La majorité des nœuds sont reliés à l'ensemble des autres par un chemin de longueur comprise entre 1 et 2 242
Figure 7-7 : La majorité des nœuds ont moins de 10 % de chance d'être sur le plus court chemin entre deux nœuds 243
Figure 7-8 : Dépendance de deuxième ordre, rétroaction et perturbation de la remise en service 244
Figure 7-9 : Représentation des interdépendances de deuxième ordre des services urbains parisiens selon la spatialisation force-atlas obtenue avec le logiciel Gephi 246
Figure 7-10 : Positionnement des services urbains parisiens dans un plan influence-dépendance de deuxième ordre 247
Figure 8-1 : Les capacités à étudier pour analyser la résilience des réseaux techniques (Lhomme, 2012a) 258
Figure 8-2 : Positionnement des stratégies des gestionnaires de la résistance à l'adaptation, de l'arrêt à la continuité du service (Toubin *et al.*, 2014a) 268
Figure 8-3 : Identification des immeubles potentiellement privés d'eau potable (en bleu) 272
Figure 8-4 : Synthèse des impacts aux services urbains sur le territoire parisien dans le scénario 1910 « difficile » 274
Figure 8-5 : Cartes de déplacement domicile-travail depuis et vers la zone d'étude, en véhicules ou en transports en commun (source : IAU) 276
Figure 8-6 : Les bassins versants des usines d'incinération du SYCTOM dépassent largement les enjeux locaux (source : SYCTOM) 277
Figure 8-7 : Affirmation de l'importance de la Seine dans le développement de la métropole parisienne (source : couverture du Paris Projet #40 (APUR, 2010)) 281
Figure 8-8 : Prise en compte du risque d'inondation par débordement pour 27 projets urbains des Hauts-de-Seine (Anglès, 2013) 283

Figure 8-9 : Enjeux d'aménagement en zone inondable identifiés dans le SDRIF 2008 (zone rouge : « maîtriser et adapter l'urbanisation nouvelle et l'aménagement urbain renouvelé, pour réduire la vulnérabilité globale de l'agglomération centrale ») (source : IAU) 285
Figure 8-10 : Extrait de la carte de destination générale du SDRIF 2008 (source : IAU) 286
Figure 8-11 : Extrait de la carte de destination générale du SDRIF 2030 (source : IAU) 287
Figure 8-12 : Importante densité de population dans les zones inondables identifiée dans le SDRIF 2030 (source : IAU) 288
Figure 8-13 : Articulation entre aménagement urbain, gestion des risques et gestion de crise 289
Figure 9-1 : Présentation générale du territoire de Mantes-la-Jolie (Toubin et Raymond, 2013) 294
Figure 9-2 : Reconstitution des niveaux de la Seine par Vigicrue, relevés à 10 h à l'échelle d'Austerlitz pour Paris, à l'échelle de Mantes pour Mantes 295
Figure 9-3 : Cartographie du risque d'inondation à Mantes, à noter que le PPRI ne correspond pas aux PHEC (Toubin et Raymond, 2013) 295
Figure 9-4 : Exposition des infrastructures publiques aux risques (Toubin et Raymond, 2013) 296
Figure 9-5 : Portrait sectoriel du service de production et de distribution de chaleur SOMEC (Toubin, 2013) . 298
Figure 9-6 : Représentation des interdépendances des systèmes mantais suivant l'algorithme force-atlas du logiciel Gephi (les liens orientés sont les échanges de ressources entre deux systèmes, le nombre de liens entrants dans un nœud donne le degré entrant du nœud, le nombre de liens sortants donne le degré sortant) 299
Figure 9-7 : Carte des composants critiques des services urbains du territoire de Mantes (Toubin et Raymond, 2013) 300
Figure 9-8 : Architecture de la base de données pour l'analyse des interdépendances sur le territoire (Serre *et al.*, 2013c) 302
Figure 9-9 : De la participation à la collaboration (cf. chapitre 2) 303
Figure 9-10 : Trois vues 3D de la zone d'étude et des bâtiments inondés à R1.15 (source : données SIG ajoutées au support Google earth) 304
Figure 9-11 : Principe général d'une plateforme SIG pour la résilience urbaine 306
Figure 9-12 : La gestion du risque, entre barrières face à des risques anticipés et adaptation face à des situations non anticipées (source : présentation d'Eric Rigaud à la journée d'étude du CIST « approche pluridisciplinaire des risques majeurs et industriels : quelle prise en compte du territoire ») 311
Figure 9-13 : La prise en compte de l'emboitement des échelles spatiales pour l'analyse de la résilience 312
Figure 9-14 : Double emboitement des échelles temporelles et spatiales 314

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Les approches collaboratives impliquant les parties prenantes pour traiter de problèmes complexes souvent liés à la gestion des ressources ou l'aménagement du territoire 58
Tableau 3-1 : Synthèse des impacts subis par les services urbains en 1910..... 82
Tableau 3-2 : Crues de la Seine depuis 1910, d'après A. Goubet cite in (Reghezza, 2006)..... 84
Tableau 3-3 : Services urbains franciliens, statuts et compétences..... 94
Tableau 3-4 : Services urbains rencontrés pour le travail de recherche 113
Tableau 4-1 : Traduction des grandeurs qualitatives en valeurs numériques 145
Tableau 4-2 : Table des nœuds intégrant la nature de la ressource fournie par le nœud (*type*) et l'autonomie du système GRDF face à cette ressource (*autonomy*)..... 146
Tableau 4-3 : Table des liens aboutissant au système GRDF, reprenant la ressource (*label*) donnée dans la table des nœuds et la criticité globale (*weight*) en situation perturbée..... 147
Tableau 4-4 : Matrice d'interdépendances à 10 systèmes..... 150
Tableau 4-5 : Systèmes composant le système urbain parisien et ressources produites « par défaut » 151
Tableau 4-6 : Liens particuliers pour les systèmes parisiens, le poids (*weight*) est la criticité de l'interaction (cf. 4.2)..... 152
Tableau 4-7 : Matrice des interdépendances des systèmes parisiens..... 153
Tableau 5-1 : Synthèse des difficultés techniques identifiées lors du premier atelier 164
Tableau 5-2 : Synthèse des difficultés organisationnelles identifiées lors du premier atelier 166
Tableau 5-3 : Synthèse des difficultés extérieures identifiées lors du premier atelier..... 168
Tableau 6-1 : Objets répertoriés par système (certains sont situés en dehors de la zone d'étude)..... 209
Tableau 6-2 : Hypothèses prises en compte pour la représentation des impacts subis par chaque service 212
Tableau 6-3 : Liste des ressources prises en compte pour la modélisation des dépendances 214
Tableau 7-1 : Rappel des cotes et des références de l'inondation de 1910 (la ligne rouge marque la fin du scénario modélisé) 228
Tableau 7-2 : Matrice des interdépendances de deuxième ordre 245
Tableau 8-1 : Les trois capacités de résilience des services urbains parisiens face à l'inondation centennale, sans tenir compte des interdépendances..... 259
Tableau 8-2 : Synthèse des conséquences sur les services urbains dans un scénario « idéal » 262
Tableau 8-3 : Synthèse des conséquences sur les services urbains dans un scénario « difficile » 264
Tableau 8-4 : Synthèse des conséquences sur les services urbains dans un scénario dépassant 1910..... 266
Tableau 8-5 : Impact des stratégies de chaque gestionnaire sur la continuité du service sur la zone étudiée . 267
Tableau 8-6 : Synthèse des impacts sur le territoire concernant la desserte en eau, électricité, gaz et télécommunications Orange 271
Tableau 9-1 : Services urbains mantais, statuts et compétences 297
Tableau 9-2 : Discussion des définitions de la résilience au regard des résultats de cette recherche 315

ANNEXES

Photo 5 : Les Grands Moulins de Paris, siège de l'Université Paris-Diderot

1- DESCRIPTION DES SERVICES URBAINS

Cette annexe donne une description générale du fonctionnement des services urbains étudiés afin de faciliter la compréhension. Les résultats issus de la première étape (portrait sectoriel au niveau supérieur) puis de la deuxième étape (carte synthétique du fonctionnement en cas d'inondation) sont présentés pour illustrer les spécificités parisiennes.

1. SERVICES DE DISTRIBUTION D'ENERGIE

L'énergie distribuée en ville est majoritairement électrique mais le gaz de ville reste important et les réseaux de chaleur se développent. Certaines villes disposent également maintenant d'un réseau de froid pour mutualiser la climatisation. La distribution des hydrocarbures est également abordée ici.

1.1. RESEAU ELECTRIQUE

PRINCIPES GENERAUX

En France, l'électricité est produite par EDF à partir d'énergie nucléaire, fossile, hydraulique ou éolienne, en de multiples points du territoire. L'électricité est ensuite acheminée par lignes haute tension sous la responsabilité de RTE, jusqu'à des postes de transformations visant à réduire la tension avant la distribution par ERDF jusqu'au consommateur (Figure 1-1). Le réseau électrique est fortement maillé, principalement aérien en haute tension puis souvent enterré, notamment en milieu urbain, pour la basse tension.

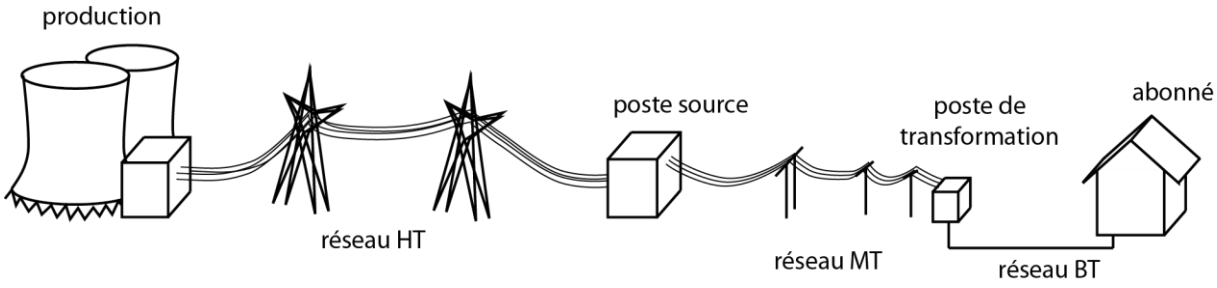


Figure 1-1 : Schématisation du réseau électrique, de la production à la consommation

EXEMPLE PARISIEN

De par sa position centrale et son volume de consommation important (un sixième de la consommation française a lieu en Île-de-France), Paris est alimenté par de nombreux sites de production et desservi par deux boucles concentriques (Figure 1-2). L'électricité apportée par RTE est transformée dans Paris intra-muros par trente-huit postes de transformation, généralement situés dans des bâtiments. Puis des postes de distribution, généralement sous la voirie, la transforme en basse tension distribuée au consommateur final. Le réseau est piloté par l'agence de conduite régionale dont un site de secours est prévu.

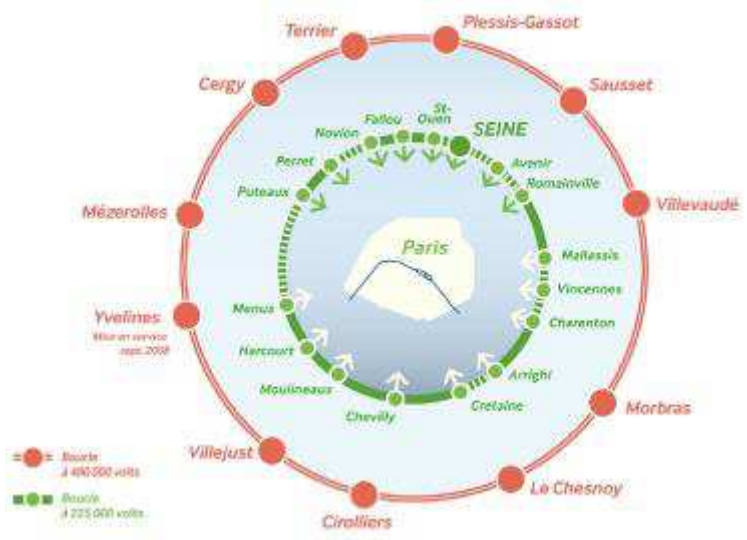


Figure 1-2 : Structure de l'alimentation en électricité de Paris (boucle rouge à 400 000 volts et boucle verte à 225 000 volts) (source : RTE[65])

Les principales dépendances du réseau ERDF sont liées aux conditions de travail du personnel, notamment en cas d'inondation (Figure 1-3). En cas de crue, seul un poste source est vulnérable vers le pont de l'Alma, ce qui ne remet pas en cause l'approvisionnement de Paris, mais de nombreux postes de distribution seraient inondés et priveraient les usagers d'électricité. L'objectif est donc de mettre hors tension les équipements vulnérables afin d'assurer la sécurité des personnes et de protéger les équipements sensibles pour favoriser un rétablissement rapide (Figure 1-4). Des groupes électrogènes de forte puissance peuvent être installés en coordination avec le SGZDS pour réalimenter les portions de réseau non inondées.

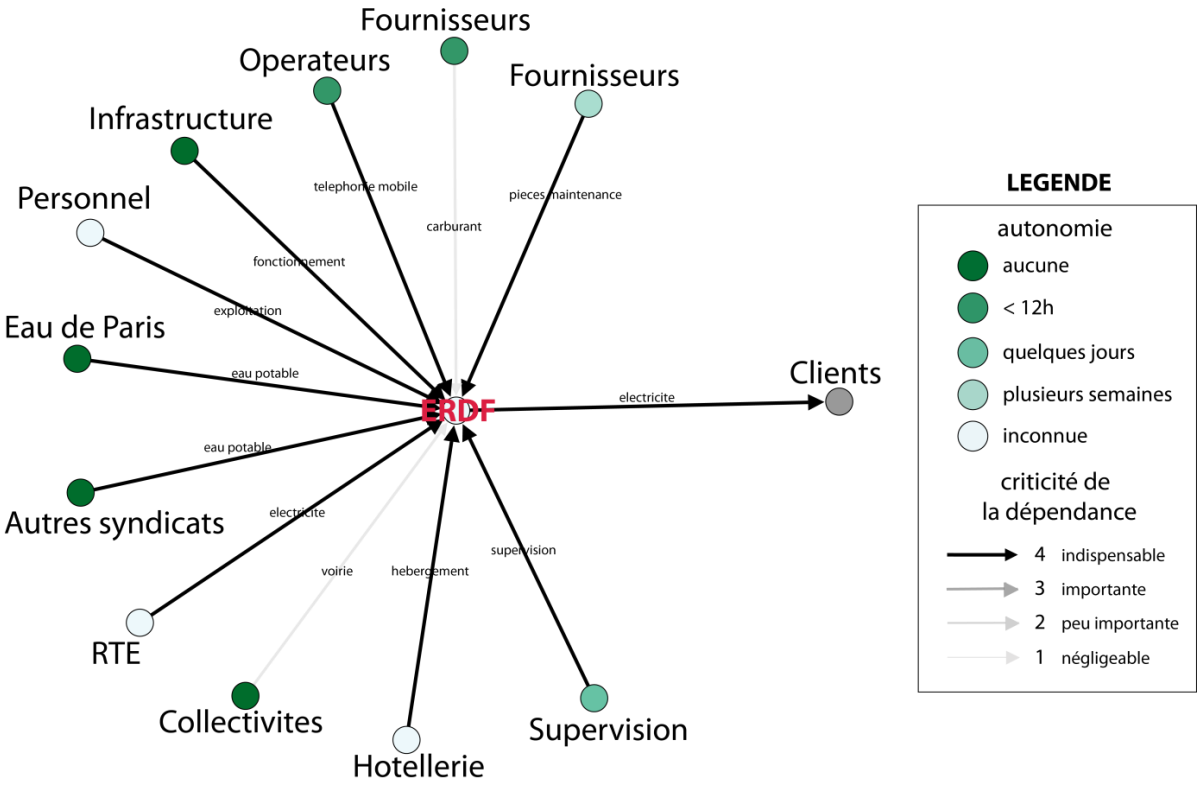


Figure 1-3 : Portrait sectoriel du service ERDF

[65] http://www.audeladeslignes.com/paris-electricite-5031

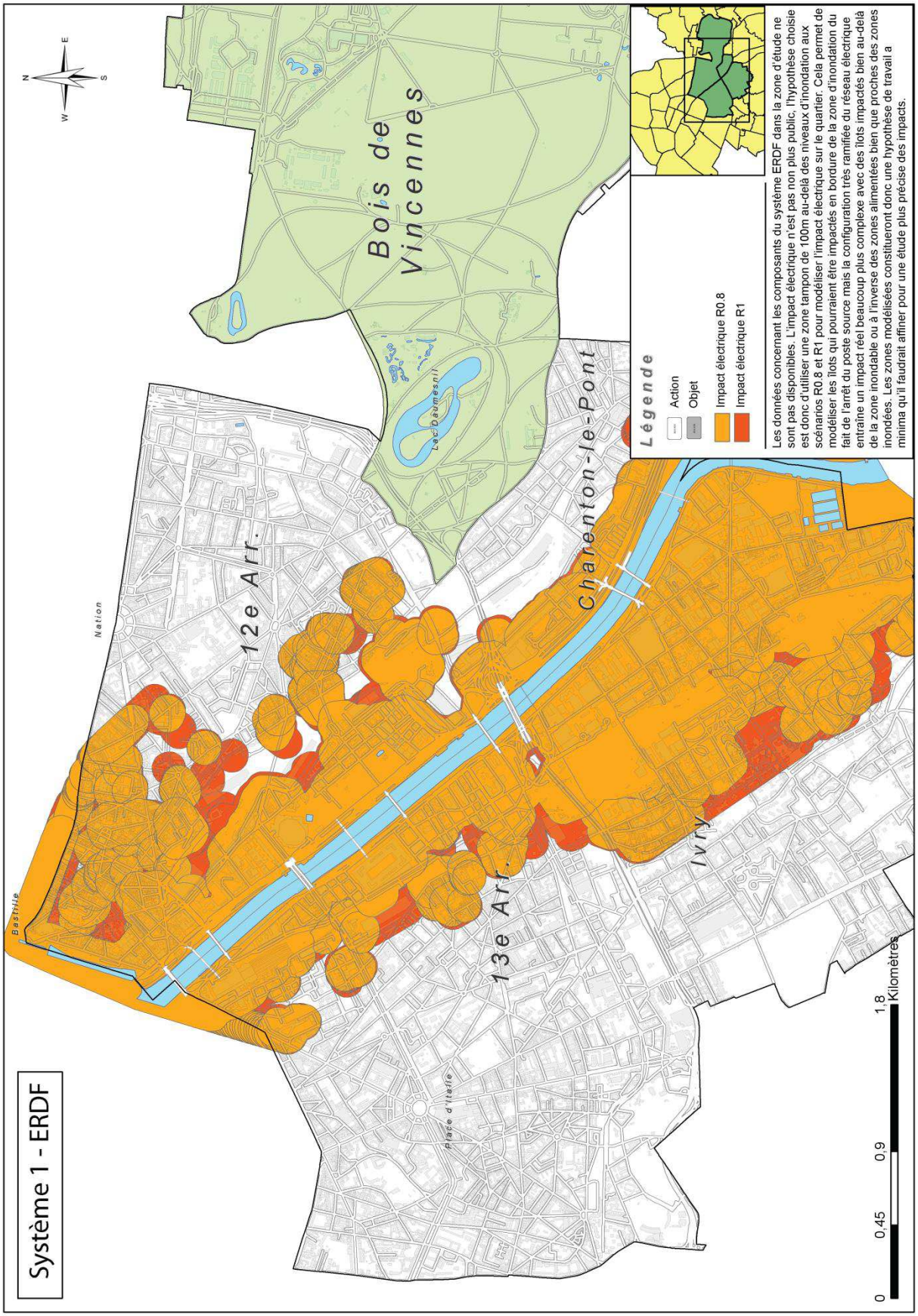


Figure 1-4 : Carte synthétique du fonctionnement d'ERDF dans la zone d'étude

1.2. Reseau de gaz

Principes generaux

Le gaz naturel est quasiment intégralement importé via des pipelines européens ou par bateau dans les grands ports, puis acheminé par GRTgaz (Figure 1-5). Le principe est le même que pour l'électricité avec une baisse progressive de la pression depuis le transport en haute pression par GRTgaz jusqu'à la distribution en moyenne (environ 4 bars) puis basse pression (21 mbars) par GRDF. Les conduites sont toujours souterraines mais les postes de détente sont bien souvent aériens hors milieu urbain (Figure 1-6).

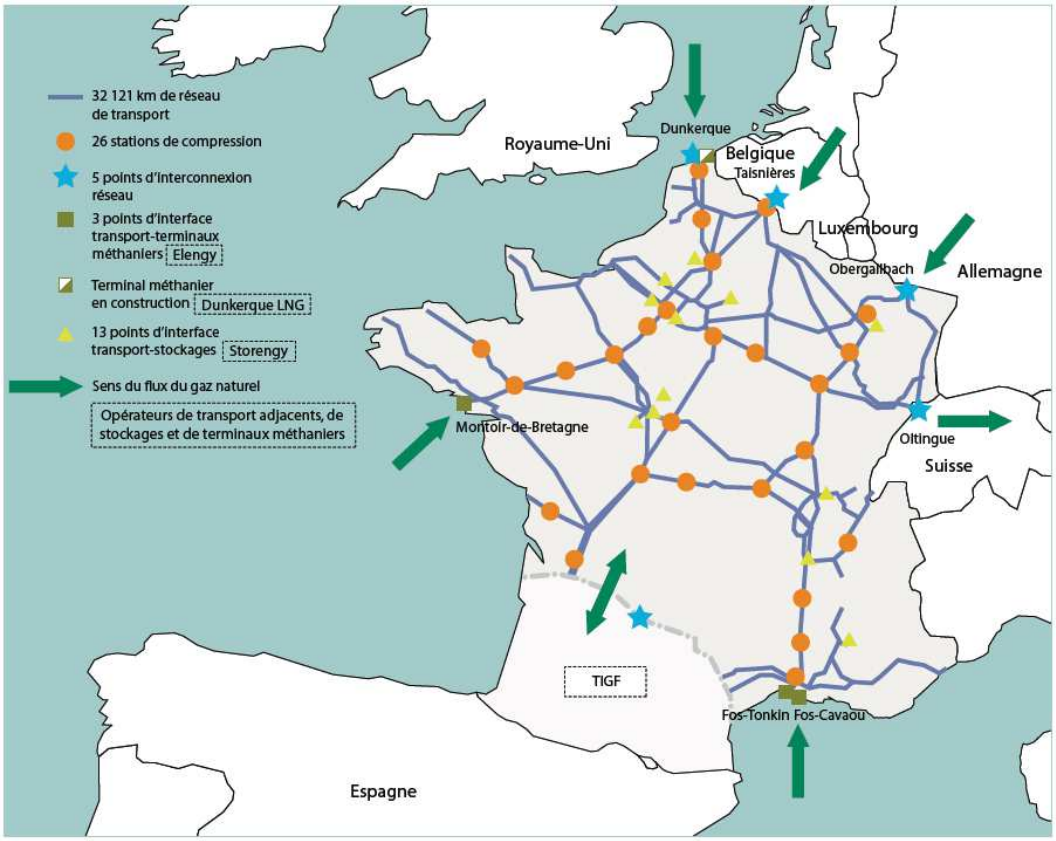


Figure 1-5 : La structure du réseau de GRTgaz et des autres opérateurs (source : GRTgaz[66])

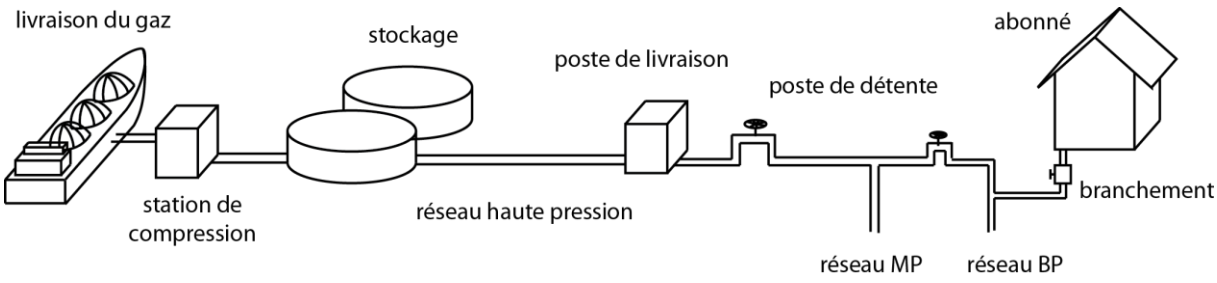


Figure 1-6 : Schématisation du réseau de gaz, de la production à la consommation

Exemple parisien

En Île-de-France, l'exploitation par GRDF est divisée en trois unités dont une pour Paris (Figure 1-7). Le réseau est piloté par un système de gestion centralisé (Figure 1-8). Paris est approvisionné par vingt postes de

[66] http://www.grtgaz.com/fileadmin/plaquettes/fr/supplement-Transition-energetique.pdf

livraison GRTgaz qui devraient tous continuer à fonctionner. Seul le réseau basse pression est vulnérable aux entrées d'eau en cas d'inondation, il faut donc le mettre en sécurité et en particulier déposer les détendeurs qui sont sensibles. Cependant, les robinets clients étant toujours en basse pression, tout client en zone inondable sera coupé du gaz (même s'il est sur le réseau basse pression qui restera en service) et donc également quelques clients en aval de l'inondation sur les portions basse pression fermées (Figure 1-9).

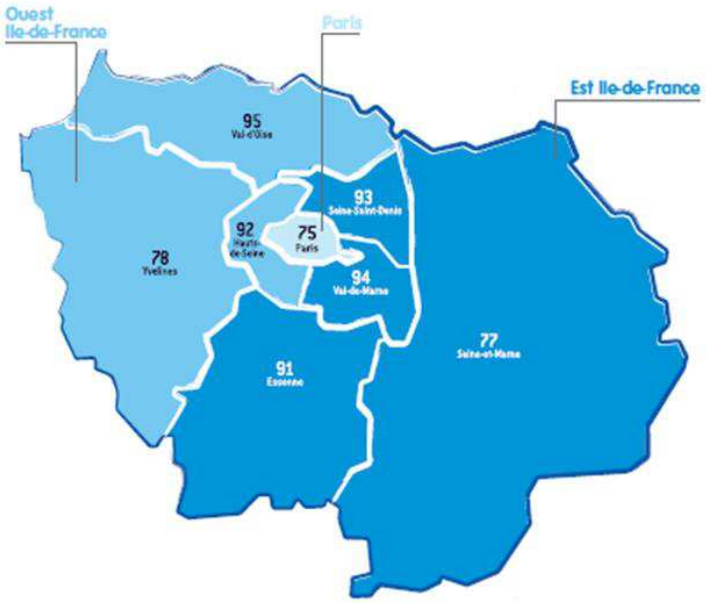


Figure 1-7 : Les trois unités réseau d'Île-de-France (source : GRDF)

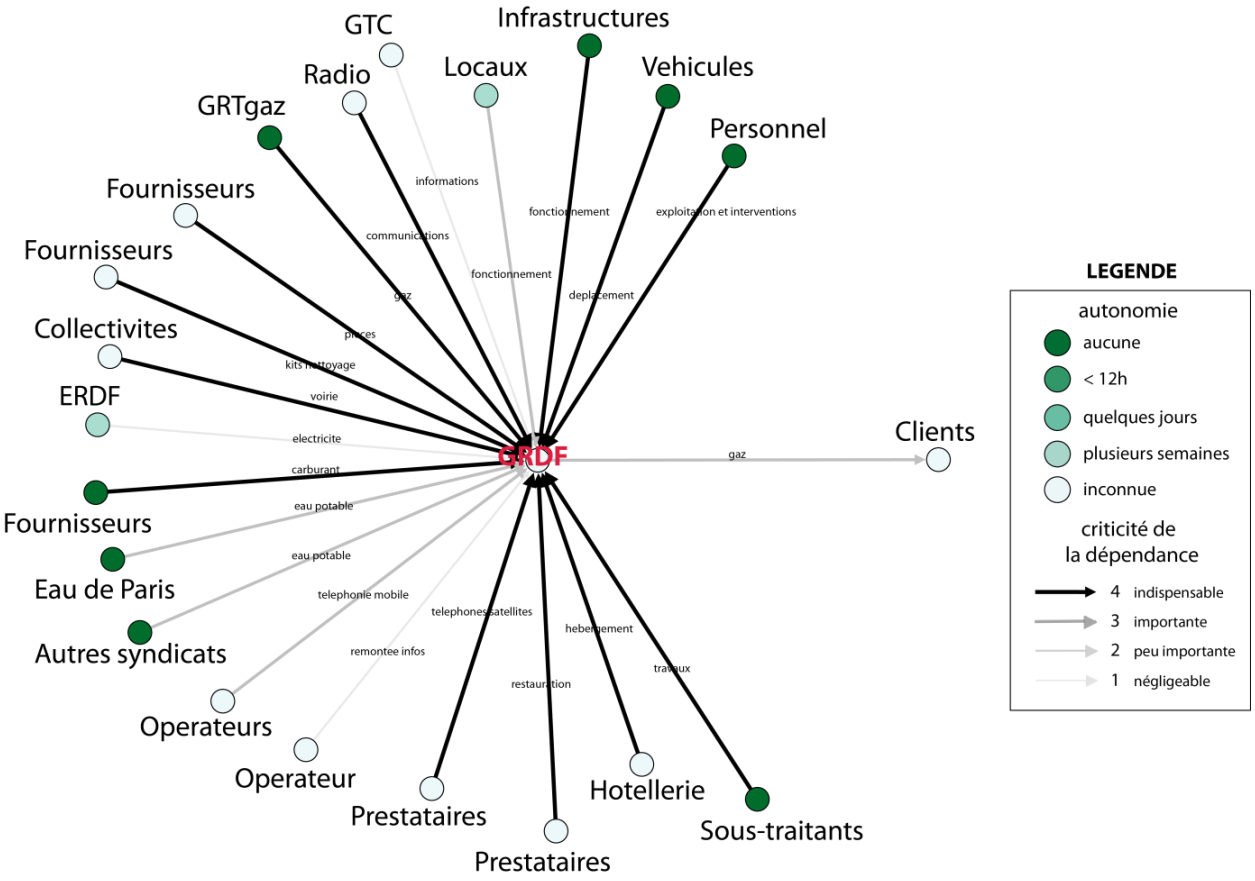


Figure 1-8 : Portrait sectoriel du service GRDF

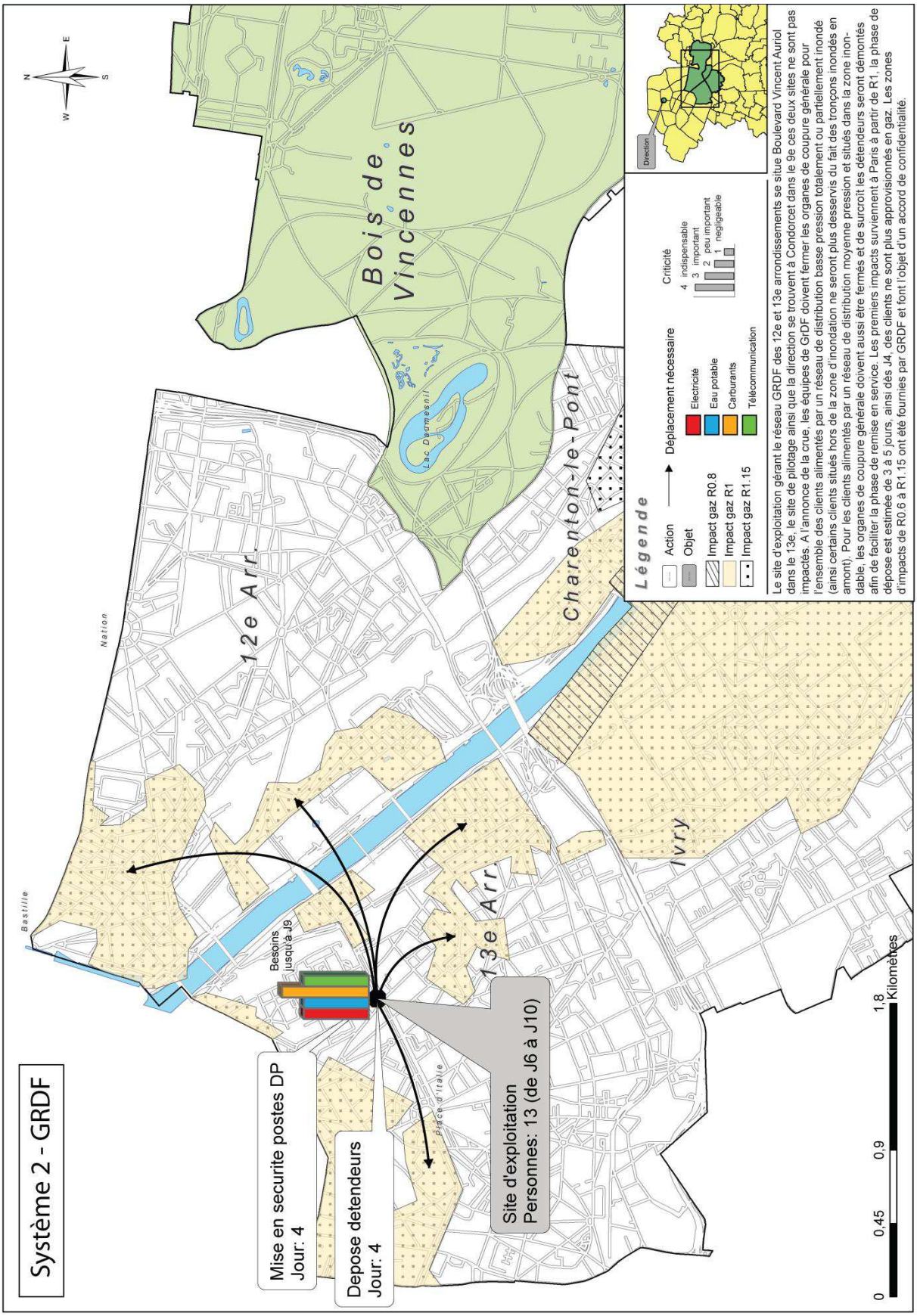


Figure 1-9 : Carte synthétique du fonctionnement de GRDF dans la zone d'étude

1.3. RESEAU DE CHAUFFAGE URBAIN

PRINCIPES GENERAUX

Un réseau de chauffage urbain distribue de la chaleur, généralement via un fluide transporteur comme la vapeur aux bâtiments d'une ville. L'énergie est donc généralement produite localement à partir de combustible (charbon, bois, fuel, gaz), de géothermie ou d'incinération de déchets. Le réseau est ensuite constitué d'une double boucle : la boucle transportant la vapeur aux bâtiments dans lesquels un échange thermique a lieu avec le réseau interne de l'immeuble, puis une boucle retour, d'eau froide par exemple. Les canalisations doivent être isolées pour ne pas perdre d'énergie, elles sont généralement enterrées (Figure 1-10).

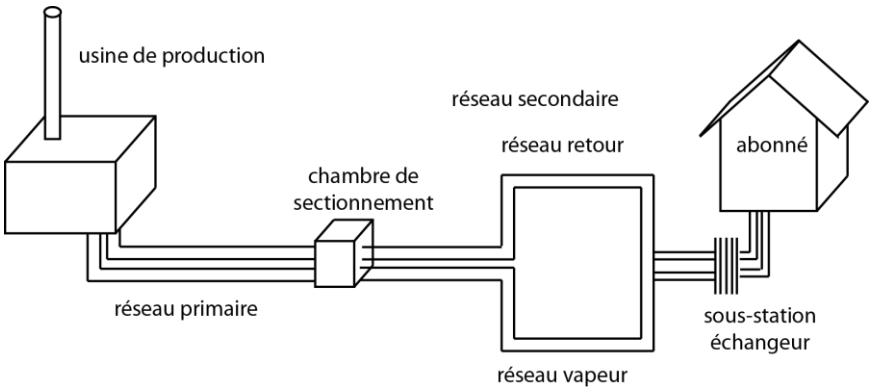


Figure 1-10 : Schématisation du réseau de chauffage urbain, de la production à la consommation et au retour

EXEMPLE PARISIEN

Une grande partie du territoire parisien est alimenté par la CPCU mais ce sont principalement les logements collectifs récents, les bâtiments publics et les bureaux qui sont raccordés. La CPCU utilise de l'eau de Seine dans son réseau. Elle dispose de multiples usines de production réparties sur le territoire (Figure 1-11) mais elles ne peuvent pas « pousser » la vapeur jusqu'en tout point du réseau, elles ont un rayon d'influence limité. Un système de dispatching permet d'optimiser la distribution en fonction des besoins, quasiment en temps réel, il est indispensable pour le fonctionnement du service (Figure 1-12).

Figure 1-11 : Sites de production et réseau CPCU (source : CPCU[67])

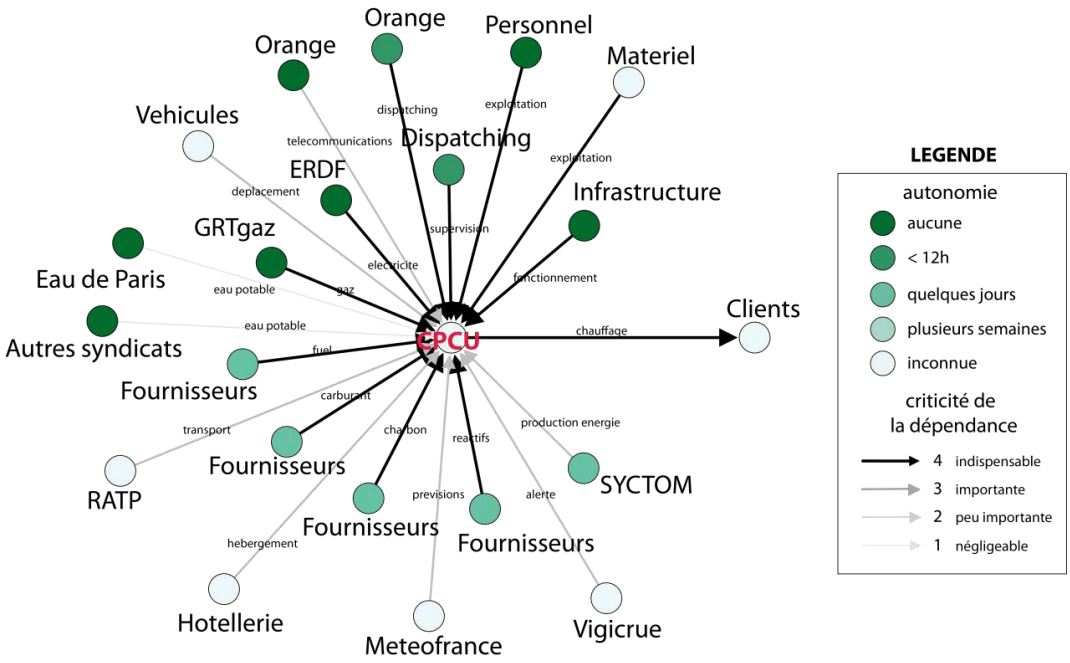


Figure 1-12 : Portrait sectoriel du service CPCU

[67] http://www.cpcu.fr/La-chaleur-urbaine/TRANSPORT-ET-DISTRIBUTION/Le-reseau-CPCU-sur-Google-maps/Le-reseau-CPCU/Google-maps

En cas d'inondation, le réseau en vapeur ne doit pas être ennoyé, pour des raisons de sécurité. Il faut donc pomper l'eau présente dans les caniveaux qui accueillent les canalisations lorsque c'est possible puis arrêter le service et vider la vapeur des canalisations avant qu'elles ne soient ennoyées. Les usines de production peuvent également être impactées, soient par submersion directe des équipements, soit par manque de combustible, la production assurée par les trois usines du SYCTOM notamment serait interrompue. La remise en vapeur des tronçons submergés est très longue car il faut d'abord sécher l'isolant puis remettre le tronçon en vapeur ce qui prend déjà une journée en temps normal.

1.4. Reseau de froid

Principes generaux

Un réseau de froid fonctionne selon le même principe qu'un réseau de chaud (Figure 1-13). L'échange avec le fluide froid se fait chez le client et sert généralement à la climatisation des locaux, au refroidissement des serveurs informatiques ou au maintien de l'hygrométrie. Ce sont donc principalement les immeubles de bureaux, les musées et certains centres de santé qui sont raccordés.

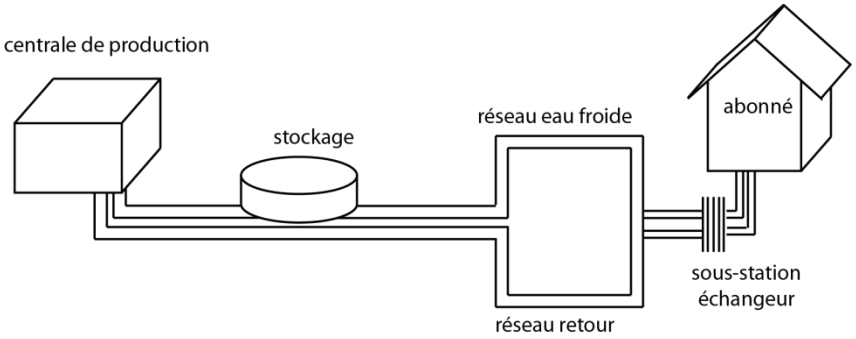


Figure 1-13 : Schématisation du réseau de froid urbain, de la production à la consommation et au retour

Exemple parisien

Climespace dessert deux portions distinctes du territoire parisien en froid (Figure 1-14). Le réseau maillé, comme celui de la CPCU, permet de distribuer le froid à partir de centrale utilisant l'eau de la Seine pour refroidir l'eau potable utilisée dans leur réseau, qui revient ensuite plus chaude. Le réseau Bercy est indépendant du réseau centre, chaque réseau est piloté à distance (Figure 1-15).

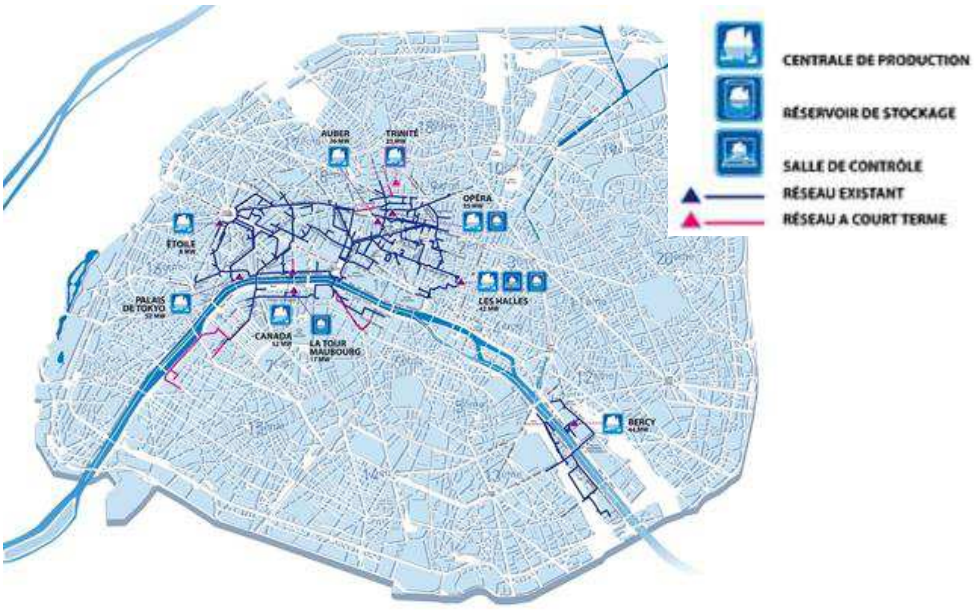


Figure 1-14 : Sites de production et réseaux Climespace (source : Climespace[68])

Le réseau Climespace est étanche et ne pose pas autant de difficultés que le réseau de vapeur s'il est ennoyé. La difficulté peut se poser au niveau des sites de production ou bien au niveau du branchement client s'il n'est pas étanche (Figure 1-16).

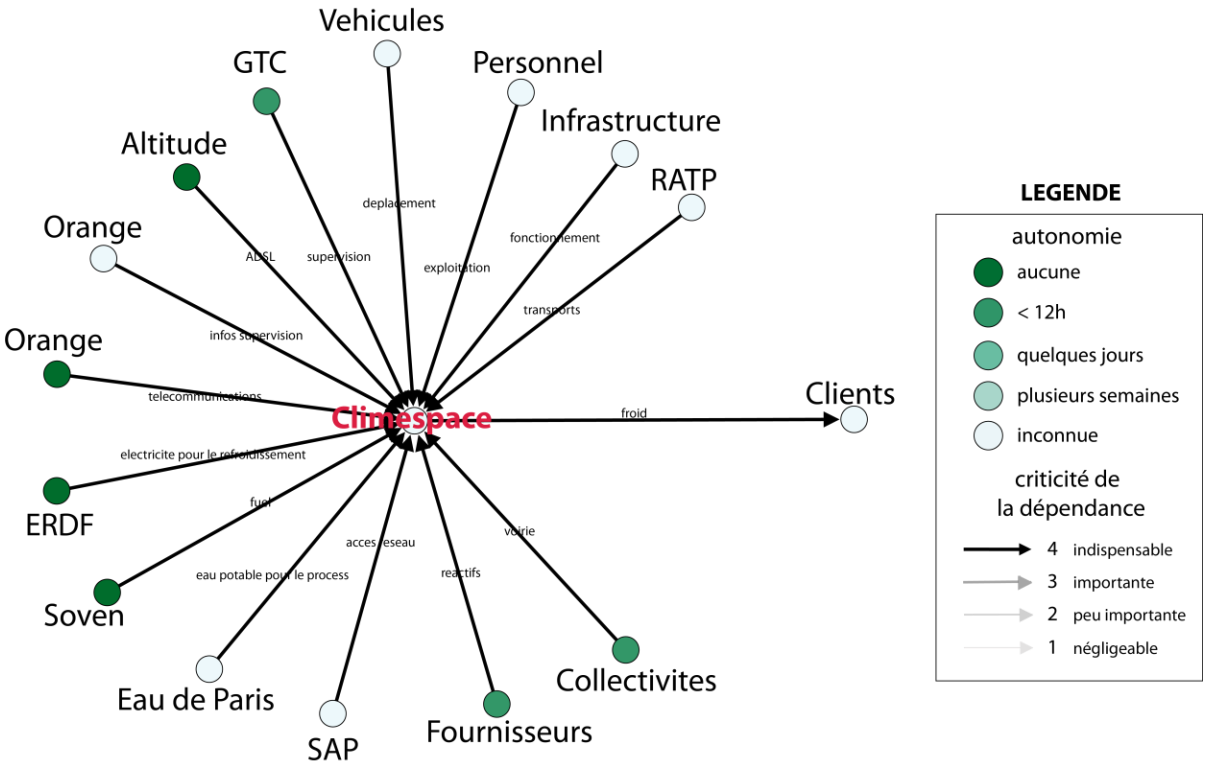


Figure 1-15 : Portrait sectoriel du service Climespace

[68] http://www.climespace.fr/Le-froid-urbain/Comment-ca-marche/La-distribution/Le-reseau-Climespace

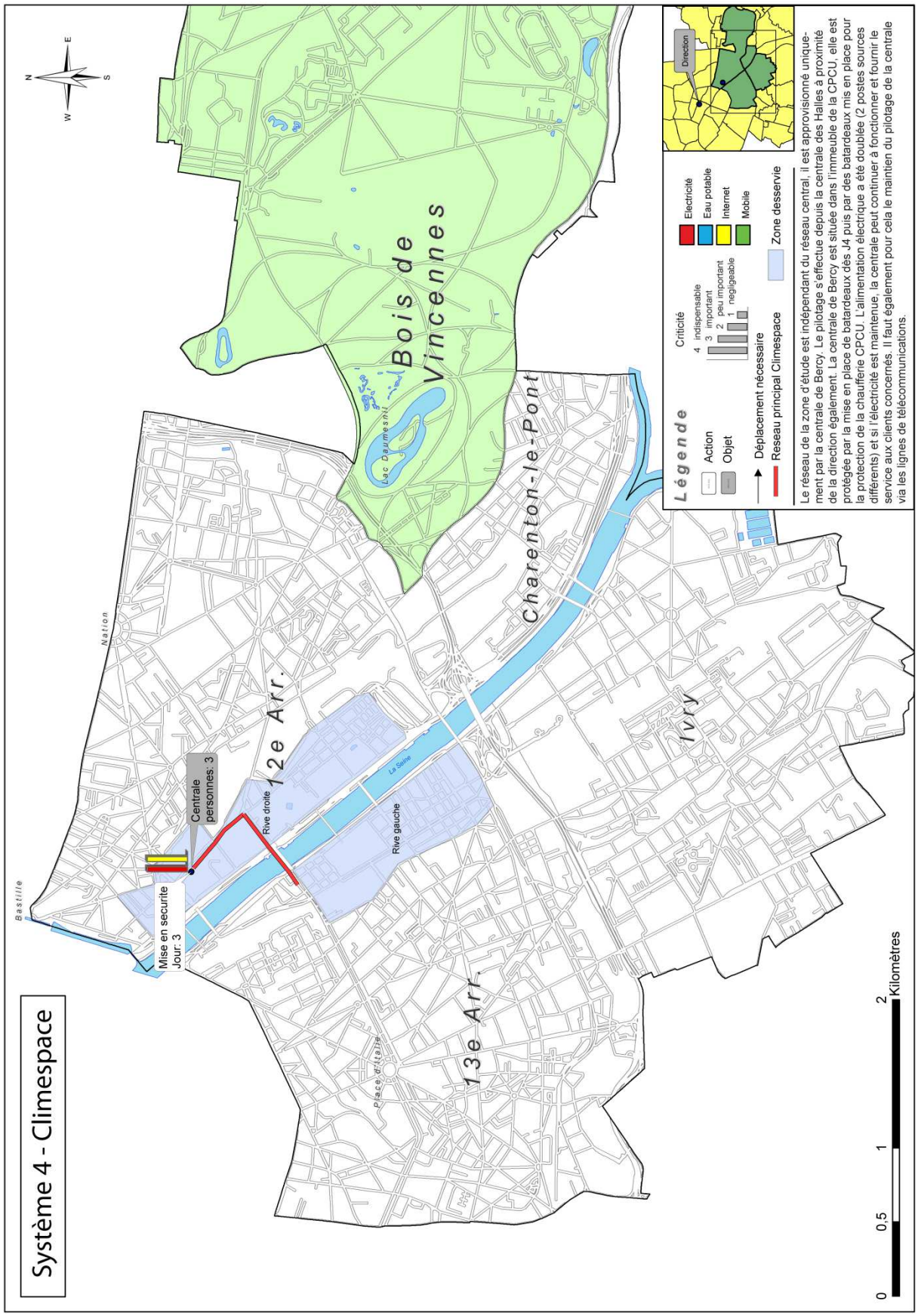


Figure 1-16 : Carte synthétique du fonctionnement de Climespace dans la zone d'étude

1.5. Reseau de distribution en hydrocarbures

Les hydrocarbures sont importés et acheminés par pipelines depuis les grands ports français. La société des transports pétroliers par pipeline (TRAPIL) exploite par exemple trois réseaux de pipelines multiproduits. Ils sont ensuite acheminés par camions jusqu'aux sites de consommation, stations-services notamment. À Paris, la majorité des hydrocarbures provient du Havre (Figure 1-17) puis il est distribué par un réseau très dense de stations-services.

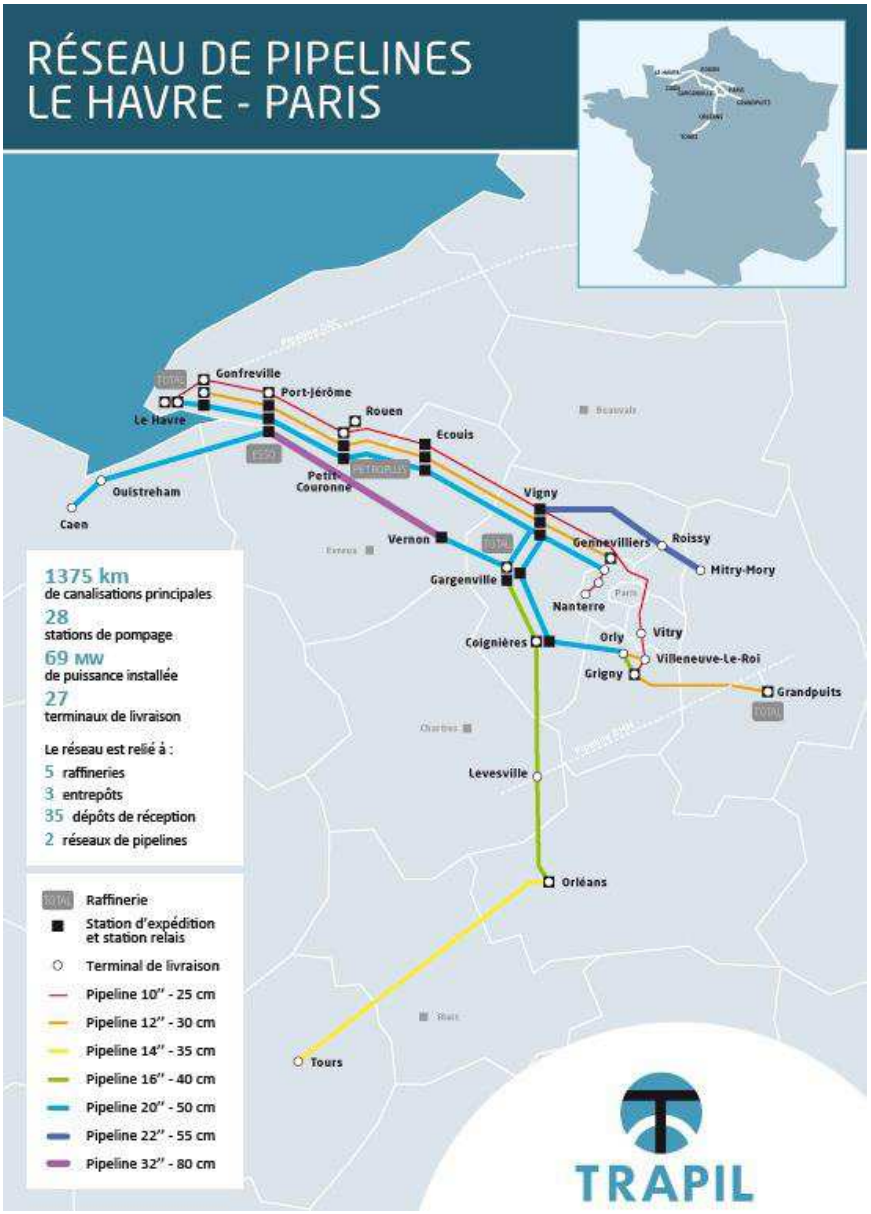


Figure 1-17 : Réseaux et dépôts du réseau TRAPIL (source : TRAPIL[69])

[69] http://www.trapil.fr/fr/pipelines_res_lhp.asp

2. SERVICES D'EAU ET DE DECHETS

Les services liés à l'eau se composent des réseaux d'adduction d'eau potable et des réseaux d'assainissement qui peuvent être décomposés en deux réseaux : eaux usées et eaux pluviales en cas de système séparatif. Le service de collecte et de traitement des déchets est également inclus ici.

2.1. RESEAU D'EAU POTABLE

PRINCIPES GENERAUX

La fourniture d'eau potable s'effectue en traitant une source qui peut être de surface (cours d'eau, lac) ou souterraine (nappes). Le traitement peut se faire suivant diverses techniques, mais il requiert généralement du chlore, qui peut également être ajouté au fil du réseau pour maintenir la qualité de l'eau. L'eau potable est souvent stockée dans des réservoirs ou des châteaux d'eau afin d'assurer au minimum trois jours d'autonomie au territoire desservi. L'eau potable est ensuite acheminé jusqu'aux bâtiments, parfois à l'aide de pompes afin de maintenir une pression minimale (Figure 1-18). Cette pression est calculée pour assurer la défense incendie. Les réseaux sont généralement locaux mais il est parfois possible d'interconnecter plusieurs réseaux. Les gestionnaires sont souvent privés (principalement Véolia ou Suez) mais certains réseaux sont exploités en régie par la commune. Ce service est facturé à l'abonné en fonction des volumes consommés, il sert également à financer le traitement des eaux usées qui découlent de la consommation d'eau potable.

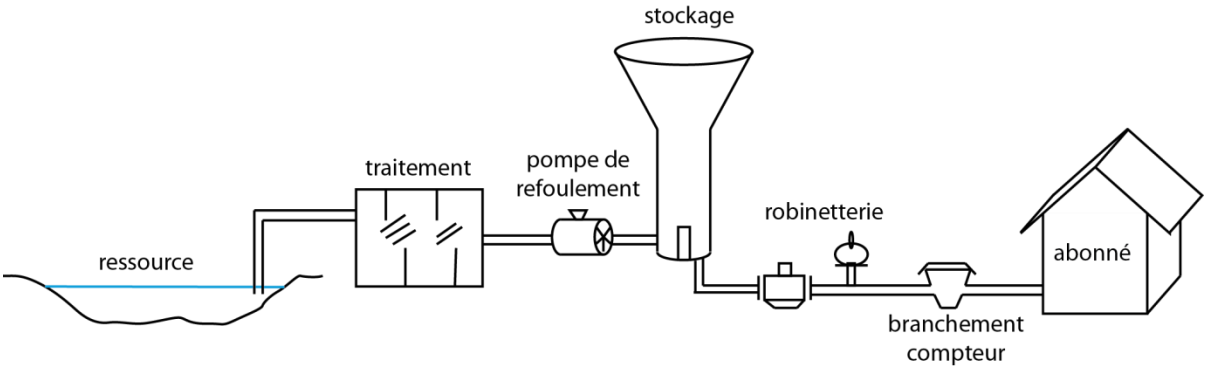


Figure 1-18 : Schématisation du réseau d'eau potable, du traitement au consommateur

EXEMPLE PARISIEN

La particularité de Paris est de posséder deux réseaux en parallèle, l'un d'eau potable, l'autre d'eau traitée mais non potable pour la défense incendie et le nettoiement des rues notamment. Ces deux services sont gérés en régie par Eau de Paris depuis que l'eau a été remunicipalisée. Auparavant, deux gestionnaires exploitaient chacun une rive, qui ont donc été reconnectées. Le réseau parisien s'approvisionne à plusieurs sources à l'extérieur de Paris (Figure 1-19) et il existe plusieurs interconnexions avec les réseaux des communes limitrophes, gérés par le SEDIF. Le réseau d'eau de Paris est surveillé par un système de GTC mais l'exploitant teste régulièrement sa capacité à maintenir le fonctionnement sans cet outil (Figure 1-20).

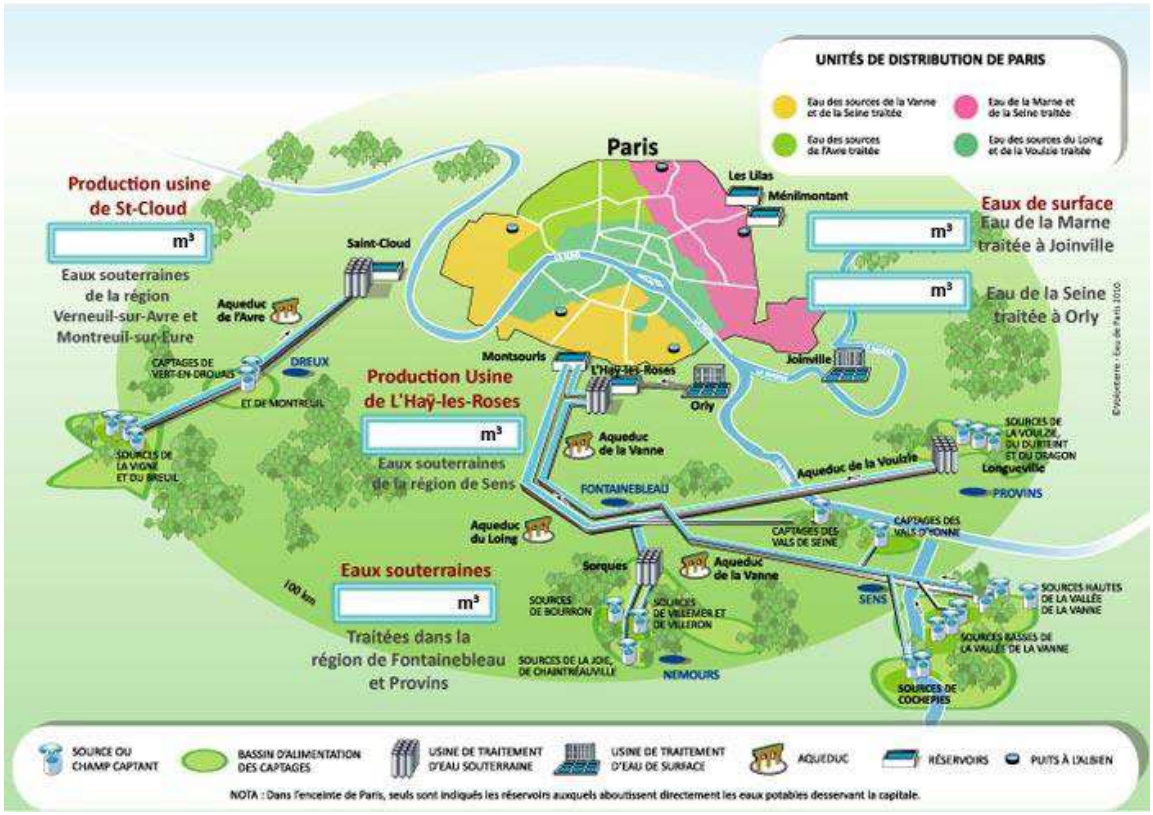


Figure 1-19 : Les différentes sources de l'eau parisienne et la structure du réseau d'Eau de Paris (source : Eau de Paris[70])

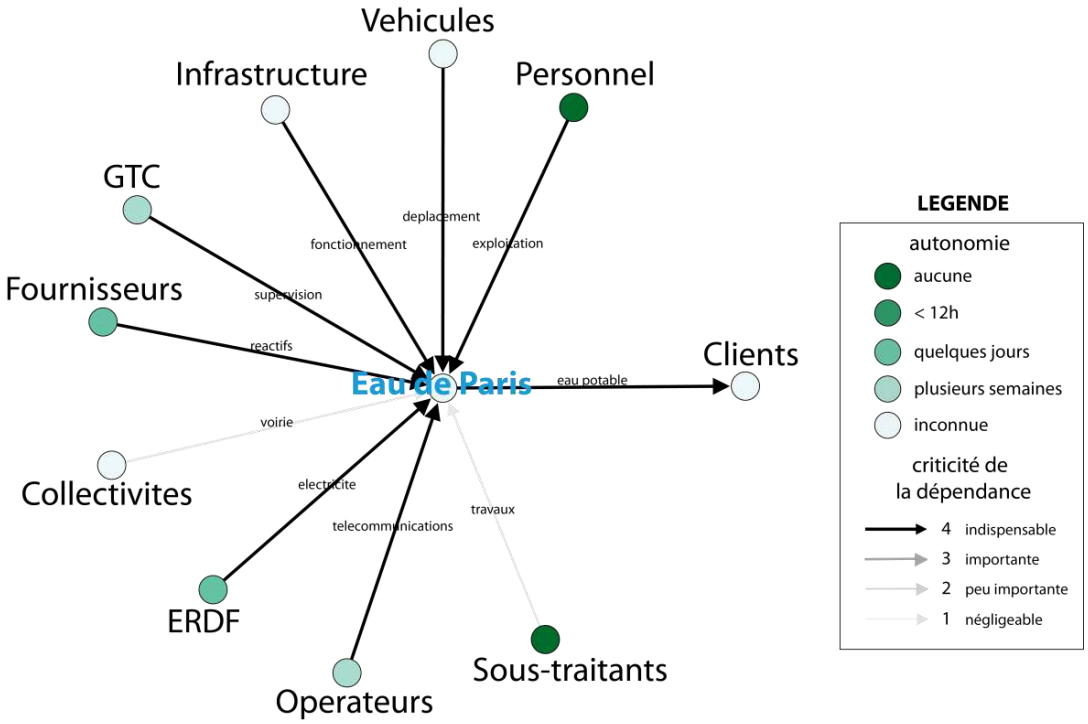


Figure 1-20 : Portrait sectoriel du service Eau de Paris

La fourniture d'eau potable ne devrait pas être trop impactée par l'inondation puisque les canalisations sont en pression, ce qui empêche la contamination de l'eau. Les usines de production ont été sécurisées ainsi que le

[70] http://www.eaudeparis.fr/page/provenance-de-l-eau?page_id=151

site de pilotage. La préparation à la crue nécessite uniquement la fermeture de certaines vannes au niveau des traversées, de Seine, interrompant la connexion entre les deux rives qui peuvent fonctionner isolément. Les seules difficultés concernent les immeubles de grande hauteur qui nécessitent un surpresseur pour amener l'eau dans les étages. En cas d'interruption de l'électricité, ces immeubles ne seraient donc plus desservis mais des mesures d'approvisionnement par citerne, bouteilles ou robinets en voirie ont été prévues (Figure 1-21).

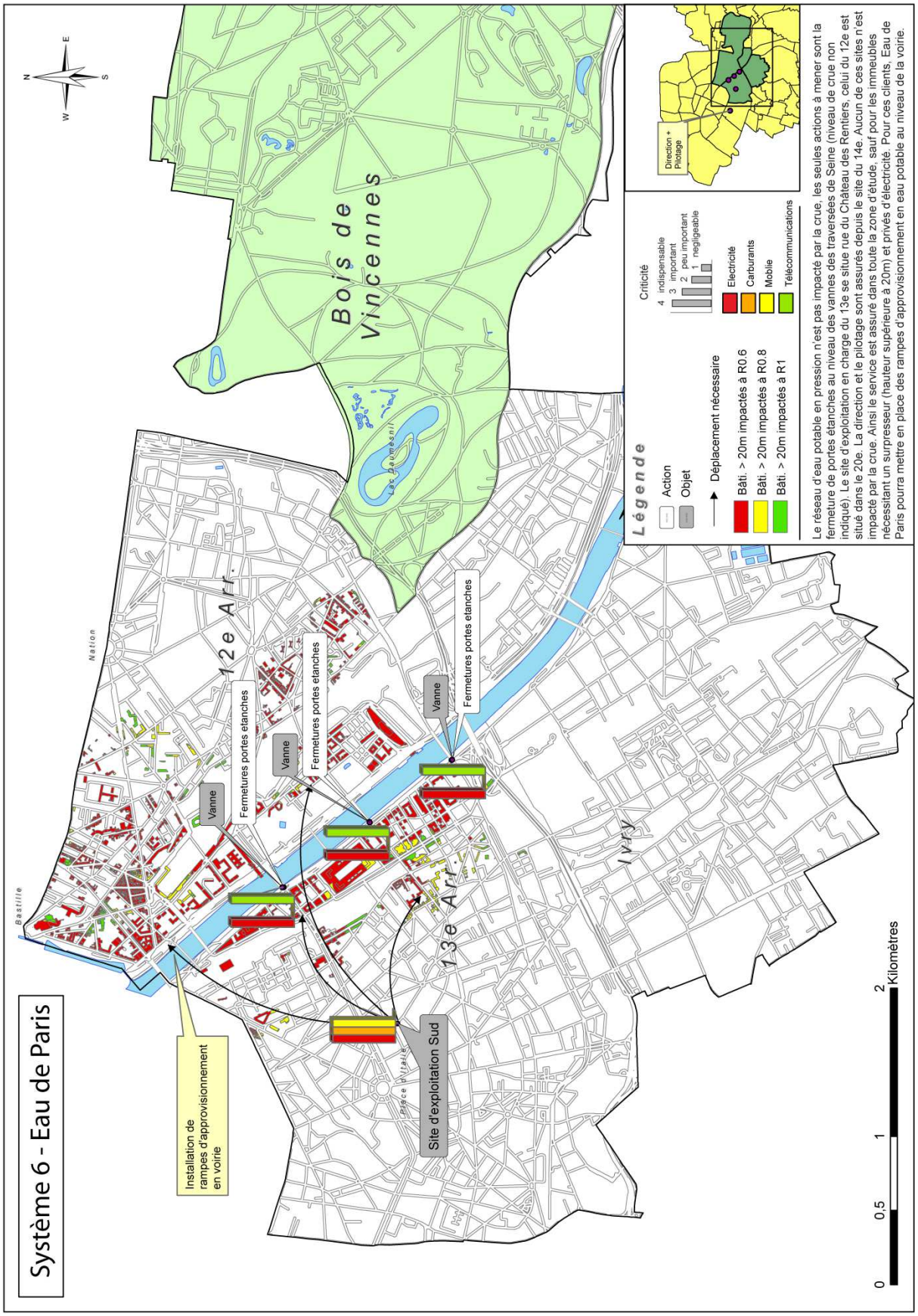


Figure 1-21 : Carte synthétique du fonctionnement d'Eau de Paris dans la zone d'étude

2.2. Reseau d'assainissement

Principes generaux

On inclue dans les réseaux d'assainissement la collecte des eaux usées (issues des bâtiments) et des eaux pluviales (issues des toitures et de la voirie). Ce réseau peut donc être unitaire (les deux types d'eaux sont collectés et traitées ensemble) ou séparatif (deux réseaux en parallèle collectent les eaux, ce qui permet de rejeter à moindre traitement les eaux pluviales, moins polluées). Le réseau d'assainissement est donc inversé en terme de sens du flux : de l'habitant vers l'usine de traitement puis le milieu (Figure 1-22). Il fonctionne généralement en gravitaire mais peut nécessiter parfois des pompes de refoulement, des ouvrages de stockage ou des déversoirs (pour le pluvial). Pour les eaux pluviales, le dimensionnement est calculé sur une pluie de référence (décennale, cinquantennale, voire centennale) afin d'assurer l'évacuation des volumes d'eau. L'assainissement peut être effectué par traitement bactérien ou par traitement physico-chimique, puis l'élimination des boues produites peut être réalisée par séchage, incinération, digestion, etc. Elles sont ensuite généralement valorisées en agriculture (épandage), en travaux (mâchefers de chaussée) ou en production d'énergie. Ce service est assuré par les mêmes grandes entreprises que l'eau potable. Il est d'ailleurs financé par le prix de l'eau potable et ne dépend pas des volumes rejetés, à part pour les entreprises dont la pollution produite est mesurée et assied la redevance.

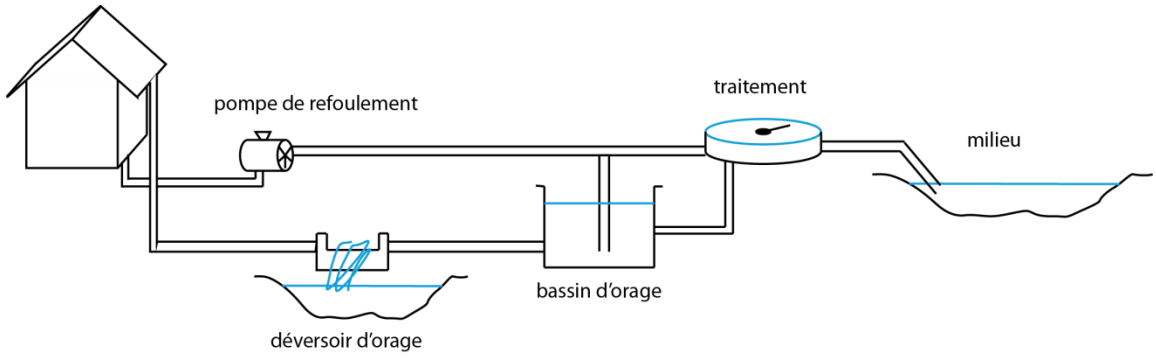


Figure 1-22 : Schématisation d'un réseau d'assainissement séparatif, du producteur au traitement

Exemple parisien

À Paris, le réseau est majoritairement unitaire (sauf dans les nouveaux quartiers : Paris Rive-Gauche par exemple) et a la particularité de comporter un important linéaire d'égouts visitables, conçus par Belgrand au début du XX^{e} siècle. Ce réseau est géré par un service de la ville : la SAP, divisée en trois circonscriptions. Le réseau est piloté par le système de gestion centralisé GASPAR (Figure 1-23). La pente générale de Paris vers le Nord-Ouest permet un fonctionnement gravitaire, à part au passage de la Seine qui nécessite des siphons et aux points bas au niveau de la Seine dans le 13^{e} notamment où plusieurs stations de pompage permettent de refouler les eaux usées vers le réseau général.

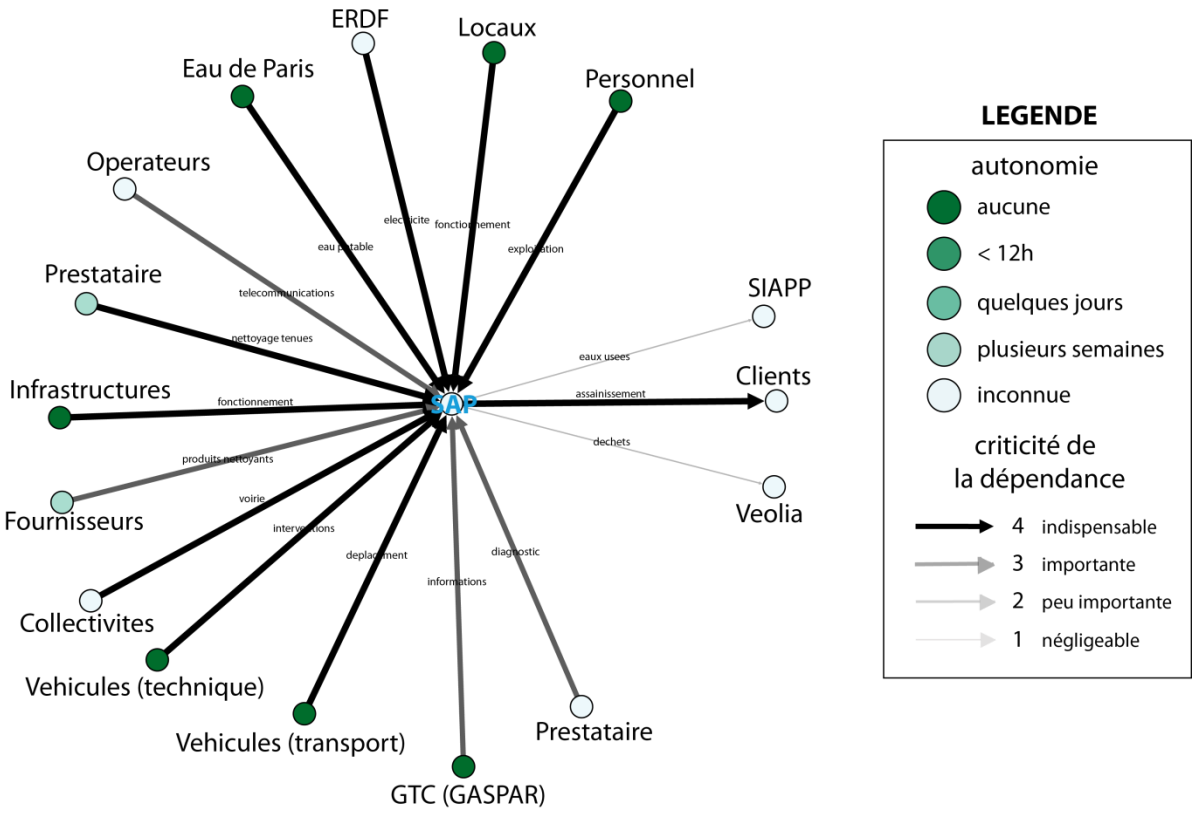


Figure 1-23 : Portrait sectoriel du service SAP

Le réseau est ensuite connecté au réseau du SIAAP qui transporte les eaux usées et les traite, pour une bonne part de l'agglomération (Figure 1-24). Le SIAAP dispose de six usines. Si le réseau était autrefois à 99 % gravitaire, l'interconnexion forte aujourd'hui a modifié les flux et nécessite régulation, vannes et équipements de pompage. Le réseau est piloté depuis le siège parisien par le système Saphyrs et de nombreuses connexions différentes raccordent les différents sites (Figure 1-25).

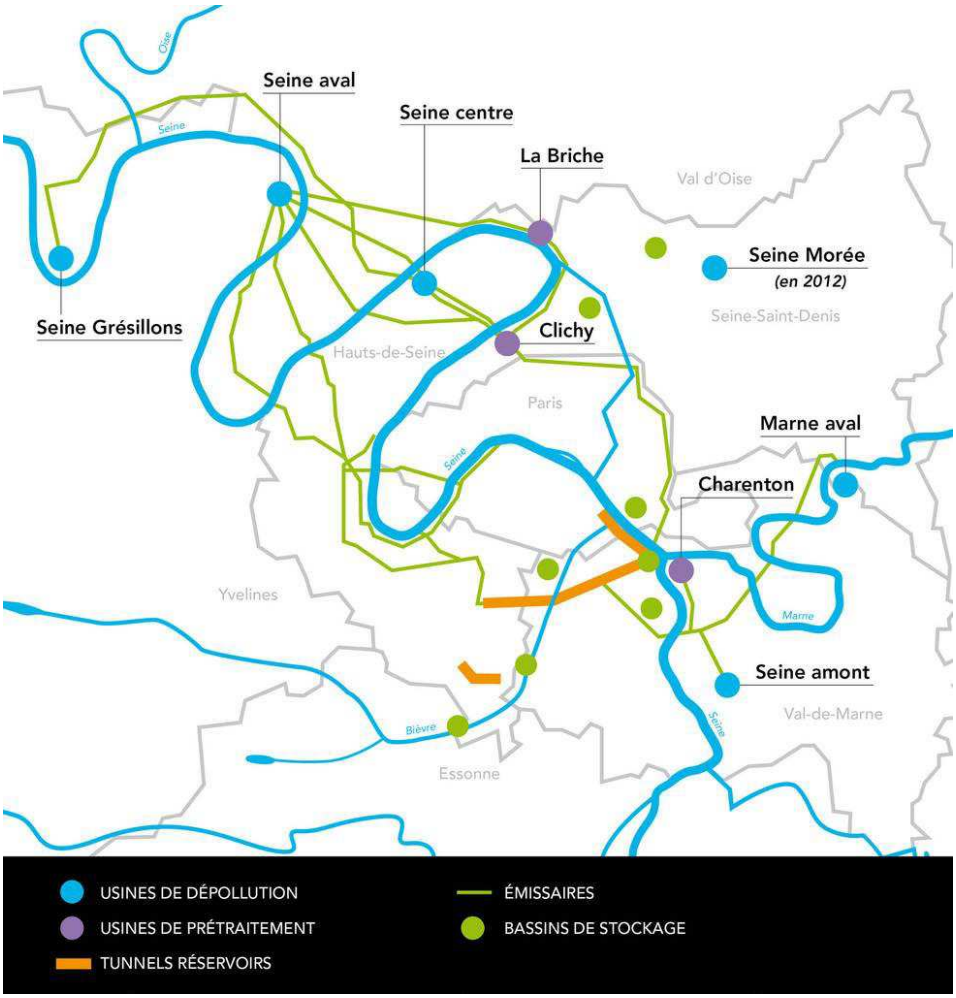


Figure 1-24 : Les émissaires et les stations de traitement du SIAAP (source : SIAAP[71])

[71] http://www.siaap.fr/le-siaap/missions-du-siaap/carte-du-reseau/

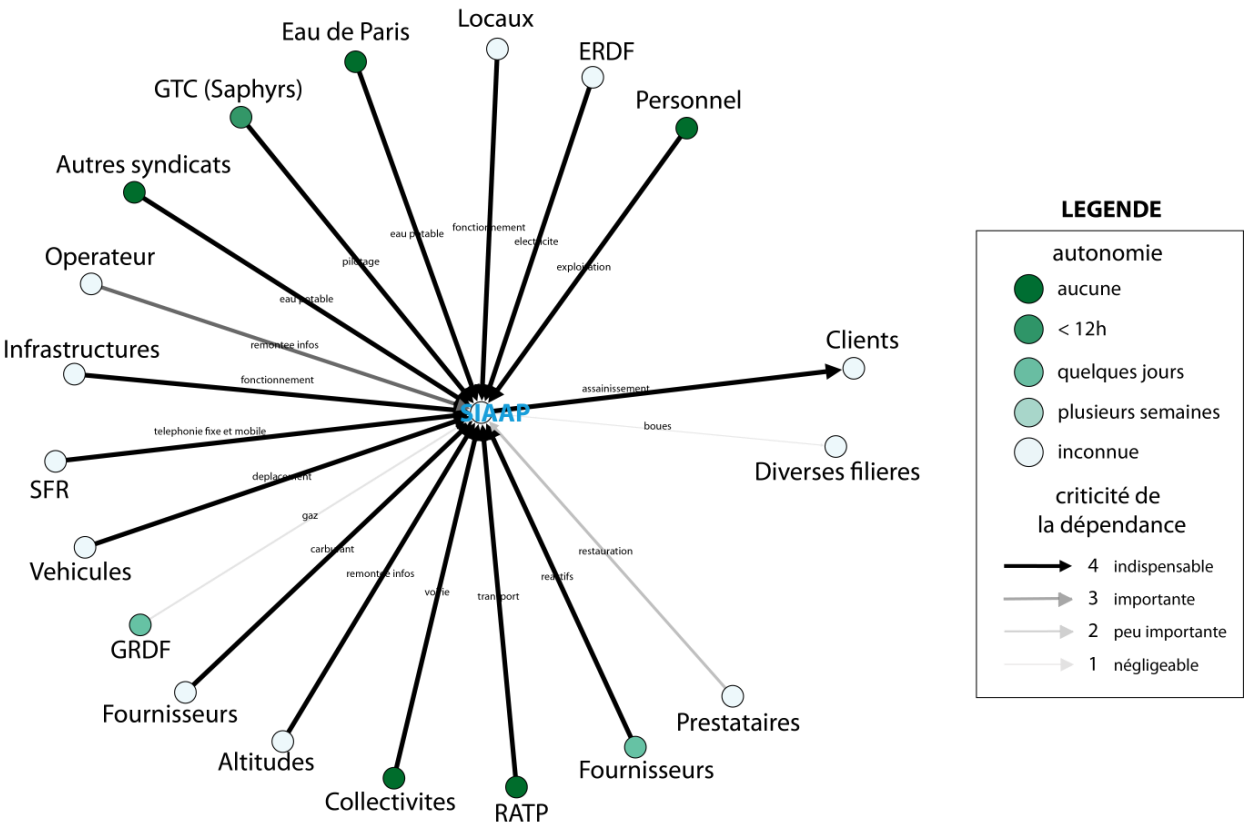


Figure 1-25 : Portrait sectoriel du service SIAAP

Les égouts visitables de Paris disposent d'une forte capacité d'évacuation mais ils seront probablement mis en charge à leur maximum, voire submergés dans les zones d'inondation en voirie. De nombreux travaux de renforcement ont été réalisés notamment au niveau des usines de refoulement. Si le niveau en entrée d'usine est trop important, elles seront arrêtées pour ne pas endommager les équipements et les eaux usées seront stockées dans les canalisations, entrainant éventuellement des débordements en voirie ou chez les particuliers (Figure 1-26).

Les ouvrages du SIAAP ont également un niveau de Seine à partir duquel ils ne peuvent plus fonctionner et doivent être mis en sécurité. Il n'est alors plus possible de piloter les ouvrages qui se rempliront. Des rejets en Seine sont à prévoir au niveau des usines de traitement qui ne pourront plus accueillir les volumes, notamment si la crue s'accompagne de fortes pluies (Figure 1-27). Le redémarrage sera alors long, notamment si les infrastructures sont endommagées ou si les processus (bactérien ou d'incinération) sont arrêtés.

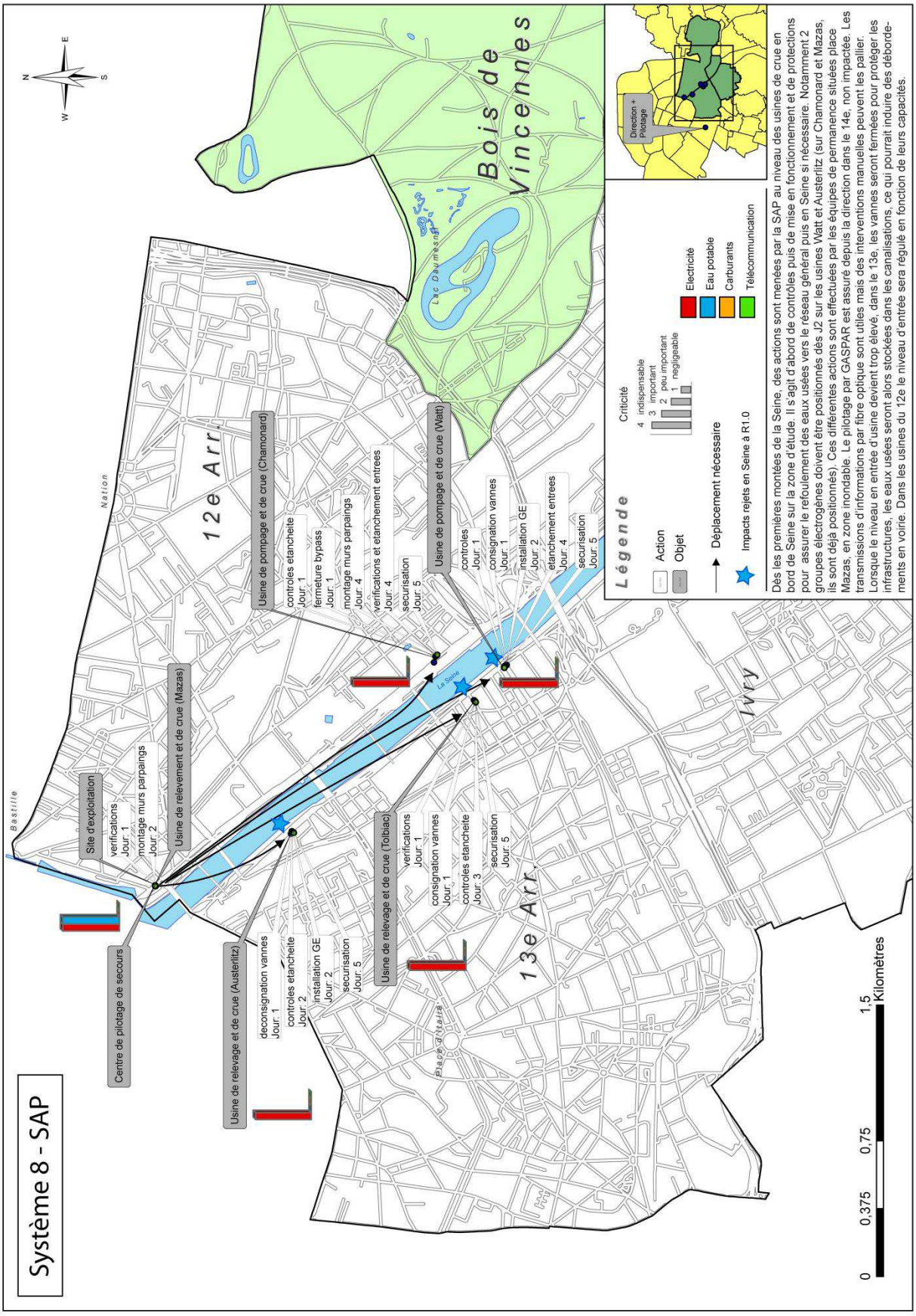


Figure 1-26 : Carte synthétique du fonctionnement de la SAP dans la zone d'étude

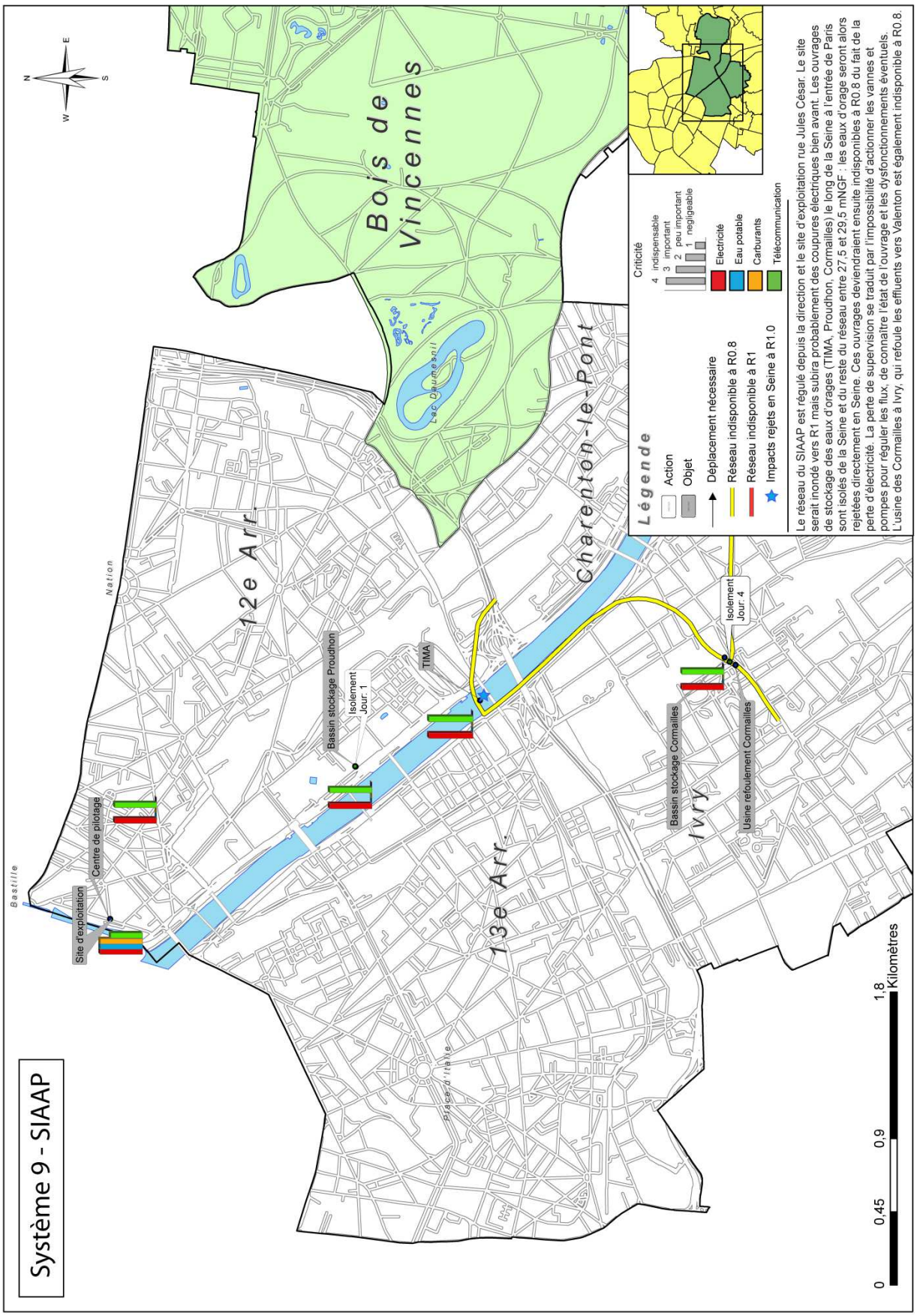


Figure 1-27 : Carte synthétique du fonctionnement du SIAAP dans la zone d'étude

2.3. Reseau de collecte et traitement des dechets

Principes generaux

Bien que les systèmes de collecte pneumatique, se rapprochant davantage d'un système en réseau (avec une infrastructure souterraine portant un flux), la plupart des systèmes de collecte de déchets reposent sur des camions bennes. Les ordures sont ainsi collectées au porte-à-porte ou à des points de collecte (apport volontaire) et sont ensuite acheminées vers des centres de tri ou de stockage puis transférées vers des usines de traitement, ou déchargées directement dans les centres de traitement (Figure 1-28). Comme pour les eaux usées, le sens du flux est donc inversé, on utilise d'ailleurs le même vocable de « bassin versant » et « exutoire ». Selon les régions, de nombreuses filières peuvent exister, des collectes et des tris différents s'effectuer. Le traitement peut se faire par recyclage, incinération, enfouissement.

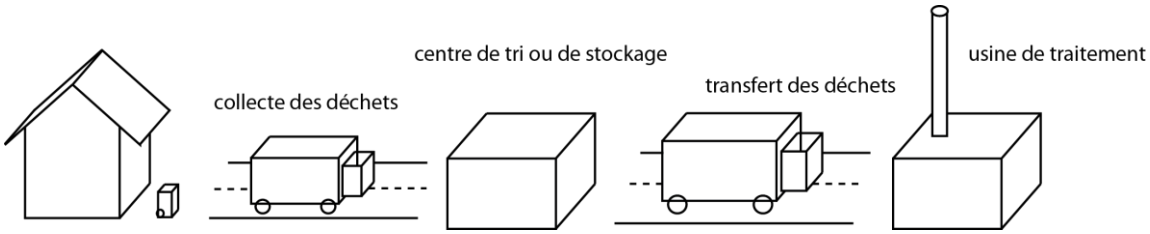


Figure 1-28 : Schématisation de déchets, du producteur au traitement

Exemple parisien

À Paris, les ordures ménagères sont collectées soit par les services de la ville en régie, soit par des prestataires privés, suivant les arrondissements. Les agents de la ville affectés à la collecte sont accueillis dans les ateliers de propreté (Figure 1-29), les véhicules sont fournis par la section des moyens mécaniques (SMM), dont l'un des garages se situe à côté de l'usine SYCTOM Ivry-Paris XIII. La majorité des ordures parisiennes sont traitées dans les trois usines d'incinération les plus proches de Paris : Saint-Ouen, IP13 et Isséane (Figure 1-30). Ces trois usines produisent de l'énergie pour le réseau de chaleur urbain (Figure 1-31).

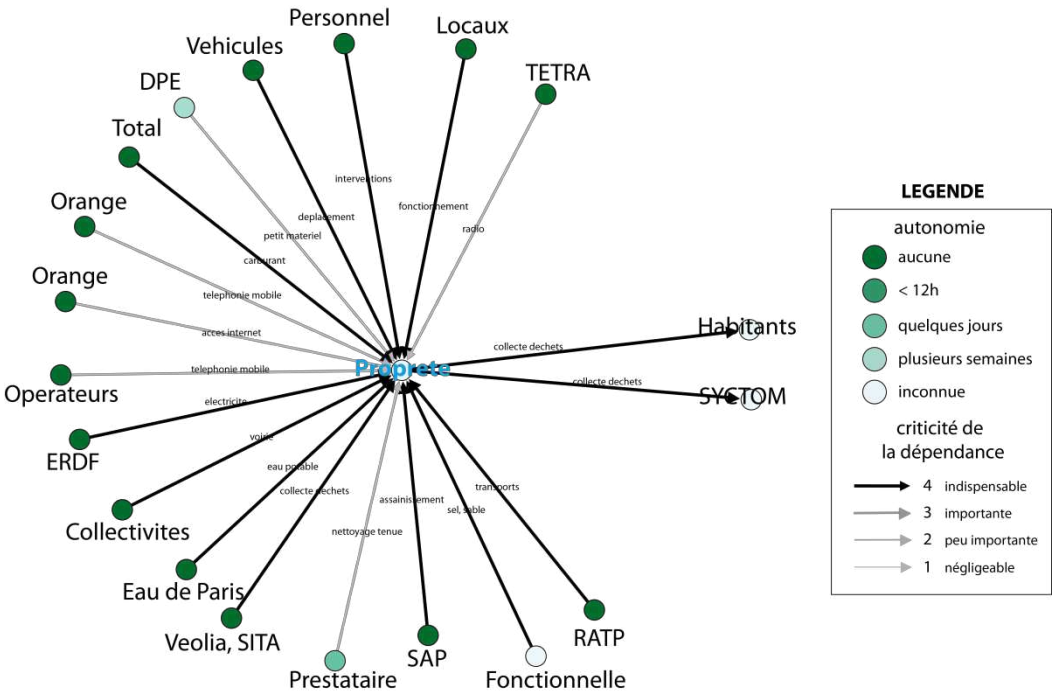
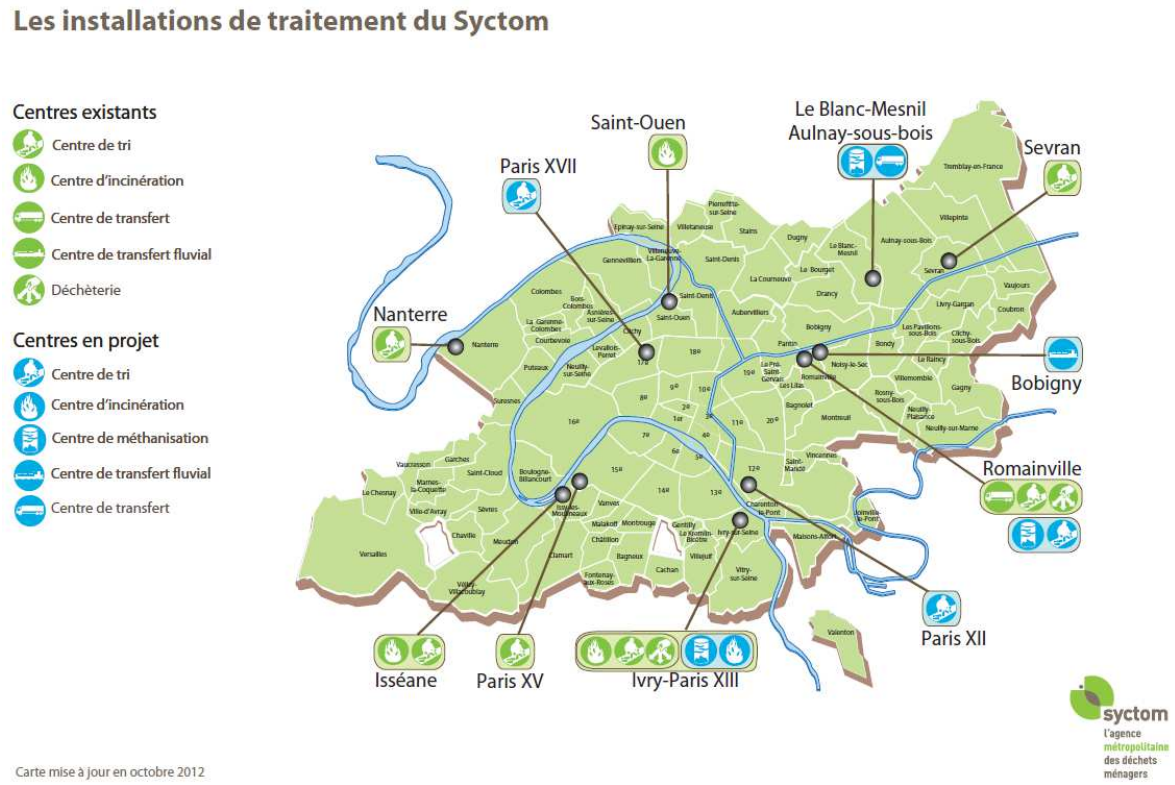


Figure 1-29 : Portrais sectoriel du service de la propreté du 13e



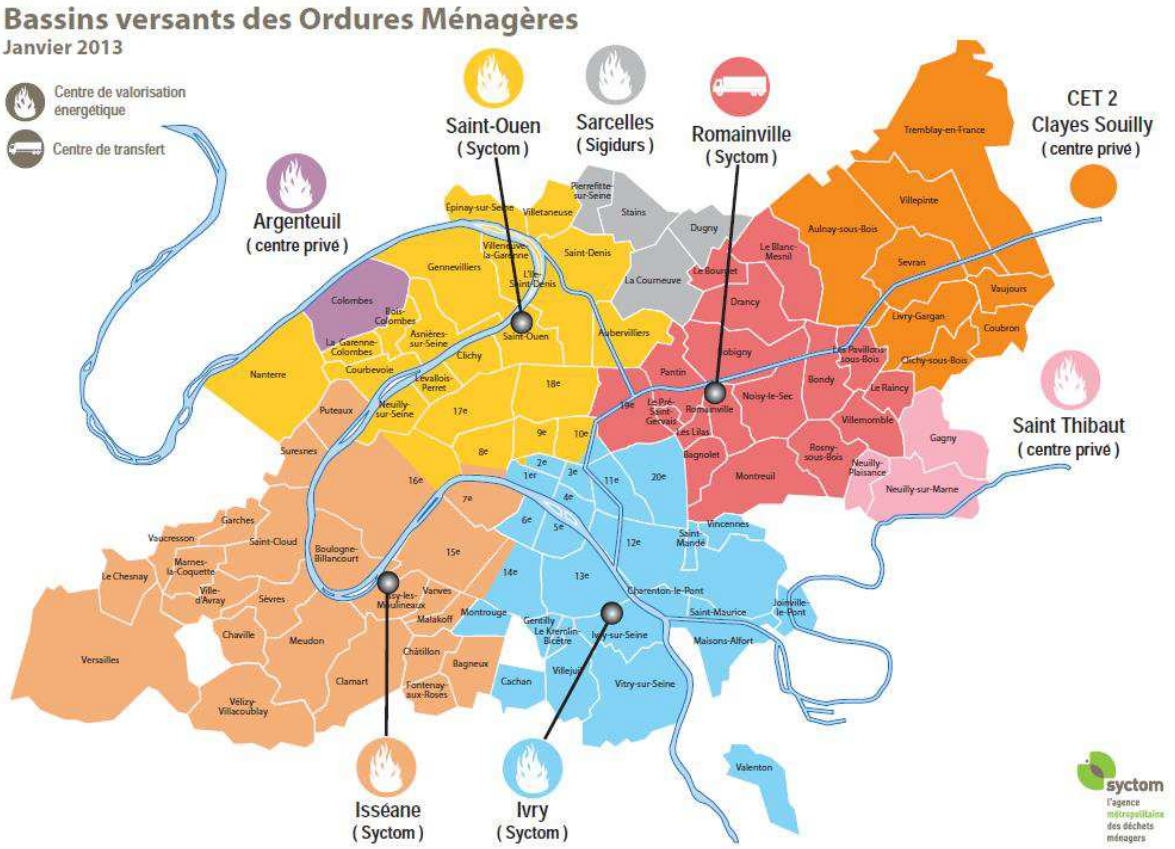


Figure 1-30 : Les centres de traitement du SYCTOM (source : SYCTOM[72])

[72] http://www.syctom-paris.fr/edi/comm/comm/index.htm

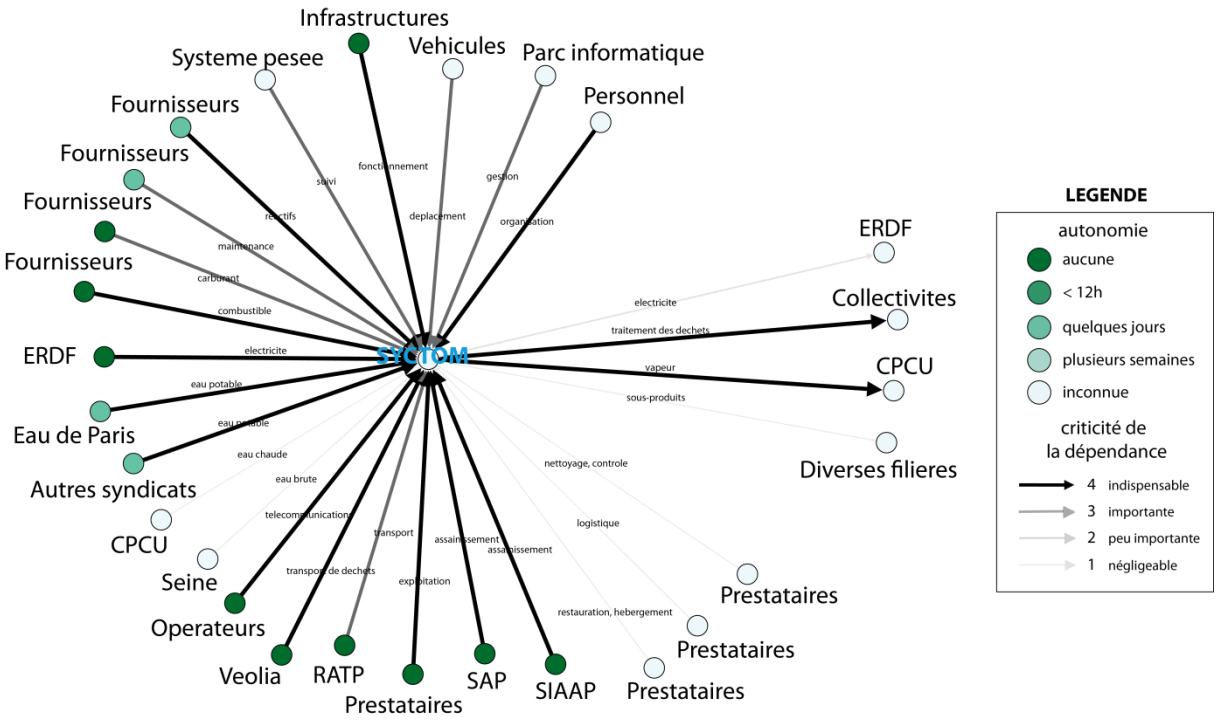


Figure 1-31 : Portrait sectoriel du service SYCTOM

En cas d'inondation, les services de la propreté se redéploient sur les sites non impactés. La difficulté réside dans les déplacements (voies et ponts fermés) et notamment des bennes à ordure. La SMM prévoit de se délocaliser à l'hippodrome de Vincennes où ils disposeraient de locaux pour le personnel et de places pour les camions (Figure 1-32). Le service doit être maintenu quoiqu'il arrive, quitte à adapter les missions des agents aux lieux d'appel et aux zones d'intervention.

L'administration du SYCTOM n'est pas touchée directement mais la gestion des flux de déchets sera délicate car les trois usines principales seront arrêtées avant l'inondation. Les équipements sensibles doivent être protégés et les déchets stockés provisoirement avant la reprise du traitement (Figure 1-33). Les autorités sont toujours à la recherche de sites capables d'accueillir les ordures parisiennes en cas d'inondation. Le redémarrage des usines d'incinération pourra être long et la problématique sera d'autant plus critique qu'à la décrue, de nombreux déchets seront à évacuer (biens endommagés dans les caves).

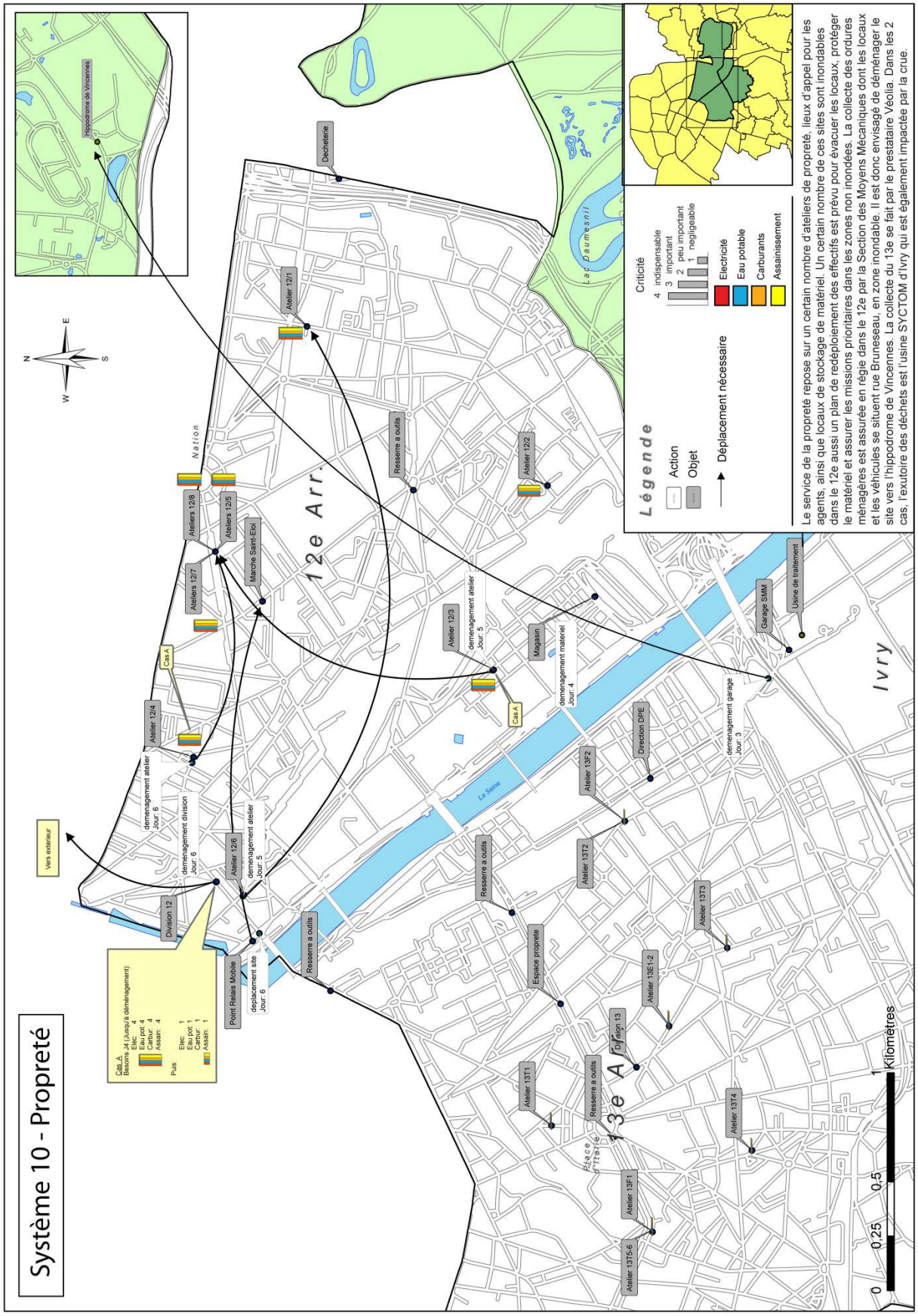


Figure 1-32 : Carte synthétique du fonctionnement de la Propreté dans la zone d'étude

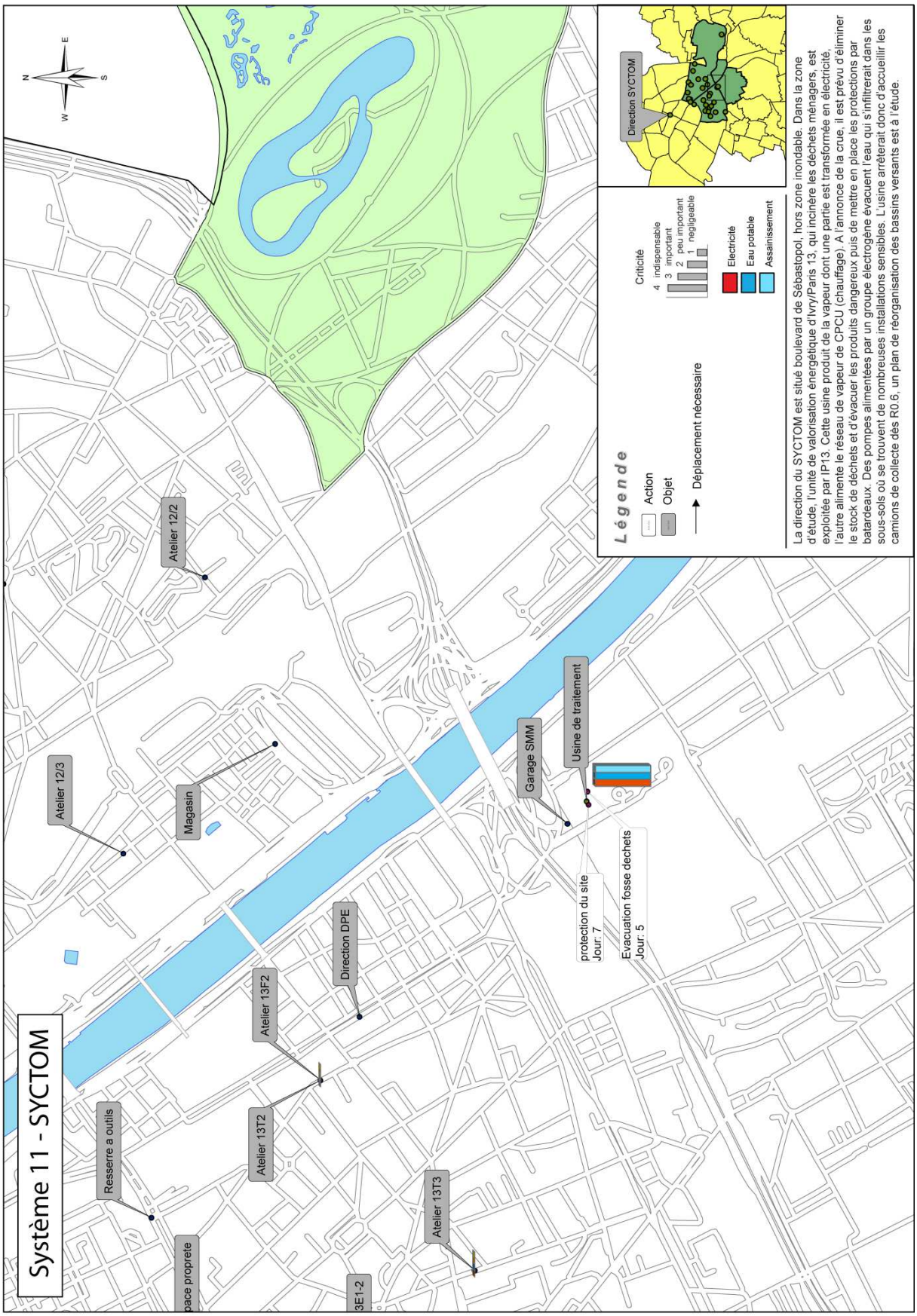


Figure 1-33 : Carte synthétique du fonctionnement du SYCTOM dans la zone d'étude

3. SERVICES DE TELECOMMUNICATIONS

Les services de télécommunications regroupent l'ensemble des services de transfert de données et d'informations, par réseau téléphonique, par GSM, par fibre ou par satellite. Le seul opérateur étudié ici est l'opérateur historique Orange dont l'infrastructure est la plus ancienne.

3.1. RESEAU DE TELEPHONIE

PRINCIPES GENERAUX

Le réseau de téléphonie fixe, tel que conçu après l'invention du téléphone, est une structure arborescente qui relie physiquement chaque abonné au réseau téléphonique commuté (RTC) puis à l'abonné qu'il cherche à joindre (Figure 1-34). La boucle locale peut être aérienne ou souterraine, puis elle rejoint des sous-répartiteurs, parfois également souterrains, qui regroupent plusieurs abonnés et les raccorde au nœud de raccordement abonné (NRA), ou central téléphonique. Le réseau de téléphonie mobile est assez semblable sauf que la liaison de l'abonné au NRA se fait par le biais d'une antenne-relais mobile. Celle-ci est donc également reliée au NRA (généralement par fibre optique) puis au RTC. La gestion des services de télécommunications est en partie commune avec les autres opérateurs : la synchronisation commune par horloge atomique, la signalisation SS7 indispensable aux communications internationales et aux SMS et certaines portions du service sont fortement dépendantes des équipementiers (Nokia, Ericsson, Motorola, mais aussi HP, IBM, Juniper) pour la maintenance du cœur de réseau. La supervision du réseau s'effectue depuis Lyon, à l'aide du « réseau sans couture ».

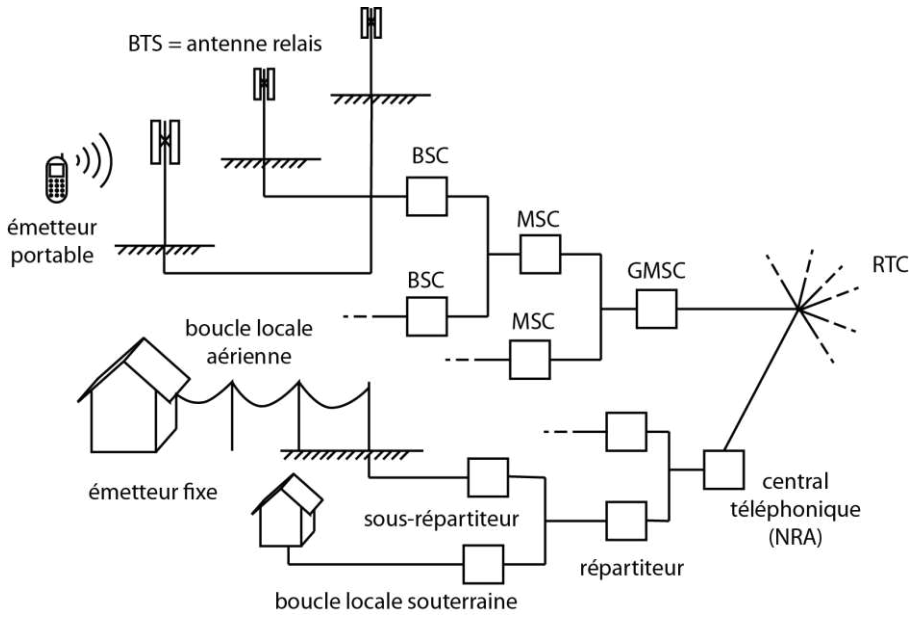


Figure 1-34 : Schématisation du réseau de téléphonie, de l'émetteur au réseau téléphonique commuté

EXEMPLE PARISIEN

À Paris, les réseaux de télécommunications sont souterrains, y compris certains NRA. On compte environ un NRA par arrondissement, ou par commune en banlieue, ils desservent donc un nombre important d'abonnés. Certaines parties du réseau sont encore très anciennes avec des câbles en fibre et d'anciennes cartes de fonctionnement mais certaines portions ont été modernisées grâce à la fibre optique. Les antennes mobiles notamment sont raccordées par fibre. Leur maillage et leur portée sont tels que la couverture mobile à Paris est très dense. Le service dépend de nombreux autres services, notamment l'électricité (par exemple, les

antennes-relais n'ont pas plus de 4 h d'autonomie), mais également la climatisation pour le refroidissement des serveurs (Figure 1-35 et Figure 1-36).

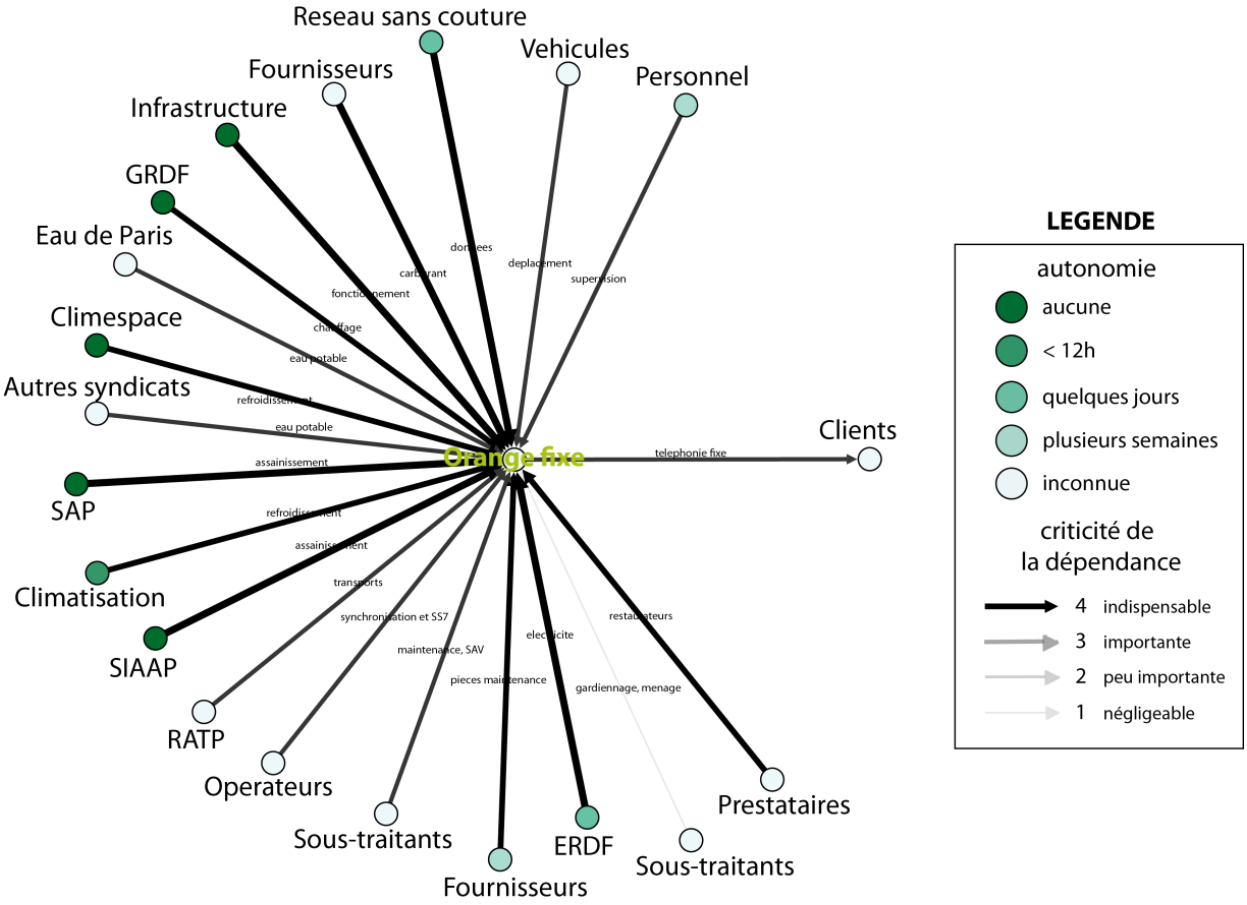


Figure 1-35 : Portrait sectoriel du service téléphonie fixe d'Orange

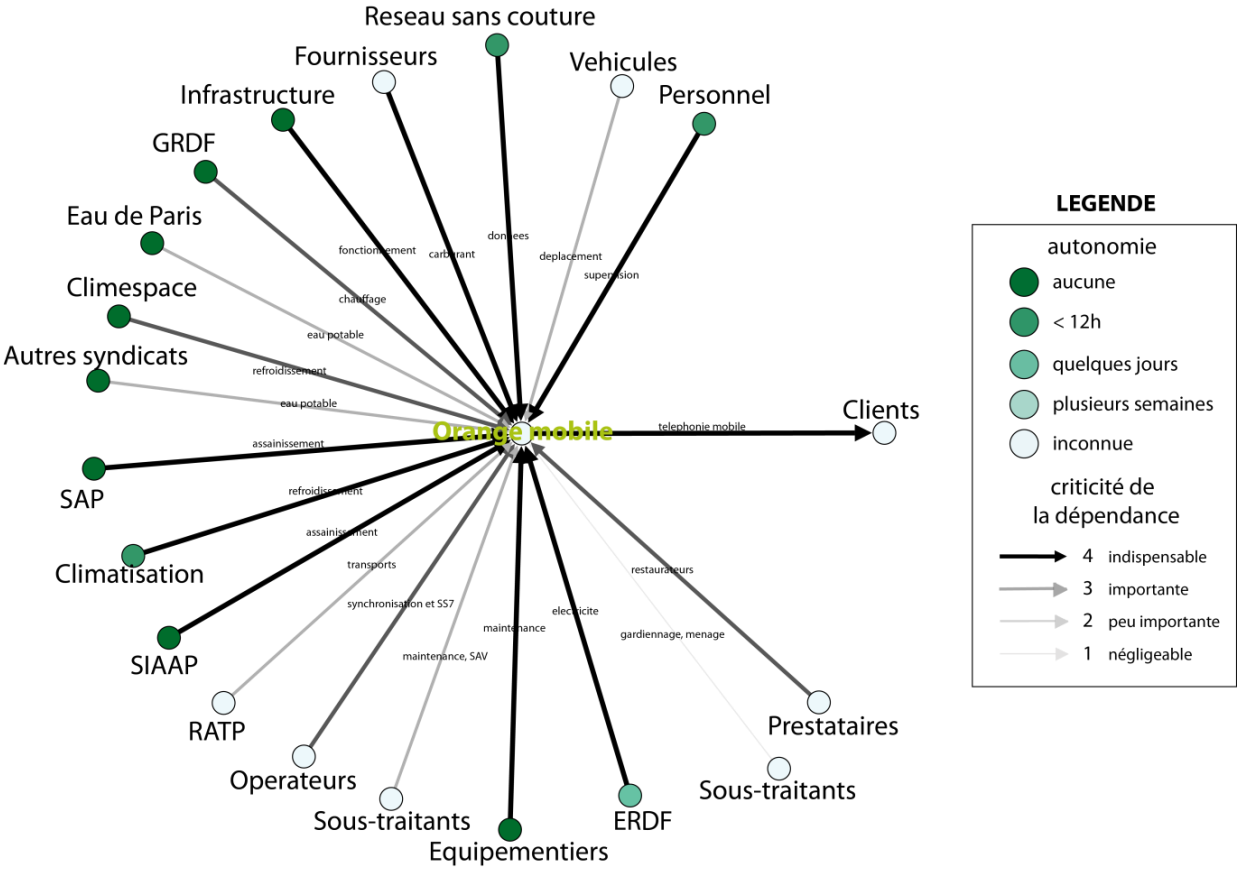


Figure 1-36 : Portrait sectoriel du service mobile d'Orange

Cuivre ou fibre, les câbles téléphoniques peuvent être ennoyés mais la communication est interrompue si les extrémités sont ennoyées. Les sous-répartiteurs de rue inondés ne pourront donc plus fonctionner. Les NRA sont protégés à Paris, mais celui d'Ivry devra être protégé puis arrêté pour retirer les éléments sensibles (Figure 1-37).

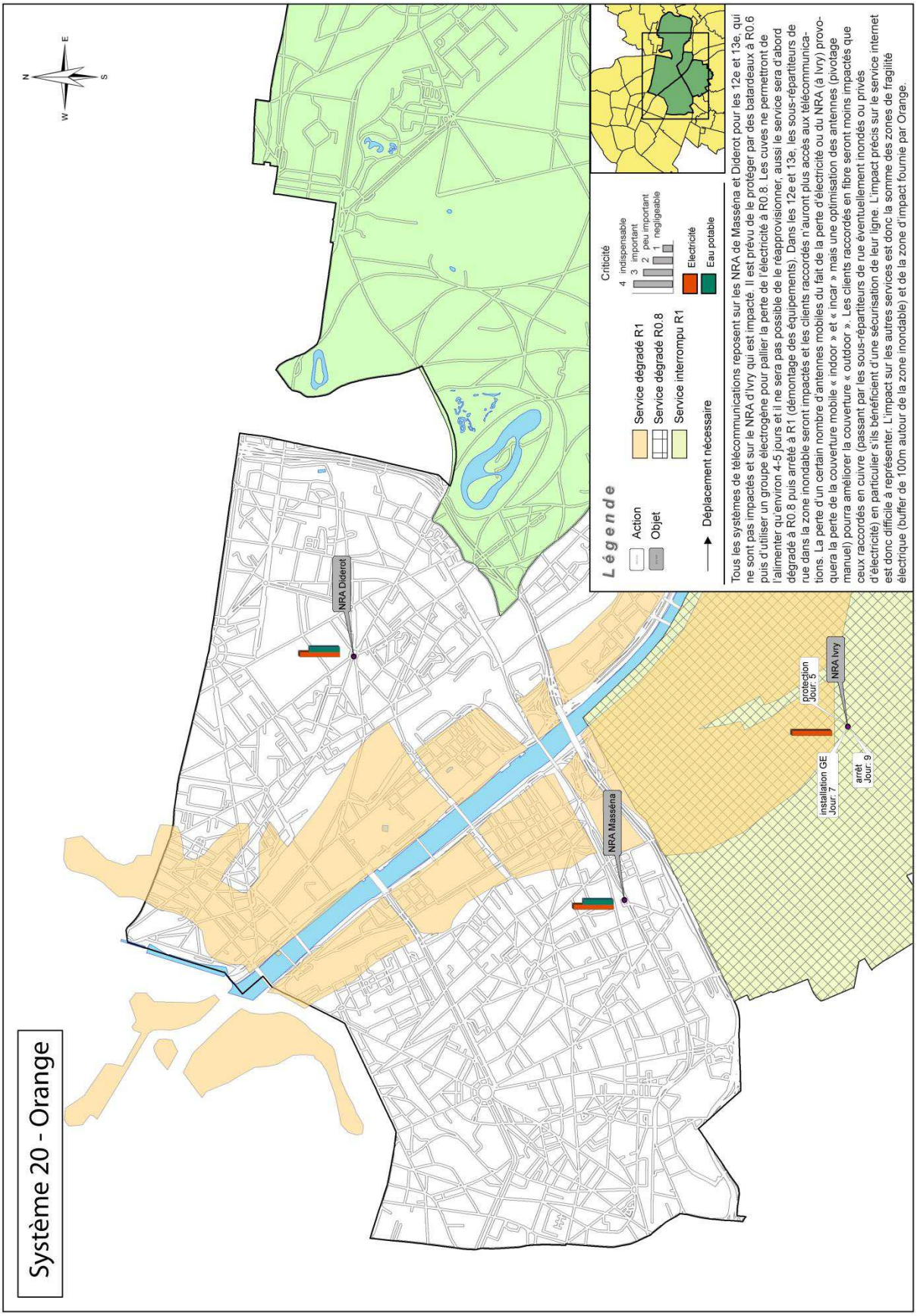
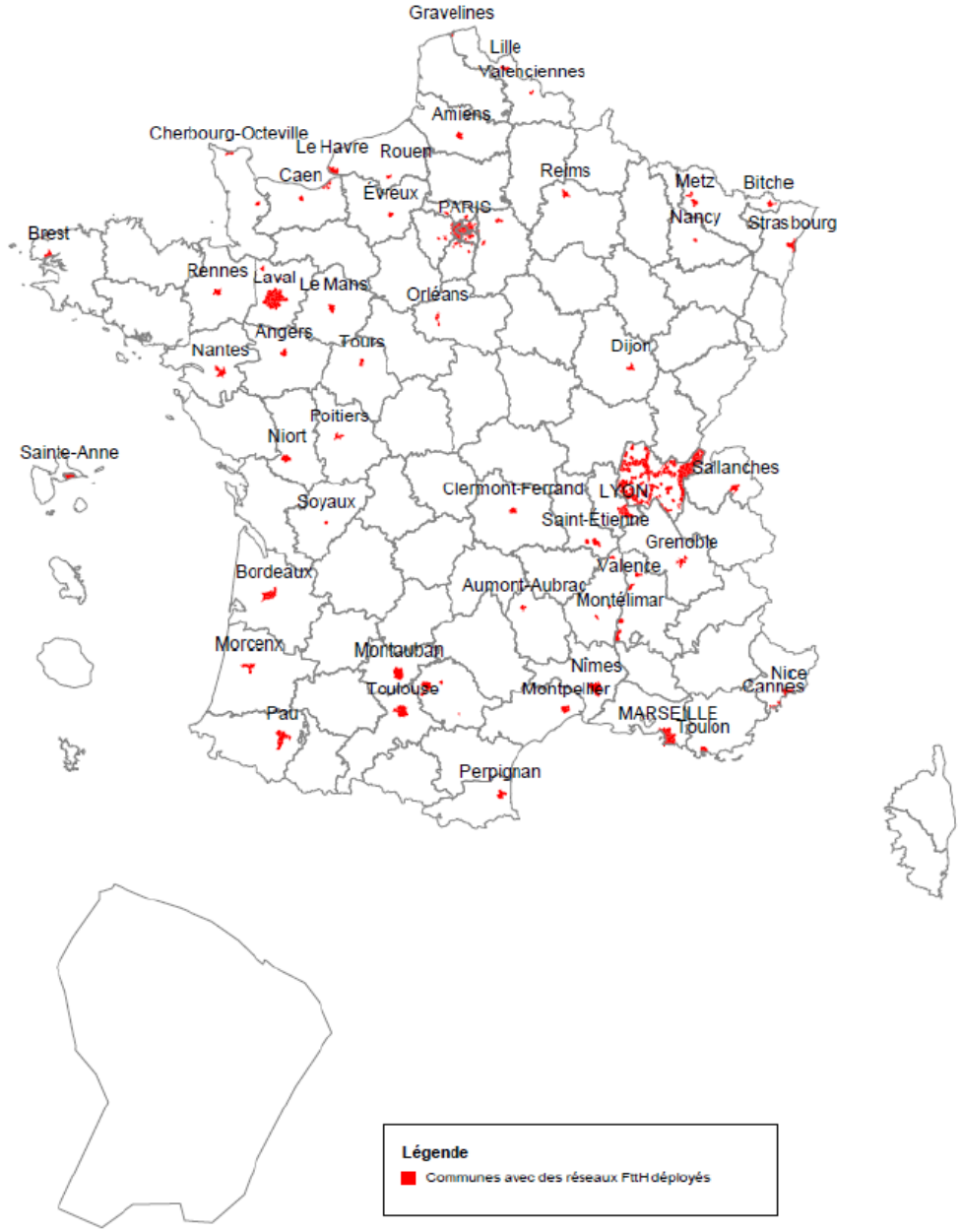


Figure 1-37 : Carte synthétique du fonctionnement d'Orange dans la zone d'étude

3.2. RESEAU DE HAUT DEBIT

PRINCIPES GENERAUX

Les réseaux internet sont aujourd'hui majoritairement déployés en fibre optique (Figure 1-38) et ne transitent plus par les lignes de téléphone, du moins en milieu urbain. Comme pour les autres réseaux, les boucles se regroupent progressivement et elles transitent également par les NRA ou NRO (optique). L'accès à l'internet se fait ensuite par les 250 accès DNS gérés par les Américains.



Etat des déploiements des réseaux FttH au 31 mars 2013

Figure 1-38 : Déploiement des réseaux haut et très haut débit (source : ARCEP[73])

[73] http://www.arcep.fr/index.php?id=10292

EXEMPLE PARISIEN

Les modes d'accès à l'internet sont multiples entre l'accès à domicile, les hotspots et la 3G et devraient permettre un service relativement fiable, même si les accès à domicile des personnes coupées du téléphone (Figure 1-37) seront également interrompus. Les dépendances du réseau haut débit sont sensiblement les mêmes que pour les autres services d'Orange, avec la dépendance particulière aux accès DNS (Figure 1-39).

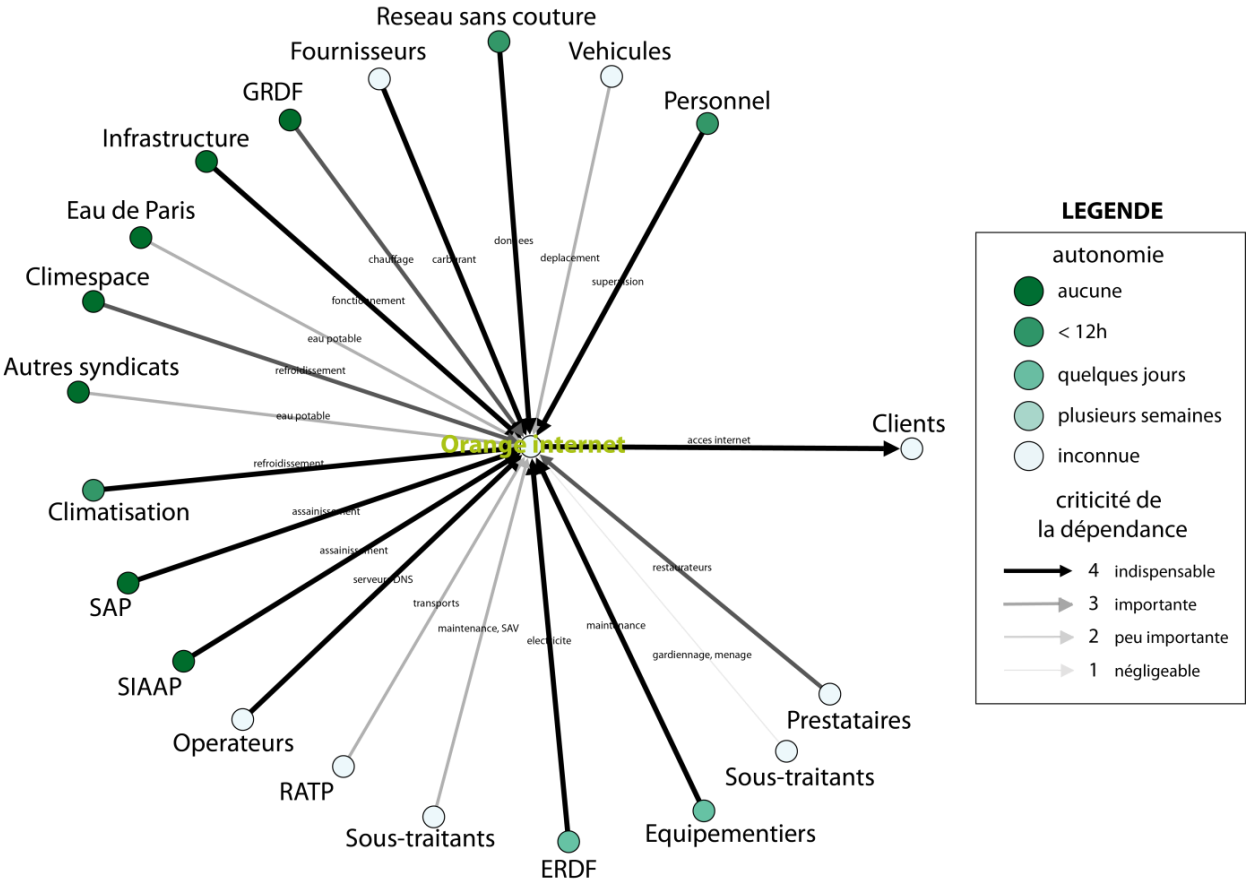


Figure 1-39 : Portrait sectoriel du service Internet d'Orange

4. SERVICES DE DEPLACEMENTS

Les services liés aux déplacements sont ceux liés à la voirie et aux infrastructures de transport. On ne considère que la voirie et les deux types de transports de la RATP : ferré (métro, mais aussi RER et tramway qui sont proches mais ont quelques contraintes propres) et routier (bus mais il y a aussi de nombreux autres services de transport, à la demande, cars, etc.).

4.1. VOIRIE

PRINCIPES GENERAUX

La voirie est le support des déplacements de surface : marche à pied, vélos, voitures, bus, etc. Elle ne se limite pourtant pas au support physique de la chaussée et du trottoir, les services suivant peuvent être inclus dans son fonctionnement (Figure 1-40) :

- ~ l'éclairage publique car il est essentiel aux déplacements nocturnes, pour des raisons de sécurité notamment ;
- ~ la régulation du trafic car il est indispensable à la sécurité des déplacements et permet également une optimisation les flux de véhicules ;
- ~ le maintien de la viabilité à travers les services de propreté car sans eux, de nombreux déchets encombreraient les voiries, réduisant ou obstruant les flux.

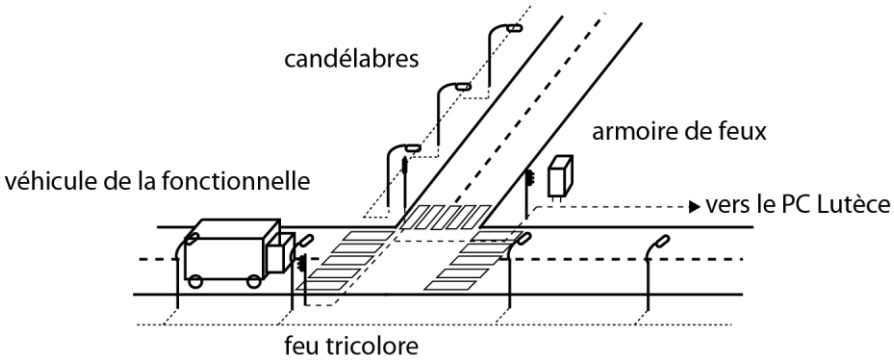


Figure 1-40: Schématisation du réseau de voirie et des services associés

EXEMPLE PARISIEN

À Paris, l'éclairage public est géré par la société EVESA. Deux systèmes d'alimentation des candélabres coexistent : une alimentation directe sur le réseau électrique en rive droite, un réseau dédié alimenté par des transformateurs en rive gauche. L'éclairage est directement dépendant de l'alimentation des candélabres et il est donc difficile à maintenir sans courant, du moins en rive droite (Figure 1-41). Par ailleurs, l'alimentation par les câbles souterrains ne doit pas être maintenue en cas d'immersion, par raison de sécurité.

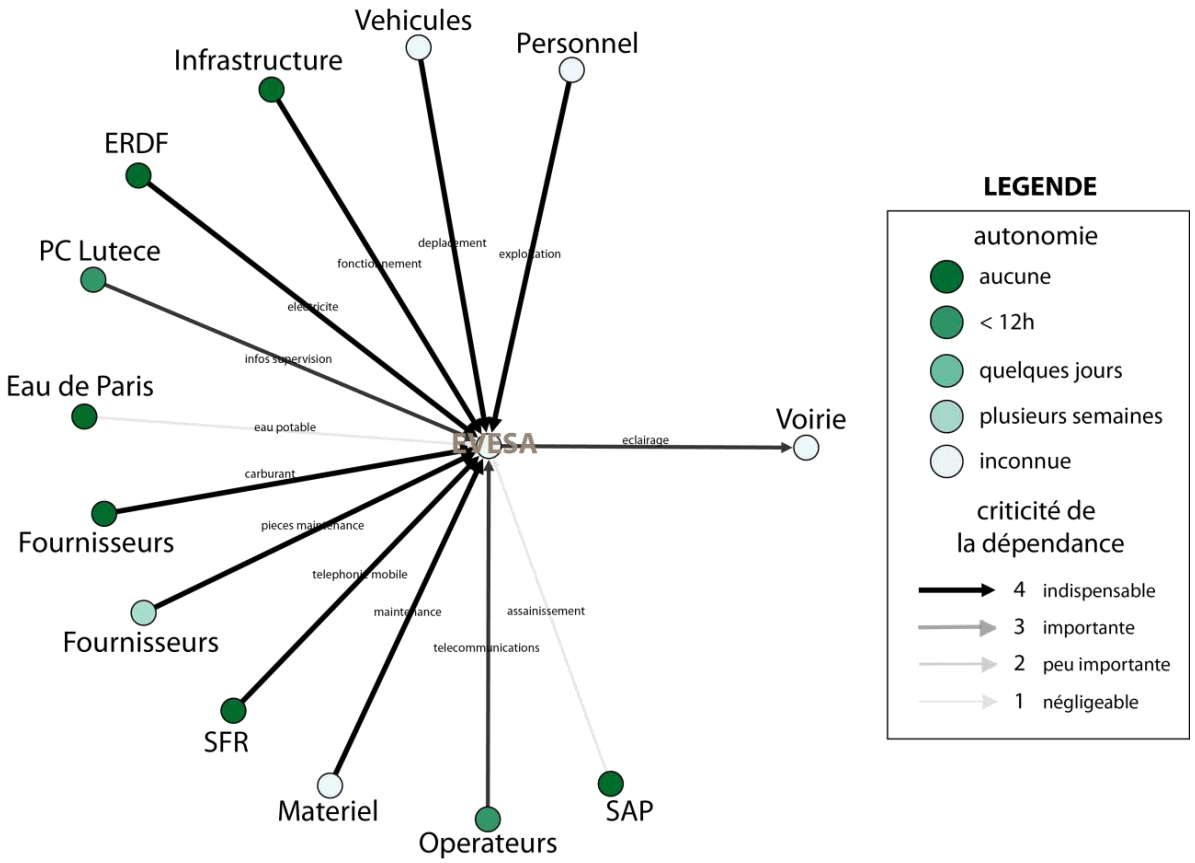


Figure 1-41 : Portrait sectoriel du service EVESA

La régulation de trafic est gérée par un service de la Ville, le PC Lutèce, à l'aide du logiciel SURF. Chaque carrefour est piloté par une armoire de feux qui est reliée au PC (parfois encore par cuivre, parfois en passant par les galeries du métro) d'où sont envoyés des plans de feux. Ils optimisent ainsi les flux en fonction des carrefours, des heures de la journée ou des imprévus constatés et permettent de réduire le trafic de 10 % environ. Tout comme l'éclairage, l'alimentation des feux tricolores est entièrement dépendante de l'électricité (Figure 1-42). Il est toutefois envisageable de réalimenter un carrefour à l'aide d'un groupe électrogène. Le PC Lutèce lui-même est inondable car situé en sous-sol sous l'ile de la Cité, et percé de nombreux câbles d'accès des câbles de fibre optique ou de cuivre. Si le PC Lutèce venait à être arrêté, il n'est pour l'instant pas possible de transférer le pilotage sur un autre site. La régulation ne serait donc plus possible mais les feux continueraient à fonctionner suivant des plans de feux « de secours » enregistrés, c'est-à-dire qu'aucune adaptation n'est possible.

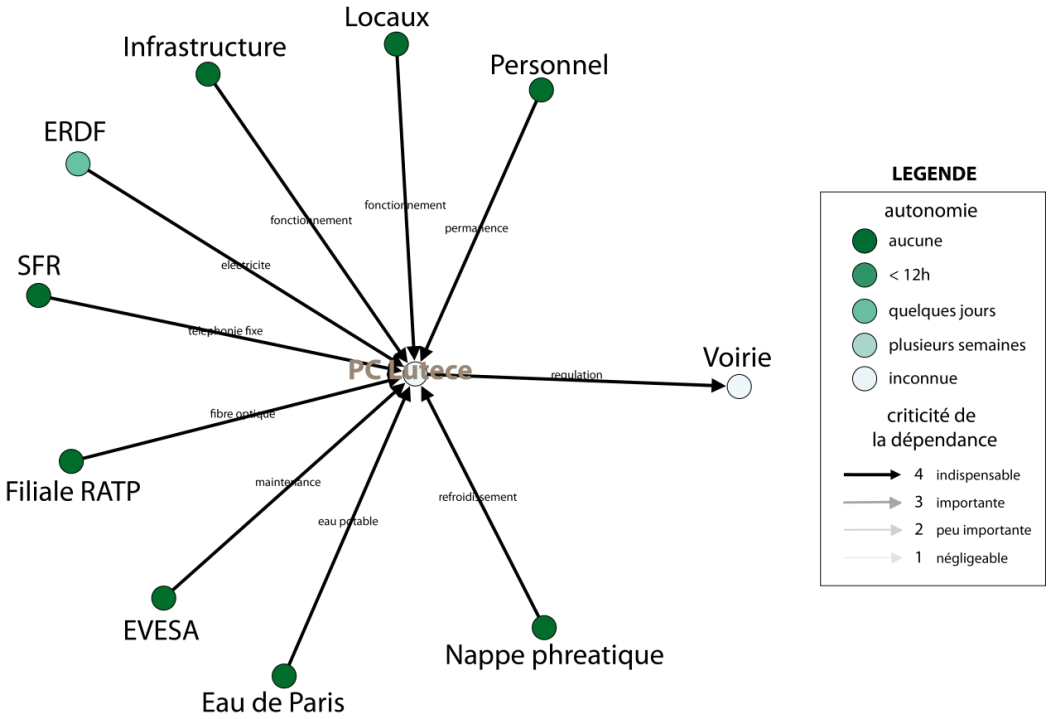


Figure 1-42 : Portrait sectoriel du PC Lutèce

La viabilité est maintenue à Paris par l'ensemble des divisions de propreté à travers leur activité de collecte des déchets, mais également par la division Fonctionnelle chargée de toutes les tâches particulières de maintien de la viabilité : déneigement en hiver, interventions suite aux diverses manifestations, nettoiement du périphériques, des tunnels et des voies sur berge, nettoiement après certains marchés, etc. La Fonctionnelle est donc un service disposant de nombreux moyens propres et habituée à répondre aux urgences (Figure 1-43). Les locaux sont situés hors zone inondable mais se trouvent uniquement en rive droite, un deuxième site est envisagé en rive gauche pour continuer les interventions en cas de fermeture des ponts.

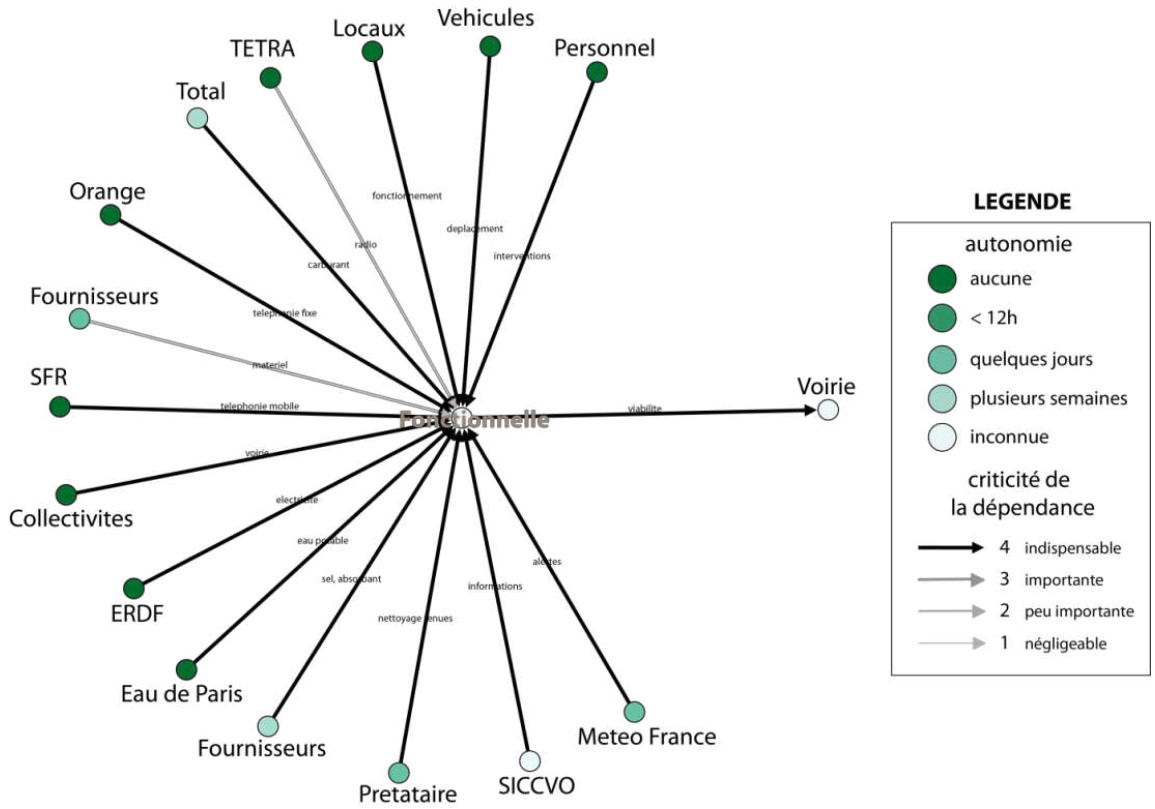


Figure 1-43 : Portrait sectoriel du service Fonctionnelle

Finalement, le fonctionnement global de la voirie dépend des services précédents, ainsi que des fermetures de voies et de la mise en place de protections locales (Figure 1-44).

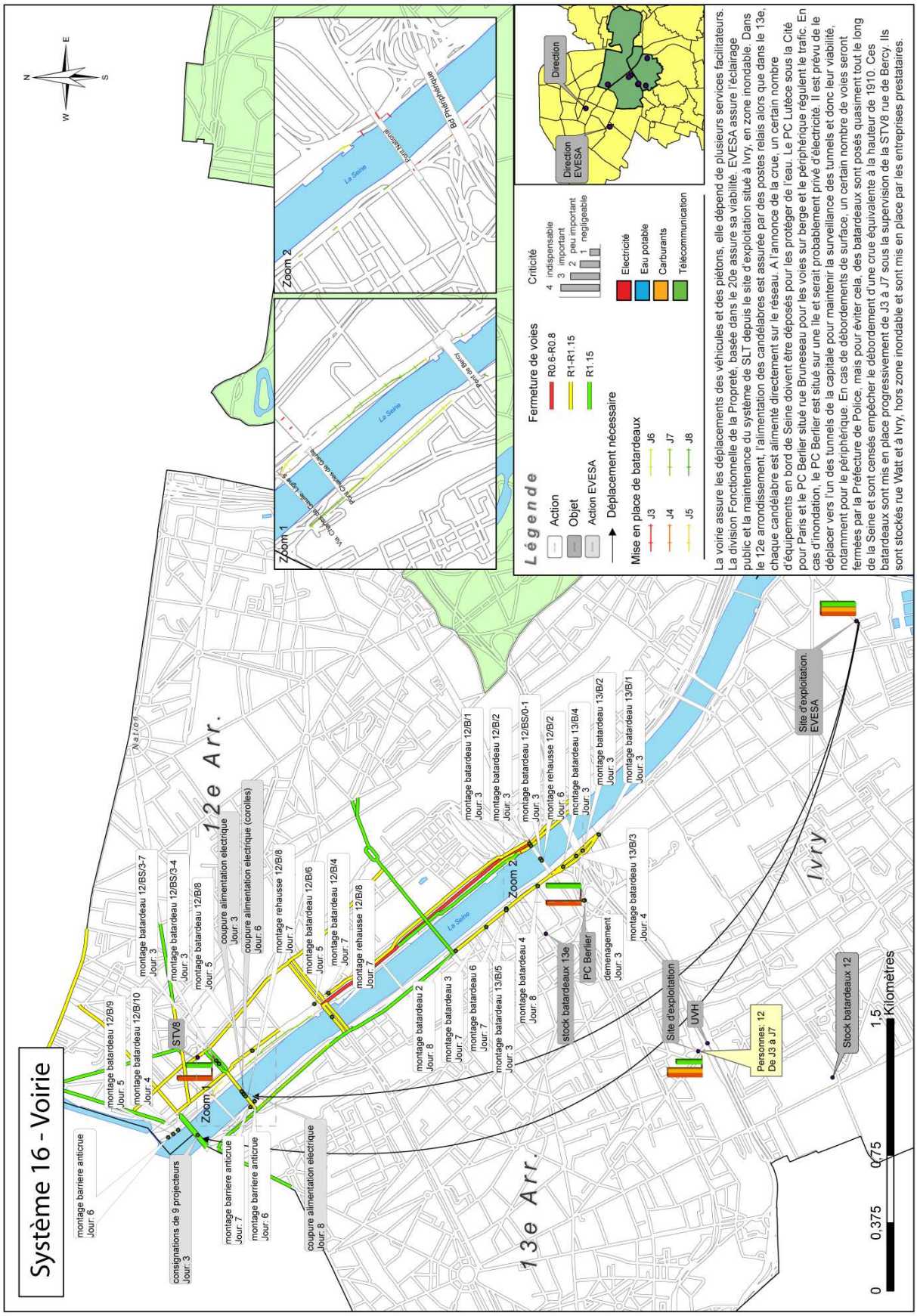


Figure 1-44 : Carte synthétique du fonctionnement de la voirie dans la zone d'étude

4.2. RESEAU DE TRANSPORT EN COMMUN ROUTIER

PRINCIPES GENERAUX

Cette catégorie comprend l'ensemble des services de transport en commun de personnes comme les bus, les cars, les minibus, etc. Le service de transport en commun routier est fortement lié au service rendu par la voirie. Pour les transports publics par bus, les lignes définies par l'exploitant et la collectivité empruntent les voiries du territoire pour desservir des points d'arrêt. Les bus sont généralement stockés et entretenus dans des centres bus (Figure 1-45).

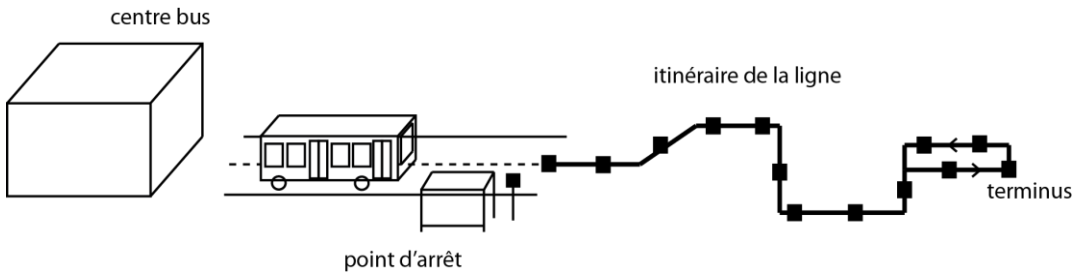


Figure 1-45 : Schématisation du réseau de transport par bus, du centre bus au terminus

EXEMPLE PARISIEN

À Paris et en proche banlieue, le service de bus est opéré par la RATP puis il est complété par des services locaux, toujours dépendants du STIF, regroupé au sein de l'association OPTILE. La RATP exploite 353 lignes de bus dont 31 lignes de nuit Noctilien et dispose de 21 centres bus répartis sur le territoire. La desserte par bus est donc fortement dépendante de l'accessibilité des voies (Figure 1-46). Ainsi les itinéraires seront adaptés pour éviter les zones inondées et compléter les services de métro, mais cela n'est pas planifié à l'avance. Les centres bus en zone inondable seront évacués et redéployés pour protéger le matériel et maintenir le service.

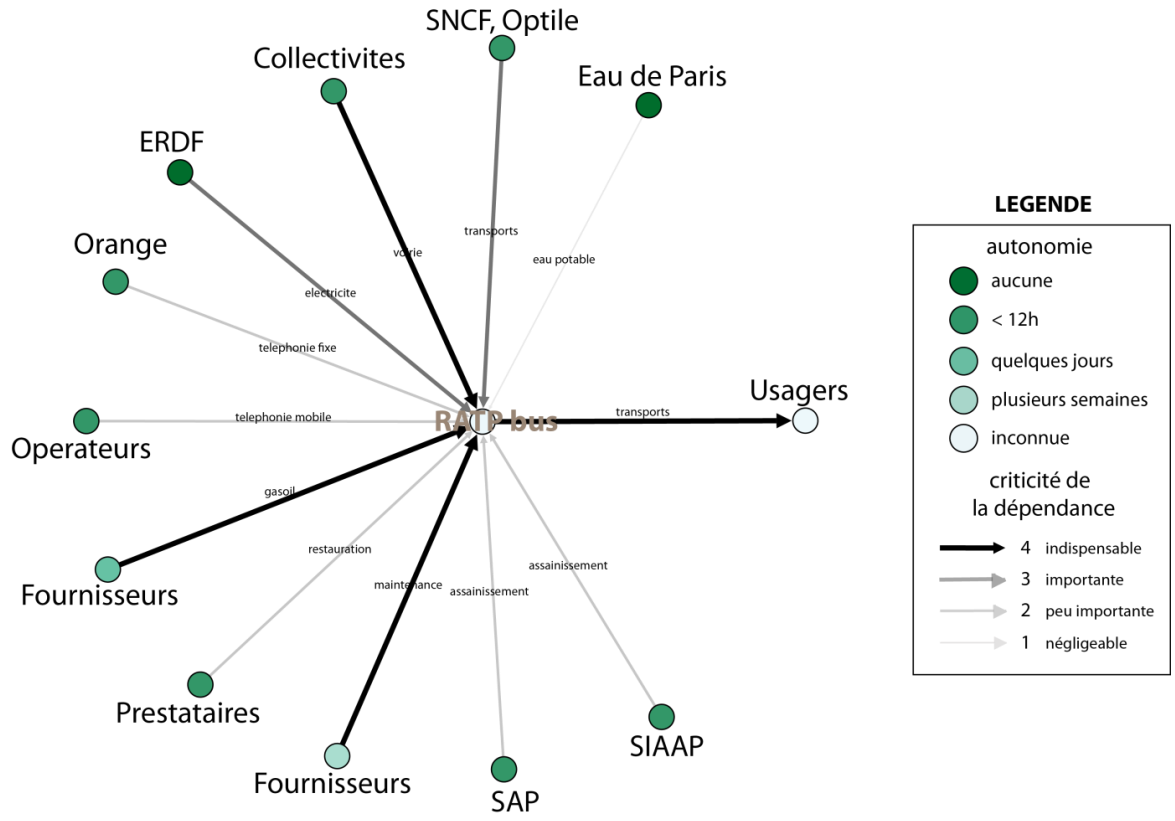


Figure 1-46 : Portrait sectoriel du service de bus RATP

4.3. Reseau de de transport en commun ferre

Principes generaux

Cette catégorie comprend l'ensemble des transports en commun de personne sur rail : train, métro, tramway. Le matériel roulant circule sur des rails, en surface ou en souterrain, pour desservir des gares d'arrêt. L'énergie utilisée est bien souvent l'électricité (encore quelques locomotives diesel roulent sur les lignes SNCF), par le sol ou par caténaires aériens. Le réseau est plus ou moins maillé et connecté par des aiguillages et aboutissant à des centres techniques de stockage et de maintenance (Figure 1-47).

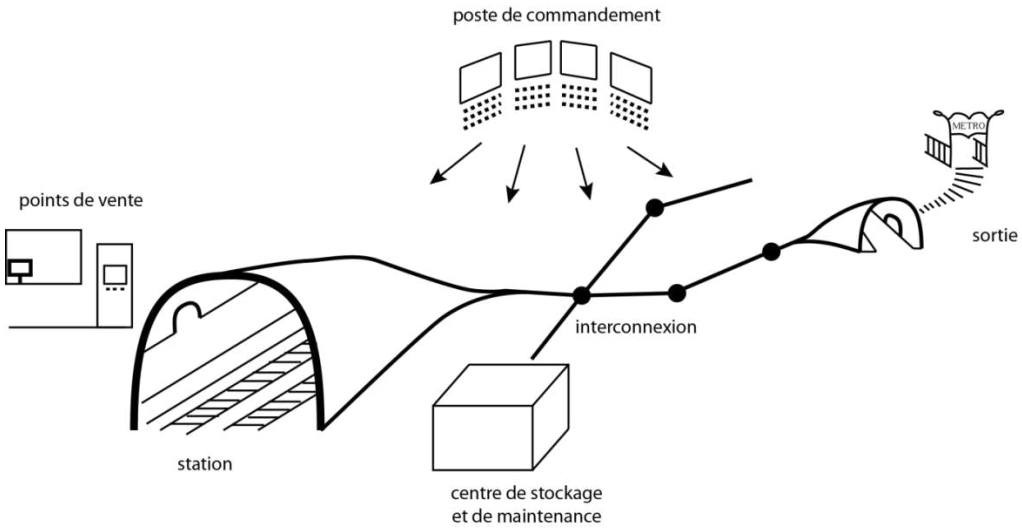
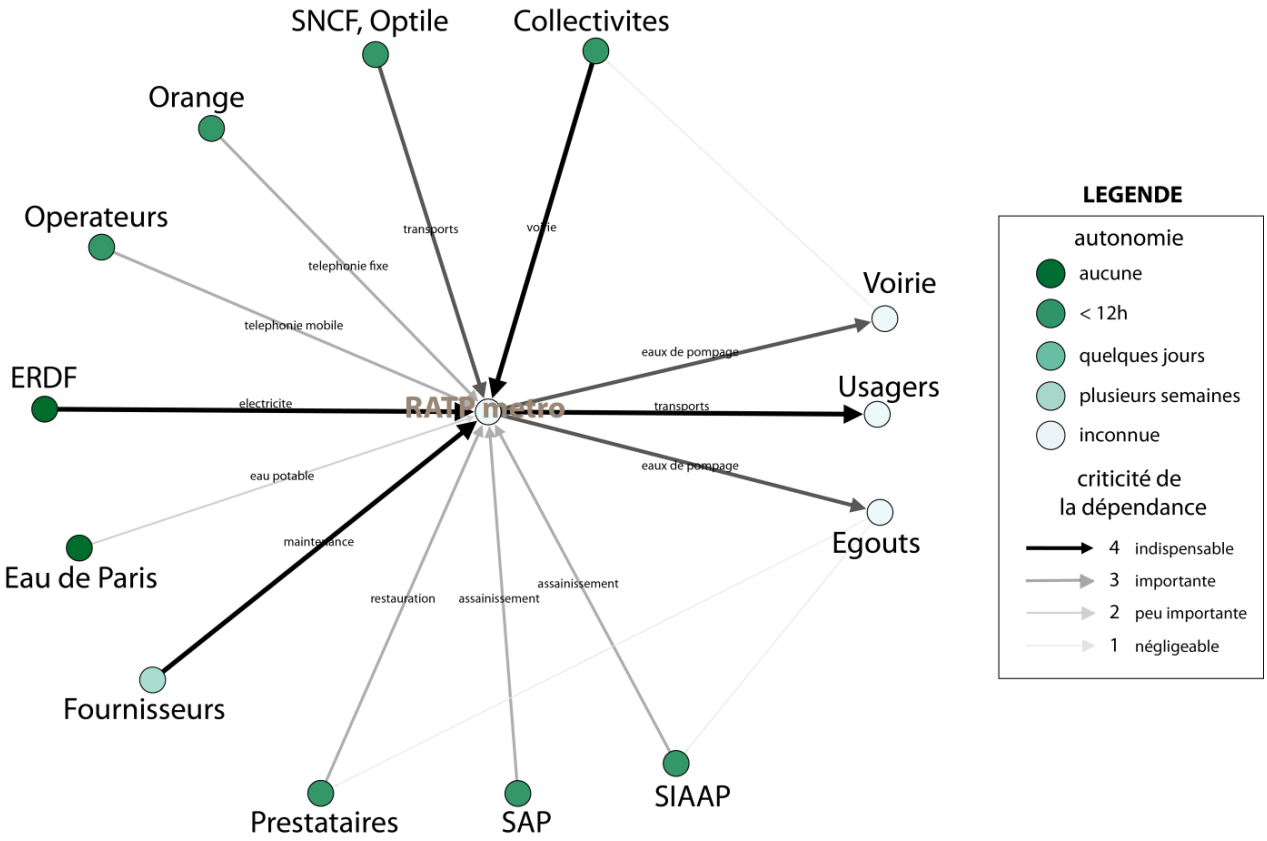


Figure 1-47 : Schématisation du réseau de transport par métro

EXEMPLE PARISIEN

Nous prendrons pour Paris l'exemple du métro et du RER exploité par la RATP mais les résultats se transposent facilement aux autres transports ferrés comme le tramway et le train avec quelques spécificités supplémentaires. Le réseau de métro parisien est ancien et se déploie continuellement depuis ses débuts (Figure 1-48). La particularité est son alimentation électrique via RTE puis des boucles propres au réseau. Le réseau est fortement maillé avec 16 lignes et une station tous les 300 m environ. Chaque ligne dispose de son propre poste de commandement et de ses sites de stockage aux terminus, mais il existe également des interconnexions entre lignes (pour le matériel). Ainsi, le pilotage des rames est semi-automatisé pour augmenter les cadences, mais il est également possible de les piloter manuellement (Figure 1-49). En cas de perte totale de la régulation, il faut alors piloter « à vue ».

Figure 1-48 : Plan du réseau de transport ferré (métro et RER) (source : RATP)



400

Figure 1-49 : Portrait sectoriel du service de métro RATP

Majoritairement en sous-sol et à diverses profondeurs, de nombreuses portions du réseau de métro sont inondables soit par les entrées d'eau en voirie, soit par la nappe (le réseau pompe d'ailleurs constamment les eaux s'infiltrant dans les tunnels). L'objectif est donc d'empêcher l'eau d'entrer pour protéger le matériel roulant et les installations électriques (Figure 1-50). La stratégie repose donc sur la protection des entrées d'eau par la construction de murs en parpaings (la RATP réserve la quantité nécessaire ainsi que les bétonneuses et l'ensemble du matériel chaque année pendant la période sensible) puis l'épuisement des infiltrations. Il faut donc maintenir l'électricité pour faire fonctionner les pompes qui empêchent l'ennoiement et les coupures électriques (cercle vertueux).

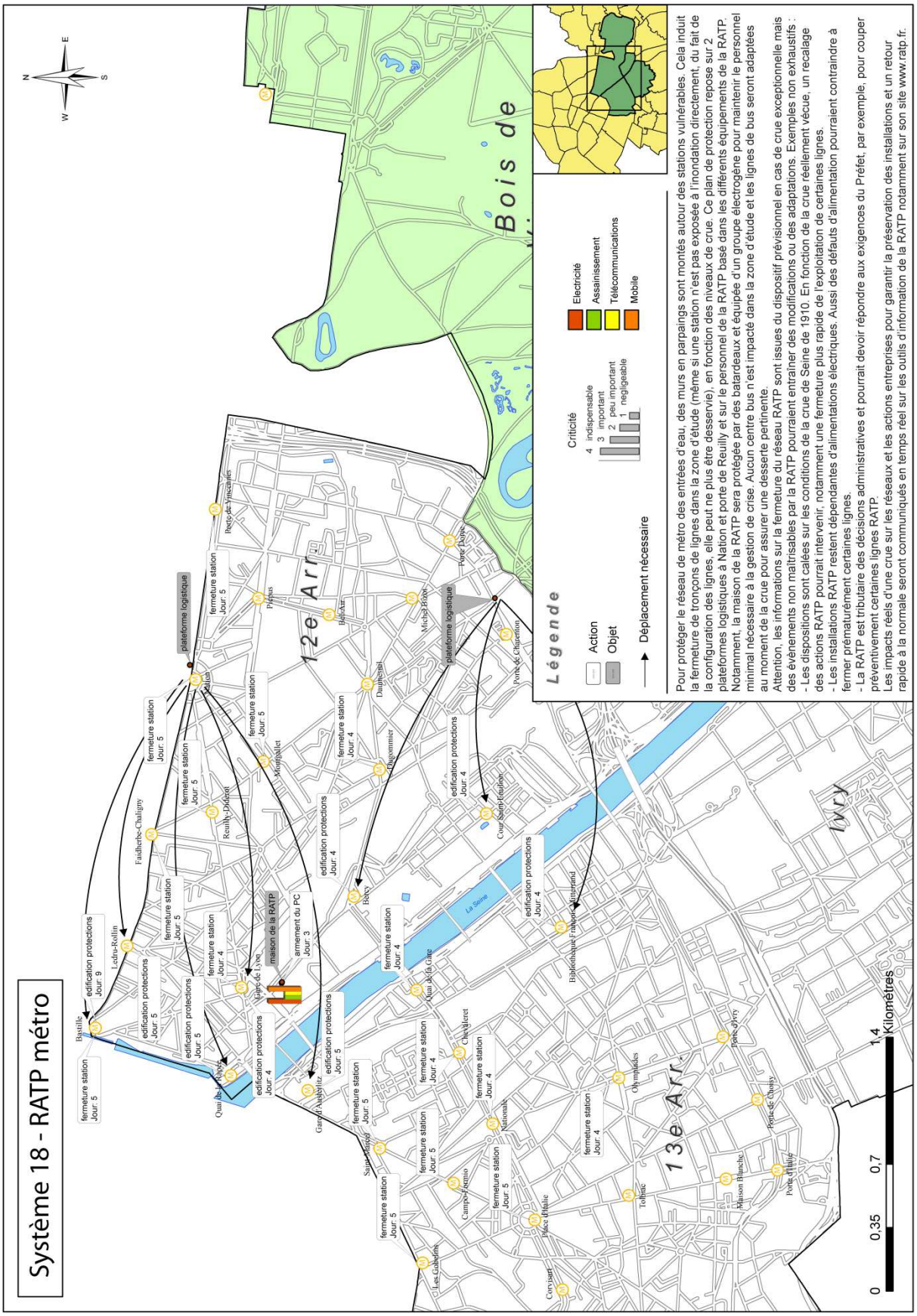


Figure 1-50 : Carte synthétique du fonctionnement de la RATP dans la zone d'étude

Problème technique	Gestionnaires concernés				Phase concernée				Remarques
Thématique 1	**Préciser les gestionnaires concernés, une distinction peut être faite entre les systèmes impactés (plus ou moins fortement), les systèmes impactants**				**A quel moment de la crise ce problème se pose pour le système ? une distinction en termes de criticité plus ou moins forte peut être faite.**				**Ajouter ici toute autre information pertinente, y compris des relations avec d'autres problèmes**
Problème 1	ERDF	GRDF	CPCU	Climespace	Fonctionnement normal	Préparation de la crise	Gestion de la crise	Rétablissement	
	Eau de Paris	SAP	SIAAP	Propreté					
	SYCTOM	Véolia	PC Lutèce	EVESA					
	Fonctionnelle	RATP	Orange	Tous					
Problème 2	ERDF	GRDF	CPCU	Climespace	Fonctionnement normal	Préparation de la crise	Gestion de la crise	Rétablissement	
	Eau de Paris	SAP	SIAAP	Propreté					
	SYCTOM	Véolia	PC Lutèce	EVESA					
	Fonctionnelle	RATP	Orange	Tous					
Thématique 2	**Préciser les gestionnaires concernés, une distinction peut être faite entre les systèmes impactés (plus ou moins fortement), les systèmes impactants**				**A quel moment de la crise ce problème se pose pour le système ? une distinction en termes de criticité plus ou moins forte peut être faite.**				**Ajouter ici toute autre information pertinente, y compris des relations avec d'autres problèmes**
Problème 1	ERDF	GRDF	CPCU	Climespace	Fonctionnement normal	Préparation de la crise	Gestion de la crise	Rétablissement	
	Eau de Paris	SAP	SIAAP	Propreté					
	SYCTOM	Véolia	PC Lutèce	EVESA					
	Fonctionnelle	RATP	Orange	Tous					
Problème 2	ERDF	GRDF	CPCU	Climespace	Fonctionnement normal	Préparation de la crise	Gestion de la crise	Rétablissement	
	Eau de Paris	SAP	SIAAP	Propreté					
	SYCTOM	Véolia	PC Lutèce	EVESA					
	Fonctionnelle	RATP	Orange	Tous					
Problème 3	ERDF	GRDF	CPCU	Climespace	Fonctionnement normal	Préparation de la crise	Gestion de la crise	Rétablissement	
	Eau de Paris	SAP	SIAAP	Propreté					
	SYCTOM	Véolia	PC Lutèce	EVESA					
	Fonctionnelle	RATP	Orange	Tous					

3- QUESTIONNAIRE-BILAN DE L'EXPERIMENTATION

OBJECTIFS

Evaluer l'utilité et l'intérêt des trois ateliers collaboratifs pour les gestionnaires : pourquoi sont-ils venus ? qu'ont-ils appris ? sur des questions plutôt techniques ou plutôt organisationnelles ? ont-ils pris des contacts ? ont-ils lancé des actions ? sur des questions plutôt techniques ou plutôt organisationnelles ? souhaitent-ils poursuivre les réunions ?

Le questionnaire a été mis en ligne et envoyé à l'ensemble des participants aux ateliers et aux personnes rencontrées lors des entretiens.

QUESTIONS

1. Au sein du service urbain auquel vous appartenez, vous êtes

   ~ Référent « crue »
   ~ Référent « risques »
   ~ Responsable d'études liées aux risques
   ~ Exploitant
   ~ Manager

2. Vous avez participé à la réunion

   ~ Du 12/04/12
   ~ Du 28/06/12
   ~ Du 04/10/12

3. Dans quels buts avez-vous participé à ces ateliers ?

   ~ Connaître le travail réalisé
   ~ Rencontrer d'autres gestionnaires
   ~ Améliorer votre préparation
   ~ Transmettre des informations concernant votre système
   ~ Connaître des informations concernant d'autres systèmes
   ~ Autre (développer)

4. Avez-vous appris des choses lors de ces ateliers ?

   ~ Oui
   ~ Non

Si oui, dans quels domaines

   ~ Connaissance des interdépendances
   ~ Problèmes rencontrés dans la gestion de la crue
   ~ Solutions techniques pratiquées par les autres gestionnaires
   ~ Solutions organisationnelles pratiquées par les autres gestionnaires
   ~ Autre (développer)

5. Avez-vous lancé des actions suite à ce que vous avez appris lors des ateliers ?

- ~ Oui
- ~ Non

Si oui, dans quels domaines

- ~ Etudes complémentaires
- ~ Renforcement
- ~ Protection
- ~ Organisation
- ~ Préparation
- ~ Autre (développer)

6. Avez-vous pris des contacts avec d'autres gestionnaires lors de ces réunions ?

- ~ Oui, un
- ~ Oui, plusieurs
- ~ Non

7. Si oui, pensez-vous lancer une coopération plus approfondie avec ces gestionnaires ?

- ~ Oui probablement
- ~ A priori non

8. Finalement, comment jugez-vous l'intérêt de ces réunions pour votre propre système ?

- ~ Pas du tout utile
- ~ Un peu utile
- ~ Assez utile
- ~ Très utile

9. Pour la résilience de Paris en général ?

- ~ Pas du tout utile
- ~ Un peu utile
- ~ Assez utile
- ~ Très utile

10. Participeriez-vous à d'autres réunions sous une autre forme avec la Mairie ?

- ~ Oui probablement
- ~ A priori non

11. Commentaires libre

4- PRESENTATION DU PROJET RESILIS

RECHERCHE ET INNOVATION

Resilis, un projet de recherche pour améliorer la résilience urbaine

Jean-Paul Arnaud (Egis), Marie Toubin (Egis/EIVP), Damien Serre (EIVP), Maud Wan (Egis)

Les enjeux de la gestion des risques en ville

La société, et en particulier la société urbaine, est de plus en plus complexe avec ses nouveaux jeux de relations sociales, un fort degré de connectivité et ses objectifs de compétitivité. Si l'urbanité (convivialité de la ville) découle de l'accumulation des ressources, de la concentration des pouvoirs, de l'attractivité des territoires et de la culture, elle est aussi un vecteur de risques, dû notamment à cette concentration. Au-delà des risques exogènes dont l'enjeu augmente en milieu urbain, on peut considérer que la ville crée ses propres risques (endogènes). Ainsi les villes sont vulnérables et font face à des dangers amplifiés par l'urbanité. De plus, les risques et les dommages sont de moins en moins acceptés par les populations et les activités économiques. Alors que les villes sont supposées incarner la sécurité et le développement, les récents évènements (Katrina, Xynthia, menaces terroristes, inondations, neige, ...) révèlent leurs faiblesses et remettent en cause la gestion des risques en milieu urbain.

La Seine et l'usine du Syctom à Saint-Ouen

En effet, les politiques actuelles d'évaluation et de gestion des risques produisent des outils focalisés sur un risque unique alors que l'environnement urbain favorise les effets dominos et propage les défaillances. La gestion des risques est principalement centrée sur la gestion de crise au détriment de la prévention qui est nécessaire avant l'évènement, et des plans de rétablissement qui doivent être élaborés avant la crise. Les mesures et les actions sont principalement dédiées à un seul secteur ou organisation (décideurs publics, gestionnaires de réseaux, entreprises, services d'urgence) alors que les interdépendances entre organisations, infrastructures et activités sont fortes en milieu urbain. Ainsi, la gestion des risques ne peut se faire sans une approche globale et une gestion intégrée des articulations entre systèmes. Enfin, la gestion des risques favorise les mesures à court terme et peine à impliquer les populations à chaque étape du processus de résilience (prévention, c'est-à-dire sensibilisation des populations, comportement durant l'évènement et enfin reconstruction).

Les objectifs du projet RESILIS

Tout ceci a conduit les chercheurs et les collectivités locales à exprimer de nouveaux besoins en matière de gestion des risques urbains. Définie comme la capacité d'une ville à absorber la perturbation puis à recouvrer ses fonctions, la résilience urbaine est devenue le nouveau paradigme dans les méthodes de gestion des risques, car elle permet de répondre aux enjeux identifiés plus haut. Le projet RESILIS vise précisément à développer des solutions innovantes pour l'amélioration de la résilience de la ville : par une meilleure gouvernance multi-échelles et multi-acteurs, par une action sur les populations et une gestion optimisée des réseaux techniques la structurant. D'une durée de trois ans et lancé en avril 2010, le projet RESILIS est un projet ANR-Agence nationale de la recherche (appel à projet Ville Durable 2009) labellisé par le pôle de compétitivité Advancity.

Le principal objectif du projet réside dans l'élaboration de méthodes et d'outils à destination des collectivités locales, des opérateurs de réseaux, des populations et de tout autre acteur. L'objectif est de développer des outils pour préparer, adapter et concevoir des systèmes sociaux et techniques capables de supporter, absorber puis se remettre d'une perturbation. Considérant ces enjeux, une analyse du système urbain comme système de sous-systèmes favorisera une approche intégrée incluant une meilleure compréhension des interdépendances et de l'interopérabilité des acteurs. Puis, une analyse fondée sur des retours d'expériences, des scénarios de défaillance et en particulier des effets dominos, identifiera et évaluera les impacts sur le système urbain. L'analyse des résultats mettra en avant les caractéristiques de la ville résiliente et des indicateurs correspondants. Les résultats seront ensuite validés par une phase expérimentale avec la contribution de deux collectivités : l'agglomération d'Orléans-Val de Loire et la ville de Mantes-la-Jolie ■

Pour en savoir plus :
jean-paul.arnaud@egis.fr, marie.toubin@egis.fr,
damien.serre@eivp-paris.fr, maud.wan@egis.fr

Remerciements :
Le consortium RESILIS regroupe des ingénieristes du secteur privé (Egis, Iosis, Sogreah) impliqués dans l'aménagement urbain ou la prévention des risques, des laboratoires de recherche (EIVP - École des Ingénieurs de la Ville de Paris, LEESU - département de recherche en génie urbain de l'Université de Paris-Est, REEDS - département de recherche en économie, écologie et développement soutenable de l'Université de Versailles-Saint-Quentin) et des organismes de recherche (Cemagref - analyse de risques, Fondaterra - fondation pour des territoires durables).

Retour sommaire

RESUME

L'objectif de cette recherche est de concevoir et expérimenter une méthodologie d'amélioration de la résilience urbaine intégrant les dimensions techniques et organisationnelles. La résilience des villes face aux nombreuses perturbations qui les menacent est une problématique majeure pour les collectivités. Mais la complexité des enjeux sous-jacents limite l'opérationnalisation d'un concept pourtant prometteur. Cette recherche porte sur la résilience des services urbains, partant du postulat qu'ils sont un préalable nécessaire, mais non suffisant, à la résilience des villes. En effet, ils supportent les fonctions urbaines, constituent des leviers d'action pour les collectivités et présentent des spécificités sociotechniques incarnant la complexité du système urbain. La collaboration des gestionnaires de services urbains est alors une approche pertinente, du fait notamment de l'importance des interdépendances pour leur résilience. Une méthodologie d'identification et d'analyse des interdépendances des services urbains est expérimentée sur le territoire parisien. Le risque d'inondation due à une crue centennale de la Seine est une préoccupation majeure pour les autorités mais les réponses apportées sont encore trop déconnectées. La démarche collaborative mise en œuvre avec les gestionnaires met en avant l'importance de la prise en compte des interdépendances et identifie les marges d'amélioration pour la résilience des services urbains. L'articulation avec les échelles supérieures du territoire et de la planification urbaine en général est alors nécessaire pour mettre en place une démarche d'amélioration continue de la résilience impliquant l'ensemble des parties prenantes.

MOTS-CLES : résilience urbaine, collaboration, services urbains, Paris, inondation, ingénierie, organisation.

ABSTRACT

This research aims at designing and testing a methodology to improve urban resilience which includes both technical and organizational aspects. Ensuring the resilience of their territory is a major issue for local authorities, but the complexity of the stakes makes implementing this promising concept difficult. This research focuses on urban services, assuming that they are a necessary, but although insufficient, prerequisite to city resilience. Indeed, urban services are the backbone of urban functions and they are levers for action by authorities. Furthermore their technical and organizational specificities embody the urban system's complexity. Urban service manager collaboration is then relevant insofar that their interdependency is a critical resilience issue. The methodology to identify and asses urban service interdependencies is tested on the Parisian region. The future 100-year flood of the river Seine is a major concern for Parisian authorities, however planned responses are still disconnected. The collaborative approach constructed with Parisian managers highlights the importance of interdependency management. It also identifies margins for improvement in urban service resilience. Larger territorial scales must also be taken into account, including through urban planning and long term strategies. Hence, all stakeholders can be involved in order to feed and implement this continuous resilience improvement.

KEYWORDS: urban resilience, collaboration, urban services, Paris, floods, engineering, organization.

Toubin M. (2014) *Améliorer la résilience urbaine par un diagnostic collaboratif, l'exemple des services urbains parisiens*. Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot, 407 p.