



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

Les enjeux économiques de la résilience des réseaux

Rapport n° 008414-02
établi par

Marie-Anne BACOT, Jean-Louis DURVILLE et Laurent WINTER (coordonnateur)

Juillet 2015



Les auteurs attestent qu'aucun des éléments de leurs activités passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la rédaction de ce rapport.¹

Fiche qualité	
La mission du CGEDD qui a donné lieu à la rédaction du présent rapport a été conduite conformément au dispositif qualité du Conseil.	
Rapport CGEDD n° 008414-02	Date du rapport : Juillet 2015
Titre : Les enjeux économiques de la résilience des réseaux	
Commanditaire : Vice-président du CGEDD	Date de la commande : 24-10-2014
Auteurs du rapport (CGEDD) : Marie-Anne BACOT, Jean-Louis DURVILLE et Laurent WINTER (coordonnateur)	
Coordonnateur : Laurent WINTER	
Superviseur : Jean-Paul OURLIAC	
Relecteur : Eric REBEYROTTE	
Ce rapport a été examiné par un comité des pairs	
Nombre de pages du rapport (sans les annexes) : 55	

¹ Il est précisé que l'un des auteurs, Marie-Anne BACOT, était administratrice de SNCF Réseau et de RATP au moment de la rédaction de ce rapport ; s'agissant d'un rapport du CGEDD pour son propre usage, la mission et le bureau qui désigne les missionnaires ont considéré que, compte tenu de l'objet de l'étude, cette situation n'entachait pas l'impartialité du rédacteur.

Sommaire

Résumé.....	3
Liste des recommandations.....	5
Introduction.....	6
1. Éléments d'analyse.....	8
1.1. Le cadre législatif et réglementaire.....	8
1.2. Éléments de méthodologie.....	9
1.2.1. L'établissement d'une cartographie des risques par un opérateur de réseau.....	9
1.2.2. Le coût de réalisation d'un risque : pour l'opérateur, pour la collectivité.....	10
1.2.3. La stratégie de prévention.....	12
1.2.4. La modélisation des risques.....	12
1.2.5. Un domaine d'utilisation de l'analyse coût / bénéfice : les PAPI.....	14
1.2.6. Présentation de l'analyse coût / bénéfice.....	15
1.2.7. L'approche par l'analyse multi-critères et son application aux PAPI.....	17
1.2.8. L'approche par le coût marginal.....	17
1.2.9. Des pistes de développement pour l'avenir.....	18
1.3. La difficulté d'approcher le coût total d'une crise affectant un ou plusieurs réseaux.....	19
2. La vulnérabilité et la stratégie des acteurs.....	21
2.1. Les secteurs, leurs opérateurs et leurs stratégies.....	21
2.1.1. Le réseau routier et autoroutier.....	21
2.1.2. Le réseau ferroviaire (SNCF Réseau).....	29
2.1.3. Le réseau RATP.....	38
2.1.4. Réseau de transport d'électricité (RTE).....	44
2.1.5. Réseau de distribution d'électricité (ERDF).....	48
2.2. Synthèse sur les opérateurs de réseaux.....	52
2.3. Les autres acteurs et leur positionnement.....	55
2.3.1. Le point de vue des assureurs.....	55
2.3.2. Les usagers / clients.....	58
3. Conclusion.....	59
Annexes.....	62
1. Lettre de mission.....	63
2. Liste des personnes rencontrées.....	64
3. Glossaire des sigles et acronymes.....	66
4. Étude d'une coupure de l'autoroute A8 (viaduc sur le Var) suite à un séisme (document fourni par le CGDD).....	69

5. Évaluation du coût pour la collectivité de la coupure ferroviaire de Morlaix (document fourni par le CGDD).....	88
---	---------------------------

Résumé

Un précédent rapport du CGEDD (n° 008414-01 de septembre 2013) procédait à une revue générale de la vulnérabilité des réseaux d'infrastructures aux risques naturels et identifiait des questions n'ayant encore fait l'objet que de peu d'investigations. Il proposait d'approfondir deux points à l'occasion de missions ultérieures du Conseil : le coût complet des défaillances de réseaux en situation de crise (objet du présent rapport n° 008414-02) et le retour à la normale après une situation de crise (qui fait l'objet d'une autre mission concomitante²).

Les réseaux examinés dans le présent rapport sont les routes nationales et autoroutes, le réseau ferré national avec un examen particulier consacré aux transports collectifs de personnes en région Île-de-France (Transilien et réseaux de la RATP), transport et distribution d'électricité. Les risques pris en compte sont les risques naturels et les risques technologiques ; en revanche, les risques de terrorisme et de malveillance (qui incluent les « cyber-attaques ») sont exclus du champ de la mission.

Enfin, les risques pour la vie humaine (personnel des entreprises, usagers, tiers impactés), qui constituent légitimement une priorité absolue pour les opérateurs de réseaux, sont évidemment pris en compte dans les bilans socio-économiques des programmes de résilience. Toutefois, ils ne font pas l'objet d'un examen spécifique dans le cadre de la présente mission.

Après avoir proposé quelques définitions et rappelé le cadre législatif et réglementaire dans lequel s'inscrit l'activité des opérateurs de réseaux, la mission pose quelques éléments de méthodologie, qui concernent la cartographie des risques et leur modélisation, la problématique de prévention (stratégie préventive versus stratégie attentiste ou curative). Elle passe en revue les principales méthodes d'analyse disponibles, au prix éventuellement de quelques adaptations, et d'ores et déjà utilisées dans le cas des programmes d'actions préventives contre les inondations (PAPI) : la méthode d'analyse coût/bénéfice actualisé (ACB) et les méthodes d'analyse multi-critères ; la méthode du coût marginal, utilisée en Suisse dans le domaine des risques naturels.

Elle insiste sur la difficulté méthodologique d'affecter à un opérateur ou à un réseau en particulier les conséquences d'une crise grave d'origine naturelle ou technologique, causant par elle-même des effets directs et affectant simultanément par ailleurs plusieurs réseaux. Les interdépendances entre deux ou plusieurs réseaux (« effets domino ») sont encore difficiles à modéliser.

À l'issue d'un examen de chaque type de réseau au cours duquel ont été contactés les principaux responsables de chaque grand opérateur, ainsi que des représentants des professions de l'assurance et de la réassurance, la mission propose quelques constats et recommandations.

² Rapport du CGEDD n° 008414-03.

La connaissance de la valeur économique du patrimoine d'un opérateur et de la cartographie des risques, qui constituent des préalables à la définition d'une stratégie pertinente de prévention des risques, est très inégale selon les opérateurs et le plus souvent insuffisante. Les opérateurs n'ont en général qu'une connaissance partielle des coûts propres directs et indirects (reconstruction et pertes d'exploitation, plus indemnisation des clients le cas échéant) auxquels ils s'exposent en cas de défaillance de leurs réseaux. Ils tendent à sous-estimer leur propre dépendance vis-à-vis des autres réseaux et à concentrer leurs efforts sur l'amélioration de leur fonctionnement interne.

A fortiori, les opérateurs n'ont qu'une visibilité très faible, voire nulle, sur les coûts qu'une défaillance fait supporter à la collectivité : certains de ces coûts sont connus des assureurs (pour les biens assurables) mais sont difficilement rattachables à la défaillance d'un réseau en particulier. Enfin, les opérateurs conviennent du fait que des coûts non calculables, notamment des coûts en termes d'image, interviennent pour une large part dans le dimensionnement des programmes de prévention élaborés à la suite d'une crise majeure.

La mission insiste sur la nécessité pour les opérateurs de prendre en compte, dans l'identification de leurs priorités, les situations à fort enjeu économique, que sont les défaillances de longue durée et affectant un grand nombre de personnes sans solution alternative praticable, notamment affectant les transports massifiés de personnes dans les grandes agglomérations (l'agglomération parisienne étant prise comme exemple à titre illustratif). Elle identifie également les défaillances de longue durée d'un réseau desservant une zone isolée, même si l'enjeu ici n'est pas d'abord économique mais social et lié à l'équité entre territoires. Ces principes doivent être intégrés dans l'élaboration de la cartographie des risques des opérateurs, puis du plan de continuité d'activité (PCA), enfin celle du programme d'investissements de prévention.

La mission constate la difficulté pour les opérateurs, mais également pour leurs assureurs, d'aborder en ordre dispersé la modélisation économique de la résilience des réseaux et relève que le thème de la résilience, s'il fait l'objet de nombreuses publications, ne semble pas jusqu'ici avoir été suffisamment abordé sur le plan économique, notamment dans le domaine de l'économie des transports. La mission recommande donc aux directions générales du ministère assurant la tutelle des opérateurs de réseaux, de commander au réseau scientifique et technique ministériel une étude de faisabilité sur l'impact économique d'un scénario de crise grave et de longue durée affectant un élément de réseau de forte capacité, puis, sur cette base, de passer des commandes à des équipes universitaires sur la modélisation économique de sujets complexes identifiés dans le présent rapport, comme les interdépendances entre réseaux (« effets domino »), la redondance et les effets de saturation.

Liste des recommandations

Pages

1. Les Retex des incidents ou accidents devraient inclure une évaluation aussi complète que possible des coûts qui en résultent pour la collectivité, en isolant dans la mesure du possible ceux liés à la défaillance des réseaux. Les opérateurs de ces réseaux doivent évaluer les coûts directs et indirects de cette défaillance dans leurs Retex et en faire une présentation périodique à leurs tutelles. (opérateurs de réseaux, directions de tutelle de ces opérateurs) 53
2. Toute nouvelle mesure, législative ou réglementaire, d'extension de la prévention des risques auprès des opérateurs devrait s'accompagner d'une analyse coût / bénéfice actualisée. Il est proposé que cette analyse figure dans l'étude d'impact de cette nouvelle disposition. (SG/SDSIE, DGPR, Directions de tutelle des opérateurs de réseaux) 53
3. Une forte priorité doit être accordée aux défaillances susceptibles de provoquer une interruption de longue durée du service (critère de temps de rétablissement) et d'affecter un très grand nombre de personnes privées d'une alternative du fait de la saturation des réseaux de substitution (grandes agglomérations). (opérateurs de réseaux et leurs directions de tutelle) 54
4. Dans le cas des zones excentrées ou isolées, il est préconisé d'identifier les éléments dont la défaillance est susceptible de provoquer une interruption de longue durée du service (critère de temps de rétablissement), en l'absence d'une desserte ou d'un service alternatifs (zones excentrées ou isolées). (opérateurs de réseaux et leurs directions de tutelle).
5. Les éléments critiques majeurs ainsi définis au sens des recommandations 3 et 4, même si l'occurrence d'un événement susceptible de provoquer leur défaillance est de probabilité très faible, doivent être sécurisés suivant le principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable, aussi bas que raisonnablement atteignable). Les opérateurs dans la cartographie de leurs risques sont invités à progresser dans l'évaluation du coût global des défaillances de leurs réseaux et à conduire une analyse spécifique pour les situations décrites dans les recommandations 3 et 4. (opérateurs de réseaux) 54
6. Il est suggéré de confier une étude de faisabilité (incluant la rédaction d'un cahier des charges) au réseau scientifique et technique du MEDDE (Cerema, IFSTTAR, Ineris), en lien avec le CGDD, sur un scénario de perte sur une longue période du fonctionnement d'une infrastructure de forte capacité en milieu dense, puis de confier l'étude proprement dite à une équipe universitaire après appel d'offres. La modélisation économique des interdépendances entre réseaux (élaboration d'arbres d'interdépendances) ainsi que celle de la redondance et des effets de saturation devraient être développées dans ces travaux (SG/SDSIE, DGITM) 55

Introduction

Depuis une vingtaine d'années, on assiste à une croissance, en fréquence et en intensité, des phénomènes naturels de grande ampleur (tempêtes, crues des cours d'eau ou submersions marines, gel ou températures extrêmes...) et de leurs impacts, croissance que l'on peut relier au changement climatique. Ces phénomènes perturbent à des degrés divers le fonctionnement des réseaux de transport de personnes, de marchandises ou d'énergie. De plus, l'obsolescence d'une partie des installations anciennes et la complexité technologique croissante des équipements nouveaux entraînent une plus grande vulnérabilité des réseaux à l'égard d'un phénomène donné.

De la combinaison de ces deux facteurs il résulte un coût croissant des sinistres liés à des risques naturels ou technologiques, notamment lorsque les réseaux d'infrastructures sont affectés.

À partir d'une approche essentiellement curative, les opérateurs de ces réseaux ont commencé à adopter une approche préventive suite à de grandes crises (par exemple RTE pour les tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999, Aéroports de Paris (ADP) pour la « crise du glycol » de décembre 2010...) :

- les bénéfices d'une approche préventive « scientifique » par rapport à l'approche empirique de réponse aux événements sont de plus en plus reconnus ;
- toutefois l'approche des opérateurs se limite, sauf obligations légales ou contractuelles, à prendre en compte leurs coûts propres (investissement, exploitation), à l'exclusion des coûts induits chez les clients, chez d'autres opérateurs ou chez des tiers.

Il serait de l'intérêt des pouvoirs publics de connaître le coût complet pour la collectivité d'une défaillance d'un ou plusieurs réseaux, afin d'adapter la réglementation sectorielle et de fixer des objectifs aux opérateurs dans leurs contrats pluriannuels d'objectifs ou de performance. D'où les questions : comment fixer le niveau de sécurité recherché (ou de risque accepté) sous-tendant ces objectifs ? L'approche économique peut-elle être un outil pour la décision ?

Dans ce qui suit, il sera fait appel à la notion de *résilience* qui a plusieurs définitions selon les domaines auxquels elle s'applique : psychologie, biologie, physique, mécanique, systèmes complexes. Nous retiendrons la définition couramment employée pour les systèmes complexes :

« Capacité à absorber une perturbation, à se réorganiser, et à continuer de fonctionner de la même manière qu'avant ».

Conformément à la lettre de commande, le risque terroriste ou de malveillance et le risque technologique nucléaire sont exclus du champ de la mission.

Le présent rapport expose dans une première partie un bref résumé du cadre législatif et réglementaire en vigueur, le cadre d'analyse des risques et les éléments de méthodes économiques disponibles pour les opérateurs de réseaux et leur utilisation variable selon les opérateurs ; il présente ensuite les stratégies des acteurs :

opérateurs de réseaux (routes et autoroutes, réseau ferré, transports collectifs urbains, transport et distribution d'électricité), puis plus brièvement assureurs et réassureurs, enfin usagers et clients des services fournis ; il se termine par les constats et recommandations de la mission.

Précisons enfin que ce rapport vise avant tout les défaillances majeures, ayant une répercussion sensible au niveau régional au moins.

Une autre mission du CGEDD, lancée en parallèle, porte sur le retour à une situation normale après une crise affectant les réseaux (n° 008414-03). Ces deux missions sont étroitement liées, dans la mesure notamment où la durée d'une situation perturbée, ou d'une absence totale de fonctionnement d'un réseau (objet principal de cette autre mission), a comme on le verra une incidence directe sur le coût de la défaillance d'un réseau.

1. Éléments d'analyse

1.1. Le cadre législatif et réglementaire

Deux textes déterminent les obligations des opérateurs de réseaux en matière de continuité d'activité et de résilience :

- le code de la sécurité intérieure, loi de modernisation de la sécurité civile n° 2004-811 du 13 août 2004, crée pour les exploitants de certains services destinés au public³ des obligations de continuité de fourniture de services aux populations en cas de crise ;
- le code de la défense, articles L1332-1 à L1332-7 (loi n° 2005-1550 du 12 décembre 2005) et articles R1332-1 à R1332-42, qui définissent les opérateurs d'importance vitale (OIV), les secteurs d'activité d'importance vitale (SAIV)⁴ et les points d'importance vitale (PIV) et instaurent les plans de sécurité d'opérateurs (PSO), obligatoires, notifiés au gouvernement, et les plans de continuité d'activité (PCA).

Par ailleurs, plusieurs textes encadrent la prévention des risques naturels et technologiques ainsi que l'analyse des risques :

- la directive européenne « inondations », transcrite en droit français par la loi « Grenelle II » (loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010), prescrit la définition d'une stratégie nationale de gestion du risque d'inondation (SNGRI), précisée par l'arrêté interministériel du 7 octobre 2014, qui institue les PGRI⁵ (code de l'environnement et code de l'urbanisme) ;
- la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) (code de l'environnement), notamment l'obligation de réaliser des études de dangers (décret n° 2000-258 du 20 mars 2000) ;
- la directive européenne « Seveso » et sa transcription dans le droit national ;
- les plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) (code de l'environnement, articles L562-1 à L562-9) ;
- la loi sécurité financière du 1er août 2003 dont l'article 117 modifie les dispositions des articles L. 225-37 et L.225-68 du code de commerce en créant une obligation pour les sociétés cotées⁶ d'informer le marché sur l'ensemble des risques évalués par le contrôle interne de ces entreprises.

³ Assainissement, production ou distribution d'eau, d'électricité ou de gaz, opérateurs de réseaux de communications électroniques ouverts au public.

⁴ Il existe 12 secteurs d'activité d'importance vitale dont 3 relèvent du MEDDE : les transports, l'énergie et l'eau.

⁵ Plans de gestion des risques inondation.

Ces textes ne concernent pas explicitement les réseaux, mais plutôt l'environnement dans lequel ils s'inscrivent (risques industriels et environnementaux, inondations...).

Ce cadre général est complété par des lois et règlements techniques sectoriels (routes, tunnels, canalisations..) ou à l'égard d'un risque particulier (risque incendie, risque sismique...). Ainsi par exemple, la directive européenne de 29 avril 2004 qui concerne les tunnels de plus de 500 m du réseau routier trans-européen, prise à la suite de deux incendies de tunnels, l'un en Autriche, l'autre au tunnel du Mont-Blanc en 1999 ; cette directive est précisée par une réglementation nationale.

1.2. Éléments de méthodologie

1.2.1. L'établissement d'une cartographie des risques par un opérateur de réseau.

Une stratégie de résilience, pour un gestionnaire ou un opérateur de réseau, consiste en premier lieu à cartographier les risques auxquels il est confronté, le plus souvent « à dire d'expert » (à défaut de disposer de données statistiques fiables). Un cadre général d'analyse est élaboré par la direction en charge des risques (direction de l'audit et des risques, souvent rattachée soit à la direction financière, soit au secrétariat général), puis envoyé dans les divisions de métiers et dans les unités opérationnelles, qui remplissent ce cadre à leur niveau et font remonter leur analyse au siège.

Il s'ensuit une classification de ces risques selon une grille d'analyse à deux dimensions (**fréquence, conséquences en termes de coûts pour l'opérateur**) ou à trois dimensions (les mêmes, plus le **degré de maîtrise du risque par l'opérateur**).

Souvent un risque à caractère transversal n'est pas identifié au niveau des métiers ou unités opérationnelles et n'apparaît qu'à l'issue d'une analyse faite au niveau du groupe (COMEX, comité d'audit et des risques constitué au sein du conseil d'administration). Il s'agit en fait d'une démarche itérative, à la fois *top down* et *bottom up*.

Une dimension essentielle, mais qui n'est pas toujours mise en évidence, d'une crise est la durée pendant laquelle elle s'exerce, ou pendant laquelle ses conséquences se poursuivent. La durée d'une crise affectant la fourniture d'un service essentiel influe directement sur le manque à gagner de l'opérateur (pour un service facturé) et sur la perception des usagers/clients du service (coût intangible d'image de l'opérateur s'il ne parvient pas à rétablir rapidement un niveau de service « acceptable »). En outre, la mobilisation du personnel et de moyens techniques pour mettre en place un service provisoire de substitution a une incidence sur les coûts d'exploitation.

Une fois la matrice des risques élaborée, il est possible de préciser le niveau auquel le risque est pris en compte :

⁶ SNCF Réseau, la RATP, RTE et ERDF sont des EPIC et non des sociétés anonymes cotées : elles n'entrent donc pas dans le champ d'application de cette loi ; en revanche, les sociétés privées d'autoroutes, ADP et les sociétés de distribution d'eau (Veolia environnement, Suez environnement) sont concernées.

- les risques « locaux » appartenant à la vie quotidienne, que les métiers ou les unités opérationnelles sont en mesure de gérer sans faire appel aux ressources du siège (forte fréquence, faible intensité et faibles conséquences) ;
- les risques intermédiaires de fréquence et d'intensité moyennes, impliquant souvent plusieurs divisions de l'opérateur, également impactées et appelées à coopérer à la réduction et à la gestion de ces risques et impliquant une décision prise au niveau du comité exécutif ;
- les risques majeurs, de faible voire très faible fréquence mais d'intensité et d'impact très importants, cet impact dépassant souvent le périmètre de l'opérateur ; l'ensemble des ressources de l'opérateur sont alors mobilisées (sa survie est souvent en jeu), ainsi que des ressources publiques (collectivités territoriales, État, voire ressources communautaires).

Le degré de maîtrise du risque par l'opérateur est un critère de prise en compte par le premier ou le second niveau (bonne maîtrise) ou par le troisième (maîtrise incomplète et par l'opérateur seul et donc nécessité de concours extérieurs).

Ces risques peuvent être de natures diverses : risques financiers, risques sociaux (grèves ou plus généralement liés aux ressources humaines), d'image, informatiques, opérationnels.

1.2.2. Le coût de réalisation d'un risque : pour l'opérateur, pour la collectivité

La matérialisation d'un risque se traduit par la défaillance d'un réseau, ou d'un élément de réseau, dont il convient d'appréhender les coûts, d'abord du point de vue de l'opérateur, puis de celui de la société.

Du point de vue de l'opérateur, le coût de la défaillance a plusieurs composantes :

- le coût de remise en état de l'élément défaillant (réparation à l'identique ou remplacement par un élément de conception plus moderne, voire par un dispositif alternatif) ;
- la couverture des pertes d'exploitation subies pendant l'interruption du service ou la fourniture d'un service réduit, jusqu'à la récupération totale de la fonctionnalité antérieure (ou d'une fonctionnalité jugée équivalente) ;
- le cas échéant, l'indemnisation des clients/usagers⁷ du réseau (lorsqu'elle est prévue contractuellement) ; toutefois, il appartient en général aux clients de se couvrir contre les conséquences de la défaillance du réseau, par exemple en souscrivant une police d'assurance, au-delà d'un montant défini au contrat avec l'opérateur ;
- le « coût d'opportunité », qui représente le coût lié à la mobilisation de ressources de l'opérateur dans le cas d'une crise prolongée ;

⁷ On se limitera ici aux dommages aux biens et aux préjudices économiques qui sont l'objet du rapport, les risques pour les vies humaines ne relevant pas de son objet ne sont donc pas traités ici.

- le coût d'image pour l'entreprise.

Si les trois premiers de ces coûts sont en principe faciles à appréhender, il en va différemment des deux derniers cités dont l'appréciation est plus subjective. En outre, l'entreprise doit évaluer l'occurrence probable de l'événement pour apprécier son risque. La valeur de l'occurrence est, elle aussi, souvent difficile à appréhender.

Du point de vue de la collectivité, d'autres éléments sont à considérer ; ce sont les coûts externalisés, ou coûts induits :

- les coûts supportés par des tiers impactés (par exemple, riverains d'une route départementale ayant à supporter le trafic de l'autoroute fermée, employeurs de personnels dans l'impossibilité temporaire de rejoindre leur lieu de travail...) ;
- les coûts supportés par les clients, non pris en charge par l'opérateur ;
- l'incidence de la défaillance sur l'activité économique régionale, voire nationale (PIB) ;
- les coûts environnementaux ;
- les coûts induits auprès d'autres opérateurs de réseaux (« effet domino »).

On verra dans ce qui suit que la connaissance par un opérateur des coûts directs qu'il encourt du fait d'une défaillance est très variable d'un opérateur à l'autre, et souvent incomplète : soit par défaut de connaissance du trafic sur tel élément de réseau et donc de sa valeur économique, soit par ignorance du délai de retour à une situation normale (ou de la situation *ex-ante*), qui détermine la perte d'exploitation prévisionnelle (on rejoint ici la problématique examinée par la mission « retour à la normale »).

A fortiori, l'opérateur n'a qu'une connaissance très approximative des effets induits par sa défaillance, ou par la défaillance d'une de ses composantes, et des coûts correspondants. Le lien de causalité n'est pas toujours facile à établir, surtout dans le cas d'une « méga-crise » mettant en jeu plusieurs opérateurs défaillants simultanément (d'où une difficulté à attribuer les coûts induits à tel ou tel opérateur en particulier).

Au demeurant, chaque opérateur n'est pas incité à connaître ces coûts externalisés ou induits, qui peuvent être très élevés voire hors de proportion avec les capacités financières de l'opérateur concerné, mais qui sont en définitive supportés soit par la solidarité nationale, soit par les victimes ou par leurs assureurs (et par les réassureurs).

Concernant les effets domino sur d'autres opérateurs, chaque opérateur peut être dans la situation d'être générateur ou « victime » d'un effet domino. Sauf disposition contractuelle contraire, chaque opérateur est censé faire face par ses propres moyens à la défaillance des réseaux dont il dépend : il doit donc en tenir compte dans sa cartographie des risques et dans sa stratégie de prévention.

1.2.3. La stratégie de prévention

La démarche rationnelle d'une stratégie de prévention pour un opérateur consiste à mettre en regard, pour chaque scénario de défaillance de son réseau (ou d'un élément défini de son réseau) :

- d'une part le coût (certain) d'une stratégie de prévention de la défaillance et d'augmentation de la résilience : investissement préventif de « durcissement » de son réseau à l'égard de tel ou tel risque, mesures d'entretien courant et d'entretien préventif, mesures d'exploitation, stocks de matériels de rechange, etc. ;
- d'autre part, le coût (aléatoire) des conséquences de la défaillance que cette stratégie permet d'éviter (coûts évités ou éludés), avec actualisation.

Le plus souvent, il ne s'agit pas d'une décision binaire (faire ou ne pas faire), mais d'une stratégie de dimensionnement : jusqu'où aller dans la prévention d'un risque ? Par exemple, dimensionner des ouvrages de protection des crues contre une crue millénale coûtera sensiblement plus cher que pour une crue centennale, pour un coût évité bien plus important mais avec une probabilité d'occurrence dix fois plus faible (au cours d'une période déterminée).

Sur le plan théorique, on se heurte à la question des événements très peu probables, voire qui n'ont jamais été observés historiquement (« queues » des lois de probabilité), mais dont les conséquences seraient considérées comme inacceptables.

La tendance actuelle est à reconsidérer à la hausse l'événement dimensionnant (ou événement de référence) de la stratégie de protection pour les gros risques (stratégie d'aversion au risque), sans changer d'approche pour les petits risques (stratégie de neutralité). Ainsi par exemple, la crue de référence pour une inondation de l'agglomération parisienne pourrait ne plus être la crue centennale, mais la crue de 500 ans : il en résultera une réévaluation à la hausse des investissements de prévention à réaliser.

1.2.4. La modélisation des risques

Dans ce qui suit, on passe en revue différentes méthodes et approches couramment utilisées pour fonder des choix économiques.

Les dispositions nationales relatives aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure (instruction cadre du 27 juin 2014 qui refond la circulaire dite « circulaire Boiteux / de Robien » du 3 octobre 1995) préconisent une approche multi-critères mais dans leur version actuelle, elles ne prennent pas en compte dans les critères et indicateurs d'évaluation socio-économique la résilience des projets aux risques naturels et technologiques.

Ainsi par exemple, dans l'annexe à la note technique du 27 juin 2014 précitée, les différentes composantes de la valeur actualisée nette socio-économique (VAN-SE), qui servent de base tant à l'évaluation *ex-ante* qu'à l'évaluation *ex-post* (bilan LOTI), sont énumérées comme suit :

- *« la variation des coûts d'investissements, de grosses réparations, d'entretien et d'exploitation pour l'ensemble des acteurs économiques concernés par le projet ;*
- *le surplus de la population (usagers, riverains, citoyens) apprécié à partir de :*
 - *la valeur monétaire des variations de temps généralisé de parcours,*
 - *la valeur monétaire des accidents corporels et incorporels,*
 - *la valeur monétaire de la variation de l'impact des émissions de polluants sur la qualité de l'air,*
 - *la valeur monétaire de la variation de l'impact des émissions sonores,*
 - *la variation de l'impact des émissions de gaz à effet de serre,*
 - *la variation de l'impact sur l'économie de la mobilisation, pour le projet, des finances publiques.*

Lorsque les données sont disponibles et selon les méthodes éprouvées, la VAN-SE intègre la valeur monétaire des gains de confort, de variation de fiabilité des temps de parcours et des effets amont-aval. »

Les coûts d'investissement initiaux (incluant le coût du financement et le coût d'opportunité des fonds publics), les coûts d'entretien et d'exploitation pendant la période de référence retenue, les bénéfices actualisés attendus pendant cette même période (notamment en termes de gains de temps pour l'utilisateur des transports et de gains de sécurité), avec prise en compte du risque systémique du projet (sa sensibilité à la variation du PIB, notamment à travers la demande de transport) sont pris en considération.

Toutefois, comme le président de la commission du Commissariat général à la stratégie et à la prospective (CGSP) – dont le rapport « l'évaluation socio-économique des investissements publics » a servi de base à cette dernière note technique – l'a confirmé aux membres de la présente mission, l'idée, un temps envisagée, d'inclure la résilience aux risques dans les indicateurs socio-économiques à prendre en compte, n'a en définitive pas été retenue.

Enfin, le rapport du Commissariat général à l'investissement (CGI) au Premier ministre « l'évaluation des projets d'investissements publics », qui propose une démarche d'évaluation et de contre-expertise indépendante de ces projets (publié le 8 février 2013), mentionne la cartographie des risques parmi les sept thèmes sur lesquels doit porter la contre-expertise indépendante : toutefois, dans l'esprit des rédacteurs, il s'agit des risques initiaux du projet (risque de financement, risque de construction) et des risques d'exploitation et d'entretien courant de celui-ci pendant une période de référence, mais non de sa résilience à l'égard d'événements perturbateurs.

1.2.5. Un domaine d'utilisation de l'analyse coût / bénéfice : les PAPI

En dehors de l'évaluation socio-économique ex-ante ou ex-post des projets d'infrastructure ou de transport, la méthode de l'analyse coût / bénéfice actualisé (ACB) a trouvé un autre champ d'application : le dimensionnement des ouvrages de prévention des inondations, dans le cadre des **programmes d'actions de prévention contre les inondations** (PAPI), lancés par le MEDDE (un premier appel à projets a été lancé en 2002, un deuxième en 2011). Il s'agit de déterminer le dimensionnement approprié des ouvrages et autres mesures de protection d'un territoire contre les crues à partir de la statistique des crues connues et des coûts.

La labellisation « PAPI » d'un programme de protection contre les crues n'est accordée que sous la condition d'une ACB des investissements de ce programme. Un guide technique⁸, élaboré par le Centre européen de prévention du risque d'inondation (CEPRI) avec le soutien du MEDDE, préconise une démarche en sept étapes :

- définition concertée du périmètre d'analyse ;
- détermination de l'exposition du territoire au risque ;
- recensement des enjeux, avec leurs courbes d'endommagement (dommages en fonction de l'intensité du phénomène : hauteur d'eau pour une crue, intensité macrosismique, etc.) ;
- évaluation des bénéfices (dommages évités, définis comme la différence entre les dommages sans et avec les mesures de protection du programme) ;
- évaluation du coût des mesures ;
- calcul des indicateurs synthétiques de l'ACB : si la valeur actualisée nette (VAN) est positive, la mesure étudiée est rentable du point de vue économique ;
- analyse de l'incertitude et de la sensibilité de l'analyse produite (robustesse du résultat).

Le coût admissible d'un programme doit être inférieur à la somme actualisée sur la durée de référence du programme (en principe 50 ans ou une durée inférieure) des dommages évités moyens annuels (DEMA).

Le Cerema (direction territoriale Normandie-Centre) a également engagé des réflexions sur l'extension de la méthode de l'ACB aux mesures de prévention des risques industriels, notamment dans les ICPE et dans les installations classées donnant lieu à une étude de dangers obligatoire.

Toutefois, la mission n'a pas trouvé dans la littérature académique, ni dans les guides techniques élaborés dans le cadre ministériel, d'application de l'ACB probabilisée aux programmes destinés à renforcer la résilience des réseaux d'infrastructures de transport de personnes, de marchandises ou d'énergie. Elle n'en a pas trouvé davantage lors de ses enquêtes conduites auprès des opérateurs de réseaux : le

⁸ CEPRI, 2011. *L'ACB : une aide à la décision au service de la gestion des inondations*. Guide à l'usage des maîtres d'ouvrage et de leurs partenaires.

niveau de risque à éviter est déterminé a priori (contrat de concession, dire d'expert) et les opérateurs dimensionnent leurs programmes en fonction de ce niveau de risque.

À défaut d'analyse économique, plusieurs principes de dimensionnement sont utilisés dans la pratique pour limiter l'exposition à un risque défini : les principes ALARA (*as low as reasonably achievable*) et ALARP (*as low as reasonably practicable*). Ils tiennent compte de l'état présent de la technologie disponible, mais également des contraintes financières et en matière de ressources humaines.

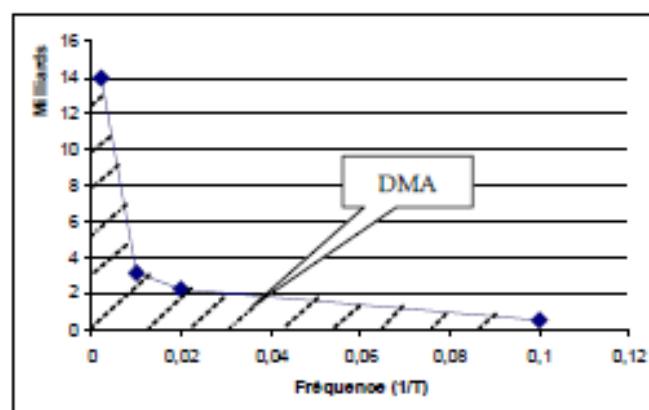
1.2.6. Présentation de l'analyse coût / bénéfice

L'analyse coût / bénéfice (ACB) appliquée à une mesure de réduction du risque permet de comparer dans la durée les bénéfices générés par une mesure de réduction du risque et son coût de mise en œuvre. Suivant ce type d'analyse, la décision résulte d'une comparaison entre :

- coûts actuels de la protection, en fonction du niveau de sécurité recherché,
- espérance de la réduction du coût actualisé des catastrophes, compte tenu des probabilités d'occurrence (aléa) et de fonctions d'endommagement reliant intensité et pertes : c'est l'espérance des dommages évités (des bénéfices attendus) grâce à la protection.

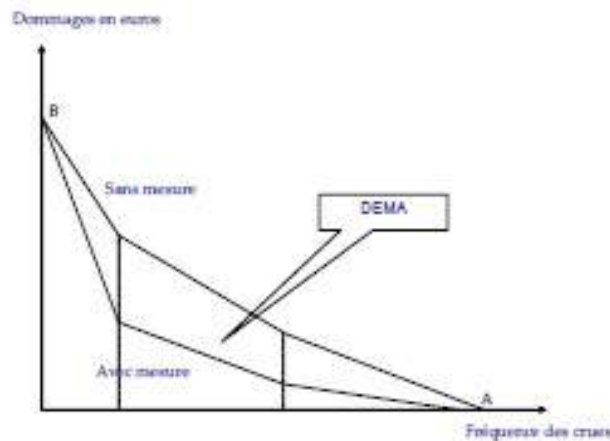
Les principales étapes de l'ACB (annexe technique PAPI)

Dans l'idéal, pour des événements à intensité variable (séisme, inondation, vent, etc.), on établit une échelle d'événements d'intensité croissante et de probabilité (en général !) décroissante (par ex, inondations Q100, Q200, Q500...), et on évalue les coûts associés. Ceci permet de définir le dommage moyen annuel, à partir de la courbe dommages/fréquence (DMA = aire sous la courbe).



Courbe dommages/fréquences et calcul du DMA (source : annexe technique PAPI)

On peut ensuite évaluer les « dommages évités moyens annuels » (DEMA) grâce à une protection donnée (aire entre les deux courbes dans la figure ci-dessous).



DEMA liés à une mesure de protection (annexe technique PAPI)

On peut aussi évaluer :

- soit la *Valeur Actualisée Nette* :

$$VAN = -C_o + \sum_{i=0}^n \frac{1}{(1+r)^i} (DEMA - C_i)$$

où C_o est le coût initial de la mesure, C_i le coût d'entretien à l'année i et r le taux d'actualisation.

Le projet est pertinent si $VAN > 0$.

- soit le rapport $DEMA/C$:

$$\frac{DEMA}{C} = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{DEMA}{(1+r)^i}}{C_o + \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}}$$

Le projet est pertinent si $DEMA/C > 1$.

Il convient de souligner l'importance du choix d'un taux d'actualisation : le rapport au commissariat au plan de 2005, dit « rapport Lebègue », a ainsi préconisé pour les grands projets un taux initial de 4 % « non risqué » (n'incluant pas les risques). Il faut également fixer l'horizon temporel (en général 50 ans sauf pour les projets dans les secteurs d'évolution technologique rapide, pour lesquels il est plus court).

Pour des événements uniques, dépourvus de statistiques, sans échelle continue d'intensité (explosion d'un transformateur, éboulement de Séchilienne), on analyse un ou plusieurs scénarios dont on estime des probabilités d'occurrence.

1.2.7. L'approche par l'analyse multi-critères et son application aux PAPI

Dans le cadre de préparation du deuxième appel à projets « PAPI », le Commissariat général au développement durable (CGDD) a réalisé pour le compte de la direction générale de la protection et des risques (DGPR) un guide méthodologique de recommandations relatives au recours à l'analyse multi-critères (AMC) comme alternative à l'ACB pour la labellisation des PAPI. L'AMC prend en compte des indicateurs non nécessairement traduits en valeur monétaire, comme le nombre de personnes affectées par la coupure de réseau ou la durée de cette coupure.

Ce guide, publié en juillet 2014, décrit les étapes de la réalisation d'une AMC et propose d'analyser chaque projet de PAPI selon une grille d'indicateurs élémentaires et une grille d'indicateurs synthétiques.

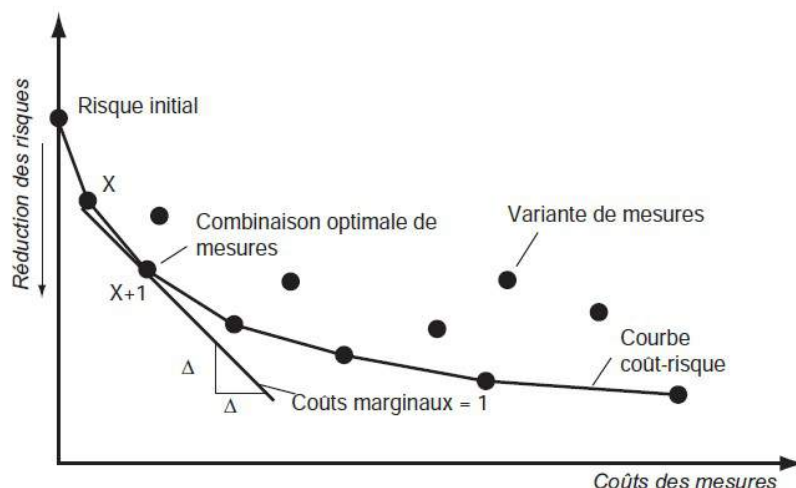
Les bénéfices d'un projet sont mesurés au travers des dommages évités grâce à la réalisation du projet. Les indicateurs sont donc calculés avant projet et après projet pour un unique scénario d'inondation qui correspond au niveau de protection du projet.

Des indicateurs de dommages monétaires correspondent aux impacts déjà intégrés dans l'outil initial de l'ACB. Des indicateurs d'enjeux complètent l'analyse de l'impact du projet sur la santé humaine, l'environnement, l'économie et le patrimoine culturel ; ces indicateurs permettent de prendre en compte les effets sur les zones qui sont protégées de l'inondation par l'aménagement concerné. Enfin deux indicateurs portent sur les coûts d'investissement, d'entretien et de fonctionnement de l'aménagement de protection.

1.2.8. L'approche par le coût marginal

En Suisse, le PLANAT dans son *Guide du concept de risque*⁹, propose une détermination de l'investissement optimal par le coût marginal. Dans une hypothèse où les mesures de protection représentent un continuum de coût et de bénéfice, l'optimum est défini par le fait qu'un euro de plus dépensé « rapporte » exactement un euro en termes de gain sur le coût moyen des dommages. L'application de cette méthode est obligatoire pour l'étude de risque des projets.

⁹ *Stratégie « Dangers naturels » en Suisse – Guide du concept de risque*. Plate-forme nationale PLANAT, Berne, février 2009.



Détermination de la combinaison optimale des mesures d'après le critère des coûts marginaux (PLANAT, 2009)

La mission observe que des méthodes d'évaluation socio-économiques – méthode d'analyse coût / bénéfice actualisé, méthode d'analyse multi-critères – sont recommandées et d'ores et déjà utilisées en matière de prévention des crues, notamment pour la labellisation des PAPI.

Dans cette perspective, les opérateurs des différents réseaux pourraient réfléchir à l'adaptation d'une méthode d'analyse multi-critères applicable aux investissements et autres mesures de prévention des risques.

1.2.9. Des pistes de développement pour l'avenir

Des entretiens conduits par la mission avec des économistes, ont émergé quelques idées à poursuivre et à développer :

- s'inspirer des études de risques des systèmes complexes, notamment concernant les arbres de défaillances (aéronautique, espace) ;
- disposer de bases de données sur les sources de perturbations possibles (usines Seveso ou ICPE dans le voisinage, dépendance vis-à-vis d'un fournisseur...) et sur l'occurrence des aléas (nature, localisation, fréquence...) ;
- disposer de la connaissance du réseau, de ses composants, de leur vulnérabilité et de leur coût de reconstitution ; la connaissance de la contribution économique (donc la valeur patrimoniale) des éléments du réseau est un préalable au repérage des points sensibles (ou vulnérables).
- tenter de quantifier le gain de résilience résultant du maillage du réseau ;
- tenter de même de modéliser les effets domino entre réseaux.

Par ailleurs :

- L'optimisation des moyens de production d'un service peut conduire à perdre de la résilience ; inversement la recherche de la résilience conduit à des dispositifs redondants, en général onéreux : la difficulté consiste à « placer le curseur » entre objectifs divergents ;
- Le coût de la défaillance d'un élément de réseau est une fonction croissante (pas toujours proportionnelle) de la durée d'interruption de service (lien avec la mission « retour à la normale après une situation de crise »).

1.3. La difficulté d'approcher le coût total d'une crise affectant un ou plusieurs réseaux

L'application des méthodes précédentes suppose de disposer d'une base de connaissance sur les coûts observés. Or, le coût total d'une crise récente est difficile à estimer. Il faudrait pouvoir connaître et rassembler de façon exhaustive des données éparses et parfois de fait indisponibles :

- dépenses de la puissance publique sur les réseaux routiers, qu'il faut pouvoir identifier dans différents budgets ;
- montant des indemnités versées par l'État aux collectivités pour les dégâts à leurs réseaux (routes, assainissement...) ;
- indemnités versées par les assureurs aux entreprises (quand elles sont assurées) ;
- dépenses propres des opérateurs sur les différents postes : mesures d'urgence, remise en état du réseau, etc.
- pertes d'exploitation des opérateurs.

L'évaluation globale suppose un travail de collecte fastidieux, puis d'agrégation en évitant les doubles comptes. À l'inverse, dans une crise affectant une portion étendue du territoire et impliquant plusieurs réseaux (ex. : inondation, tempête, séisme...), on peut estimer approximativement le coût global de la crise pour la société, mais il est quasi-impossible d'isoler dans ce coût ce qui résulte de la défaillance d'un réseau donné d'infrastructures.

Certains opérateurs ont du mal à connaître leurs propres coûts (cartographie des risques incomplète) ; *a fortiori*, ils ignorent les coûts externes qu'ils ne sont actuellement pas incités à évaluer, sauf s'ils sont amenés à les compenser (lorsque c'est prévu dans le contrat de fourniture ou dans le cas du transport et de la distribution d'électricité pour lequel du fait de la réglementation, l'opérateur supporte des pénalités, souvent lourdes, pour défaut ou interruption de fourniture). De plus, certains d'entre eux ne connaissent que très approximativement la valeur de leur patrimoine (par exemple, la valeur économique de certains postes de commande ferroviaires, sans commune mesure avec le simple coût de reconstruction).

Les opérateurs comme les pouvoirs publics savent scénariser et modéliser des événements qui se sont déjà produits, d'autant mieux qu'existe une série

chronologique d'événements permettant d'estimer des probabilités. Il leur est d'autant plus difficile d'anticiper une crise d'un type nouveau que des événements naturels peuvent interférer avec des défaillances technologiques pour constituer des crises de nature hybride (NaTech) ; de telles crises sont amenées à se produire plus fréquemment à l'avenir, compte tenu de la part croissante, dans les infrastructures et leurs équipements, de composants électroniques ou informatiques, fragiles à l'égard de l'eau, du feu, voire des températures extrêmes.

S'agissant de l'impact économique d'événements majeurs, deux questions d'échelle se posent : temporelle et spatiale. D'une part les effets en cascade se diluent et s'imbriquent avec le temps et dans l'espace. D'autre part, les effets de substitution conduisent à s'interroger sur le périmètre géographique et économique dans lequel on évalue les coûts : exemple typique de l'accès à une station de sports d'hiver durablement bloqué, qui est bénéfique pour les stations voisines.

Il y aurait lieu de mieux étudier les effets macroéconomiques (effets sur le PIB) de la défaillance prolongée d'un grand réseau, en s'inspirant des études réalisées à l'étranger (par exemple, effets sur le PIB de l'ouragan Sandy ; étude OCDE sur l'inondation de 1910 à Paris).

Il est donc suggéré de confier une étude de faisabilité (incluant la rédaction d'un cahier des charges) au réseau scientifique et technique du MEDDE (CEREMA, IFSTTAR) sur un scénario de crise (perte prolongée de la ligne A de RER), puis de confier l'étude proprement dite à une équipe universitaire après appel d'offres.

2. La vulnérabilité et la stratégie des acteurs

2.1. Les secteurs, leurs opérateurs et leurs stratégies

2.1.1. Le réseau routier et autoroutier

2.1.1.1. Présentation du réseau

Consistance

Le réseau pris en compte est le réseau routier national (RRN) non concédé et le réseau autoroutier (en majorité concédé, avec des exceptions comme dans les grandes agglomérations et dans certaines régions : autoroutes bretonnes, A75...). Doivent également être pris en considération les éléments de réseau départemental qui servent d'itinéraires de substitution au réseau national (routier et autoroutier) en cas de coupure ou de dysfonctionnement grave. Le RRN non concédé représente 12 579 km et le réseau autoroutier concédé représente 8 578 km.

Opérateurs concernés

L'État (MEDDE/DGITM) est l'opérateur direct de l'ensemble du RRN et du réseau autoroutier non concédé. À l'échelon central, il s'agit de la direction des infrastructures de transport (DGITM/DIT), et à l'échelon déconcentré, des services de maîtrise d'ouvrage (SMO) des DREAL et des directions inter-départementales des routes (DIR).

Le réseau autoroutier concédé a pour opérateurs des sociétés concessionnaires d'autoroutes, pour la plupart privées (Sanef, APRR, ASF, Cofiroute et les filiales des trois premières, respectivement SAPN, Area et Escota), ainsi que deux sociétés publiques exploitant les tunnels du Mont-Blanc et du Fréjus et leurs accès (ATMB, SFTRF).

Réglementation technique

Le secteur routier (chaussées, ouvrages d'art, équipements) est soumis à une réglementation technique abondante, notamment pour ce qui concerne la sécurité routière. Le secteur autoroutier est soumis à des normes particulières, permettant une vitesse de 130 km/h en section courante. En zone sismique, les ponts sont soumis aux règles parasismiques, plus ou moins contraignantes selon le « degré d'importance » des ouvrages.

Les sociétés concessionnaires des autoroutes et autres ouvrages (tunnels) sont soumises à un cahier des charges comportant des dispositions concernant la construction, l'exploitation et le niveau de service pendant toute la durée du contrat de concession.

2.1.1.2. Connaissance des risques encourus par le réseau

Vulnérabilité

Le réseau routier peut être affecté soit dans son infrastructure, soit dans les conditions de circulation, avec une durée variable selon le type d'événement et la rapidité de remise en état de l'infrastructure et de ses équipements.

Les chutes de neige, les pluies verglaçantes, les inondations ou submersions marines peuvent engendrer des perturbations majeures de la circulation, comme l'ont montré divers événements de ces dernières années. Une tempête peut entraîner une chute d'arbres, de poteaux électriques ou téléphoniques ou de panneaux de signalisation, susceptibles de bloquer la circulation.

Un sol instable (glissement de terrain ou chutes de blocs en montagne, effondrement de cavités du sous-sol) ou un séisme peuvent provoquer une coupure pour une durée plus longue.

Les **viaducs** sont des points de vulnérabilité particulière, notamment vis-à-vis d'une crue exceptionnelle affouillant des piles de ponts ou d'un séisme. La reconstruction complète d'un ouvrage d'art requiert des délais plus importants que celle d'une route en section courante, ce qui peut nécessiter la mise en place d'ouvrages de franchissement provisoires démontables.

Les **tunnels** sont également des points sensibles. À la suite de l'incendie du tunnel du Mont-Blanc en 1999 (et d'autres incendies à l'étranger), un programme de requalification contre le risque incendie de l'ensemble des tunnels routiers d'Île-de-France et des principaux tunnels de province (longueur supérieure à 300 m) a été engagé. Une directive européenne s'applique de plus pour les tunnels du réseau trans-européen de plus de 500 m.

Tout récemment, la route reliant Grenoble au col du Lautaret a dû être fermée suite aux désordres apparus dans le tunnel du Chambon. L'accès à la haute vallée et au col n'est donc plus possible depuis le 10 avril 2015 (au 31 juillet 2015).

Les **équipements** du réseau les plus exposés sont les panneaux de signalisation, sensibles au vent (tempête), à la neige, aux chocs de véhicules et (pour les panneaux à messages variables – PMV) aux coupures de courant (voir *infra*). Une panne de ces équipements peut entraîner la fermeture d'un ouvrage : citons à cet égard le cas de la fermeture simultanée de deux tunnels pendant quelques heures en Seine Saint-Denis (Bobigny et le Landy sur A1), qui a provoqué 400 km de bouchons, du fait de la saturation du réseau avoisinant. Une panne du système de gestion et de régulation de la circulation en région parisienne (SIRIUS : Système d'Information pour un Réseau Intelligible aux usagers), aux heures de pointe, pourrait causer une perturbation de grande ampleur.

Les sociétés d'autoroutes et les DIR ont indiqué à la mission qu'elles n'ont probablement pas une connaissance exhaustive des implantations industrielles

potentiellement dangereuses (installations classées pour la protection de l'environnement – ICPE, en particulier de type « Seveso ») situées dans le voisinage de leur réseau, en dehors des zones couvertes par un plan de protection contre les risques technologiques (PPRT). Un sinistre affectant une de ces installations (incendie, explosion...) pourrait entraîner la coupure temporaire¹⁰ d'un axe routier ou autoroutier. Une cartographie de ces risques n'est réalisée de manière systématique que dans le cas des voies nouvelles, dans le cadre de l'étude de tracé et de l'étude d'impact de l'enquête publique.

Le réseau routier/autoroutier est fortement maillé et redondant, ce qui relativise la vulnérabilité d'un tronçon donné. Seul un phénomène affectant une zone étendue (inondation, séisme, tempête) peut rendre certains points du territoire complètement inaccessibles par voie terrestre. Toutefois, des zones isolées (route en « cul-de-sac ») ne bénéficient pas de cette redondance et voient leur desserte compromise en cas de coupure (ex. : Barèges en juin 2013, la route d'accès ayant été détruite par l'érosion du torrent et, aujourd'hui, l'accès au Lautaret).

L'évaluation des conséquences d'une coupure d'un ouvrage d'art (OA) a fait l'objet d'un guide technique rédigé par le Sétra. Elle s'appuie sur une échelle empirique « d'importance » de l'ouvrage (ci-dessous).

Exemple des ouvrages d'art, d'après le guide Sétra : Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d'art (janvier 2013)

On évalue d'abord la criticité (croisement de l'aléa et de la vulnérabilité de l'ouvrage), puis le risque (croisement de la criticité avec le niveau de conséquences).

Le niveau des conséquences est lié à « l'importance » de l'ouvrage, évaluée par 5 éléments : coût de reconstruction partiel/total ; impact humain ; impact sur l'activité socio-économique ; impact moral ou médiatique ; impact environnemental.

En particulier, on évalue un indice socio-économique (ISE) défini par :

$ISE = A + B + C + D$ avec :

A : importance stratégique de l'itinéraire porté par l'ouvrage (notée de 1 à 5)

B : niveau de trafic (1 à 5)

C : valeur patrimoniale de l'ouvrage (1 à 5)

D : conséquences d'une réduction du niveau de service, notamment existence ou non d'un itinéraire de substitution (1 à 5)

Criticité – Impact de la défaillance d'autres réseaux

Les effets en cascade affectant le réseau routier sont relativement réduits : la signalisation dynamique (panneaux à messages variables) est tributaire d'une alimentation électrique ainsi que du fonctionnement du réseau de télécommunications. Le maintien de cette signalisation et des équipements de sécurité est particulièrement critique dans les tunnels et les ouvrages les plus importants comportent des groupes électrogènes de secours.

¹⁰ Vis-à-vis du risque toxique ou de suppression, il s'agit de durées courtes et c'est la protection des usagers qui est recherchée. L'infrastructure est en général peu affectée et la coupure de la voie est alors de courte durée.

Les sociétés concessionnaires ont souscrit des abonnements téléphoniques auprès de plusieurs opérateurs (redondance). Ce sont des clients directs de RTE et non de ERDF, ce qui réduit leur vulnérabilité en cas de panne électrique.

Criticité du réseau pour d'autres réseaux (effets de cascade)

Le réseau routier et autoroutier ne fait pas partie des réseaux vitaux pour la population et à rétablir en priorité, au sens de la loi sécurité civile du 13 août 2004 et du plan ORSEC RétaP'Réseaux dont la diffusion était annoncée comme imminente par le ministère de l'intérieur lors de la rédaction finale du présent rapport. Toutefois, ce réseau est essentiel pour acheminer des secours aux populations par voie terrestre et pour accéder aux installations de réseaux critiques (pylônes électriques, transformateurs, antennes relais de télécommunications, stocks d'hydrocarbures, stations de pompage...) endommagées par une catastrophe naturelle ou technologique. Il est également indispensable pour acheminer des blessés vers les hôpitaux et autres établissements de soins, et plus généralement pour le fonctionnement du réseau sanitaire. Le rétablissement et l'utilisation du réseau routier dans une situation de crise font l'objet, parmi d'autres sujets, de recommandations opérationnelles dans le guide technique RESAU² publié par le Cerema.

Par ailleurs, certains réseaux (eau, câbles divers...) peuvent être portés par (ou couplés à) des routes ou ouvrages d'art : une brèche dans le réseau routier entraîne de ce fait une brèche dans les réseaux portés. Cela est particulièrement sensible pour les ouvrages de franchissement d'obstacles naturels (viaducs, tunnels) qui sont des points de passage obligé pour certains réseaux.

2.1.1.3. Les stratégies de prévention : quid de l'approche économique ?

L'entretien et la maintenance

L'entretien et la maintenance constituent des facteurs qui contribuent à réduire la vulnérabilité et à augmenter la résilience, même s'ils répondent à une problématique différente. Par exemple, l'incidence de l'état de la chaussée sur la résilience n'est pas négligeable dans le domaine de la viabilité hivernale.

Les sociétés concessionnaires sont tenues au respect de leur cahier des charges, y compris pour l'entretien et la maintenance. En outre, elles sont incitées à maintenir un bon niveau de service pour rester attractives. La situation financière des sociétés concessionnaires leur permet de faire face aux besoins d'entretien/maintenance.

La situation est très différente pour le RRN non concédé, confronté à la contrainte budgétaire. Un bon équilibre doit être atteint entre maintenance préventive et curative. Selon un guide technique du Cerema et à l'issue d'une analyse technico-économique, l'équilibre des dépenses à atteindre pour les chaussées est 50 % d'actions de prévention et 50 % d'actions curatives (en investissement comme en fonctionnement). Les ouvrages d'art sont répartis en classes homogènes avec des durées de vie de référence ; à l'échéance, on décide au cas par cas soit de reconstruire à l'identique, soit de prolonger la vie de l'ouvrage.

Situation dégradée momentanément acceptable

La DGITM considère comme inacceptable la fermeture totale d'un élément de son réseau pendant une durée de plus de 24 heures, sans itinéraire alternatif. Une fermeture partielle (ouverture aux véhicules légers – VL – et limitée aux heures de pointe) est envisageable pour permettre d'effectuer les travaux de remise en état en heures creuses. La doctrine de la DGITM consiste à éviter dans toute la mesure du possible une fermeture complète aux VL, quitte à retarder la remise en état complète (travaux en heures creuses ou sous circulation). Les VL sont ainsi prioritaires par rapport aux poids lourds (PL). Sur le plan économique, on peut mettre en balance la moindre perturbation de circulation et le surcoût – non négligeable – de travaux sous circulation.

Un exemple récent est celui de la RN 134 permettant l'accès au tunnel du Somport. Suite à des instabilités du versant affectant la chaussée, une mise en alternat a été décidée en mars 2014, avec interdiction totale aux PL. Le rétablissement de la circulation PL, toujours sous alternat, a eu lieu le 30 juillet 2014, et la réouverture complète en juin 2015.

Une fermeture est particulièrement pénalisante dans les cas suivants :

- en agglomération, avec une circulation aux heures de pointe à la limite de la saturation (cas de l'agglomération parisienne et des grandes agglomérations de province) ;
- dans le cas d'une desserte d'une zone isolée et sans itinéraire alternatif (cas d'une presqu'île ou d'un fond de vallée en zone montagneuse, particulièrement en saison touristique).

La coupure complète la plus longue en France dans la période récente est survenue en mars 2013 sur l'autoroute A1 (1 mètre de neige) pendant 2 jours, avec la circonstance aggravante d'une coupure des itinéraires parallèles (RN29 et A16) pendant 5 à 6 heures.

2.1.1.4. Les modalités de la prévention

Pour les projets neufs, un certain consensus existe sur le niveau de sécurité à atteindre vis-à-vis des risques naturels. Outre le risque sismique, encadré par des lois et décrets, les ouvrages sont dimensionnés contre les crues et inondations (chaussée hors d'eau pour la fréquence centennale) et sont protégés contre les chutes de blocs les plus probables. On peut noter quelques exceptions, comme l'autoroute A85 Angers-Langeais, inondable par la Loire, ou l'autoroute A7 qui traverse un secteur inondable de la vallée du Rhône.

Le réseau existant a fait l'objet de certaines opérations d'amélioration de la sécurité. Ce programme comporte un renforcement de la ventilation des tunnels, des capteurs de fumée, une télésurveillance par caméras, etc. Concernant le réseau concédé, la mise en œuvre de ce programme est une décision unilatérale de l'État qui s'impose aux concessionnaires. Afin de ne pas altérer l'équilibre des contrats de concession, le coût des investissements correspondants a été presque intégralement compensé par l'État au terme des discussions avec les concessionnaires (en revanche, les pertes de recettes de péage liées aux travaux n'ont pas été compensées).

Sur le réseau routier national non concédé, les dépenses cumulées de sécurisation des tunnels¹¹ s'élevaient fin 2013 à 2,1 G€, représentant environ 86 % du programme à réaliser¹².

De même, les travaux pour rendre parasismiques (avec les critères actuels) les viaducs de l'autoroute A8 dans les Alpes-Maritimes seront financés par une augmentation des péages de la société Escota.

Suite à une chute de blocs mortelle sur l'autoroute A8 en 2005, ayant conduit à sa fermeture pendant neuf jours (trafic : 36 000 véh/j), un programme pluriannuel de mise en sécurité a été lancé. Les opérations de protection sont financées par ESCOTA à travers le contrat de plan 2012-2016, pour une enveloppe totale de 20 M€, passée ultérieurement à 22 M€ : ces dépenses sont compensées par une hausse des péages.

La position des concessionnaires est ainsi constante : le contrat de concession définit les règles du jeu et toute exigence supplémentaire de sécurité ou de résilience doit être financée par le concédant.

Pour ce qui concerne l'assurance, il ne peut s'agir que du réseau concédé. En fait, seuls quelques ouvrages particuliers sont assurés : c'est le cas du tunnel à péage « A86 Duplex » exploité par Cofiroute dans l'ouest parisien.

Sur le RRN, comme dit plus haut, l'entretien et la maintenance du réseau étant à peine suffisants, il n'est guère question de durcir le réseau, hormis des cas particuliers comme la reconstruction à neuf ou la réhabilitation lourde d'un ouvrage vieillissant : c'est le cas du viaduc de Caronte sur la passe de l'étang de Berre (Bouches-du-Rhône), rendu moins vulnérable au séisme à l'occasion de travaux importants. Dans ce cas, il peut être difficile d'évaluer la part de la dépense attribuable à l'amélioration de la robustesse ou de la résilience vis-à-vis du risque considéré.

De façon générale, la priorité est donnée à la sécurité des personnes, à la remise en circulation la plus rapide possible et, pour les concessions, au respect du contrat. Celui-ci inclut des obligations de maintien de la circulation, sauf cas de force majeure (exemple de la neige : retour à la normale en moins de 4 h dans 90 % des cas). Plutôt que sur le durcissement physique, très coûteux, c'est sur la résilience proprement dite que les efforts se portent. Suite à des épisodes plus ou moins bien gérés, les gestionnaires ont établi des procédures adaptées aux événements extrêmes, mobilisant les équipes et les matériels en fonction de l'importance de l'événement. Enfin, les DIR et les sociétés concessionnaires sont abonnées à des services météorologiques, afin d'anticiper les perturbations et la prise de mesures préventives (fermeture d'accès, intervention d'engins de salage et de déneigement).

Une stratégie lorsqu'un épisode météorologique exceptionnel se profile est la fermeture préventive, afin d'éviter l'immobilisation des véhicules (VL et PL) qui perturberait l'intervention des véhicules de service.

¹¹ Y compris quelques opérations incluant aussi des travaux non liés à la mise en sécurité incendie.

¹² Audit de la mise en œuvre de la politique d'amélioration de la sécurité des tunnels du réseau routier national, rapport CGEDD de J-M. Aubas et F-R. Orizet (2015).

2.1.1.5. Le coût des défaillances de réseau

La mission n'a pu rassembler que quelques estimations, les données prévisionnelles sur les coûts de la défaillance ou de la prévention étant très partielles et ne constituant apparemment pas un point de préoccupation majeure des gestionnaires de réseaux (DGITM comme sociétés concessionnaires). Compte tenu de la redondance du réseau mentionnée plus haut, c'est l'allongement de parcours ou le temps perdu par les usagers, qui constituent bien souvent la part principale de ces coûts.

À la demande de la mission, le CGDD a réalisé une simulation de la coupure durable d'un itinéraire autoroutier, en l'occurrence une fermeture du viaduc de A8 sur le Var. Cette simulation est résumée dans l'encadré ci-dessous et présentée plus en détail en annexe.

Simulation de coupure de l'A8 au niveau du pont du Var

La section d'autoroute correspondante est très chargée : pointes atteignant 140 000 véh/j dans les deux sens, avec un trafic local mais aussi des PL longue distance. La fermeture du pont pourrait être due à un séisme ou à une crue du Var affouillant les fondations (nous n'avons pas cherché un réalisme particulier pour cette étude méthodologique). Le pont de la route départementale sur le Var peut servir de déviation, mais sa capacité d'écoulement de trafic est faible.

Pour estimer l'impact de la coupure de l'A8, ont été examinés :

- les variations de trafic sur les axes routiers et l'aire d'impact de la fermeture ;
- l'augmentation des temps de parcours ainsi que les autres coûts supplémentaires supportés par les usagers du réseau routier ;
- le coût pour la collectivité (impacts environnementaux : bruit, pollution locale, production de CO₂).

Le premier scénario étudié est une coupure de 24 h, un samedi d'été. Le coût est évalué à 1,3 M€.

Le second scénario est une coupure de deux mois (du 25 juin au 1^{er} septembre 2015). On suppose alors que les usagers vont progressivement changer leur itinéraire ou leur mode de transport. Le coût s'élève à 57 M€.

L'essentiel du coût est imputable au retard subi par les usagers qui auraient emprunté l'itinéraire affecté par la coupure. Le report modal et les changements d'itinéraire sont quasi-inexistants pour les transports de marchandises, ce qui s'explique par la faiblesse des alternatives modales existantes.

On dispose ainsi de modèles permettant d'évaluer les coûts induits par la fermeture d'un tronçon de route. Ces modèles sont cependant très simplifiés et pourraient difficilement être employés pour traiter une perturbation majeure en Île-de-France, par exemple.

2.1.1.6. Une approche économique de la prévention ?

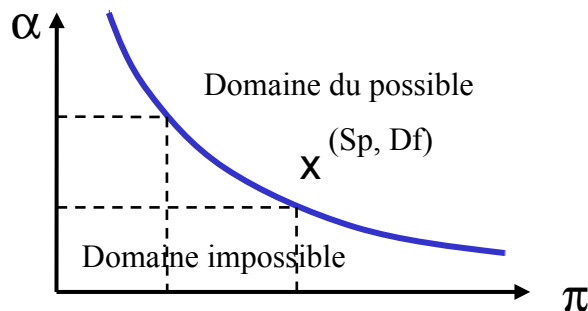
Cette approche est de fait rarement pratiquée pour le choix des investissements de prévention. Ceux-ci sont souvent décidés à la suite d'un premier accident, comme on l'a vu pour le risque d'incendie dans les tunnels ou de chute de blocs sur l'autoroute A8.

Un exemple de recherche d'optimisation du niveau de protection, toutefois sans valorisation monétaire, est celui de la RN 1 à La Réunion, exposée à de nombreuses chutes de blocs ayant fait plusieurs victimes.

Optimisation de la gestion du risque de chute de blocs sur la RN 1 (La Réunion)

La RN 1, coincée entre la falaise et l'océan, est soumise depuis sa construction en 1976 à des chutes de blocs. Pour gérer le risque, la DDE avait proposé de fermer la chaussée côté falaise lorsque les précipitations dépassaient un certain seuil. La fermeture intervient dès qu'un seuil de pluie Sp sur 24 h est dépassé, et dure pendant le temps Df . L'exploitation des relevés quotidiens de chutes et de la pluviométrie a permis de définir les stratégies optimales (c'est-à-dire les couples Sp - Df), minimisant le nombre de jours de fermeture (qui causent des bouchons considérables) et le risque résiduel sur route ouverte.

La figure montre que les stratégies optimales se répartissent le long d'une courbe dans un repère où π en abscisse représente le nombre annuel de jours de fermeture (« coût » pour la société) et α en ordonnée désigne le nombre annuel de chutes sur route ouverte (risque résiduel).



Il est impossible de sortir de cette courbe en « gagnant sur les deux tableaux », c'est-à-dire en réduisant à la fois α et π .

Pour poursuivre la démarche, il faudrait définir une combinaison de ces deux paramètres à minimiser, par exemple en leur donnant une valeur monétaire et en les sommant, ce qui permettrait de définir la « meilleure stratégie » sur la courbe bleue.

Dans le cas de la vallée de la Romanche en Isère, menacée par l'éboulement de Séchilienne, des solutions de parades ont donné lieu à une tentative d'analyse coût / bénéfice (ACB) : étude de la « rentabilité » d'une déviation routière ou d'une galerie hydraulique (permettant d'éviter la formation d'un lac qui barrerait la vallée). Le coût d'une déviation ou d'une galerie peut être estimé à 10 ou 20 % près. En revanche, évaluer les couples « probabilité / délai » (probabilité que l'événement se produise pendant les n prochaines années) est beaucoup plus délicat. Notons que, 10 ans après, l'événement ne s'est pas encore produit.

Parades pour Séchilienne. Source : rapport CGPC/IGE de 2005

Exemple de la déviation routière :

- l'investissement est estimé à l'époque à 15 M€ ;
- l'éboulement entraînerait une coupure de la route nationale, ce qui induirait des pertes de chiffre d'affaires dans les stations de montagne à l'amont et des allongements de parcours évalués à 535 k€ par jour de coupure. Compte tenu des probabilités estimées (à l'époque) de l'éboulement (étalées sur 10 ans) et du taux d'actualisation choisi (4 %), le coût est ramené à 360 k€/j.

Il en résulte que la déviation est rentabilisée (le bénéfice est supérieur au coût) si la coupure dure plus de 42 jours. En fait, la déviation en cours de réalisation a un coût notablement plus élevé, mais sa réalisation répond aussi à un objectif de fluidisation du trafic.

En l'absence d'estimations de l'impact de telle ou telle coupure, on peut affirmer que les événements les plus coûteux pour la collectivité sont ceux qui perturbent la circulation de dizaines ou centaines de milliers de personnes pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines. Un exemple récent est celui de l'accident sur le pont Mathilde à Rouen, qui a entraîné sa fermeture pendant 666 jours, pour un trafic initial de 80 000 véh/j (mais on ne dispose pas d'estimation du coût correspondant...).

Parmi les risques majeurs, on peut citer une crue de la Seine à Paris de type 1910, ou encore un incendie endommageant un souterrain de l'autoroute A1 au nord de Paris, de La Défense ou du périphérique parisien. La saturation actuelle du réseau routier rend difficilement supportable la fermeture longue d'un maillon essentiel. Une étude permettant de mieux évaluer l'impact d'une fermeture durable d'un ouvrage clef de la région parisienne serait utile.

Si l'on ne dispose pas d'une solide évaluation des coûts, il apparaît néanmoins nécessaire de ne pas attendre l'événement pour réagir. Vis-à-vis des incendies en souterrain, l'augmentation de la résilience passe d'abord par la réduction du délai d'intervention des pompiers, afin de limiter la durée d'un incendie et donc les dommages structurels susceptibles d'engendrer une coupure longue. La mise en place d'aspenseurs d'eau, comme dans le tunnel de A86 Duplex, va dans le même sens.

Rappelons que l'approche purement économique ne doit pas conduire à négliger des perturbations d'ampleur moins importante, mais qui affectent fortement l'activité d'une région : fermeture durable (deux semaines, par exemple) des accès aux stations de sports d'hiver en haute saison, par exemple.

2.1.2. Le réseau ferroviaire (SNCF Réseau)

2.1.2.1. Présentation

Consistance

Le réseau ferré national (RFN) est composé des lignes à grande vitesse (LGV) et d'un réseau segmenté en 9 classes de trafic selon la nomenclature de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC), désignées UIC 1 à UIC 9, selon le trafic supporté exprimé en nombre de circulations par jour.

Opérateurs concernés

La loi n° 2014-87 du 4 août 2014 portant réforme ferroviaire unifie le gestionnaire d'infrastructure, mais le rapproche de l'entreprise ferroviaire historique en prévoyant un EPIC de tête, SNCF, et deux entités sous forme d'EPIC, SNCF Réseau (gestionnaire d'infrastructure en monopole sauf quelques rares exceptions) et SNCF Mobilités (entreprise ferroviaire assurant actuellement environ 95 % des circulations et du trafic voyageurs sur le réseau national).

Le RFN est géré par SNCF Réseau, gestionnaire d'infrastructure, qui réunit désormais, aux termes de la réforme en cours de mise en œuvre, l'ancien EPIC Réseau ferré de France (RFF), et deux entités sans personnalité juridique issues de l'ancienne SNCF : la branche infrastructure de cette dernière, (SNCF Infra), et la direction de la circulation

ferroviaire (DCF), gestionnaire des circulations de trains et des postes d'aiguillage, elle-même issue de la loi du 8 décembre 2009.

Gouvernance, régulation économique, réglementation technique

Les entités du groupe SNCF sont soumises à :

- une régulation économique par l'Autorité de régulation des activités ferroviaires (ARAF), qui donne un avis sur la tarification de l'usage du réseau et veille aux conditions d'accès au réseau et aux gares dans le secteur ouvert à la concurrence (le fret ferroviaire, puis le transport international de voyageurs) ;
- un contrôle par l'Établissement public de sécurité ferroviaire (EPSF), qui délivre un agrément de sécurité à SNCF Réseau et des certificats de sécurité aux entreprises ferroviaires pour obtenir l'accès au RFN ; l'EPSF délivre par ailleurs une autorisation de mise en exploitation commerciale (AMEC) aux éléments d'infrastructure et aux matériels roulants, sur la base du dossier de sécurité qui lui est soumis par le maître d'ouvrage.

En outre, les entreprises ferroviaires sont soumises à une réglementation technique homologuée par la tutelle technique (MEDDE/DGITM).

2.1.2.2. Criticité du réseau ferré (et du métro) pour le fonctionnement économique

Si les études sur l'impact économique des projets nouveaux sont nombreuses, notamment pour les projets de LGV, il ne semble pas y avoir d'études analysant l'impact économique d'une défaillance d'éléments du réseau ferré. À défaut de disposer de telles études, les évaluations faites à l'occasion des grèves de décembre 1995 permettent d'approcher l'incidence de catastrophes naturelles ou technologiques d'une durée équivalente et produisant une paralysie complète d'un réseau.

Ainsi l'Insee a estimé que ces grèves massives, qui avaient concerné 16 jours normalement ouverts, ont pesé sur la croissance trimestrielle du 4^e trimestre 1995 à hauteur de -0,2 % à -0,3 % de PIB. Sur cette base, **une semaine d'arrêt de fonctionnement des transports publics ferait perdre approximativement 0,1 % de croissance de PIB** sur le trimestre concerné (il s'agit d'une approximation qui repose sur l'hypothèse selon laquelle l'essentiel des effets économiques de la grève était liée à la paralysie des transports).

Une autre méthode de calcul de l'effet économique de ces mêmes événements, proposée par J.-P. Coindet et publiée en octobre 1998 dans le *Journal of Transportation and Statistics*, a évalué les coûts liés notamment à la perte de temps associée à l'allongement des temps de déplacement (qui se répercute sur le temps de travail, sous forme de retard à l'arrivée ou de départ anticipé du bureau) et au surcoût de transport lié à l'usage de moyens de transport de substitution (voiture particulière au lieu des transports en commun). Selon cette étude, **une journée d'interruption des transports publics en France métropolitaine coûterait environ 300 à 400 millions d'euros par jour**, coût évidemment plus élevé que la seule perte d'exploitation enregistrée par les entreprises publiques de transport durant la période.

Même si ces grèves ont porté aussi sur d'autres secteurs que les transports collectifs et ont touché l'ensemble de la France, on peut considérer ces différents chiffres comme une approximation grossière de l'impact d'une défaillance des transports collectifs et l'attribuer pour l'essentiel aux zones où le réseau routier n'est pas en capacité d'absorber des reports massifs de déplacements. En première approche, la criticité pour l'économie nationale se concentre en effet là où les autres modes de transport n'offrent pas une capacité alternative au transport très massifié d'un ordre de grandeur raisonnablement proche de celui-ci ; elle se concentrerait donc surtout sur les trains de banlieue, RER et métros de l'Île-de-France et des très grandes agglomérations, et affecterait aussi quelques lignes à plus longue distance où l'alternative routière n'est pas mobilisable en raison de la saturation routière (lignes parallèles à l'A1, voire l'A6)¹³.

La mission est consciente qu'il existe d'autres éléments de criticité qui doivent faire l'objet d'une cartographie et de réponses adaptées. Mais l'importance de l'impact sur l'ensemble de l'économie nationale d'une défaillance des transports massifiés en zone dense et des lignes parallèles à l'A1, voire l'A6, conduit la mission à appeler l'attention sur la criticité particulière de ces parties du réseau et à inviter à **considérer leur défaillance comme un risque inacceptable et à le traiter comme tel** (*a contrario*, l'étude de l'évaluation du coût de la coupure ferroviaire de Morlaix présentée en annexe montre l'effet limité au plan économique global de la coupure d'une ligne ordinaire). Cette remarque vaut aussi bien pour le réseau ferré que pour le réseau de transport guidé RATP.

La suite des développements est donc principalement centrée sur cette zone de criticité particulière.

La forte criticité du réseau de la zone urbaine dense

Le transport par métro, TER et plus encore par RER est particulièrement massifié. Ainsi, **le RER A accueille à lui seul chaque jour plus de voyageurs que tous les TGV réunis de l'ensemble du territoire français et le RER B**, autant que tous les TGV et **d'avantage que tous les TER hors réseau francilien**. Par ailleurs, les transports collectifs représentent aujourd'hui 30 % des déplacements (hors marche à pied) des Franciliens, le chiffre est de 64 % à Paris *intra muros* et de 35 % en petite couronne. Ces chiffres sont des moyennes qui ne reflètent ni les problèmes spécifiques des heures de pointe, ni la concentration des flux sur quelques réseaux majeurs.

Piégés par l'absence d'alternative à court terme, les Franciliens renoncent d'ailleurs assez massivement à se déplacer, comme le montrent les situations de grève (la grève d'une journée des conducteurs du RER A suite à l'agression d'un voyageur, au début de l'année 2015, s'est traduite par une diminution de plus de 1 million de voyages sur l'ensemble du réseau RATP).

Bien entendu, lors d'une crise de grande ampleur affectant une zone urbaine dense et d'une durée supérieure à quelques semaines, des solutions tendant à « massifier » l'usage de chaque voiture, par exemple par l'organisation d'un covoiturage beaucoup plus intense, se développeraient. Mais il ne fait pas de doute que ces éléments de réponse ne permettraient pas réellement de faire face à une perte de capacité massive et d'une certaine durée des transports collectifs, le système viaire étant lui-même très saturé et les aménagements destinés à dissuader l'usage de la voiture ayant nettement réduit la capacité de la voirie et continuant par ailleurs à se développer.

¹³ S'agissant plus particulièrement du transport de marchandises, la part modale du fer est désormais inférieure à 10 %. En dehors de ces axes parallèles à des autoroutes saturées, une interruption d'une certaine durée du transport ferroviaire de marchandises pourrait donc poser des problèmes locaux ou sectoriels sensibles. Mais l'effet global national resterait a priori limité.

Pour mémoire, à l'heure de pointe du matin, un jour de semaine ordinaire, les voyages effectués sur le réseau RATP en une heure s'élèvent à 580 000 sur le réseau métropolitain, 205 000 sur les RER A et B, 130 000 sur le réseau du tramway (et 500 000 sur l'ensemble du réseau de bus).

Or l'état du réseau aggrave la criticité des secteurs évoqués ci-dessus

Le réseau ferroviaire se compose de nombreuses strates d'équipements datant de périodes diverses et réalisés avec des technologies qui ont évolué. S'ils peuvent être maintenus en état de fonctionnement malgré cette hétérogénéité, ils ne pourraient faire l'objet d'un remplacement à l'identique, s'ils devaient être remplacés brusquement. Leur remplacement devrait nécessairement faire l'objet d'études assez longues de conception et de réalisation. Cette situation aggrave la criticité intrinsèque des éléments les plus critiques du réseau. Or, dans le transport ferroviaire et plus généralement dans les transports guidés, certains de ces éléments comme les PCC (postes de commandement des circulations) commandent le fonctionnement de nombreuses circulations.

Bien que d'un effet relativement limité, **l'exemple récent de l'incendie du poste des Ardoines** est une bonne illustration la criticité particulière de certains organes, liée à la fois à l'importance de ces organes pour faire circuler des trains nombreux mais aussi à la durée importante qui est nécessaire pour revenir à un fonctionnement normal en cas de défaillance.

L'incendie du poste des Ardoines

Le poste des Ardoines permet d'actionner de nombreuses aiguilles grâce auxquelles un nombre très important de trains sont dirigés sur les voies utiles. Outre les circulations de trains commerciaux, Il commande normalement aussi l'accès à un centre de maintenance du matériel roulant.

La destruction du poste des Ardoines s'est traduite par l'obligation de manœuvrer les commandes à la main, ce qui réduit beaucoup la capacité des circulations. Pour compenser cette diminution de capacité, les équipes du groupe ferroviaire ont réorganisé complètement l'entretien du matériel roulant qu'elles ont reporté sur d'autres centres de maintenance afin de diminuer les circulations techniques sur le secteur des Ardoines et de réutiliser la capacité de circulation ainsi dégagée au profit du maintien du plus grand nombre possible de circulations commerciales. Cette adaptation de l'exploitation, dans des conditions tendues, a permis de rétablir rapidement 80 % des circulations de trains.

Malgré ces efforts d'adaptation remarquables, 10 % des voyageurs (en bout de ligne C) continuent de voir leurs conditions de desserte lourdement affectées encore aujourd'hui près d'un an après le sinistre. En outre le réseau a perdu, sur le secteur, toute résilience à un nouvel incident, notamment s'il devait se produire en heure de pointe. Pour rétablir complètement les conditions antérieures de circulation, il faut pouvoir remplacer le poste, or celui-ci ne peut être remplacé à l'identique (les technologies ne sont même plus disponibles). Il faut donc re-concevoir le poste incendié, ce qui suppose de réaliser des études d'ingénierie délicates et de diligenter les procédures d'autorisation correspondantes.

Ce cas met ainsi en lumière qu'**en pratique, le temps pour faire revenir le service à la normale peut être très long, et avoir des effets sérieux même s'agissant d'une défaillance ponctuelle**, dès lors qu'elle affecte un équipement structurant du fonctionnement du réseau.

Au cas d'espèce, la mesure de l'impact sur l'activité économique hors système ferroviaire est difficile et n'a pas été tentée. En termes économiques directs pour l'entreprise, cet incident peut s'analyser de la manière suivante :

– Pour ce qui concerne l'exploitation, le plan de transport a dû être reconfiguré : on a assuré jusqu'en

janvier 2015 de 82 % à 85 % des dessertes (en trains × km) et on est passé début février 2015 à 90-92 %. Ceci a été rendu possible par la mobilisation d'effectifs supplémentaires à hauteur de 50 personnes par an (agents supplémentaires sur site Ardoines plus agents sur sites de transfert plus personnel de conduite supplémentaire pour acheminer les rames entretenues sur ces sites) pendant 3 ans, soit un surcoût annuel de 2,5 à 3 M€, supporté par SNCF Mobilités ;

– En termes d'investissement, le coût total de la reconstruction définitive du poste des Ardoines (incluant les études et procédures préalables), à la charge de SNCF Réseau, est estimé à 69 M€ et considéré comme définitif par le département d'ingénierie, l'ensemble des marchés ayant été passés.

On relèvera enfin que la défection d'organes structurants affectant les transports collectifs massifiés dont il a été question plus haut, affecterait aussi de nombreuses circulations de longue distance en raison de l'importance des grands nœuds ferroviaires dans l'ensemble des circulations ferroviaires. Ce phénomène alourdit la criticité des organes structurants de la circulation des zones denses.

Au final, l'essentiel des défaillances ayant un impact sur l'économie nationale sont celles qui affecteraient le réseau francilien ou les axes sur lesquels les transports ferrés et routiers sont l'un comme l'autre proches de la saturation, et plus particulièrement les défaillances qui affecteraient les organes structurants de ces parties de réseau.

Pour compléter la vision sur la criticité du réseau ferroviaire et guidé à l'instar des éléments examinés pour les autres types de réseau, on peut noter que, contrairement à d'autres réseaux comme le réseau électrique par exemple, le réseau ferroviaire n'est d'aucun secours pour le fonctionnement d'autres réseaux à l'occasion d'une crise. En cas de catastrophe, le réseau ferré ne joue qu'un rôle limité : en effet, les secours et le matériel d'intervention sont de préférence acheminés sur les lieux par voie routière, ou à défaut (en cas d'inondation) par hélicoptère. Son « effet domino » est limité à l'effet de saturation des autres modes de déplacement.

Criticité d'autres réseaux pour le réseau ferré national

Deux réseaux conditionnent le bon fonctionnement du réseau ferré et de ses annexes (postes d'aiguillage, postes de commande centralisée) : le réseau électrique et le réseau de télécommunications.

SNCF Réseau est lié à RTE par une convention de fourniture d'électricité en direct, pour assurer notamment la fourniture de courant aux sous-stations électriques, ce qui diminue sa vulnérabilité vis-à-vis du risque de coupure par rapport à une alimentation par ERDF.

Le système GSM-Rail (qui assure les liaisons sol-train et les liaisons des équipes du sol avec les centres de commandement ainsi que les liaisons avec la signalisation dans le cas de LGV) est totalement indépendant du GSM des opérateurs de mobile. Des problèmes d'interférence sont apparus sur la période récente, qui appellent des solutions en cours d'examen.

Par ailleurs, SNCF Réseau dispose d'abonnements aux trois principaux opérateurs de téléphonie mobile pour les liaisons téléphoniques habituelles pour renforcer la résilience de ses communications générales.

2.1.2.3. Analyse de la vulnérabilité par SNCF Réseau.

Le réseau ferroviaire est soumis à des risques naturels et à des risques technologiques externes (cas d'une défaillance ferroviaire liée à une défaillance du réseau électrique par exemple ou, autre exemple, à une explosion majeure d'une usine proche du réseau), ainsi qu'à des défaillances propres à l'organisation interne des opérateurs.

S'agissant de la résilience du réseau ferré, les risques naturels possibles pourraient avoir plusieurs origines : le risque inondation (cas d'une crue centennale de la Seine en région Île-de-France par exemple), le risque d'instabilité des sols (chutes de blocs, coulées de boue, dissolution du sous-sol, cavités non repérées...), le risque sismique et le risque de tempête (chute d'arbres sur la voie, arrachage de la caténaire, chutes massives de neige, gel...). Interrogés par la mission, les responsables de SNCF Réseau lui ont assuré que sauf exceptions localisées, le réseau et ses équipements n'étaient pas particulièrement sensibles à la chaleur : la mission n'a donc pas poursuivi plus avant ses investigations sur ce point. La même remarque vaut également pour la RATP (voir infra).

La cartographie des risques

L'analyse de la vulnérabilité technologique ou naturelle du réseau ferré est relativement récente. La culture professionnelle de la SNCF est en effet davantage une culture de sécurité (éviter les déraillements, les collisions...) qu'une culture de résilience aux risques naturels et technologiques. La culture de résilience a été développée au sein de RFF, qui a créé un département de l'audit et des risques et a engagé une cartographie de ses risques de toute nature¹⁴ sous l'égide de ce département, dans le périmètre élargi du gestionnaire d'infrastructure unifié (GIU), c'est-à-dire dans celui de SNCF Réseau (RFF + SNCF Infra + DCF).

L'objectif du contrôle des risques exprimé par la Directrice de l'audit et des risques consiste à maintenir en condition opérationnelle le réseau mis à disposition des entreprises ferroviaires (EF), donc de réduire les pertes résultant de son indisponibilité. La double dimension du risk management – prévention (réduire la probabilité du risque redouté) et protection (réduire les conséquences de sa survenance, exprimées en termes monétaires) – est bien appréhendée.

La démarche initiée est d'ailleurs ambitieuse puisqu'elle consiste, après identification des différents risques, à établir pour chacun d'eux des *business impact analysis* (BIA), puis des plans de continuité d'activité (PCA), avec d'abord des plans « locaux » pour chaque installation jugée critique, puis à terme pour l'ensemble du groupe. Un comité des risques SNCF Réseau, présidé par la Directrice de l'audit et des risques et composé de membres de différentes *business units*, a été mis en place pour piloter la démarche. La Directrice de l'audit et des risques participe par ailleurs au Comex de l'établissement.

¹⁴ Risques financiers, d'image, sociaux, naturels, technologiques, de malveillance (dont cyber-criminalité) ...

181 risques ont ainsi été identifiés au terme d'une analyse conduite par métiers et non par types de risques. Sur ces 181 risques, seulement 25 concernent des risques opérationnels.

Sur les 181 risques, 8 risques majeurs ont été choisis pour être présentés en Conseil d'administration, des indicateurs de suivi ont été mis en place pour permettre un suivi et une présentation régulière en conseil. Mais ces huit risques ne sont pas à ce jour replacés dans une vision globale permettant au Conseil de comprendre aisément ce qu'il en est de la criticité du réseau, de la vulnérabilité de l'entreprise aux différents risques et des mesures pour y remédier.

Le plan de sécurisation des postes d'aiguillage

Lors des différents entretiens conduits par la mission, tous les interlocuteurs ont cité les deux mêmes cas – l'incendie du Poste d'aiguillage des Ardoines en 2014 et le plan de sécurisation des postes d'aiguillage mis en œuvre à la suite de cet accident – à l'appui de leurs analyses et de la présentation des actions en cours. Cette prégnance du cas des Ardoines traduit un phénomène rencontré plus largement : chaque incident technologique ou phénomène météorologique de grande ampleur focalise les esprits sur le risque rencontré et sur les mesures correctrices correspondantes, éventuellement au détriment d'une analyse plus exhaustive des vulnérabilités du réseau et des scénarios qui y conduisent.

La sécurisation incendie des postes d'aiguillage
Les priorités des études de risque, déterminées « à dire d'expert » à la suite de l'incendie du Poste d'aiguillage des Ardoines en 2014, portent en premier lieu sur les postes d'aiguillage (1 300 postes au niveau national, dont 143 en région Île-de-France), suivis par les ouvrages d'art, les sous-stations électriques et les installations de téléphonie. Les postes d'aiguillage inclus dans les opérations de développement (sur des lignes nouvelles ou des prolongements de ligne) bénéficient des derniers perfectionnements. Pour les autres, leur remise à niveau est faite à l'occasion des opérations de régénération de lignes. Les principaux risques pris en compte pour les postes d'aiguillage sont : – le risque incendie : capteurs de fumée, duplication du tableau de commande dans deux salles distinctes (redondance) ; – le risque d'alimentation électrique : duplication du circuit d'alimentation (idem) ; – le risque d'inondation : on place la salle de commande en hauteur, le poste d'alimentation électrique et les câblages doivent être hors d'eau. Selon le responsable du réseau de transport ferré en Île-de-France coordonnant la SNCF et la RATP sur les lignes (RER) dont l'exploitation est partagée entre les deux établissements, il reste actuellement 13 postes d'aiguillage considérés comme critiques en croisant les critères suivants : état physique du poste, impact sur les circulations, nombre de voyageurs affectés. Le poste le plus critique est celui de la gare d'Austerlitz, qui commande le sud-est de la ligne C.

L'analyse du cas de la sécurisation des postes d'aiguillage met en évidence la grande vétusté du réseau, les lacunes dans la connaissance de son état et la difficulté de déployer une démarche de maîtrise des risques dans un tel environnement. Toutefois, il convient de souligner que cette vétusté, si elle affecte la résilience du réseau, n'est préjudiciable ni à la sécurité des usagers ni à celle du personnel de l'entreprise publique, sécurité assurée par d'autres moyens (notamment la mise en place de ralentissements).

Les Business Impacts Analysis et les Plans de Continuité d'activité

Selon la Directrice de l'audit et des risques de SNCF Réseau, deux installations seulement font actuellement l'objet de véritables *business impact analysis* (BIA) au sein du département des risques. Il s'agit d'une part du poste d'aiguillage de Vaires-Torcy (77), d'autre part du centre Henri Lang, proche de la gare de Lyon, qui comporte notamment un poste d'aiguillage et de régulation de l'ensemble du trafic de la LGV1 (Paris-Lyon) et les installations de télécommunications du réseau Île-de-France Sud.

Ces BIA et leurs résultats chiffrés n'étaient pas disponibles lors de la rédaction finale du présent rapport. Toutefois, les premières estimations de la BIA du centre Henri Lang laissent entrevoir une perte de résultat opérationnel de 5 M€/jour pour SNCF Réseau sur l'ensemble de la LGV1, en cas de perte de fonctionnement du centre d'aiguillage et de régulation du centre Henri Lang. Il est à noter que :

- ce centre n'est pas dupliqué (d'où une absence de redondance en cas de dysfonctionnement) ;
- il est situé hors d'eau, mais ce n'est pas le cas de l'ensemble de ses alimentations électriques.

Lorsqu'elles seront achevées, ces BIA devraient servir de base aux plans de continuité d'activité (PCA) des installations correspondantes.

2.1.2.4. Quelques observations

On constate un profond décalage entre l'ambition de la démarche de risk management engagée récemment par RFF et poursuivie par SNCF Réseau, et l'état actuel de la cartographie comme de l'élaboration des réponses aux risques identifiés. Ce décalage trouve une part de son origine dans l'émergence tardive de la culture de risque versus la traditionnelle culture de sécurité déjà évoquée. Mais **la difficulté principale tient en réalité surtout à la grande vétusté et à l'obsolescence technique du réseau**, à l'imprécision de la documentation technique sur ce réseau (quand elle existe) et aux décennies de retard accumulé en la matière.

Ceci conduit la mission à rappeler à titre de principale préconisation que l'entretien courant et la maintenance préventive constituent une condition préalable à la résilience.

La démarche de cartographie des risques et la mise en œuvre des actions destinées à en limiter les conséquences sont actuellement loin d'être achevées. Elles doivent donc être poursuivies. Un certain nombre d'instruments doivent pouvoir nourrir les réflexions : les schémas directeurs de lignes et les schémas directeurs des nœuds ferroviaires en particulier.

Mais, compte tenu des lacunes existant dans la connaissance du réseau et des enjeux considérables des défaillances sur la zone urbaine dense (ou sur les services de longue distance pour lesquels la liaison routière alternative est saturée), il apparaît souhaitable d'accentuer l'effort prioritaire de management du risque déjà engagé sur l'Île-de-France (et d'élargir le réseau parallèle aux autoroutes saturées et aux organes structurant de très nombreuses circulations).

La mission invite à cet égard à fiabiliser, en priorité et à 100 %, la connaissance du réseau concernant cette zone dont la criticité particulière pour l'économie nationale a été rappelée plus haut et particulièrement de ses organes structurants (postes de commande d'aiguillages, équipements informatiques). Consciente que tous les organes sensibles ne peuvent y être remplacés aussi rapidement qu'il serait souhaitable, elle demande aussi qu'en première priorité soient étudiés dans cette zone les moyens d'accélérer leur remplacement en cas de défaillance. Une piste de réflexion serait par exemple de s'interroger sur la possibilité de réaliser sans attendre les études de projet de remplacement afin de disposer « sur étagère » des éléments permettant d'accélérer le retour à la normale en cas de défaillance grave des organes les plus critiques ou, encore de réaliser a minima l'étude fine des fonctionnalités qui précède l'étude de projet proprement dite.

Compte tenu de l'enjeu, elle suggère enfin que les moyens nécessaires à ces actions soient « sanctuarisés » dans le contrat de performance de l'entreprise et fassent l'objet d'un suivi rigoureux.

Un même type de réflexion systématique et transversale et de « sanctuarisation » paraît devoir être approfondi sur les organes complexes qui commandent des dessertes nombreuses (systèmes informatiques et postes de commande d'aiguillages principalement), en raison de leur effet à distance sur le fonctionnement de portions étendues du réseau, comme on vient de le voir avec le cas du centre Henri Lang qui commande la totalité des circulations de la LGV 1 Paris Lyon.

Enfin, la mission constate que, fortement sollicité par l'entretien d'un réseau en mauvais état, l'établissement n'a à ce jour pas suffisamment porté ses efforts sur la problématique du PPRI Île-de-France qui relève de la même logique en matière d'impact sur l'économie nationale.

Divers

Comme pour les routes et autoroutes, SNCF Réseau, gestionnaire du RFN, n'a pas une connaissance complète des installations dangereuses situées à proximité de son réseau et dont l'incendie ou l'explosion serait susceptible d'entraîner la fermeture temporaire d'une ligne. Ceci vaut pour le réseau existant ; en revanche, pour les lignes nouvelles, un recensement de ces installations est réalisé dans le cadre de l'étude d'impact.

Signalons également un risque engendré par les émetteurs de téléphonie mobile grand public, qui pourraient créer du brouillage dans les liaisons radio sol-train. Une mission du CGEDD est en cours à cet égard.

Par ailleurs, **le développement de certaines grandes gares urbaines n'a pas suivi celui du trafic passagers aux heures de pointe**, notamment à Paris et à Lyon : ces gares accueillent des flux de passagers de plus en plus denses et il n'est pas certain que la configuration de ces gares permettrait d'évacuer ces flux rapidement et dans de bonnes conditions de sécurité en cas d'alerte (incendie, attentat...). La signalisation à l'intérieur des gares pour les passagers n'est pas toujours suffisamment claire, ce qui ne ferait qu'amplifier ce phénomène. Cette remarque vaut pour la gare elle-même, mais également pour les correspondances avec le métro lorsqu'il en existe.

Les interlocuteurs de la mission au sein de SNCF Réseau comme de la RATP ne lui ont pas communiqué de documents à ce sujet, mais ont reconnu que ce point constituait un sujet de préoccupation important pour les prochaines années, sans qu'une solution technique ait émergé à ce jour. Bien que ce point ne relève pas strictement des risques naturels et technologiques mais plutôt de la conception et du fonctionnement des gares, il a semblé suffisamment important aux membres de la mission pour être signalé, voire pour faire l'objet d'une future mission du CGEDD.

2.1.3. Le réseau RATP

2.1.3.1. Gouvernance, régulation et réglementation technique

La RATP¹⁵ (EPIC de l'État) et les services Transilien de SNCF (services relevant d'une simple direction sans personnalité juridique de SNCF) sont gouvernés par des contrats de service public portant sur des programmes d'investissements, des niveaux de service (fréquences, horaires, tarifs...) conclus avec l'autorité organisatrice des transports publics en région Île-de-France, le Syndicat des transports d'Île-de-France (STIF). Les autres réseaux de transport collectif de voyageurs en région Île-de-France (tramway et autobus) relèvent également de l'autorité du STIF.

La RATP bénéficiant à ce jour, de fait sinon en droit, d'un large monopole géographique, n'a pas été soumise jusqu'ici à la régulation économique de l'ARAF.

Le contrôle de sécurité de la RATP est assuré non par l'EPSF comme SNCF Réseau, mais par le service technique des remontées mécaniques et des transports guidés (STRMTG), pour les services de métro, RER et tramways et par la DRIEA (DIRIF) pour les services d'autobus.

2.1.3.2. Criticité du réseau ferré (et du métro) pour le fonctionnement économique

Nous avons vu plus haut l'extrême criticité du réseau RER et métro de l'Île-de-France. Le chapitre est donc rappelé ici pour mémoire, le lecteur pouvant utilement se référer au paragraphe 2.1.2.2 (« *Criticité du réseau ferré (et du métro) pour le fonctionnement économique* »).

2.1.3.3. Criticité du réseau de la RATP pour d'autres réseaux

Le réseau de la RATP n'a pas d'autre fonction que d'assurer le transport de voyageurs en zone agglomérée. Il n'a pas vocation à acheminer des secours ni à intervenir pour réparer d'autres réseaux. En revanche, non seulement l'interruption temporaire du service sur une ligne est susceptible de perturber la vie quotidienne de ses usagers souvent captifs (notamment à l'extrémité des dessertes), mais elle est susceptible d'affecter nettement la circulation routière déjà saturée et limitée par les nombreux aménagements urbains réalisés au cours de la dernière décennie (ralentisseurs, zones limitées à 30 km/h, etc). L'arrêt simultané de plusieurs lignes perturberait gravement les conditions de transport dans l'agglomération.

¹⁵ Dans l'ensemble du rapport, le terme RATP désigne l'EPIC RATP, à l'exclusion des activités de ses filiales, sauf lorsque celles-ci sont explicitement mentionnées.

2.1.3.4. Criticité d'autres réseaux pour la RATP

La RATP se considère comme relativement résiliente pour son alimentation électrique (postes de contrôle-commande, signalisation, traction), car alimentée directement par RTE et non par ERDF. De même, sa dépendance aux réseaux de téléphonie fixe et mobile est réduite (abonnements aux trois grands réseaux de téléphonie mobile, plus réseau de téléphonie interne). On peut néanmoins s'interroger sur l'efficacité réelle de l'abonnement multiple (existence d'équipements communs aux trois réseaux de téléphone et problème des appels simultanés de trop nombreux usagers du téléphone saturant les possibilités d'écoulement du trafic phonique en cas de crise majeure). La RATP dispose par ailleurs pour le métro et les RER d'un réseau propre de téléphonie technique (le réseau ETRALI) dont la résilience est probablement équivalente à celle de l'alimentation RTE qui en assure l'alimentation électrique.

Enfin, le réseau d'autobus et les lignes de tramway sont évidemment tributaires de la viabilité des voies routières empruntées.

2.1.3.5. Maillage, redondance

Le réseau métropolitain de la RATP, qui couvre la ville de Paris *intra muros* avec des prolongements de ligne en proche banlieue, est dense et fortement maillé (correspondances entre lignes et avec les lignes du RER (qu'elles soient exploitées par la SNCF ou par la RATP). Ce maillage sera poursuivi avec les investissements de développement futurs : prolongements de la ligne 14 au nord-ouest (ce qui soulagera la ligne 13 saturée) et au sud-est, ligne 15 (Grand Paris Express) qui assurera des liaisons de banlieue à banlieue avec des correspondances sur les prolongements de lignes de métro actuelles, prolongement de la ligne E (SNCF) vers la Défense et Mantes (ce qui soulagera la ligne A du RER).

2.1.3.6. La relation avec l'autorité organisatrice

L'autorité organisatrice des transports (AOT) en région Île-de-France, le Syndicat des transports d'Île-de-France (STIF), se considère comme responsable devant les élus régionaux et départementaux de la qualité du service de transport fourni aux usagers ainsi que des tarifs, mais estime que les moyens de parvenir à cette qualité de service (dont la résilience est un des aspects) sont de la responsabilité des opérateurs de réseaux et en dernier ressort des pouvoirs publics nationaux qui en assurent la tutelle. Elle ne souhaite donc pas s'exprimer sur les moyens d'assurer cette résilience ni sur la stratégie des opérateurs à cette fin.

2.1.3.7. Analyse de la vulnérabilité par la RATP et de son management

La cartographie des risques

Après une première cartographie en 2009, une seconde en 2012, la RATP lance aujourd'hui un troisième cycle de cartographie de ses risques. Avant 2009, deux types de risque seulement étaient bien identifiés : le risque ferroviaire et le risque incendie (ce dernier concerne surtout les centres bus et les établissements recevant du public, ainsi que les centres de commande du réseau de transport en raison du câblage

électrique). À la faveur de la cartographie établie en 2009, la dimension transversale de la fonction de management des risques a été mieux perçue et une structure de risk management a été créée, la *direction du risk management* (DRM), et rattachée au Secrétariat général¹⁶.

Dès 2009, la cartographie des risques a été élaborée dans l'entreprise par la déclinaison de trois processus clés (l'identification des risques, leur évaluation et la priorisation des risques à traiter) formalisés dans une instruction générale (IG 534) et déployés à trois niveaux, (le niveau corporate, le niveau des départements et le niveau des filiales y compris celles de rang deux).

En 2009, l'identification s'est faite, pour chaque niveau, dans une démarche *top down*. Ainsi, au niveau *corporate*, un premier recensement à dire d'expert a été mené par les membres du Comex ; il en est résulté une liste de 74 risques. La DRM les a regroupés et mis en cohérence, puis a commencé un travail d'évaluation sous le pilotage du Comex, qui a conduit à retenir une liste de **18 risques prioritaires gérés au niveau corporate**.

En 2012, le nouveau cycle de cartographie a été lancé, dans une démarche *bottom up* cette fois, puisque le choix des nouveaux 18 risques gérés au niveau *corporate* a été réalisé en partant de l'ensemble des risques identifiés dans la cartographie 2009 par les trois niveaux (*corporate*, départements, filiales) et collationnés par la DRM. Une sous-cartographie a alors été élaborée pour déterminer au sein de chacun des 18 risques, les sous-risques les plus critiques pour lesquels des plans d'action (portant essentiellement sur des mesures de prévention) devaient être élaborés en priorité. Ces plans de traitement sont aujourd'hui en bonne voie d'achèvement.

Dans ces démarches successives, **les évaluations ont été réalisées pour l'essentiel à dire d'expert sur la base de trois paramètres : l'impact, l'occurrence et le niveau de maîtrise de chaque risque par l'organisation**.

La RATP aborde aujourd'hui un troisième cycle d'élaboration de la cartographie de ses risques pour la période 2016-2020 et a mandaté un cabinet d'études pour auditer les démarches précédentes.

Les exemples qui figurent en encadré illustrent les résultats de ces démarches dans quelques secteurs particuliers identifiés par la cartographie.

Management des risques affectant le réseau d'autobus

Les autobus de la RATP, comme d'ailleurs ceux des compagnies privées (Veolia, Keolis, Transdev...) regroupées dans le réseau Optile, circulent sur le réseau routier banalisé, parfois dans des couloirs réservés, ce qui leur permet de s'affranchir en partie des bouchons. Ils sont donc soumis aux mêmes aléas, notamment climatiques (pluie verglaçante, neige, températures extrêmes...), que la circulation automobile. Ainsi, l'épisode neigeux de décembre 2010 a paralysé la circulation des autobus sur certaines lignes, dont le déneigement avait été plus long que prévu. Le RETEX de cette crise

¹⁶ Concernant la gestion de la crise elle-même, une *permanence générale des réseaux*, entité centralisée gérant tous les réseaux incidents, assure l'interface avec le MEDDE et le ministère de l'intérieur (police). Une salle de crise est placée sous la responsabilité d'un chargé de mission auprès du Directeur Général Adjoint opérations. Le principe de subsidiarité s'applique : la responsabilité de premier niveau en matière de gestion des risques relève de chaque entité opérationnelle, la structure de risk management prenant en charge les aspects transversaux.

(notamment le rapport de mission du CGEDD n° 008414-01) a permis à la RATP et aux compagnies du réseau Optile d'assurer un meilleur niveau de service lors de l'épisode neigeux de mars 2013.

Entre-temps, la préfecture de région (en s'appuyant sur la DRIEA) avait classé 30 lignes de bus comme prioritaires pour l'agglomération parisienne. Sur ces 30 lignes de bus, 27 sont gérées par la RATP. La gestion de la crise de 2013 a d'ailleurs marqué un progrès sur celle de 2010, mettant à profit le RETEX de cette dernière.

Deux autres facteurs de vulnérabilité du réseau d'autobus ont été identifiés :

- l'alimentation en énergie de traction : électricité pour les bus électriques ou carburant (gazole) pour les bus diesel traditionnels ;
- le risque d'inondation pour certains dépôts de bus, inondés lors d'une crue centennale.

La RATP reste aujourd'hui relativement vulnérable à une rupture d'alimentation en gazole, en dépit des stocks de précaution constitués dans chaque dépôt qui permettent une autonomie de quelques jours.

S'agissant de la vulnérabilité à l'alimentation électrique, la RATP considère que son abonnement direct auprès de RTE fiabilise son approvisionnement électrique. Au-delà de l'accès à la fourniture d'électricité auprès de RTE, l'entreprise devra néanmoins repenser en profondeur la question de la vulnérabilité de l'alimentation énergétique de ses bus dans le cadre de la mise en place de bus propres à l'horizon 2025. Elle prévoit en effet de tester dans les deux prochaines années les matériels disponibles en bus hybrides et en bus électriques dans la perspective du remplacement complet de son parc à horizon 2025. Les systèmes de recharge électrique aujourd'hui développés par les constructeurs privilégient des options différentes (recharge électrique par une sorte de caténaire, recharge au sol par exemple). Ces installations, comme leur alimentation électrique, peuvent présenter des différences de vulnérabilité au regard des aléas climatiques. Ceci devra être analysé correctement au moment du choix des matériels roulants.

Management du risque affectant le réseau de métro et de RER

S'agissant du réseau de métro et de RER, parmi les risques opérationnels les plus prégnants évoqués auprès de la mission et faisant l'objet de plans d'action, ont été cités :

- le risque de cyber-attaques des systèmes d'information (SI), tant techniques que financiers et de gestion, et des installations de contrôle-commande et de signalisation, considéré comme absolument prioritaire ; ce risque se situe en dehors du champ de la présente mission mais il est évoqué ici, ayant été cité spontanément en premier également par d'autres opérateurs ;
- le risque de destruction d'un référentiel (le référentiel étant l'ensemble des plans, références techniques, etc d'un objet donné, une ligne par exemple). Ce risque est maintenant considéré comme sous contrôle : en effet, les référentiels techniques des principaux dispositifs et installations techniques sont en 2, voire en 3 exemplaires conservés dans des lieux différents ;
- le risque d'incendie d'une infrastructure centrale comme un poste de commande centralisée (PCC). Ce risque est considéré comme relativement bien maîtrisé, y compris pour des installations déjà anciennes comme le PCC du RER A, considéré actuellement comme « sûr à 90 % »¹⁷ à l'égard de ce risque. La résilience des PCC des différentes lignes a été améliorée par la décision d'éclater ces postes sur plusieurs sites¹⁸. La recherche de la résilience apparaît ainsi en contradiction avec celle de l'économie de moyens (installations, équipes

¹⁷ Il devrait être maîtrisé à près de 100 % lors de son remplacement.

¹⁸ Ainsi, il y avait autrefois un poste centralisé à Bourdon qui commandait l'ensemble du réseau ainsi que le poste de commande énergie, il y a aujourd'hui 11 postes pour le métro et le RER dont 1 qui commande trois lignes et un autre qui en commande quatre, les autres ne commandant qu'une seule ligne. Le poste énergie a été dédoublé. Il existe en outre un poste pour les lignes de tramway.

d'exploitation)¹⁹ ;

- le risque associé à une crue majeure de la Seine est en revanche, malgré le « plan de protection contre le risque d'inondation » (PPRI), insuffisamment maîtrisé actuellement et constitue un sujet de préoccupation majeure pour les responsables de la RATP. Il fait l'objet d'un développement ci-après.

La mission du CGEDD de 2012/2013 sur la résilience des réseaux d'infrastructures aux risques naturels avait identifié également le risque de températures extrêmes prolongées sur la fiabilité des composants électroniques, qui participent notamment aux équipements de voies et à la signalisation (défaillance de ces composants). Interrogée par la mission, l'entreprise a répondu qu'elle considérerait que cette question était sous contrôle.

Le risque d'inondation du métro et des RER parisiens

Le risque d'inondation est considéré par les instances centrales de la RATP (Comex, comité de direction générale) comme le seul risque majeur dont le contrôle est actuellement insuffisant. Il a donné lieu à un PPRI propre à la RATP, réalisé avec le concours d'un cabinet de conseil, sur la base d'une crue centennale de la Seine. Il prend en compte le RETEX de plusieurs exercices réalisés récemment, notamment l'exercice de simulation « En Seine 2010 » organisé par la préfecture de police, préfecture de zone de défense et de sécurité.

Il se fonde en particulier sur le précédent de la crue de la rivière Vltava à Prague (août 2002), qui avait inondé le métro de la capitale tchèque en provoquant un arrêt total de la partie centrale de celui-ci (17 km de lignes noyées). La remise en service du métro (et notamment des installations électriques hors d'usage) avait nécessité environ 6 mois de travaux et requis un investissement de 300 M€.

Par extrapolation de l'inondation du métro de Prague, la RATP estime entre 3 Md€ et 5 Md€ le coût de remise en état du métro parisien dans le cas de la crue centennale (140 km de voies inondées).

Toutefois, les conséquences pour l'ensemble de la collectivité nationale seraient évidemment beaucoup plus élevées :

- À l'ampleur du coût direct, il faudrait ajouter les effets sur l'économie nationale qui, faute de meilleure référence, ont été approchés plus haut à l'aune des grèves de 1995 ;
- les effets indirects seraient d'autant plus élevés que le délai de rétablissement complet du réseau serait très long, et qu'en outre certaines portions du réseau pourraient ne pas être rétablies telles quelles (RER C).
- l'efficacité des solutions envisagées pour RATP suppose que le réseau SNCF est lui-même résilient à l'inondation, ce qui n'est pas démontré ; la mission n'a d'ailleurs pas rencontré la même mobilisation spontanée sur ce point auprès de ses interlocuteurs ferroviaires ;
- le scénario prend en compte une entrée d'eau par les eaux de surface, mais laisse de côté une remontée de nappes, se traduisant par des différentiels de pression entre les différentes parties des tubes et donc des efforts asymétriques ;
- si les tubes du métro et du RER sont conçus pour résister à des efforts importants (circulation et stationnement des rames), il n'en est pas de même des couloirs de correspondance, dimensionnés pour des piétons : ces couloirs ne résisteraient pas à la pression et transmettraient l'inondation d'une ligne à l'autre ;
- compte tenu de l'importance essentielle de l'agglomération parisienne pour l'économie nationale, il aurait sans doute été préférable de prendre comme référence une crue de 500 ans (les Britanniques ont retenu la crue millénaire de la Tamise pour Londres), plutôt qu'une crue centennale.

¹⁹ Cette nouvelle organisation a démontré sa résilience lors de l'incident de Noël 2013. Un dégagement d'amiante avait été mesuré sur le poste qui commande quatre lignes un 24 décembre à midi. Les services ont pu faire reprendre le service des quatre lignes quatre heures plus tard avec un poste de secours, malgré les effectifs normalement plus réduits le jour de Noël.

Au final, malgré les importantes avancées réalisées dans les cycles successifs de cartographie des risques, on ne peut pas parler de Plan de Continuité d'Activité (PCA) global, compte tenu des sélections opérées dans ces démarches. Il n'existe de PCA à proprement parler que pour les risques d'inondation et de pandémie grippale, ainsi qu'un document proche d'un PCA relatif à la continuité de la fonction transport en cas d'accès impossible à un site sensible.

Une approche complémentaire a également permis de mieux cerner au plan financier les montants globaux des risques en cause dans le périmètre de l'entreprise et les modalités de leur couverture financière ou assurantielle. Il s'agit d'une étude visant à quantifier et probabiliser 7 risques majeurs assurables²⁰ et à comparer la somme de tous ces risques assurables à la tolérance financière au risque de l'entreprise (en réservant une part de cette tolérance financière pour couvrir un montant global évalué à la louche de risques non assurables). Pour les 7 risques concernés, cette étude évalue à moins de 100 M€ le montant de pertes ayant une chance sur 10 d'être dépassés l'année prochaine, à moins de 500 M€ les pertes ayant une chance sur 100 d'être dépassés l'année prochaine et à seulement légèrement plus de 500 M€ les pertes ayant une chance sur 1000 d'être dépassés l'année prochaine. L'étude révèle ainsi que le seuil de tolérance à ces niveaux de pertes au regard du bilan de la RATP est rapidement dépassé et appelle une meilleure couverture assurantielle ou réassurantielle des risques qui est actuellement à l'examen.

2.1.3.8. Quelques observations

Au regard de cette présentation globale du management des risques à la RATP, la mission relève quelques éléments qui lui paraissent importants :

- La culture de management du risque paraît solidement implantée à la RATP, notamment par comparaison avec le réseau ferré. Néanmoins, à l'aune de l'importance du bon fonctionnement des transports guidés pour l'économie nationale (cf. plus haut chapitre SNCF Réseau), la mission considère nécessaire d'accentuer l'effort de management du risque dans le métro et les RER. Vu les enjeux, ce secteur lui paraît devoir être abordé avec un état d'esprit s'approchant de celui qui prévaut pour la sécurité en matière d'aviation. La mission recommande donc de mener à son terme l'élaboration d'un plan de continuité d'activité assez complet pour garantir véritablement la résilience à un niveau d'occurrence élevé du réseau RER et métro. Il lui semble par exemple nécessaire de **durcir les niveaux acceptables d'occurrence de la défaillance des organes les plus structurants de ces réseaux**, un risque de défaillance couvert à hauteur de 95 % pour un organe aussi central que le PCC RER lui paraît par exemple insuffisant.
- S'agissant du risque inondation, la mission relève qu'il s'agit, pour les mêmes raisons que précédemment, d'un risque à effet maximal pour l'économie nationale. Elle appelle ainsi à un nouvel effort de **coordination entre le système ferroviaire (du ressort de SNCF Réseau) et la RATP** en raison des accès de l'eau d'un réseau à l'autre en cas d'inondation. Mais, s'interrogeant sur la possibilité réelle d'empêcher l'eau de pénétrer dans le réseau, elle invite à **des**

²⁰ Il s'agit des accidents ferroviaires, des accidents de tramway, des accidents de circulation, des incendies, des dommages aux infrastructures, de la fraude financière et des accidents de chantier.

réflexions sur le cloisonnement de sections du réseau dans une perspective de réduire les effets de l'eau et donc les délais de retour à la normale. Elle relève aussi que, malgré l'affirmation justifiée du caractère prioritaire de la recherche d'une meilleure résilience à ce risque, **l'entreprise ne consacre que 2,5 équivalents temps plein à ce sujet qui mérite une réflexion approfondie** notamment pour trouver une réponse à l'effondrement probable des couloirs de correspondance. L'effort paraît dérisoire au regard du risque engagé (évalué entre 3 et 5 Md€ comme indiqué plus haut). **La mission recommande donc à l'entreprise de reconsidérer le dimensionnement de l'équipe dédiée au PPRI.**

- **La mission souhaite également souligner la nécessité d'un effort plus soutenu sur l'analyse de la maîtrise des flux de voyageurs lors de difficultés temporaires d'exploitation. Les dangers affectant la circulation piétonne des flux de voyageurs en cas de crise du fonctionnement du réseau guidé lui ont paru en effet insuffisamment étudiés. En première analyse, il semble à la mission qu'entre les exercices d'évacuation de gares et de trains (pris en compte au titre des risques terroristes et incendie) et les études de circulation des flux de piétons lors de travaux d'aménagements de gares et de couloirs, il y a place pour des réflexions approfondies (études de simulation de circulation des flux, voire exercices) concernant les situations de dysfonctionnement temporaire du réseau.**

2.1.4. Réseau de transport d'électricité (RTE)

2.1.4.1. Présentation

Consistance

RTE gère le réseau de haute tension, dont l'essentiel est constitué de 105 000 km de lignes à haute et très haute tension dont l'armature est à 400 000 V ou 225 000 V.

Réglementation

RTE est assujéti à des engagements de qualité de l'électricité, dont la continuité de l'alimentation en termes de nombre de coupures, brèves ou longues²¹, et la qualité de l'onde de tension.

En cas d'événement exceptionnel, le gestionnaire de réseau doit communiquer à la commission de régulation de l'énergie (CRE) « tout élément permettant de justifier le caractère exceptionnel de l'événement, l'énergie non distribuée, le nombre de coupures longues et brèves lors de l'événement ainsi que tout élément permettant d'apprécier la rapidité et la pertinence des mesures prises par RTE pour rétablir les conditions normales d'exploitation ». ²²

²¹ On définit une coupure comme suit : interruption simultanée des 3 tensions d'alimentation (< 5 % de la tension d'alimentation déclarée), en distinguant Coupure brève (CB), entre 1 s et 3 min ; Coupure longue (CL), supérieure à 3 min. Les coupures sur le réseau public de transport sont considérées à la frontière du réseau et des installations qui y sont raccordées. Source, www.rte-france.com/sites/default/files/rapport_annuel_qde_2013.pdf

²² <http://www.cre.fr/reseaux/reseaux-publics-d-electricite/qualite-de-l-electricite>,
<http://www.cre.fr/documents/deliberations/decision/turpe-4-htb2/consulter-la-deliberation> .

2.1.4.2. Quelques événements récents

Tempêtes de 1999 et suites

La question de la résilience du réseau de transport a été notamment révélée par les deux tempêtes Lothar et Martin du 25-26 au 27-29 décembre 1999, qui ont renversé plus de 200 pylônes HT et provoqué une coupure de ligne sur quasiment 100 km, avec en aval plus de trois millions et demi de foyers privés de courant pendant plusieurs jours ; 90 % des postes ont été rétablis sous quatre jours, mais les derniers clients ont été réapprovisionnés après deux semaines et demi. Le coût de réparation du grand réseau de transport (RTE n'existait pas à l'époque) a été évalué à 152 M€.

Ces tempêtes ont motivé la formalisation d'une demande de sécurisation du réseau dans le contrat de service public du nouvel opérateur RTE, essentiellement sur les lignes 400 kV et 225 kV qui constituent l'armature du réseau de transport. La solution retenue²³ a été de renforcer, dans le cadre d'un programme de 10 ans de 2007 à 2017, un pylône sur dix sur les lignes à 125 kV, 225 kV et 400 kV, ces "pylônes anti-cascade" étant résistants à des vents de 220 km/h contre 160 km/h antérieurement.

Selon RTE, ce programme de sécurisation mécanique a prouvé son efficacité lors des tempêtes Klaus (24 janvier 2009), Joachim (15-16 décembre 2011), Christian (27-28 octobre 2013) et Dirk (23-25 décembre 2013).

Délestage du 4 novembre 2006

Le réseau RTE étant interconnecté (48 liaisons transfrontalières), reste sensible aux perturbations transfrontalières. Le 4 novembre 2006, un délestage inopiné en Allemagne du nord (Hambourg) a provoqué une réaction en chaîne aboutissant à perturber l'ensemble du réseau de transport européen avec des répercussions jusqu'en Afrique du Nord. 15 millions de clients ont subi l'impact de cette panne, le réseau a pu être resynchronisé en quarante minutes et la situation rétablie pour tous en deux heures. Il s'agissait d'un « burn-out », cascade fonctionnelle maîtrisée avec remise en service plus facile que le « black-out », délestage non maîtrisé allant jusqu'à la coupure totale, comme celui du 19 décembre 1978 en France ou la panne italienne de 2003.

2.1.4.3. Dépendance et criticité vis-à-vis d'autres réseaux

Réseau de télécommunications

RTE a décidé en 2000 de réduire sa dépendance vis-à-vis des opérateurs de télécommunications, ce qui a abouti de 2008 à 2011 à la mise en place du réseau national ROSE (Réseau Optique de Sécurité) exploité par RTE. À ce jour, 1000 postes d'alimentation sont déjà desservis par fibre optique du réseau ROSE et 1500 restent desservis par l'opérateur Orange.

RTE reste dépendant des opérateurs de téléphonie mobile externes et a des contrats avec les trois opérateurs Bouygues, Orange et SFR, et possède en parallèle le SRS, système radio de sécurité, tant terrestre que satellitaire.

²³ Rapport Piketty, Voir par exemple article d'août 2002 par Gérard Piketty dans les Annales des Mines.

Réseau routier et ferroviaire

RTE peut se passer du réseau routier grâce à sa flotte de onze hélicoptères de surveillance et maintenance, si les conditions météorologiques le permettent.

Les ouvrages de RTE en surplomb des voies de communication peuvent, en retour, avoir un impact sur celles-ci en cas d'endommagement.

Autres réseaux de transport

Comme vu plus haut, le réseau RTE, interconnecté par 48 liaisons transfrontalières au reste de l'Europe, reste sensible aux perturbations venant de l'étranger. Il s'agit là d'un risque exogène significatif, et qui ira se développant compte tenu des problématiques de développement des énergies renouvelables intermittentes pouvant occasionner des surproductions et instabilités du réseau global.

2.1.4.4. Maillage, redondance

Le réseau de RTE est maillé. Cependant, certaines zones sont des presque îles électriques comme la région sud-est – Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA) « électriquement fragile » – ou la Bretagne.

La région PACA a été victime le 3 novembre 2008 d'un black-out privant d'électricité 1,5 million de foyers dans le Var et les Alpes-Maritimes pendant trois heures. Elle n'est alimentée que par une seule ligne à 400 kV, sur les deux initialement prévues. Suite à un investissement de 171 M€ et six ans de travaux, depuis janvier 2015, une nouvelle ligne de 225 kV double la ligne principale sur des tronçons critiques.

2.1.4.5. Vulnérabilité

L'analyse des risques de RTE distingue risques opérationnels (sûreté système, qualité de l'électricité et sécurité des tiers, ressources humaines, domaines transverses notamment SI), risques liés au contexte externe (institutionnels et juridiques, finances et marché) et risques de stratégie et pilotage. Les paragraphes suivants illustrent quelques risques pertinents dans le cadre de la présente mission, auxquels est confronté RTE.

Risque tempête : Les lignes aériennes restent vulnérables aux vents extrêmes.

Risque incendie de forêt : Le risque incendie peut nécessiter la mise hors tension préventive d'équipements, avec la contrainte de limiter les coupures.

Risque neige et gel : Ce risque, surtout gênant pour les accès aux lignes endommagées, est géré grâce à la flotte d'hélicoptères.

Risque inondation : Ce risque affecte les postes électriques en zone inondable. Il est pris en compte par le maillage, les entraînements des équipes RTE et les exercices comme SEQUANA en 2015, simulant une crue de type 1910 à Paris.

Risque sismique : Le dimensionnement des lignes aériennes vis-à-vis des vents extrêmes assure *a priori* une tenue aux aléas sismiques. En ce qui concerne les équipements, le dimensionnement prend en compte une résistance aux chocs consécutifs à des chutes survenant lors du séisme.

2.1.4.6. Les modalités de la prévention et leur justification économique

Selon RTE, le coût pour les clients (particuliers ou entreprises) d'une coupure longue (supérieure à 3 minutes) est en moyenne de 216 € par kWh non fourni, soit environ 200 fois le prix de la fourniture de cette énergie (pour les coupures brèves, inférieures à 3 min, il est bien plus faible, autour de 3 € par kWh en moyenne). Ces chiffres, pour approximatifs qu'ils soient – ils résultent d'une enquête de RTE auprès de ses clients – confirment l'importance de la durée d'interruption du service.

Pour décider d'une couverture d'assurance, RTE a évalué sommairement l'impact financier qu'il subirait en cas d'occurrence de certains événements : par exemple, une crue de la Seine, dont l'impact est évalué à 20 M€ ; un *black-out* sur la moitié du territoire français pendant trois heures, dont l'impact est évalué à 100 M€ ; une tempête dont l'impact varie de 40 à 200 M€ suivant sa force.

Outre la responsabilité civile, l'assurance est mobilisée par RTE pour certains dommages aux biens. Ainsi RTE s'est assuré, en général partiellement, vis-à-vis de certains événements tels que les crues de la Seine.

Les actions de prévention se sont concentrées sur trois volets : le doublement d'une ligne critique en région PACA (*cf. supra*), le « durcissement » (renforcement mécanique) des lignes prioritaires et l'amélioration de la résilience.

2.1.4.7. Programme de sécurisation mécanique

L'objectif à terme de ce programme mentionné plus haut est de rétablir en cinq jours au plus les services de base à la suite d'événements climatiques importants, de maintenir l'alimentation de la quasi-totalité des postes à la suite d'événements climatiques significatifs en deçà de l'intensité des tempêtes de 1999, et de maîtriser les risques de chute sur les personnes et les biens, même en cas d'événement climatique important. Les lignes identifiées comme permettant de répondre aux deux premières finalités appartiennent au « réseau cible sécurisé ou à sécuriser » (RCS) . L'ensemble du réseau doit répondre à la troisième finalité.

Le programme de renforcement mécanique répond aux finalités ci-dessus et comporte trois éléments :

- des pylônes anti-cascade sur les lignes 400 kV, 225 kV et 150 kV du RCS ;
- la sécurisation de l'ensemble des lignes du RCS ;
- la sécurisation des surplombs et des traversées de voies pour les lignes n'appartenant pas au RCS.

Selon RTE, la justification du renforcement d'un pylône sur dix (environ 100 k€ par pylône) repose sur deux éléments :

- l'installation d'une ligne provisoire exige des moyens humains et techniques tels que, au-delà de 5 km (soit un pylône sur 10), le délai de 5 jours n'est plus tenable ;
- passer de 1 pylône sur 10 à 1 sur 8 augmenterait le coût de sécurisation du réseau d'environ 155 M€, ce qui n'est pas négligeable.

Le coût total de ce programme pluriannuel qui doit s'échelonner jusqu'en 2017 a été estimé en 2007 à 2400 M€ (aux conditions économiques de 2007), soit 2800 M€ en valeur 2014. À fin 2014, 2300 M€ avaient été engagés, dont 200 M€ en CAPEX et 300 M€ en OPEX. Il reste à réaliser d'ici à 2017 environ 300 M€ en CAPEX et 150 M€ en OPEX.

Les moyens d'intervention disponibles incluent notamment la constitution en 2001 de groupes d'intervention prioritaires (GIP), dans les équipes de maintenance de RTE, la mise en place en 2010 d'un abri technique mobile (ATM), poste de commandement transportable alimenté par groupe électrogène, et le SRS sus-mentionné, système radio de sécurité, tant terrestre que satellitaire utilisable en zone de relief difficile pour la téléphonie mobile.

2.1.5. Réseau de distribution d'électricité (ERDF)

2.1.5.1. Présentation

ERDF exploite 95 % du réseau de distribution métropolitain, soit plus de 1,3 million de kilomètres de lignes basse tension (BT : jusqu'à 1 kV) et moyenne tension (HTA : jusqu'à 50 kV). Cet établissement public, filiale de EDF, est propriétaire des postes sources mais non des lignes, qui appartiennent aux collectivités territoriales (communes ou intercommunalités) et dont il est concessionnaire.

2.1.5.2. Le contrat de service public et le coût des coupures de courant

Le contrat de service public entre l'État et EDF (à l'époque) sur la période 2005-2007 a fixé des objectifs moins ambitieux que ceux affichés au lendemain des tempêtes de 1999, en assignant à l'opérateur l'engagement de réalimenter 80 % des clients en moins de vingt-quatre heures, 90 % en moins de cinq jours, et 100 % des sites devant pouvoir être sécurisés en moins de 12 heures, d'ici 2015.

Le tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité (dernière version dite TURPE 4 valable sur 2012-2016) comporte une part fixe et une part variable « incitative », décrit indirectement ce qu'est une situation normale, en établissant des pénalités versées par les gestionnaires de réseau en cas de panne. La décision tarifaire TURPE 4 HTA/BT du 12 décembre 2013²⁴, élaborée par la CRE (commission de régulation de l'énergie), prévoit le versement par ERDF aux utilisateurs raccordés aux réseaux qu'elle gère d'une pénalité de 20 % du montant annuel de la part fixe du TURPE par période entière de 6 heures d'interruption, sauf si elles sont dues à une défaillance du réseau

²⁴ <http://www.cre.fr/documents/deliberations/decision/turpe-4-hta-ou-bt/consulter-la-deliberation>

de transport. À la différence de RTE, ces dispositions valent même en cas d'événement exceptionnel.

Tous les trimestres, ERDF transmet à la CRE « *pour chaque événement exceptionnel : tout élément permettant de justifier le classement en événement exceptionnel, la somme des durées de coupure et le nombre de coupures des installations de consommation raccordées en BT dus à l'événement ainsi que tout élément permettant d'apprécier la rapidité et la pertinence des mesures prises par ERDF pour rétablir les conditions normales d'exploitation* ».

En 2013 le temps moyen de coupure, toutes causes confondues (y compris événements de neige collante en mars et novembre et tempête Dirk en décembre), a été de 97 min dont 8 min dues aux chutes de neige en mars sur le Nord et la Normandie, 10 min dues aux orages de juillet et août dans le sud-ouest, 8 min dues aux chutes de neige de novembre dans le Centre et en Auvergne, et 11 min dues à la tempête Dirk de décembre²⁵.

La continuité de desserte est globalement meilleure en zone urbaine dense qu'en zone rurale, même si le milieu urbain n'a pas été prioritaire dans les 15 dernières années en raison des travaux consécutifs aux tempêtes de 1999.

Enfin, le contrat de service public signé entre l'État et EDF²⁶ et applicable à ERDF depuis le 1^{er} janvier 2008, stipule de réalimenter au minimum 90 % des abonnés dans les 5 jours en cas d'événement exceptionnel. Aucune pénalité n'est prévue en cas de non-respect de cette clause. Cependant, entre 1999 et 2010, ERDF a divisé par 5 le temps de réalimentation de 90 % de ses utilisateurs, passant de 9 jours lors des tempêtes Lothar et Martin à 2 jours lors de la tempête Xynthia²⁷.

Le même contrat de service public requiert, en cas de panne importante, le retour de courant dans les 12 heures qui suivent la fin de l'événement climatique pour les sites sécurisés accessibles à la population d'ici 2015.

2.1.5.3. Événements majeurs

Tempête Klaus du 24 janvier 2009

La FNCCR (fédération nationale des collectivités concédantes et régies), à l'occasion du retour d'expérience Klaus²⁸, a considéré que les leçons de 1999 n'avaient pas été tirées : la réalimentation a été plus rapide qu'en 1999 et le concessionnaire ERDF a été réactif, mais les besoins en renouvellement du réseau dépassent toujours largement les investissements annuels du concessionnaire ERDF (notamment le taux d'enfouissement de nouvelles lignes BT).

²⁵ <http://lci.tf1.fr/economie/consommation/les-coupures-de-courant-ont-augmente-de-31-en-2013-8354661.html> , <http://www.cre.fr/documents/deliberations/decision/turpe-4-hta-ou-bt/consulter-la-deliberation>

²⁶ http://fr.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Edf_en_france/documents/CSP-EDF-Etat.pdf

²⁷ <http://www.cre.fr/documents/publications/rapports-thematiques/rapport-sur-la-qualite-de-l-electricite-2010/consulter-la-synthese-du-rapport>

²⁸ www.fnccr.asso.fr/images/upload/2009-02-11_dossier_de_presse_fnccr_propositions_tempetes_11_fevrier.pdf

Incendie du poste de Levallois-Perret le 12 janvier 2013

Le 12 janvier 2012 à 7h50 un incendie s'est déclaré dans le poste source de 240 MW, 225 kV / 20 kV de Levallois-Perret, mais l'identification de l'incendie a tardé et donc l'intervention des pompiers aussi. 70 000 clients ont été affectés. La suie consécutive à l'incendie a affecté la qualité de l'isolation et empêché le redémarrage. La solution immédiate a consisté à utiliser des groupes électrogènes (certains acheminés depuis Amsterdam), puis l'on a alimenté la zone à partir des autres postes de banlieue voisins en procédant à des délestages tournants. L'alimentation a été rétablie en une journée. Toutefois, cet incident a démontré la fragilité du dispositif d'alimentation des réseaux de distribution des grandes agglomérations, notamment de l'agglomération parisienne, où ce dispositif n'est que faiblement redondant : en effet la reconstruction du poste incendié a été longue et dans l'attente, la défaillance prolongée d'un autre poste aurait compromis la continuité d'alimentation de la population desservie.

Pendant une longue période s'étendant sur les années 1990 à 2010, l'effort d'investissement a porté pour l'essentiel sur l'enfouissement des lignes notamment en milieu semi-urbain et rural, sous l'impulsion des collectivités concédantes et au niveau national de la FNCCR. Il en est résulté un sous-investissement sur les postes sources, d'où une obsolescence du parc de postes sources propriété d'ERDF.

Suite à l'incendie du poste source de Levallois-Perret, outre des opérations de diagnostic et la surveillance renforcée des postes sensibles, un programme de rénovation est en cours depuis 2013, concernant 400 postes, et doit durer dix ans pour un montant total de 1 G€ : 500 M€ de consolidation (fiabilisation interne des postes) et 500 M€ de capacité de reprise de charge du poste défaillant par le réseau HTA issu d'autres postes en cas de défaillance. Compte tenu des autres programmes d'entretien des postes sources en cours de réalisation, le coût moyen annuel de l'ensemble des programmes sur les postes sources doit passer de 300 M€ en 2013 à une moyenne de 400 M€ annuels à compter de l'engagement du programme de consolidation dès le début de 2014 (soit une hausse de 100 M€ par an). Les responsables de ERDF, interrogés par la mission, lui ont indiqué que ce programme était sensiblement plus largement dimensionné que celui qui aurait résulté d'une analyse socio-économique, et qu'il prend en compte l'important préjudice d'image qui résulterait, pour ERDF, de la répétition d'un incident de même type que celui qui a affecté le poste de Levallois-Perret.

Tempêtes d'hiver de 2003-2014 en Bretagne

Les tempêtes Dirk (23 et 24 décembre 2013), Erich (27 décembre), Petra (5 et 6 février 2014), Ruth (7 et 8 février), Ulla (14 et 16 février), Andréa (28 février) ont successivement frappé la Bretagne, avec des impacts variables.

Suite à ces tempêtes de décembre 2013 et février 2014, les réparations provisoires faites pendant les tempêtes ont été consolidées en avril et mai, puis une phase de reconstruction a eu lieu de juin 2014 à mars 2015.

2.1.5.4. Dépendance et criticité vis-à-vis d'autres réseaux

Réseau de transport

Le réseau de transport RTE est en amont du réseau de distribution et sa défaillance entraîne celle du réseau de distribution.

Réseau de télécommunications

La mission précédente de 2013²⁹ recommandait d'éliminer la dépendance d'ERDF à l'égard d'un opérateur unique de téléphonie mobile (SFR) en concluant des contrats avec l'ensemble des opérateurs de réseaux de télécommunications. ERDF a depuis adopté une stratégie de diversification. De plus, ERDF dispose d'un réseau de transmission radio en propre.

Réseau routier

Les équipes d'intervention sont tributaires du réseau routier. Par exemple les groupes électrogènes sont acheminés sur zone par camion, voire par voie aérienne (hélicoptères) si nécessaire.

2.1.5.5. Vulnérabilité

Le réseau de distribution est interfacé avec le réseau de transport par 2240 postes sources gérés par ERDF. En zone urbaine, ces postes construits dans l'après-guerre sont anciens, fragiles pour une partie d'entre eux, et de plus intégrés au bâtiment dans un contexte qui s'est entre-temps fortement densifié, ce qui rend les interventions techniquement - voire humainement - difficiles.

Les câbles BT et HTA sont parfois d'une technologie ancienne, qu'il s'agisse de fils nus (BT), de câbles au papier imprégné des années 50-70 (moyenne tension alias HTA), de boîtes de jonction, sensibles à l'eau et à la canicule.

Le risque le plus important pour ERDF en milieu rural est l'aléa climatique, notamment les tempêtes. En milieu urbain le risque est plutôt lié au vieillissement des équipements avec des fragilités sur les postes-sources et les câbles. La perception locale des crises est différente, une coupure acceptée en milieu rural devenant inacceptable pour certains milieux urbains.

Risque incendie

Les postes sources sont sensibles au risque d'incendie, avec perte totale (cas de l'incendie du poste source de Levallois-Perret en 2013) ou partielle (cas de l'incendie du poste source de Massy en 2013).

Risque canicule

Les câbles MT et BT d'ancienne technologie et les boîtiers de jonction en papier imprégné sont sensibles à la canicule. Celle-ci est aussi un problème non pas du fait de la fragilité des circuits « d'information/commande », mais pour le réseau enfoui (lorsque la terre s'est réchauffée en profondeur sans se refroidir en nocturne).

²⁹ Rapport CGEDD n° 008414-01 de septembre 2013 sur la Vulnérabilité des réseaux d'infrastructures aux risques naturels

Risque neige et gel

Les fils aériens (370 000 km en HTA, 20 kV) sont sensibles à la neige (création de manchons de neige et rupture). ERDF privilégie la solution du câble aérien torsadé, les collectivités territoriales concédantes préférant la solution de l'enfouissement, plus esthétique et trois fois moins sujet à incidents, mais moins facile d'accès et trois fois plus cher.

Risque inondation

Les câbles MT et BT d'ancienne technologie sont sensibles à l'eau, et les postes sources ne sont pas tous hors d'eau pour des raisons économiques. Cependant, les inondations qui affectent en général une superficie limitée ne sont pas considérées comme un problème majeur par ERDF.

2.1.5.6. Mesures de prévention et leur justification économique

Programme de sécurisation

Le patrimoine à enjeux de sûreté et de qualité fait l'objet de politiques de renouvellement et/ou de mise à niveau. Ce patrimoine comporte les réseaux aériens en zone rurale qu'il faut rendre plus robustes aux aléas climatiques, les réseaux souterrains urbains basse et moyenne tension de technologie CPI (papier imprégné) à remplacer, les postes source à sécuriser. Sur ce dernier point et comme vu *supra*, un programme décennal de consolidation de 1 G€ est lancé depuis 2013.

Les tempêtes de l'hiver 2013-2014 en Bretagne ont motivé la mise en place d'un « plan exceptionnel d'investissement et de maintenance » de 100 M€ alloué à la Bretagne sur la période 2015-2020, représentant un surcoût annuel moyen de 39 % des dépenses d'investissement sur le réseau : sécurisation de 2050 km de réseau sur 2015-2016, et sur 2015-2020 abattage de 46 000 arbres fragilisés, élagage sur 68 000 km de réseau, enfouissement et sécurisation de réseau HTA.

2.2. Synthèse sur les opérateurs de réseaux

Au terme de cette analyse par opérateurs, il est possible de dresser quelques constats et de formuler quelques recommandations.

- La connaissance des coûts propres occasionnés par une défaillance de leurs réseaux est très inégale selon les opérateurs. En particulier, certains opérateurs n'ont pas développé une cartographie complète de leurs risques et n'ont qu'une connaissance très imparfaite de la valeur économique de leur patrimoine et donc de la réalité des coûts d'une défaillance d'un élément de ce patrimoine, le coût d'un dysfonctionnement d'un élément de réseau étant corrélé à sa valeur patrimoniale.
- La connaissance des coûts induits chez d'autres agents économiques (clients/usagers, tiers impactés) est faible voire inexistante chez les opérateurs qui n'ont actuellement aucune incitation à les connaître. Sauf dans le cas où une indemnisation est prévue (ex. : fourniture d'électricité) et en dehors du « risque

d'image », au demeurant difficile à quantifier, elle n'est pas directement perceptible par les opérateurs.

- Les opérateurs auditionnés par la mission ne font pas appel, pour l'analyse de leurs risques et pour l'évaluation des programmes de mesures préventives, aux méthodes d'évaluation économique présentées au chapitre 1 : analyse coût / bénéfice et analyse multi-critère, méthode du coût marginal. Leurs programmes de mise en résilience sont élaborés le plus souvent en réponse à un événement imprévu survenu sur l'une de leurs installations³⁰, en liaison avec leurs tutelles technique et financière, en général sous une forte pression médiatique. Ils sont dimensionnés en prenant en compte le préjudice d'image qui résulterait pour eux d'une répétition de cet événement et ce dimensionnement n'est pas fondé sur un calcul économique élaboré (ou alors ce calcul, s'il existe, n'a pas été communiqué à la mission).

S'il n'y a pas lieu pour un opérateur de réseau de fonder la décision d'engager un programme de mise en résilience sur le seul fondement d'une analyse coût / bénéfice, il est toutefois utile que les résultats d'une telle analyse soient explicités comme un critère, parmi d'autres, de cette décision. Une telle exigence devrait également valoir pour les pouvoirs publics avant de procéder, par voie législative ou réglementaire, à un « durcissement » de sa politique de prévention des risques : aussi serait-il souhaitable que l'étude d'impact accompagnant obligatoirement un projet de texte normatif comporte une ACB au moins sommaire de la mise en œuvre des mesures prescrites.

1. Les Retex des incidents ou accidents devraient inclure une évaluation aussi complète que possible des coûts qui en résultent pour la collectivité, en isolant dans la mesure du possible ceux liés à la défaillance des réseaux. Les opérateurs de ces réseaux doivent évaluer les coûts directs et indirects de cette défaillance dans leurs Retex et en faire une présentation périodique à leurs tutelles. (opérateurs de réseaux, directions de tutelle de ces opérateurs)

2. Toute nouvelle mesure, législative ou réglementaire, d'extension de la prévention des risques auprès des opérateurs devrait s'accompagner d'une analyse coût / bénéfice actualisée. Il est proposé que cette analyse figure dans l'étude d'impact de cette nouvelle disposition. (SG/SDSIE, DGPR, Directions de tutelle des opérateurs de réseaux)

Ce critère n'est évidemment pas le seul fondement de la décision mais il doit être explicité, même lorsque la pression médiatique impose des réponses plus coûteuses que celle qui résulterait de son application.

Le temps d'interruption du service fourni par un réseau ou partie de réseau et le volume de trafic (ou le nombre de personnes concernées) sont des composantes essentielles du coût socio-économique global de la défaillance. Ainsi par exemple, la fermeture pour une longue durée (plusieurs mois) d'une infrastructure de forte capacité et à haut niveau de fréquentation pourrait avoir des effets économiques sensibles, y compris au niveau macro-économique (effets sur le PIB régional, voire national),

³⁰ Tempêtes Lothar et Martin (1999) pour le programme de sécurisation mécanique de RTE, incendie du poste source de Levallois Perret pour ERDF, incendie du Poste d'aiguillage des Ardoines (Vitry-sur-Seine) pour SNCF Réseau...

comme le montrent les exemples cités en 2.1.2. (SNCF Réseau) et 2.1.3 (RATP). C'est notamment le cas des réseaux de transports collectifs massifiés dans de grandes agglomérations (Paris, Lyon, Marseille...). La redondance des réseaux est dans ce cas purement théorique et ne pourra pas être effectivement mise à profit, du fait de la saturation des réseaux de substitution aux heures de pointe, qui représentent une grande partie de la journée.

Il est difficile pour les opérateurs, à partir d'un nombre limité de retours d'expérience, de procéder à une cartographie des scénarios de défaillances, comportant de fortes incidences même s'ils sont de très faible probabilité et d'en évaluer les coûts au terme d'une analyse économique rigoureuse. Compte de cette difficulté, il paraît important de focaliser l'attention des opérateurs sur des événements peu probables mais à très forte incidence.

3. Une forte priorité doit être accordée aux défaillances susceptibles de provoquer une interruption de longue durée du service (critère de temps de rétablissement) et d'affecter un très grand nombre de personnes privées d'une alternative du fait de la saturation des réseaux de substitution (grandes agglomérations). (opérateurs de réseaux et leurs directions de tutelle)

Toutefois, le critère de la valeur économique ne peut être le seul, car il convient également de traiter le cas de zones géographiques enclavées ou isolées, comportant une desserte unique pour les transports et/ou pour l'énergie (exemple de Barèges, crue torrentielle de juin 2013). Si l'impact économique global pour la nation est sensiblement plus limité voire négligeable, l'impact sur l'économie locale, souvent fragile, peut être très fort et emporter des conséquences difficilement réversibles (par exemple, pour une station de sports d'hiver, une haute saison de ski ratée avec des annulations peut être difficile à rattraper, voire porter un préjudice commercial définitif).

4. Dans le cas des zones excentrées ou isolées, il est préconisé d'identifier les éléments dont la défaillance est susceptible de provoquer une interruption de longue durée du service (critère de temps de rétablissement), en l'absence d'une desserte ou d'un service alternatifs (zones excentrées ou isolées). (opérateurs de réseaux et leurs directions de tutelle)

S'agissant des cas où une très forte criticité a été repérée (effet majeur et d'une certaine durée sur un grand nombre de personnes et absence d'alternative du fait de la saturation des réseaux de substitution, cf. les paragraphes 2.1.2.2 et 2.1.3.2), la mission considère que les méthodes utilisées doivent être adaptées à l'enjeu.

5. Les éléments critiques majeurs ainsi définis au sens des recommandations 3 et 4, même si l'occurrence d'un événement susceptible de provoquer leur défaillance est de probabilité très faible, doivent être sécurisés suivant le principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable, aussi bas que raisonnablement atteignable). Les opérateurs dans la cartographie de leurs risques sont invités à progresser dans l'évaluation du coût global des défaillances de leurs réseaux et à conduire une analyse spécifique pour les situations décrites dans les recommandations 3 et 4. (opérateurs de réseaux)

La revue d'ensemble des opérateurs de réseaux rencontrés a fait apparaître des difficultés, pour certains d'entre eux, à modéliser les coûts des défaillances de leurs réseaux. En outre, ils agissent en ce domaine en ordre dispersé et sans méthodologie commune. Enfin, les contacts pris par la mission auprès du milieu de la recherche économique ont fait apparaître que le domaine de la résilience des réseaux de transport (de personnes, de marchandises ou d'énergie) a peu été abordé à ce jour sous l'angle économique par le monde universitaire, en termes de travaux publiés. Il est donc apparu utile de proposer aux opérateurs de réseaux situés dans le champ de compétence du MEDDE un socle méthodologique commun, en les associant ainsi que leurs tutelles à des travaux de recherche universitaires.

En préalable à la passation de commandes spécifiques et ciblées adressées par appels d'offres au monde universitaire, il semble opportun de procéder à une étude de faisabilité qu'il est suggéré de confier au réseau scientifique et technique ministériel (Cerema, IFSTTAR, Ineris), en lien avec le CGDD, en examinant des cas concrets de pertes prolongées, sur plusieurs semaines voire plusieurs mois, du fonctionnement d'infrastructures de forte capacité situées en milieu urbain dense : à titre d'exemple, pourrait être envisagé le cas d'une perte prolongée du fonctionnement de la ligne A du RER, et/ou celui de la fermeture sur plusieurs semaines d'un tunnel de l'autoroute A1 au nord de Paris.

Cette étude devrait notamment permettre de modéliser les interdépendances entre réseaux ainsi que les effets de redondance entre réseaux et les phénomènes de saturation (le report de trafic sur un réseau déjà saturé ou proche de la saturation étant comme on l'a vu inopérant).

6. Il est suggéré de confier une étude de faisabilité (incluant la rédaction d'un cahier des charges) au réseau scientifique et technique du MEDDE (Cerema, IFSTTAR, Ineris), en lien avec le CGDD, sur un scénario de perte sur une longue période du fonctionnement d'une infrastructure de forte capacité en milieu dense, puis de confier l'étude proprement dite à une équipe universitaire après appel d'offres. La modélisation économique des interdépendances entre réseaux (élaboration d'arbres d'interdépendances) ainsi que celle de la redondance et des effets de saturation devraient être développées dans ces travaux (SG/SDSIE, DGITM)

2.3. Les autres acteurs et leur positionnement

2.3.1. Le point de vue des assureurs

Une approche possible de la question des coûts générés par la défaillance des réseaux consiste à prendre connaissance des pratiques des assureurs à l'égard des gestionnaires et opérateurs de réseaux, et des bases de données de ces derniers sur les sinistres assurables et leur indemnisation. L'exploitation de ces données permet de connaître le coût du sinistre, dans la mesure où il est assurable. Par ailleurs, la technique de l'assurance peut être envisagée par les opérateurs de réseaux comme une alternative à la prévention de certains sinistres.

Historiquement, la question des assurances pour les infrastructures publiques ne se posait pas : en effet, ces dernières étaient soit en gestion directe de l'État ou de collectivités territoriales (c'est toujours le cas aujourd'hui pour le réseau routier national non concédé), soit gérées par des établissements publics fortement intégrés à l'État.

Les réparations des dommages aux infrastructures ainsi que les indemnités à payer à des tiers étaient financées par celui-ci, en vertu de la doctrine : « l'État est son propre assureur ».

La situation a évolué avec l'autonomie plus large accordée aux établissements publics qui ne bénéficient plus systématiquement de la garantie de l'État, ce qui les a conduits, pour une partie de leurs installations, à se tourner vers le secteur des assurances privées. Ce phénomène s'est intensifié avec la récurrence de phénomènes climatiques de grande ampleur et avec la croissance de risques informatiques liés à la complexité croissante des systèmes de commande et de contrôle des installations qu'ils gèrent.

Hors dispositif « Cat Nat » qui ne concerne pas les réseaux en tant que tels, les assureurs n'assurent que les risques qu'ils savent tarifier : « bris de machines », bâtiments (notamment contre le risque incendie), pertes d'exploitation, responsabilité civile. Sauf exception, les réseaux en tant que tels ne sont pas assurés.

L'assurance bris de machines couvre une gamme de risques étendue à tout dommage irréversible à un équipement nécessitant une réparation lourde voire son remplacement, quelle qu'en soit la cause (cyber-criminalité, panne informatique, rupture d'alimentation électrique provoquant un dysfonctionnement, incendie, température extrême...). Le contrat couvre le remplacement à l'identique de l'équipement défectueux, ou par un équipement comparable, mais exclut la perte d'exploitation consécutive qui ressortit, le cas échéant, d'une autre police d'assurance.

Les infrastructures linéaires de transport (voie ferrée, chaussées, ouvrages d'art) ne font pas partie des biens assurables, car les gestionnaires de réseaux ne sont pas en mesure de présenter aux assureurs un modèle de risque (probabilité d'occurrence, définition du risque maximal) qu'ils soient capables de valider. En revanche, sont assurables (et en général assurés) les équipements de voie et la signalisation, que ce soit sur route ou dans le ferroviaire, ainsi que les bâtiments annexes (hangars, salles d'enregistrement, plates-formes de péage...). De même, RTE a mis fin au contrat d'assurance de ses lignes aériennes HT et THT à la suite des tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999, mais continue à assurer les postes transformateurs.

La voirie des collectivités locales, de même, n'est sauf exception pas assurée, les compagnies d'assurance ne répondant pas aux appels d'offres lancés par ces dernières.

Les opérateurs de réseaux en tiennent compte en s'auto-assurant pour l'essentiel, soit par des mesures de prévention, soit en créant une captive d'assurance (compagnie d'assurance filiale de l'opérateur) qui effectue un tri entre risques assurables en interne ou non :

- Les mesures de prévention consistent à durcir les réseaux contre les risques identifiés (par exemple, programme de durcissement des pylônes de RTE contre la tempête après les tempêtes de 1999, mise hors d'eau des postes transformateurs de RTE, mise hors d'eau des postes de commande d'aiguillage de SNCF Réseau...) ou à constituer des stocks de matériels d'intervention et à les pré-positionner en cas d'alerte météo par exemple.

- La captive d'assurance collecte les sinistres survenus et les assure elle-même, ou tente de les faire assurer par un appel au marché au-delà d'un certain montant lié à son niveau de fonds propres.

Les opérateurs de réseaux et les assureurs se renvoient réciproquement la responsabilité du fait que les infrastructures linéaires, sauf exception, ne sont pas assurées. Les opérateurs de réseaux estiment que les tarifs proposés par les assureurs dans leurs réponses à des appels d'offres sont dissuasifs, ce qui traduit de fait une opposition de principe à assurer les infrastructures (ou la pratique de tarifs « de précaution » dissuasifs, ce qui revient concrètement au même).

De leur côté, les assureurs affirment ne pas être opposés par principe à assurer des infrastructures, dès lors que les opérateurs leur présenteraient une modélisation crédible de leurs risques (probabilité d'occurrence, effets du sinistre maximum possible et du sinistre raisonnablement envisageable), étayée par des statistiques, mais estiment qu'actuellement cette condition n'est en général pas remplie.

La mission du CGEDD ne dispose pas d'éléments pour prendre position dans ce débat. Elle observe toutefois qu'il est très difficile de « coter » le risque d'événements exceptionnels : qu'est-ce par exemple qu'une crue centennale ou une crue millennale de la Seine à Paris et quelles en seraient les conséquences, certainement bien plus lourdes au plan financier que celles de la crue de 1910 « toutes choses égales par ailleurs » ? Quelle probabilité pour la conjonction d'une marée d'équinoxe et d'une tempête d'intensité exceptionnelle ? Quelles en seraient les conséquences « indemnisables » ? Comment imaginer le scénario d'un événement qui ne s'est jamais produit à l'échelle historique, mais qui pourrait se produire (les « cygnes noirs ») et comment en évaluer les conséquences ?

L'existence de bases de données complètes de sinistralité concernant le risque d'inondation a rendu possible une modélisation assez poussée de ce risque par les assureurs et les réassureurs. Mais il est généralement difficile, comme on l'a vu, d'isoler, dans les conséquences d'une inondation, celles qui sont attribuables au dysfonctionnement d'un réseau impacté par l'inondation.

La modélisation d'autres risques que l'inondation est actuellement peu développée voire inexistante. Toutefois, les cyber-risques (qui se situent hors du champ couvert par la mission du CGEDD), qui touchent à des degrés divers les opérateurs de réseaux avec de possibles effets domino, sont en cours de modélisation.

Au total, si les données collectées par le secteur des assurances sur les grands sinistres d'origine naturelle ou technologique (et la consolidation qui en est faite par les réassureurs) permettent d'avoir une estimation assez précise des coûts occasionnés par ces sinistres par le biais des indemnités accordées, il est difficile voire le plus souvent impossible en revanche d'approcher à partir de ces données le coût total ou même partiel de la défaillance d'un réseau.

2.3.2. Les usagers / clients

La résilience après un événement causant la perte d'un réseau peut aussi être organisée au niveau des usagers ou clients de ce réseau. Ceux-ci ont plusieurs manières de se protéger contre la défaillance d'un réseau fournisseur de service :

- Les contrats de fourniture avec les opérateurs peuvent prévoir une indemnisation en cas de non-fourniture du service (ex. contrats de fourniture d'électricité avec des supermarchés, avec des usines fonctionnant en continu, etc., qui doivent être négociés avec RTE ou ERDF) ; les cahiers des charges des opérateurs peuvent d'ailleurs prévoir des indemnisations, mais les événements exceptionnels en sont en général exclus. Ceci n'est évidemment pas valable pour le réseau routier, où tout au plus le péage ne sera pas réclamé à la sortie ;
- Il est souvent possible pour le client de diversifier ses fournisseurs : c'est le cas du réseau (auto)routier, très maillé, ou des opérateurs téléphoniques (encore que ceux-ci utilisent parfois les mêmes infrastructures vulnérables...) ;
- L'auto-assurance : l'exemple-type est celui des groupes électrogènes autonomes, dont disposent les hôpitaux, les entrepôts frigorifiques, Eurotunnel, etc. Encore faut-il noter que ces générateurs d'électricité fonctionnent au fioul dont les réserves sont en général limitées (cas d'un événement perturbant simultanément les réseaux électrique et routier : tempête de 1999, par exemple). De même, la SNCF possède un réseau de communication interne (GSM-Rail) lui permettant de s'affranchir des opérateurs téléphoniques ;
- Il est également possible de souscrire une police d'assurance qui couvre les dommages et/ou les pertes d'exploitation : contrats dits de carence du fournisseur. Cette police est négociée au cas par cas avec l'assureur, par exemple pour les supermarchés avec congélateurs. La FFSA admet ne pas avoir de vision globale sur la diffusion de ces contrats, donc il est difficile de savoir s'ils apportent une sécurité significative en cas de panne durable.

Rappelons par ailleurs que les préfets établissent dans chaque département une liste d'usagers prioritaires en cas de sinistre (ex. pour le réseau électrique : hôpitaux, maisons de retraite...) ; ceux-ci seront re-connectés les premiers.

Enfin, comme on l'a déjà mentionné, les usagers ou clients s'expriment de plus en plus pour exiger une fiabilité des réseaux et une résilience rapide, qu'il s'agisse des automobilistes rejoignant les stations de ski en février ou des usagers du RER, et ceci tend à augmenter le coût en termes d'image que peut représenter une crise mal gérée.

3. Conclusion

Au terme de ses investigations auprès des opérateurs de réseaux et de leurs partenaires, notamment les assureurs et réassureurs, la mission du CGEDD a pu dresser un état des lieux actuel de la connaissance des coûts et proposer des pistes d'amélioration de cette connaissance, afin si possible de les réduire.

Un constat s'impose à l'évidence : la connaissance des coûts supportés directement par les opérateurs (coûts d'investissement comme coûts d'exploitation) est très inégale selon les opérateurs, et étroitement liée à la connaissance de la valeur de leur patrimoine. Quant à la connaissance des coûts induits pour la collectivité (personnel, clients ou usagers, population et activités économiques du voisinage), elle est sauf exception (notamment lorsque des pénalités financières sont prévues) quasiment inexistante.

Les démarches de cartographie des risques sont en général récentes et encore incomplètes. Quant aux programmes de renforcement des points ou composants critiques des réseaux, ils sont le plus souvent engagés après un sinistre ayant eu un impact fort et durable sur le service assuré par ces réseaux : plusieurs exemples sont abordés dans le présent rapport³¹. Dans ces circonstances qu'ils n'avaient pas anticipées, les opérateurs se sont engagés dans des programmes souvent ambitieux de mise en résilience d'une série des éléments critiques pour le fonctionnement du réseau dont la fragilité avait été démontrée par les événements.

Le dimensionnement des programmes de résilience n'est généralement pas étayé par une étude économique même sommaire, alors que des outils d'analyse économique sont actuellement disponibles mais se heurtent souvent, il est vrai, à la difficulté d'appréhender les probabilités d'occurrence des risques.

La mission, bien consciente du fait que la décision ne peut être fondée sur le seul critère de l'analyse coût/bénéfice (ou de tout autre critère socio-économique ou financier) dans le domaine de la résilience, estime toutefois que ce critère ne peut être occulté dans les décisions des opérateurs comme dans la décision publique : ainsi, elle préconise que l'étude d'impact de toute disposition législative ou réglementaire renforçant les exigences en matière de résilience à l'égard des opérateurs de réseaux comporte obligatoirement une analyse économique, même sommaire, des mesures proposées.

À défaut d'une démarche plus complète, compte tenu de l'impact des défaillances concernées, la mission propose un critère simple de criticité s'appliquant aux grandes agglomérations : les éléments critiques sont ceux dont la défaillance est susceptible de provoquer une interruption de longue durée du service (critère de temps de rétablissement) et d'affecter un très grand nombre de personnes privées d'une alternative du fait de la saturation des réseaux de substitution. Elle préconise une démarche de type ALARA pour les éléments ainsi définis les plus critiques au plan national. De même, pour les zones excentrées ou isolées, un critère alternatif de

³¹ Cas de RTE suite aux tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999, de l'incendie du poste source de Levallois-Perret à ERDF (janvier 2012), de l'incendie du poste d'aiguillage du centre d'entretien et de maintenance des Ardoines à Vitry-sur-Seine (2014).

criticité consiste à identifier les éléments dont la défaillance est susceptible de provoquer une interruption de longue durée du service en l'absence d'un service alternatif ou d'une desserte alternative.

Prenant acte de la rareté des études portant sur les aspects économiques de la résilience, notamment de la part des économistes des transports, la mission propose de confier une étude de faisabilité au réseau scientifique et technique du MEDDE en lien avec le CGDD, sur un scénario de perte prolongée sur longue période du fonctionnement d'une infrastructure de forte capacité en milieu dense, puis de confier l'étude proprement dite à une équipe universitaire après appel d'offres. La modélisation économique des interdépendances entre réseaux ainsi que celle de la redondance et des effets de saturation devraient être développées dans ces travaux.

La mission tient enfin à attirer l'attention sur le fait que le risque de malveillance (et notamment le thème des « cyber-attaques »), exclu de son champ d'analyse, a été évoqué spontanément par la plupart des opérateurs de réseau comme une préoccupation majeure. Aussi serait-il opportun d'engager une mission sur cette thématique avec les autres inspections générales ministérielles concernées.

Marie-Anne BACOT



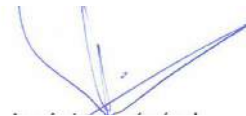
Inspectrice générale de
l'administration du
développement durable

Jean-Louis DURVILLE



Ingénieur général
des ponts, des eaux
et des forêts

Laurent WINTER



Ingénieur général
des ponts, des eaux
et des forêts

Annexes

1. Lettre de mission



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

*Conseil général de l'environnement
et du développement durable*

Paris, le 24 OCT. 2014

Le vice-président

à

Madame la ministre de l'écologie,
du développement durable et de l'énergie

à l'attention de
Madame la directrice du Cabinet

Référence CGEDD n° 008414-02

Le programme de travail 2014 du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) prévoit une mission sur le coût complet des défaillances de réseaux en situation de crise. Vous trouverez en annexe la note de commande.

Je vous informe que j'ai désigné Mme Marie-Anne Bacot inspectrice générale de l'administration du développement durable, et MM. Jean-Louis Durville et Laurent Winter, ingénieurs généraux des ponts, des eaux et des forêts, pour effectuer cette mission.


Patrice Parisé

Copies : M. le secrétaire général
M. le chef du Service de défense, de sécurité et d'intelligence économique
M. le directeur général de la prévention des risques


www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr

CGEDD - 92055 La Défense cedex - Tél : 33 (0)1 40 81 21 22 - Fax : 33 (0)1 40 81 23 24

2. Liste des personnes rencontrées

Organisme	Date	Nom des personnes et fonction	
SECTEUR DE L'ASSURANCE			
FFSA, Fédération française des sociétés d'assurance	9/01/15	Roland NUSSBAUM, directeur, mission des sociétés d'assurances pour la connaissance et la prévention des risques naturels, Stéphane SPALACCI, responsable du Département Assurance et Prévention des Risques Entreprises, Agricoles et des collectivités territoriales, Direction des Assurances de Biens et responsabilités	
AMRAE, Association pour le Management des risques et des assurances de l'entreprise	13/03/15	Bénédicte DELUZE, AMRAE (association Management des risques et des assurances de l'entreprise) qui avait invité des correspondants des entreprises : Nathalie ZUCCHINI, APRR-AREA, Direction juridique, Service Assurances Olivier HERZ, RTE, directeur adjoint des finances	
APREF, Association des professionnels de la réassurance en France	14/04/15	François VILNET Président de l'APREF Bénédicte DOLFUSS délégué général APREF Patrick BIDAN, (Directeur de la souscription, Caisse Centrale de Réassurance, CCR), Gwladys MAO, (Assistante modélisation-études techniques-garantie d'État, CCR) Emmanuel FIERENS, (Chef du département souscriptions, SCOR) Guy-Antoine de la ROCHEFOUCAULD, (Mandataire général Lloyd's France)	
SECTEUR FERROVIAIRE			
SNCF Mobilités	2/02/15	Pierre MESSULAM, Directeur général adjoint de Transilien Luc LAROCHE, Directeur exploitation du Transilien Serge WOLF, Directeur adjoint de la ligne RER C	
SNCF- Réseau	6/02/15	Valérie BONNARD, Directrice de l'audit et des risques	
SNCF- Réseau	3/03/15	Alain GUIRAUD, Chargé de mission prévention, risques et assurances, Département de l'audit et des risques	
SNCF Réseau	20/04/15	Julien BRUNEL, Chef du service analyses économiques de la Direction régulations économiques européennes au sein du Pôle Accès au réseau	
SNCF Réseau	22/04/15	Bernard SCHAEER, directeur ingénierie et projets (et Emmanuel PASCH)	
SNCF Réseau	23/04/15	Yves RAMETTE, Directeur Île-de-France	
SNCF (EPIC mère)	16/06/15	Christian COCHET, directeur général adjoint audit et risques	
SECTEUR RATP			
RATP	13/02/15	Emmanuel PITRON, Secrétaire général Philippe VAPPEREAU, Délégué général au management des risques	
RATP	19/02/15	Philippe VAPPEREAU, Délégué général au management des risques Maud HAMELIN, chargée de mission, risk management	
RATP	27/04/15	Olivier SAIZ, GDI/ESO/DIR chargé du risque inondation au département gestion des infrastructures	

RATP	4/5/15	Olivier MAURICE, directeur de l'unité assurance au département juridique
RATP		Jean-Luc MACE, responsable du PCA- permanence générale
SECTEUR ELECTRIQUE		
DGEC	26/11/14	Pierre FONTAINE, sous-directeur, DGEC/DE/SD3 Sabine Corcos, adjointe au chef de bureau DGEC/DE/SD3/3C
ERDF	10/12/14	Michèle BELLON, Présidente du directoire d'ERDF (Électricité Réseaux Distribution France) de 2010 à 2014
RTE	11/03/15	Hervé LAFFAYE, membre du directoire Olivier HERZ, directeur financier adjoint
ERDF	12/03/15	Gilles GALLEAN, membre du Directoire, Directeur technique de ERDF J-L LAPEYRE, études de comportement du réseau J-L PORTEBOIS, responsable gestion de crise
SECTEUR ROUTIER		
DGTM	3/02/15	Nicolas PATIN, sous-directeur GRT (Sous-direction de la gestion du réseau routier non concédé et du trafic)
ADMINISTRATION-TUTELLE		
CGIET, Conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies	10/02/15	Gilles BELLEC, CGIET avec Henri BOYE, CGEDD
CGIET, Conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies	10/12/14	François CHOLLEY, Président de la section régulation et ressources
SEEID- Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie		J-J BECKER, N. WAGNER, M. PEVERI
ECONOMISTES		
	4/05/15	Julien BRUNEL (cf plus haut secteur ferroviaire) Yves CROZET, professeur à l'Université de Lyon et à Sciences P Lyon, membre du Laboratoire d'économie des transports Michel MASSONI, Coordonnateur du collège économie du CGEDD
	18/05/15	Julien BRUNEL, (cf plus haut) François LEVESQUE, Professeur à l'école des Mines de Paris Michel MASSONI, (cf plus haut) Émile QUINET, Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées
AUTORITES ORGANISATRICES		
STIF	2/06/15	Sophie MOUGARD, Directrice générale

3. Glossaire des sigles et acronymes

<i>Acronyme</i>	<i>Signification</i>
ACB	Analyse coût / bénéfice
ADP	Aéroports de Paris
ALARP	As low as reasonably practicable
ALARA	As low as reasonably achievable
AMC	Analyse multi-critères
AMEC	Autorisation de mise en exploitation commerciale
AOT	Autorité organisatrice des transports
ARAF	Autorité de régulation des activités ferroviaires
BT	Basse tension
CEPRI	Centre européen de prévention du risque inondation
CGI	Commissariat général à l'investissement
CGSP	Commissariat général à la stratégie et à la prospective
COMEX	Comité exécutif
CRE	Commission de régulation de l'énergie
DCF	Direction de la circulation ferroviaire
DEMA	Dommages évités moyens annuels
DGITM	Direction générale des infrastructures des transports et de la mer
DGITM/DIT	DGITM / Direction des infrastructures de transport
DIR	Direction interdépartementale des routes
DREAL	Direction régionale de l'environnement , de l'aménagement et du logement (du ministère MEDDE)
EPIC	Établissement public industriel et commercial
EPSF	Établissement public de sécurité ferroviaire
FNCCR	Fédération nationale des collectivités concédantes et régies
GSM-R	De GSM (global system for mobile communications) et R= pour le Rail
HT	Haute tension (courant continu)
HTA	Haute tension (courant alternatif)
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
LGV	Ligne à grande vitesse (ferroviaire)

Acronyme	Signification
MEDDE	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
MT	Moyenne tension
OIV	Opérateurs d'importance vitale
PACA	Provence Alpes Côte d'Azur
PAPI	Programmes d'actions préventives contre les inondations
PCA	Plan de continuité d'activité
PGRI	Plan de gestion du risque d'inondation
PIV	Points d'importance vitale
PMV	Panneaux à messages variables
PPR	Plan de prévention des risques naturels prévisibles
PPRT	Plan de protection contre les risques technologiques
PSO	Plan de sécurité d'opérateurs
RCS	Réseau cible à sécuriser
Retex	Retour d'expérience
RFF	Réseau ferré de France
RFN	Réseau ferré national
RRN	Réseau routier national
SAIV	Secteurs d'activité d'importance vitale
SIRIUS	Système d'information pour un réseau intelligible aux usagers
SNGRI	Stratégie nationale de gestion du risque d'inondation
STRMTG	Service technique des remontées mécaniques et des transports guidés
THT	Très haute tension
VAN et VAN-SE	Valeur actualisée nette et VAN socio-économique

4. Étude d'une coupure de l'autoroute A8 (viaduc sur le Var) suite à un séisme (document fourni par le CGDD)

La présente note étudie l'impact d'une coupure de l'autoroute A8 au niveau du Viaduc du Var, par exemple suite à un tremblement de terre.

Le Viaduc du Var : description du contexte et des trafics

Une section chargée en zone sismique

L'autoroute A8 est une autoroute très chargée et située dans une zone sismique. En effet, la ville de Nice a déjà connu des séismes violents. Le dernier remonte à la fin du XXe siècle et des experts attendent des secousses plus régulières et d'une intensité plus élevée dans les prochaines années.

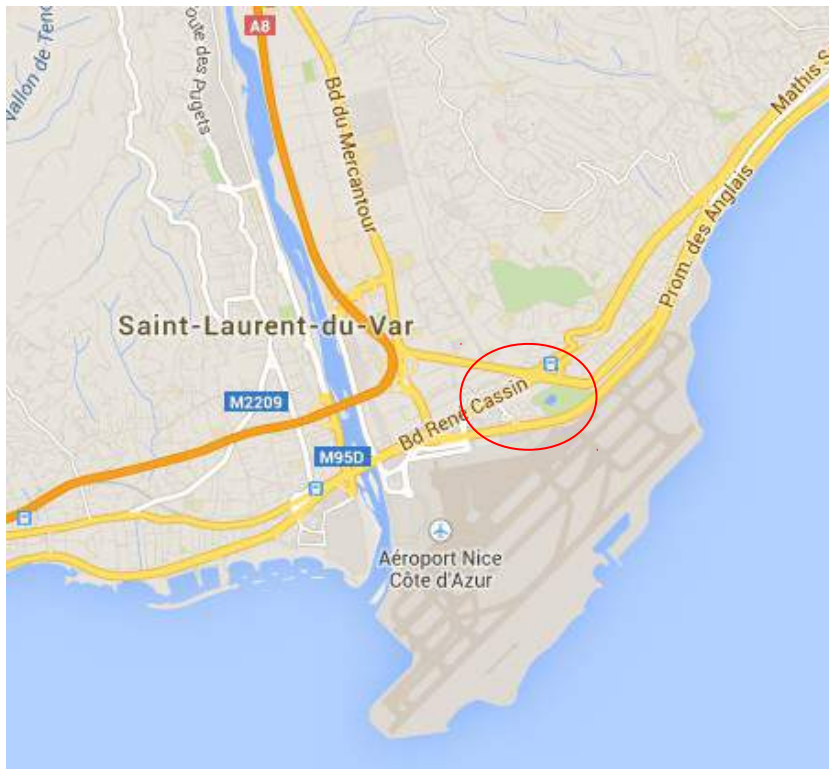
Une section de l'A8 a été choisie pour cette étude : le Viaduc du Var, qui est une des portions de l'autoroute la plus chargée (jusqu'à 140 000 véh/j dans les deux sens aujourd'hui). Le trafic moyen de la section est d'environ 44.000 véhicules par sens un week-end d'été. Ce trafic se décompose de la manière suivante :

Type de véhicule	Trafic sur le pont week-end été (par sens)	Trafic sur le pont jour ouvrable d'été (par sens)
Trafic local (VL+PL)	27 500	27 500
PL longue distance	3 150	3 950
VL longue distance	14 000	5 700
Total	44 650	37 150

Données : MODEV

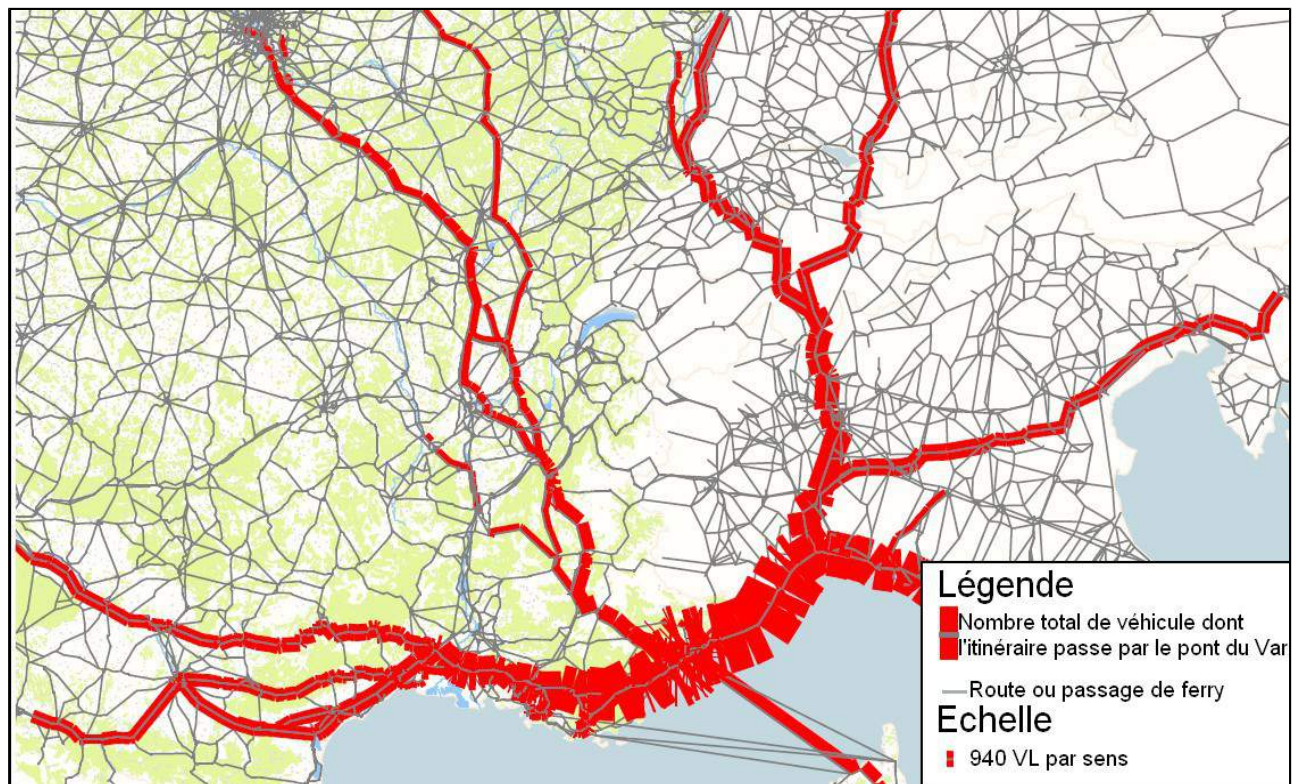
Un point critique du réseau routier national

Du point de vue de l'exploitant routier, il s'agit d'un point particulièrement critique du réseau : en bordure de Nice, il s'agit d'un des rares franchissements du Var, à l'exception de la départementale M95D. Cette dernière a certes des caractéristiques autoroutières, mais une capacité insuffisante pour absorber le trafic du viaduc du Var en plus de celui qu'elle supporte déjà.



CARTE 1 : Carte de situation

Par ailleurs et notamment lors des périodes d'été, ce tronçon supporte un important trafic longue distance. Pour les voitures, la carte ci-après montre qu'il s'agit essentiellement de trafic en provenance de l'Île-de-France ou de l'Ouest de la France, ainsi que de trafics étrangers en provenance d'Allemagne ou d'Italie. La carte suivante illustre que la géographie des trafics poids lourds est bien différente : une part importante des flux de poids lourds observés sont en fait des flux partant de la péninsule ibérique et transitant par la France.



CARTE 2 : Principaux itinéraires empruntant l'A8 VL (chevelu)



CARTE 2 bis : Principaux itinéraires empruntant l'A8 PL (chevelu)

Plan de l'étude

L'objectif est d'étudier les conséquences d'une fermeture prolongée de l'A8 au niveau du viaduc du Var représentant « l'axe *majeur pour le transport routier dans le département* ».

La fermeture de l'A8 va provoquer **une augmentation du coût généralisé** d'un certain nombre de trajets dus à l'augmentation des **distances** et/ou des **temps de trajet**. Elle provoquera aussi un **report de trafic** sur les modes collectifs.

Pour estimer la gêne provoquée par la coupure de l'A8, nous examinerons donc :

-  les variations de trafic sur les axes routiers et l'aire d'impact de la fermeture,
-  l'augmentation des temps de parcours ainsi que les autres coûts supplémentaires supportés par les usagers du réseau routier.
-  le coût pour la collectivité (impacts environnementaux).

L'étude est structurée en deux parties et trois sous-parties. Dans un premier temps, nous examinons l'impact d'une coupure sur une journée et en supposant que les usagers ne peuvent pas se reporter sur d'autres modes. Cela correspond à une **situation de court terme** où les usagers (voyageurs ou transporteurs de marchandises) n'ont pas eu le temps d'anticiper la situation et donc d'adapter leurs pratiques de déplacements :

- Il s'agit de faire une estimation basse de la congestion générée par la coupure sans changements d'itinéraires, ni de changements de modes (*Sous-partie I.a*)
- Puis nous retiendrons une estimation de plus haute de la congestion générée par la coupure. On tient alors compte des changements d'itinéraires mais pas les changements de modes (*Sous-partie I.b*)

Dans un deuxième temps, nous étudions l'impact sur une **période plus longue**, durant les deux mois d'été ou plus précisément du lundi 25 juin au 1er septembre 2015 (*Partie II*). À partir d'une semaine de coupure, nous autorisons alors les changements de modes pour les voyageurs comme pour les marchandises.

I/ L'impact d'une coupure à court terme

Les bilans socio-économiques présentés dans cette partie sont calculés pour un seul jour, qui correspond à un samedi d'été moyen. Il s'agit de la période où le trafic est maximal sur le viaduc du Var.

I.a/ Scénario 1 : congestion basse et sans changement d'itinéraire

Dans ce premier scénario, nous étudions l'impact de la coupure en supposant que la départementale M95D pourra débiter le trafic supplémentaire de façon optimale. Ce scénario donne donc une estimation basse de la congestion générée par la coupure. À ce niveau de congestion, nous estimons que les usagers ne contourneront pas Nice : ce scénario est donc dit sans changement d'itinéraire.

Impacts en termes de congestion et de temps perdu

Afin de calculer le temps perdu en circulation pour la courte distance nous effectuerons des calculs classiques d'ingénierie du trafic selon un modèle de goulot.

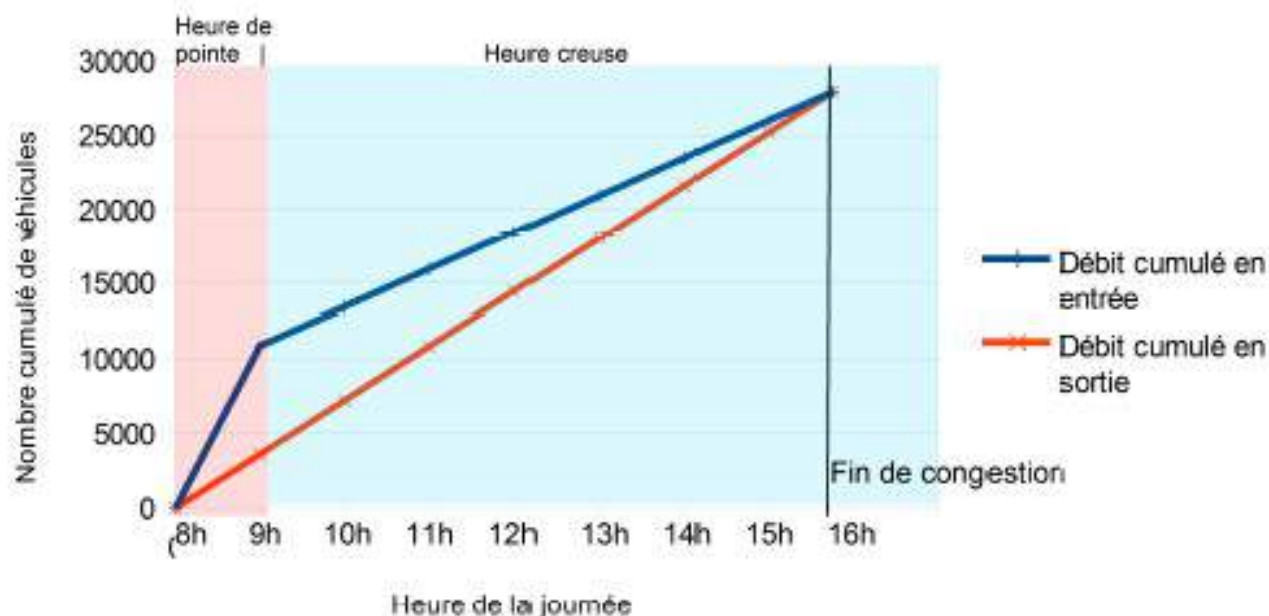
Sachant que :

- Le débit maximum de la route départementale est de 3 600 véh/h,
- Avant coupure, le débit sur la M95D est de 27 600 véhicules par jour,
- Après coupure, la M95D reçoit un débit supplémentaire de 44 650 véhicules (l'ensemble des véhicules qui empruntaient le viaduc du Var),
- 15% des véhicules circulent sur l'heure de pointe du matin, c'est-à-dire entre 8h et 9h,
- 15% des véhicules circulent sur l'heure de pointe du soir, c'est-à-dire entre 17h et 18h,
- Le trafic est réparti sur 22h.

Le plus long temps d'attente pour les véhicules est alors de deux heures. Au cours d'une journée, la congestion aura duré **15 heures et 30 minutes**, pour un sens sur la journée. Le retard accumulé pour l'ensemble des véhicules est **de 112 270 heures**. La perte est donc estimée à **1 500 000 €** pour l'ensemble des usagers (deux sens confondus).

Le graphique ci-après, présentant les débits cumulés en entrées et sorties du pont de la M95D illustre la situation en termes de congestion pour l'heure de pointe du matin. Il se lit ainsi : entre 8h et 9h le débit en entrée du pont est supérieur au débit en sortie. Le niveau maximal de congestion est atteint à 9 heures : plus de 10 000 véhicules se sont alors présentés pour traverser le pont alors que la capacité du pont n'est que de 3 600 véhicules par heure. Une file d'attente de 6 400 véhicules s'est donc accumulée durant cette heure. Elle ne se résorbera que vers 16 heures.

Ecoulement du trafic cumulé sur la M95D en fonction de l'heure de la journée



Bilan socio-économique

Impacts économiques		Anciens usagers du pont	Impacts sur le reste du réseau
Perte de temps	Poids Lourds	292,3 (7 900 heures)	N/A
	VL Longue distance	521 (35 200 heures)	N/A
	VL courte distance	686,8 (69 170 heures)	N/A
	Total	1 500,1	N/A

En milliers d'euros/jour

I.b/ Description du scénario 2 : Congestion haute et changement d'itinéraire

Dans ce second scénario, nous proposons une estimation plus haute de la congestion engendrée par la coupure. En effet en situation de très forte demande, l'hypothèse d'une capacité d'écoulement constante est fautive, cette dernière ayant tendance à baisser. Dans la littérature scientifique, cette variation de capacité se situe entre 5 % et 25 % de la capacité totale. Cela module alors le retard moyen par véhicule entre 45 min et 1h02.

Dans ce deuxième scénario, nous supposons donc que la **congestion supplémentaire générée est de l'ordre de 1 heure**. Nous étudierons les impacts en distinguant selon trois catégories de trafic : le trafic voyageur longue distance, courte distance et le trafic marchandises.

Impact sur la courte distance (transport de voyageurs uniquement)

Les trafics de courte distance peuvent difficilement contourner l'agglomération Niçoise et sont donc contraints d'emprunter le pont. La situation est donc très similaire à celle exposée précédemment.

Temps perdu en circulation

De la même façon que pour le scénario 1, nous allons calculer l'impact local (courte distance) de la coupure du viaduc du Var à tous les véhicules ainsi que la coupure des RD pour les trajets longue distance.

Le rallongement pour les 55 000 véhicules provenant du pont autoroutier vers la voie départementale revient à environ 2km par véhicule.

Impacts économiques		Anciens usagers du pont	Impacts sur le reste du réseau
Perte de temps		546.15 (55 000 heures)	N/A
Usage infrastructure		-0.2	N/A
Pertes externalités	Bruit	0.22	N/A
	Pollution locale	1	N/A
	CO2	0.44	N/A
TICPE		2.7	N/A
	Bilan	563.6	

En milliers d'euros/jour

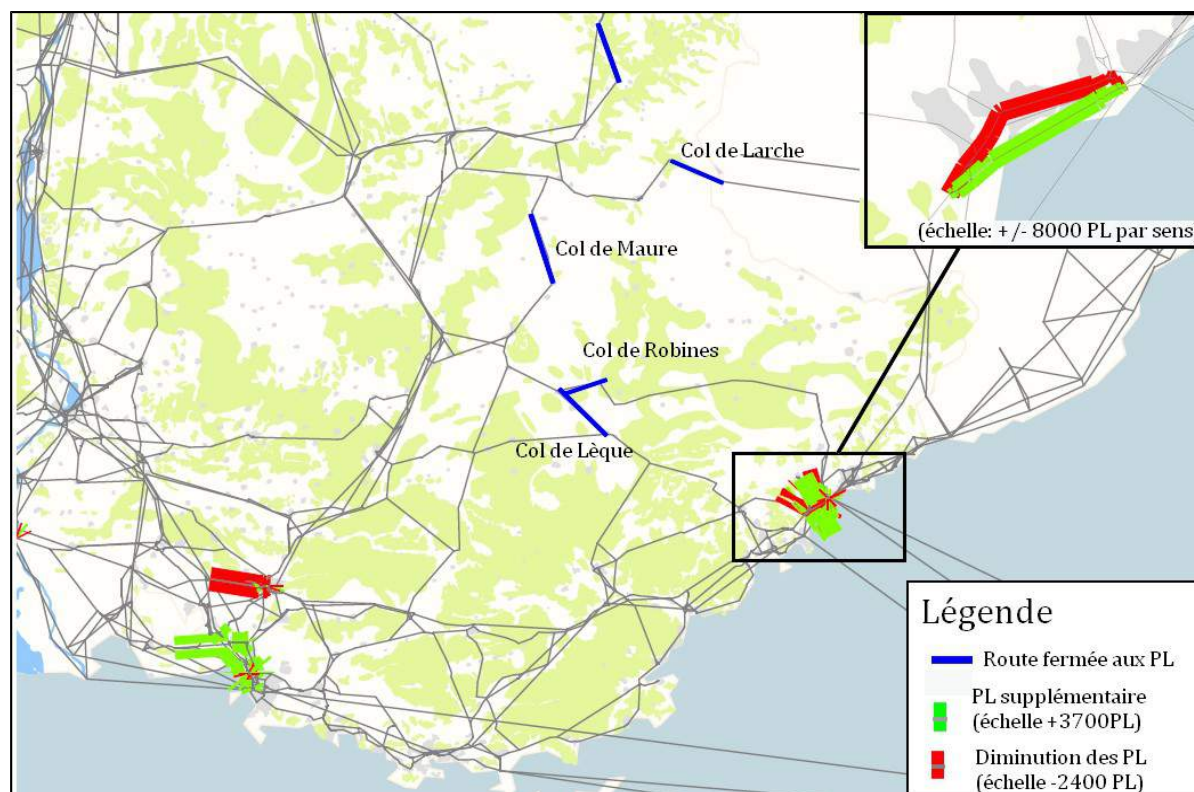
Le prix d'entretien d'une autoroute étant supérieur à celui d'une voie départementale, le coût d'usure diminue malgré les kilomètres supplémentaires parcourus.

Impact sur la longue distance

Transport de marchandises

MODEV comptabilise 8645 poids-lourds (5630 pleins et 3015 vides) effectuant des trajets longue distance sur l'itinéraire.

En moyenne, les poids-lourds subissent un coût équivalent à un peu plus de 1h de retard. En effet, dans leur grande majorité, les poids lourds ne modifient pas leur itinéraire, car les contournements possibles représentent une perte de temps de plus de 1 heure. La raison en est simple : la plupart des cols permettant de franchir les Alpes sont fermés aux poids-lourds et le passage entre la France et l'Italie implique donc de passer par les tunnels du Fréjus ou du Mont-Blanc. Or ces derniers sont soumis à un péage important et dissuasif.



Carte 3 : représentant le changement d'itinéraire des PL
(différentiel de trafic entre la situation avant et après la coupure)

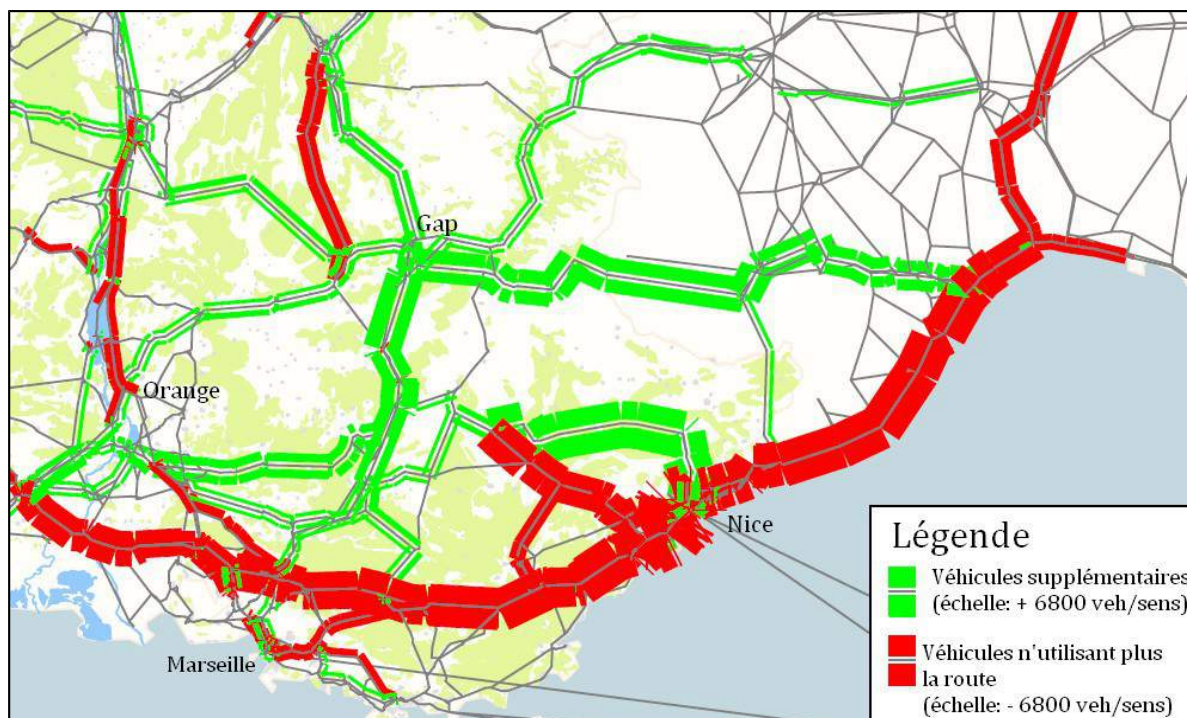
Au total le bilan socio-économique est le suivant :

Impacts économiques		Anciens usagers du pont	Impacts sur le reste du réseau
Perte de temps		354.1 (9 570heures)	1
Usage infrastructure		1.4	
Pertes externalités		Bruit	0.5
		Pollution locale	3.3
		CO2	0.6
TICPE		0.6	
		Bilan	361.5

En milliers d'euros/jour

Transport de Voyageurs

Lors d'un samedi d'été, une part importante des 134 400 véhicules ayant l'habitude d'effectuer des trajets longue distance empruntant le viaduc du Var, choisirait un itinéraire alternatif. En effet, en moyenne, cet itinéraire ne leur fait perdre que 40 minutes par rapport au temps avant coupure, à comparer à une heure de congestion s'ils continuaient à passer par Nice.



Carte 4 : représentant le changement d'itinéraire des VL (différentiel de trafic entre la situation avant et après la coupure)

Au total, le bilan socio-économique est le suivant. Notons que si les anciens usagers du pont perdent du temps, d'autres en gagnent. En effet les trajets longeant de l'arc méditerranéen, notamment entre Marseille et Cannes, bénéficient de la baisse de trafic sur l'A8.

Impacts économiques		Anciens usagers du pont	Impacts sur le reste du réseau
Perte de temps		1 361 (91 939 heures)	-419.2 (-28 324 heures)
Usage infrastructure		10	
Pertes externalités	Bruit	10.2	
	Pollution locale	45.8	
	CO2	20.4	
TICPE		4.2	
Bilan		1032	

En milliers d'euros/jour

III/ Impact d'une coupure durant les deux mois d'été

Pour passer à une évaluation durant les deux mois d'été (ou plus précisément du 25 juin au 1^{er} septembre 2015), nous supposons que, passé une semaine, les usagers vont commencer à modifier leurs habitudes de déplacements et changer de mode de transport. Nous allons donc réutiliser les résultats précédents (en retenant une hypothèse haute de congestion), puis ré-estimer les trafics en introduisant un choix de mode pour les trafics voyageurs longue distance et marchandises. En revanche, notre outil de modélisation ne prenant pas en compte le choix modal courte distance, nous ne pourrions pas donner de détails pour cette catégorie de trafic.

Transport de marchandises

On observe un **report modal quasi négligeable** (de l'ordre de quelques centaines de poids lourds) du fait de la faiblesse des offres alternatives à la route pour la traversée du massif Alpin. Le bilan des coûts reste identique. De plus, ne modélisant que les jours moyens pour le transport de marchandise, le résultat est simplement une pondération par le nombre de jours durant ces deux mois et une semaine (68 jours).

Impacts économiques		Anciens usagers du pont	Impacts sur le reste du réseau
Perte de temps		24 078.8	68
Coût usage infrastructure		95.2	
Pertes externalités	Bruit	34	
	Pollution locale	224.4	
	CO2	40,8	
TICPE		40.8	
	Bilan	24 582	

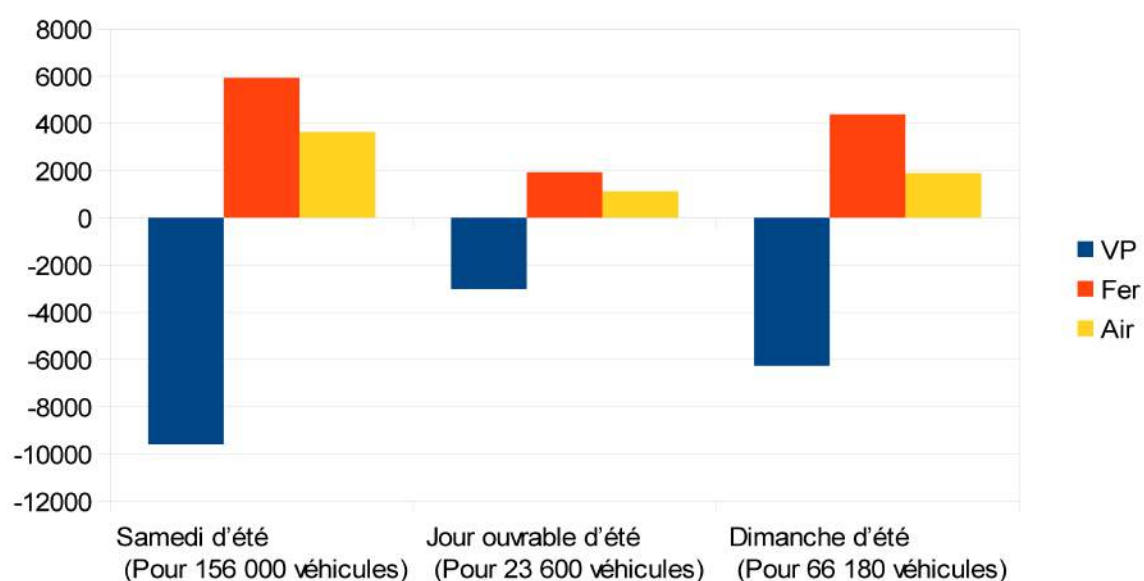
En milliers d'euros

Transport de voyageurs

La coupure génère un report modal relativement important, concernant de l'ordre de 10% des usagers du viaduc du Var qui se reportent préférentiellement sur le mode ferré mais aussi sur le mode aérien.

	VP	Fer	Air
Samedi d'été (Pour 134 400 déplacements)	-9598	5926	3631
Jour ouvrable d'été (Pour 23 600 déplacements)	-3027	1917	1115
Dimanche d'été (Pour 66 180 déplacements)	-6270	4380	1890

En déplacements/jour



Bilan économique d'une coupure durant l'été

Au total, la perte socio-économique engendrée par la coupure est de 32.5 millions d'euros pour l'été 2015.

Impacts économiques		Anciens usagers du pont	Impacts sur le reste du réseau
Perte de temps		30 681.8	1234.5
Perte économique dû au changement modal		1 100	
Coût usage infrastructure		-267.4	
Pertes externalités	Bruit	-23	
	Pollution locale	-101.7	
	CO2	-41.7	
TICPE		-71	
	Bilan	32 511.5	

En milliers d'euros

Conclusion

Au total, on peut estimer le coût de cette coupure à 57 millions d'euros. La majorité du coût est imputable au retard subi par les usagers qui empruntaient l'itinéraire impacté. On remarquera que le report modal et les changements d'itinéraire sont quasi inexistantes pour les transports de marchandises. Ceci est dû à la faiblesse des alternatives modales existantes.

Le coût imputé à la société souligne par exemple l'importance d'investir dans des ouvrages parasismiques dans ces zones exposées. Cela n'a été fait pour aucun des deux ponts sur lesquels se focalise l'étude ; cependant le pont plus au nord reliant l'A8 à la RM6202, construit plus récemment, répond à ce besoin. Pour conclure, cette analyse dans cette logique, il serait nécessaire de la compléter par deux paramètres : d'une part la probabilité d'occurrence d'un séisme d'une magnitude suffisante pour rendre impropre à la circulation le viaduc et d'autre par les éventuels coûts de reconstruction qui viendrait s'ajouter au montant que nous avons estimé.

Annexe 1 : Hypothèses sur la valeur du temps et les externalités

Dans le cadre de l'étude, nous avons, à plusieurs reprises assimilé la perte de temps engendrée par la modification du réseau routier à un coût pour l'usager. Les valeurs choisies sont celles recommandée par la DGITM ci-après :

Mode	Motif	Courte Distance	Longue distance
Voiture particulière	Tout motif	9.93	14.8
Poids Lourds	Tout motif	N/A	37

Valeur du temps en milieu interurbain du rapport Quinet (en €/h par passager)

La modification d'itinéraire des usagers occasionnant une augmentation des km parcourus par les usagers, une augmentation des impacts sur l'environnement (pollution locale, bruit et CO2) est à prévoir. De la même façon que pour le temps, ces externalités seront assimilées à un coût. Afin d'estimer le coût forfaitaire au km nous supposons que le parc automobile essence / diesel se repartit à 40/60 %.

type de pollution	PL (en c€ / PL.km)	Route (en c€/passager.km)	
		VP essence	VP diesel
CO2	3,53	0,4	0,4
pollution locale	19,11	0,6	1,1
<i>bruit</i>	3,15	0,2	0,2

Valeur forfaitaire des externalités : calcul CGDD à partir des recommandations du rapport Quinet

1. La taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques est choisie égale à 0.61€/L pour les véhicules essences et 0.43€/L pour les véhicules diesel (la répartition essence/diesel est la même que celle utilisés pour les calculs d'externalité).
2. La consommation des véhicules provient des estimations du SOeS – Bilan de la circulation telles que : un véhicule essence consomme 7.50 Litres / 100km et un véhicule diesel 6.21 Litres / 100km.
3. Afin de réaliser les calculs d'usure d'infrastructure, nous avons utilisé les coûts de 2009 incluant ensuite le Coût d'opportunité des fonds publics (20 %) sauf pour les autoroutes concédées.

En c€/véh-km

	2000 (1)	2009 (2)
Autoroutes concédées	1,34	1,95
PL	3,06	4,46
Cars et Bus	2,16	3,14
VUL	1,10	1,61
VL	1,00	1,46
Réseau national non concédé	0,46	0,67
PL	2,55	3,71
Cars et Bus	1,29	1,88
VUL	0,05	0,07
VL	0,27	0,39
Routes départementales	0,81	1,17
PL	8,74	12,71
Cars et Bus	3,84	5,59
VUL	0,83	1,20
VL	0,41	0,60
Routes communales	0,61	0,89
PL	5,34	7,76
Cars et Bus	2,75	4,00
VUL	0,85	1,24
VL	0,45	0,66
Total	0,75	1,09
PL	4,13	6,00
Cars et Bus	2,54	3,70
VUL	0,79	1,14
VL	0,46	0,68

Sources : (1) Ministères de l'Équipement et de l'Écologie (2003),
(2) calculs DG Trésor pour l'actualisation de 2009.

Annexe 2 : Bilans économiques journaliers

Samedi été		Anciens usagers du pont	Impacts sur le reste du réseau (j'ai mis le total)
Perte de temps		1249.7 (84 439 heures)	-390.7
Perte économique dû au changement modal		53	
Coût usage infrastructure		-4.3	
Pertes externalités	Bruit	0.4	
	Pollution locale	1.7	
	CO2	0.8	
TICPE		1	
	Bilan	911.6	

En milliers d'euros/jour

Jours ouvrables d'été		Anciens usagers du pont	Impacts sur le reste du réseau
Perte de temps		234.5 (15 844 heures)	152
Perte économique dû au changement modal		9.8	
Coût usage infrastructure		-2.4	
Pertes externalités	Bruit	-0.55	
	Pollution locale	-2.4	
	CO2	-1	
TICPE		-1.3	
	Bilan	388.65	

En milliers d'euros/jour

Dimanche été		Anciens usagers du pont	Impacts sur le reste du réseau
Perte de temps		657.9 (44 452 heures)	-224.4
Perte économique dû au changement modal		22.4	
Coût usage infrastructure		-13.7	
Pertes externalités	Bruit	-1.5	
	Pollution locale	-6.8	
	CO2	-3	
TICPE		-3.4	
	Bilan	586.8	

En milliers d'euros/jour

Dimanche été (sans changement de mode)		Anciens usagers du pont	Impacts sur le reste du réseau
Perte de temps		725.7	-224.4
Coût usage infrastructure		-2.2	
Pertes externalités	Bruit	0.35	
	Pollution locale	1.6	
	CO2	0.7	
TICPE		0.8	
	Bilan	506.05	

En milliers d'euros/jour

Jour ouvrable été (sans changement de mode)		Anciens usagers du pont	Impacts sur le reste du réseau
Perte de temps		268.64	175.6
Coût usage infrastructure		-2	
Pertes externalités	Bruit	0	
	Pollution locale	0	
	CO2	0	
TICPE		0.3	
	Bilan	442.54	

En milliers d'euros/jour

Annexe 3 : Description de MODEV

Les estimations de trafic présentées dans cette étude ont été réalisées avec le modèle MODEV du CGDD. L'objectif principal de cet outil est de permettre une meilleure appréciation en termes quantitatifs de l'impact de nouvelles offres d'infrastructures ou de services, sur les flux parcourant une distance supérieure à 100 kilomètres et sur leurs répartitions modales. Il est donc par essence destiné à l'évaluation de politiques nationales de transport et de modifications majeures de l'offre. Les modes de transports utilisés sont répartis sur deux modules :

1. Le module voyageur avec 3 modes (route, fer et air).
2. Le module marchandise avec 4 modes (route, fer conventionnel, transport combiné, fluvial).

Les deux modules voyageurs et marchandises sont en 4 étapes : génération, distribution, choix modal, affectation. Le réseau est européen et multimodal, route – fer – air, permettant le calcul des niveaux de service (distance, temps et coût). L'aire d'étude est découpée en 427 zones dont 347 zones d'emploi et 80 zones étrangères couvrant l'Europe des 25 et les pays limitrophes. Les données de flux sont issues des bases de données du ministère. Elles intègrent les flux nationaux et internationaux. Le réseau et les flux de référence sont ceux de 2007.

5. Évaluation du coût pour la collectivité de la coupure ferroviaire de Morlaix (document fourni par le CGDD)

L'objet de cette note est d'évaluer l'impact socio-économique d'une coupure ferroviaire ayant eu lieu au début de l'année 2013 à Morlaix. Elle présente d'abord l'impact de la coupure sur les trafics puis dresse un bilan des augmentations de coûts suite à la coupure en détaillant mode par mode.

L'événement et ses impacts en termes de trafics

Le 25 janvier 2013, des éboulements de falaise ont enseveli la voie ferrée. Ceci a engendré :

- L'arrêt de la desserte en TGV de Brest, la ligne s'arrêtant alors à Morlaix.
- Une réorganisation de la circulation des TER entre Morlaix et Brest avec des autocars supplémentaires entre Plouaret et Landerneau.

En conséquence, les usagers ont subi un retard d'environ de 35 min sur les temps de parcours initiaux. La situation est récapitulée sur la carte ci-dessous :



Récapitulatif de la situation. *Source : à partir du télégramme (journal local)*

Le trafic reste alors perturbé pendant deux mois environ (jusqu'au 29 mars). L'impact en termes de trafic sur la ligne n'est pas connu, mais il est possible de le reconstituer par modélisation. Les résultats, présentés ci-dessous, montre que l'éboulement provoque une baisse de l'ordre de 20 % sur les trafics dans le sens Paris comme dans le sens Brest.

Trafic un jour moyen	Sens Paris	Sens Brest
Tronçon ralenti (avant éboulement)	2761	2358
Tronçon ralenti (après éboulement)	2185	1824

Source : Simulation Modev

La baisse de trafic s'explique par un report modal marquée vers la voiture, de l'ordre de 80 %, et plus marginal vers le mode aérien.

	Voiture	Fer	Air
Samedi	354	-413	59
Jour ouvrable	769	-1025	256
Dimanche	394	-498	104

En nombre de déplacements par jour

En recomposant sur la période complète³², on obtient les résultats ci-dessous :

	Voiture	Fer	Air
Samedi	3186	-3717	531
Jour ouvrable	35362	-47150	54970
Dimanche	3546	-4482	936
Total	42 094	-55 349	56 437

En nombre de déplacements sur la durée de la coupure

Cette coupure, ainsi que les reports de trafics qui en découlent, induisent des coûts pour la société que l'on peut diviser en trois catégories :

- Les externalités liées à l'usage plus important du mode routier, à savoir la pollution locale, le bruit, les émissions de CO2 ainsi que l'usage de l'infrastructure routière. Ces externalités ont été évaluées selon les recommandations du rapport Quinet avec les valeurs présentées en Annexe.
- Les pertes de temps des usagers qui ont continué à prendre le train. Là encore les valeurs du temps retenues sont présentées en Annexe.
- Le désagrément des usagers ayant été contraint de changer de mode. Ce poste est classiquement estimé à la moitié du coût supporté par les usagers n'ayant pas changé de mode.
-

³² 64 jours décomposés comme ci-dessous : 46 jours ouvrables (29 mars compris), 9 samedi, 9 dimanche

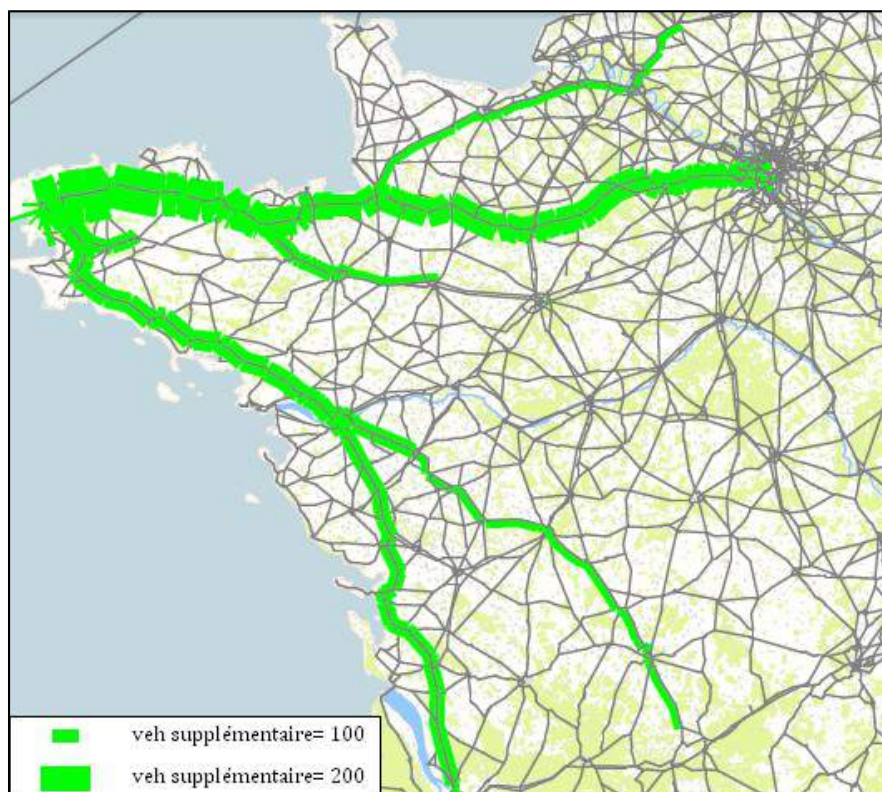
Détail de l'impact sur le mode routier

Le report modal vers la route a lieu sur plusieurs grandes relations et notamment l'axe Paris – Brest par la nationale 12 et dans une moindre mesure par l'A13. On note aussi un report sur les relations entre Brest et le Sud-Ouest de la France impliquant une augmentation des trafics sur l'A10 puis la N165. Dans tous les cas, ces augmentations de trafics sont bien trop faibles pour générer une augmentation significative de la congestion routière.

Ce report vers la route induit néanmoins des surcoûts pour la collectivité qui sont récapitulés ci-dessous.

Impacts économiques		Sur deux mois
Usure de l'infrastructure routière		99 330
Coûts externes	Bruit	49 200
	Pollution locale	151 700
	CO2	36 000
	Bilan	336 230

Coûts en euros



Carte des déplacements supplémentaires par mode routier (dus au report modal) en véhicule supplémentaire par jour

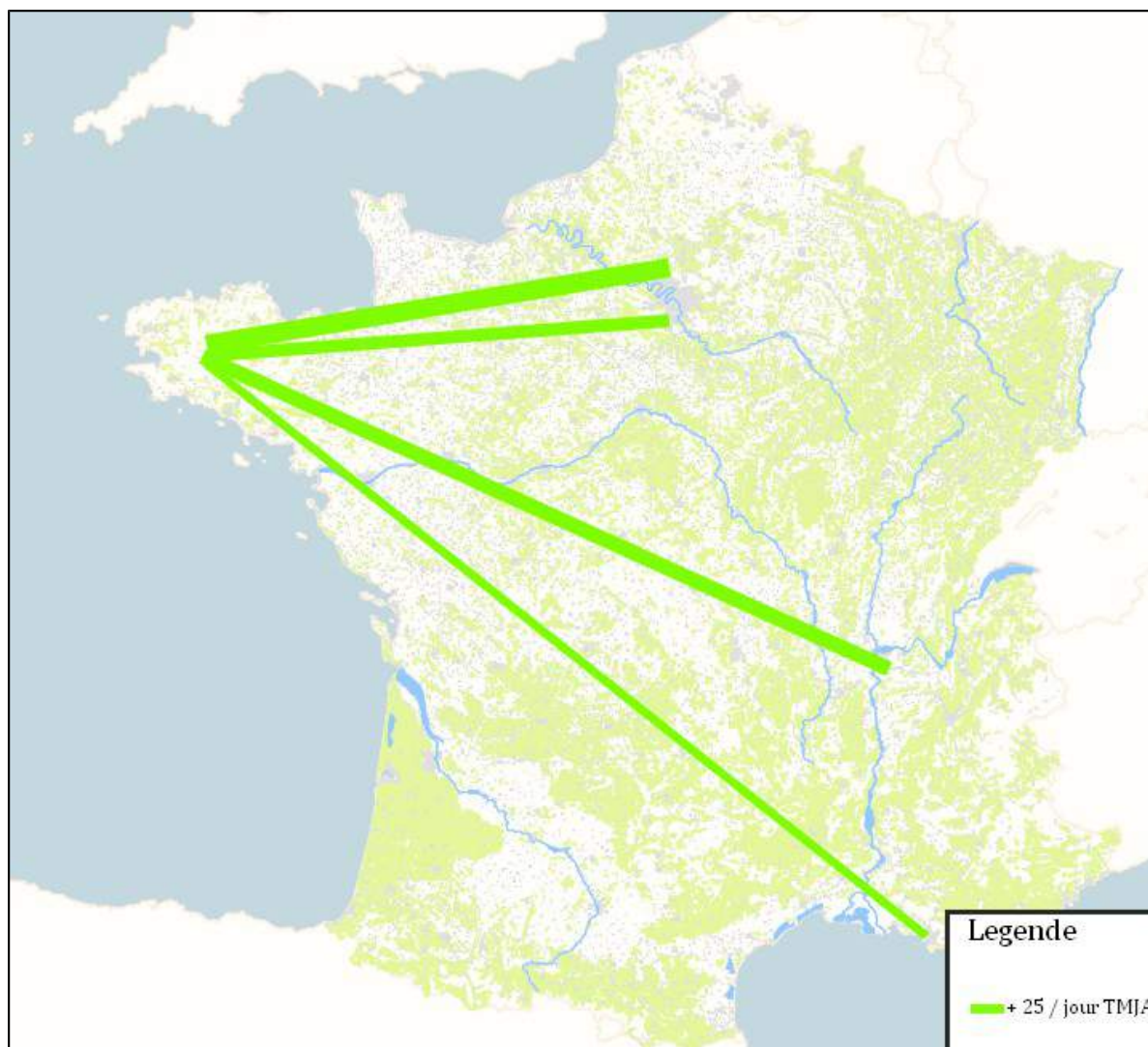
Détail de l'impact sur le mode aérien

Les principaux trafics qui se reportent vers l'aérien sont issus de l'Île-de-France, par les liaisons directes au départ des aéroports de Roissy et d'Orly, ainsi que de Lyon, qui dispose aussi d'une liaison directe et de Marseille avec une correspondance à Paris.

Si aucun avion supplémentaire n'est affrété pour palier cette demande supplémentaire, ce qui est plausible au vu des trafics considérés, alors ce report n'a qu'un coût limité pour la collectivité. Tout au plus faut-il compter les surcoûts générés par l'usage de la voiture pour se rabattre sur les aéroports.

Impacts économiques liés aux rabattements routiers vers les aéroports		Sur deux mois
Usure de l'infrastructure routière		7 550
Coûts externes	Bruit	4 700
Dues aux rabattements	Pollution locale	20 440
	CO2	3790
	Bilan	36 480

Coûts en euros



Carte des déplacements supplémentaires par mode aérien (dus au report modal), en déplacements supplémentaires par jour

Détail de l'impact sur le mode ferroviaire

En plus du report modal vers d'autres modes, une part des usagers de la ligne Paris-Brest se reportent sur le TER Brest-Rennes par le Sud. En effet, après la coupure et le retard, les passagers provenant de Rennes n'ont guère intérêt à emprunter l'itinéraire par Morlaix qui dure 183 min contre 136 min par le sud, bien que la fréquence y soit plus faible (ce qui expliquait le choix de la ligne Nord avant coupure).

En termes socio-économiques, l'impact essentiel est la perte de 35 minutes subie par l'ensemble des passagers restants, soient par plus de 270 000 voyages. À titre de comparaison le coût socio-économique du changement de mode, c'est-à-dire le désagrément subi par les usagers ayant dû se reporter vers la route ou l'aérien, est dix fois plus faible.

Notons aussi une perte de recette importante pour la SNCF, cette dernière étant mentionnée à titre indicatif, puisqu'une perte de recette n'apparaît pas dans un bilan socio-économique. En revanche, il est nécessaire de faire un bilan des coûts et économies induits par la réorganisation des services de transports. Les TGV et une partie des TER étant remplacés par des autocars, cette réorganisation est en fait plus économique (mais fournit un service de moindre qualité) et permet une économie de près de 1 million d'euros sur deux mois.

En effet, le terminus (habituellement à Brest) pour les TGV ait été déplacé à Morlaix et que seul des TER circulaient sur le reste de la ligne. Nous comptons donc le nombre de TGV supprimés pendant la période auquel nous affecterons une somme forfaitaire au train.km de coût de fourniture de service et de coût marginal d'usure.

De plus, il faut déduire du bilan les coûts économiques générés par les usagers qui, avant la coupure, se rabattaient vers les gares en voiture.

Impacts économiques		Sur deux mois
Coût socio-économique du changement de mode		518 900
Temps perdu par les passagers restant sur le mode ferroviaire		157 600 heures / 4 538 400 euros (270 000 voyages)
Perte de recettes de l'opérateur ferroviaire		7 869 000
Coût infrastructure routière (rabattements)		- 5 590
Coût de fourniture de service et coût marginal d'usure pour les TGV supprimés		-915 570
Coût de fourniture de service et coût marginal d'usure pour les TER supprimés		-351 130
Coût de fourniture de service et coût marginal d'usure pour les cars ajoutés		264 750
Coûts externes	Bruit	-2 400
Dues aux rabattements	Pollution locale	- 17 150
	CO2	- 1 540
Bilan		4 045 820



Carte des déplacements différentiels sur mode ferroviaire (rouge diminution/ vert augmentation) en déplacements supplémentaires par jour

Conclusion :

Au total, on peut estimer le coût de cette coupure à 4 M€. La majorité du coût est imputable au retard subi par les usagers qui continuent à utiliser la liaison ferroviaire. On remarquera que les effets du report modal sont faibles, en particulier au niveau des externalités qui représentent un coût un poids négligeable dans le bilan, de l'ordre de 250 k€.

Annexe : Hypothèse Valeur du temps et externalité

Dans le cadre de l'étude, nous avons à plusieurs reprises assimilé la perte de temps engendrée par la modification du réseau ferroviaire à un coût pour l'utilisateur. Les valeurs du temps choisies sont celles utilisées dans le modèle MODEV ci-après :

Mode	Courte Distance	Longue distance
Route/VP	9.93	14.8
Route/ PL/Autocars	N/A	37
Train	28.8	
Air	52.98	

Valeur du temps en milieu interurbain retenu sur Modev (en €/h par passager)

Pollution locale

c€/2010/véh-km	urbain très dense	urbain dense	urbain	urbain diffus	interurbain
PL diesel	186,6	37	17,7	9,4	6,4
VL	15,8	4,3	1,7	1,3	0,9
VL essence	4,5	1,3	0,6	0,5	0,5
VL diesel	20,4	5,5	2,2	1,6	1,1

Valeurs tutélaires de la pollution atmosphérique locale, Source : rapport Quinet (2013)

Pollution CO₂

La valorisation monétaire des externalités de pollution globale est donnée par le rapport Quinet (2013). Le prix du CO₂ est de 32 €/tCO₂ en 2010.

Externalité Bruit :

Les valeurs du coût des nuisances sonores ont été calculées à partir de celles présentes dans le rapport Quinet (2013) pour un jour moyen et un trafic normal.

	Moyenne	urbain dense	urbain diffus	rase campa.
VL c€/2010 /p.km	0,64	1,86	0,43	0,23
PL c€/2010/t.km	0,30	0,98	0,24	0,16

Coût des nuisances sonores, Source : calculs CGDD à partir du rapport Quinet (2013)

Coût fixe d'entretien et d'exploitation d'infrastructure en passager.km

Infrastructure	Nombre de passager / VP	Coût au passager.km
Urbain dense	1,2	1,4 c€/passager.km
Urbain diffus	1,5	1,1 c€/passager.km
Rase campagne	1,8	0,9 c€/passager.km

Coût d'entretien et d'exploitation de l'infrastructure par passager.km, Source : Calcul CGDD

Détails du calcul de l'économie réalisé sur la diminution de l'offre TGV.

Le coût de fourniture de service ainsi que le coût marginal d'usure pour un TGV est de 5.7c€/Voy.km. Nous faisons l'hypothèse d'un taux de remplissage du TGV de 340 voyageurs par train.

Ainsi, nous estimons un coût moyen de **19,4 €/train.km**

	nb jour sur la	nb train par jour	Distance ferré	Coût par train.	Total (en €)
samedi	9	13	64,7	19,4	134744,22
dimanche	9	14	64,7	19,4	145109,16
JOB	46	12	64,7	19,4	635716,32
Bilan					915569,7

Détails du calcul de coût des 40³³ cars quotidien:

Le coût de fourniture de service ainsi que le coût marginal d'usure pour un autocar est de 1,78€/autocar.km.

nb bus	nb km	prix/car.km	nb jours	total
40	58,1	1,78	64	264 750

Détails du calcul de l'économie réalisé sur la diminution de l'offre TER.

Le dossier CCTN 2009 « évaluation de la politique de développement de l'offre transports express régionaux(TER) » établit des coûts d'exploitation hors péage de 16 €/ train.km. De plus, le nombre de train passe de 15 à 6 TER quotidiens³⁴, 9 TER sont donc supprimés:

nb train	nb km	prix/car.km	nb jours	total
9	38,1	16	64	351 130

³³ <http://www.letelegramme.fr/ig/generales/regions/cotesarmor/morlaix-brest-la-sncf-affrete-40-cars-par-jour-29-01-2013-1986930.php>

³⁴ <http://www.letelegramme.fr/ig/generales/regions/cotesarmor/morlaix-brest-la-sncf-affrete-40-cars-par-jour-29-01-2013-1986930.php>

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/>