

3 décembre 2008

**Fiabilité des transports :
Quelques éléments d'analyse économique**

Document de travail

**Transport reliability
Elements of economic analysis**

Working document

Xavier DELACHE,

Ministère de l'écologie, de l'énergie,
du développement durable et de l'aménagement du territoire
Secrétariat général,
Service de défense, de sécurité et d'intelligence économique

Avertissement : ce document, constitue une contribution au groupe de travail de l'OCDE – JTRC sur la fiabilité des transports ; il ne constitue pas une position du Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire.

Abstract

Ce document présente des éléments d'analyse économique des questions de fiabilité des transports. Il propose une définition permettant de caractériser la demande de fiabilité, et de distinguer la non-fiabilité d'autres attributs de qualité des transports : congestion, retards. Il décrit ensuite comment les mécanismes de marché ne conduisent pas, spontanément, au niveau de fiabilité attendu par les usagers. Ce document liste ensuite les instruments d'intervention publique possibles, en insistant en particulier sur les outils d'information. Il propose ensuite des éléments d'analyse économique et des études de cas quantifiées sur deux politiques publiques particulières concourant à la fiabilité : la protection des infrastructures critiques face aux risques extrêmes et la gestion des situations d'urgence dédiées à maintenir la continuité des activités de transports. Il souligne enfin les besoins de méthodes et d'outils économiques pour évaluer les politiques publiques de fiabilité.

This document provides some elements of an economic framework to analyse reliability policies. It first focuses on demand for reliability, highlighting the differences between non reliability and other transport quality attributes : congestion, delays. It then explains how market failures can create gaps between provision of reliability and demand from users. This document describes the range of policy instruments, and in particular information tools. It then focuses on two policies whose objectives are to improve reliability : critical infrastructure protection in the context of extreme risks and emergency management for transport operations' continuity. This document provides elements of assessment methods and some case studies, but also points out important knowledge gaps.

Résumé

Contexte et demande de fiabilité

Les économies développées sont fondées sur des systèmes de transports offrant un haut niveau de qualité de service. Les activités productives, individuelles et sociales attachent une importance croissante à ce que l'offre de transports soit au niveau de qualité qu'elles ont anticipé pour fonder leur organisation et leur localisation.

La fiabilité des transports peut précisément être définie comme sa capacité à fournir une offre proche de ce niveau nominal de qualité anticipé sur lequel sont fondées ces activités. Elle devient un attribut essentiel de la qualité des transports.

La demande de fiabilité est diverse : elle dépend des usages des transports (marchandises plus ou moins périssables ; importance du « juste à temps » dans la production ; coût des perturbations des activités professionnelles et individuelles en cas de défaillance des transports). Cette demande est également difficile à apprécier. Elle se fonde sur des anticipations d'offre nominale de transports, qui dépendent des usagers et de leur expérience de l'utilisation des transports. Le coût des perturbations créées par une défaillance des transports dépend également de la capacité de ces usagers à gérer la désorganisation de leurs activités en cas de défaillance des transports.

Facteurs de non-fiabilité et limites du fonctionnement des marchés dans l'offre de fiabilité

Les services de transports sont exposés à une multiplicité d'aléas affectant leur fiabilité (défaillances techniques, risques sociaux, risques naturels, risques industriels, risques terroristes, risques sanitaires). Ces aléas génèrent des défaillances dont l'impact sur le service rendu aux usagers peut aller de quelques minutes de retard à des ruptures de services de plusieurs jours, semaines ou mois.

Face à ces aléas, les opérateurs de transports disposent d'une panoplie de mesures permettant d'améliorer la fiabilité : mesures techniques sur les infrastructures et les matériels, mesures organisationnelles, systèmes d'exploitation, systèmes de détection des anomalies, moyens de secours, de réparation ou de redondance des matériels. Le fonctionnement en réseau des transports permet à la fois d'améliorer la fiabilité par la redondance de l'offre, mais recèle également le risque de défaillances en cascade en cas de perturbation sur un des segments de l'offre.

Pour autant, le fonctionnement spontané des marchés ne conduit pas nécessairement à ce que l'offre de fiabilité des opérateurs soit égale à la demande.

Trois principaux types de dysfonctionnements peuvent être à l'œuvre sur le marché de la fiabilité.

- La fiabilité s'apparente à un effet externe, au sens où les impacts de la non-fiabilité sur les usagers ne sont pas reflétés dans le système de prix auquel font face les opérateurs.

- La fiabilité est en partie co-produite par différents opérateurs, dont les pouvoirs publics, ce qui génère des comportements de « défausse » d'une partie des coûts de fiabilisation entre opérateurs, d'autant plus que la fiabilité des transports s'entend de plus en plus au niveau des réseaux intermodaux, et non d'un seul segment de l'offre de transports.
- Enfin, l'existence de monopoles peut conduire à une sous-production de fiabilité, au même titre que d'autres attributs de la qualité des transports. En particulier, les pouvoirs de rétroaction des usagers en termes de fiabilité sont probablement même plus faibles que face aux autres attributs de qualité (vitesse, confort, congestion), du fait que la non-fiabilité n'est rencontrée qu'occasionnellement par un usager.

Modalités d'intervention publique

La gestion de la fiabilité relève en premier lieu des opérateurs de transports. Ils disposent pour cela d'une palette de technologies et processus. Ces mesures dites « techniques » de gestion de la fiabilité couvrent à la fois la conception et la gestion des infrastructures, la prévention des aléas et la gestion des situations d'urgence. Ces mesures relèvent souvent d'une logique de redondance de l'offre, mais pas systématiquement.

Il faut noter par ailleurs que les usagers eux-mêmes disposent de « techniques » de gestion de la fiabilité, en organisant leurs activités pour les rendre moins vulnérables aux aléas.

L'action publique relève également d'un autre niveau d'intervention que l'adoption de techniques de gestion de la fiabilité. Elle vise, schématiquement, à inciter les acteurs (opérateurs et usagers des transports), à adopter les meilleures techniques de gestion de la fiabilité, au moindre coût.

La posture des acteurs publics dans la régulation de la fiabilité est ainsi diverse :

- ils peuvent être directement gestionnaires ou autorités organisatrices d'un certain nombre de services de transports ; ils s'assimilent alors à des opérateurs de transports faisant face à une demande de fiabilité ;
- ils « co-produisent » la fiabilité avec des opérateurs de transports, notamment en opérant eux-mêmes les mesures de gestion des situations d'urgence, i.e. le traitement des non-fiabilités les plus graves ;
- ils incitent au progrès technique sur les mesures de gestion de la fiabilité, soit par la recherche-développement, soit par la diffusion des bonnes pratiques ;
- ils régulent, par diverses politiques publiques, le niveau de fiabilité sur les marchés, en incitant les acteurs à fournir le niveau de fiabilité attendu, en visant à optimiser les coûts.

La régulation publique de la fiabilité recouvre un large spectre d'instruments : réglementations ou incitations économiques sur le niveau de fiabilité offert, ou sur les moyens mis en oeuvre pour l'atteindre ; connaissance des aléas et des vulnérabilités et identification des segments de l'offre de transports les plus critiques du point de vue de la fiabilité ; information sur le niveau de fiabilité des différents opérateurs, ou modes de transports ; information pendant les périodes de rupture de service de transports.

La diversité de ces instruments soulève des questions d'efficacité dans leur utilisation, au regard de deux principaux critères : comment obtenir un niveau de fiabilité donné au meilleur coût (logique coût-efficacité) ; comment s'assurer que ce niveau de fiabilité reflète ses avantages pour les usages des transports (logique coût-avantages).

Pour ce qui concerne le choix des instruments de régulation, l'internalisation des coûts de non fiabilité dans les comportements des opérateurs constitue en théorie la réponse adéquate. Schématiquement, il s'agit d'une forme de pénalisation des écarts de qualité de service par rapport à la situation nominale.

Cette intervention peut cependant se heurter à différents écueils pratiques. D'une part, il est difficile de déterminer un niveau optimal de fiabilité, qui doit en théorie égaliser les coûts marginaux de fiabilisation, et les impacts marginaux sur les utilisateurs de la non fiabilité résiduelle. La mise en place de tarifications de la fiabilité se heurte également souvent à la question des aléas « de force majeure », qui exonèrent les opérateurs de leurs obligations.

Les coûts administratifs d'un système de tarification des défaillances (i.e. de dédommagements), peuvent également être élevés. Enfin, la tarification de la non fiabilité peut aller à l'encontre d'autres objectifs d'intervention publique : ainsi, en présence d'externalités autres que de fiabilité (environnement, congestion, sécurité routière), tarifier la non fiabilité conduit à diminuer l'offre de transports, ce qui, pour certains modes (transports collectifs), peut aller à l'encontre d'autres objectifs publics.

La réglementation de la fiabilité peut en partie éviter ces écueils. Cependant, des effets de seuils peuvent affecter l'efficacité d'objectifs quantifiés, en incitant les opérateurs à considérer artificiellement ces seuils comme des objectifs de fiabilité. La réglementation peut également venir compléter les systèmes de tarifications lorsqu'il s'agit de réguler certains facteurs de fiabilité : ainsi, les moyens de gestion des situations d'urgence peuvent présenter des synergies entre opérateurs publics et privés : la coordination de ces moyens d'intervention relève alors davantage de la réglementation que des incitations économiques.

L'information publique sur la fiabilité constitue un champ d'intervention large et potentiellement puissant.

L'information sur la fiabilité permet d'abord aux usagers de prendre en compte ce critère dans leurs choix de transports, et, au delà, dans l'organisation de leurs activités. Elle permet notamment de renforcer la concurrence entre opérateurs et modes de transports en termes de fiabilité. L'information sur la fiabilité permet aux usagers de ne pas « sur-anticiper » le niveau de fiabilité auquel ils doivent s'attendre de la part des transports, notamment sur les segments de l'offre qui constituent des biens d'expérience, i.e. dont la qualité est mal connue. Ce faisant, elle permet aux usagers d'adopter des stratégies de précaution qui limitent les coûts de non fiabilité. Dans le même ordre d'idées, l'information sur la fiabilité limite également les effets pervers d'un enchaînement offre-demande où des anticipations naïves de fiabilité augmentent les coûts de non-fiabilité donc la demande de fiabilité, et, à son tour, l'offre de fiabilité donc les anticipations.

L'information sur les vulnérabilités des différents segments ou points critiques du réseau de transports, permet également de cibler les mesures de fiabilisation, et d'éclairer les usagers, notamment dans leurs choix de localisation.

L'information publique pendant les situations de rupture de transports a pour objectif essentiel de diminuer les impacts perçus, en améliorant l'efficacité des secours et des interventions, en élargissant le choix des solutions alternatives (itinéraires de délestage) et en permettant aux usagers de réorganiser éventuellement leurs activités (information sur la durée prévisible d'interruption).

L'information sur la fiabilité n'est pas toujours fournie spontanément de façon transparente par les opérateurs. Elle constitue un outil stratégique leur permettant d'influer sur les politiques publiques, notamment dans la fixation d'objectifs de fiabilité vis à vis des usagers ou l'allocation des moyens publics de protection des segments les plus vulnérables de l'offre de transports.

Pour que l'information sur la fiabilité puisse améliorer le fonctionnement des marchés, les pouvoirs publics doivent donc se substituer en partie aux opérateurs pour produire cette information. Ceci suppose soit de produire directement cette information, notamment sur les vulnérabilités face à certains aléas (risques naturels majeurs par exemple), soit, s'agissant de la fiabilité produite par les opérateurs, de mettre en place des modalités de transparence et de certification des informations de performances de fiabilité produites par les opérateurs.

Cas particuliers : protection des infrastructures critiques et gestion des situations d'urgence

On peut s'intéresser plus spécifiquement aux situations où l'intervention des pouvoirs publics dépasse le strict cadre de la régulation du « marché » de la fiabilité, et notamment lorsque la fiabilité est co-produite par les opérateurs de transports et les pouvoirs publics, ces derniers ayant notamment en charge la maîtrise de certains risques extrêmes ou le traitement des situations d'urgence. Deux politiques publiques illustrent ces situations : la protection des infrastructures critiques et l'articulation entre prévention des défaillances et gestion des situations d'urgence.

Infrastructures critiques

La protection des infrastructures critiques vise à répondre aux cas de défaillance les plus extrêmes, i.e. ceux dont l'impact sur l'économie et la société est considéré comme inacceptable. Cette politique publique constitue une des facettes de la politiques de fiabilité, en s'intéressant aux aléas de faible probabilité et d'impact élevé (actes terroristes ou risques naturels majeurs).

La politique publique mise en place dans les principaux pays fait une place centrale au partenariat entre pouvoirs publics et opérateurs dans la désignation et la protection des infrastructures critiques. Pour que ce partenariat soit efficace, il faut qu'il responsabilise les opérateurs dans l'efficacité des moyens mis en oeuvre pour la protection de leurs infrastructures, mais aussi qu'il évite les comportements stratégiques de ces opérateurs qui les conduisent à sous-évaluer le caractère critique de leurs infrastructures.

Les comportements stratégiques des opérateurs proviennent notamment de l'écart entre le coût de rupture de l'infrastructure ressenti par ces opérateurs, et le coût pour la collectivité. En présence d'externalités de réseau, d'externalités environnementales et de congestion, cet écart peut être important, et nécessite une forte implication publique dans l'identification des infrastructures critiques, sans quoi la politique publique de partenariat risque d'aboutir à transférer aux pouvoirs publics la protection d'éléments du système de transports qui présentent un enjeu « privé » pour les opérateurs mais pas d'enjeu significatif de vulnérabilité du point de vue collectif.

Pour éviter ce risque d'évaluation biaisée du caractère critique des infrastructures, l'intervention publique doit en premier lieu porter sur les critères d'identification, afin d'éviter que les opérateurs utilisent des critères « privés » ne reflétant pas la valeur collective des infrastructures critiques. Diverses études de cas suggèrent que les méthodes d'évaluation socio-économique des projets peuvent être utilisées pour définir de tels critères. En l'absence d'information fine sur les coûts de rupture d'une infrastructure de transports sur l'économie, il peut être également intéressant de retenir comme critère simple d'identification, la valeur de l'investissement des infrastructures. Comme pour d'autres aspects de la fiabilité, une plus grande responsabilisation économique des opérateurs en cas de rupture de l'infrastructure, intégrant le coût collectif des défaillances, permet également de limiter ce risque.

Gestion des situations d'urgence pour la continuité des transports

La gestion de la fiabilité des transports fait intervenir, en complément des mesures de prévention qui visent à diminuer la probabilité de défaillance, des mesures de gestion d'urgence, qui visent à préserver la continuité d'opérations en réduisant le temps de rupture et les impacts sur les usagers. L'optimisation des politiques publiques doit tenir compte d'arbitrages possibles entre mesures de prévention et mesures de gestion d'urgence.

Dans cet arbitrage, on peut noter que, face à une multiplicité d'aléas appelant chacun des mesures de prévention spécifiques, il peut être préférable de mettre en place des moyens de gestion d'urgence, qui présentent l'avantage d'être communs à toutes les causes possibles de défaillance ; dit autrement, face à des aléas multiples, les politiques de résilience deviennent plus efficaces que les politiques de prévention. Par contre, face à des défaillances « en domino » en cas d'aléa, les mesures de prévention présentent à leur tour des économies d'envergure, puisqu'en protégeant un élément du réseau ou de l'offre de transports, on évite les défaillances de l'ensemble du système ; dit autrement, lorsque le fonctionnement du système des transports est caractérisé par un fort risque de défaillances en cascade (importance des interconnexions, saturations des modes et itinéraires alternatifs), les politiques de prévention deviennent plus efficaces que les politiques de résilience.

Au sein des mesures de gestion des situations d'urgence, la question de l'information est centrale : elle permet de réduire les impacts des ruptures de services sur les usagers, en permettant un acheminement plus efficace des secours et des interventions, en élargissant le choix des mesures de substitution (changements d'itinéraires, ou de mode de transports, ou réorganisation des activités). Diverses études de cas mettent en évidence les avantages économiques des efforts d'information en situation de rupture de transports.

Développement de méthodes et d'outils d'analyse économique

Pour la conduite de ces politiques publiques, le développement de méthodes et d'outils d'évaluation apparaît nécessaire. Comme pour d'autres politiques de résorption d'imperfections de marchés, l'évaluation doit éclairer trois étapes principales :

- pourquoi intervenir : dans quels segments du marché des transports les dysfonctionnements de fiabilité sont-ils les plus pénalisant pour l'économie ?
- à quelle hauteur intervenir : quels sont les coûts et la valeur économique de la fiabilité, quel est le niveau optimal de fiabilité selon les segments
- comment intervenir : quels types d'instruments choisir ? les coûts de mise en oeuvre de ces instruments sont-ils acceptables ? ont-ils des effets sur d'autres objectifs de politique publique ?

Pour la conduite de ces évaluations, un des enjeux principaux réside dans la mesure de la valeur de la fiabilité, qui renvoie à celle de la valeur du temps en situation de rupture de transports. Diverses enquêtes auprès d'usagers suggèrent que la valeur du temps de non fiabilité est supérieure d'un facteur 2 à 6 à la valeur du temps prévisible.

Il est en effet important de bien distinguer la valeur du temps en situation d'imprévu de la valeur du temps normal, i.e. anticipé par les usagers, y compris lorsqu'il se trouve en situation prévisible de congestion. Les usagers peuvent ainsi attribuer une valeur au temps de retard imprévu très supérieure à la valeur du temps de retard qu'ils considèrent comme normale pour le service de transports qu'ils utilisent habituellement.

La modélisation des comportements des usagers en cas de désorganisation de leurs activités confirme que l'écart entre valeur du temps prévisible et valeur du temps prévu est important : cette modélisation suggère que le rapport entre les deux valeurs peut être de 2 à plus de 20 ; ceci renforce les résultats des études précédentes fondées sur des enquêtes déclaratives. Les écarts les plus élevés illustrent des situations où les individus ne peuvent pas réorganiser leurs activités en situation d'imprévu. Là aussi, la modélisation conforte le résultat des enquêtes déclaratives qui montrent que les usagers de faible revenu présentent une valeur du temps imprévu relativement plus élevée, ce qui illustre leurs moindres marges de manœuvre pour gérer une désorganisation imprévue de leurs activités professionnelles et individuelles.

Au delà de la valeur de la non-fiabilité et plus particulièrement de la valeur du temps imprévu, le développement d'outils et méthodes devrait permettre d'éclairer les politiques publiques de fiabilité, principalement sur les points suivants :

- impacts des défaillances au sein de réseaux et services de transports fortement intégrés, congestionnés et organisés selon une logique de « juste à temps », afin notamment d'identifier les possibles effets « domino », y compris dans les usages des transports (désorganisation des systèmes de production et des activités individuelles et socio-professionnelles) ;

- fonctions de coûts des technologies de fiabilisation, y compris des mesures portant sur la gestion des situations d'urgence et la continuité d'opérations, afin d'éclairer les arbitrages entre dépenses de fiabilisation ex ante et mesures de gestion ex post ; ces fonctions de coûts devraient notamment permettre d'identifier les coûts communs de certaines mesures de fiabilisation entre segments de l'offre et/ou opérateurs ;
- impact et valeur des instruments d'information sur les comportements des usagers, à la fois dans les choix d'opérateurs, de mode de transports et de localisation ; dans les comportements de précaution et la valeur attribuée à la fiabilité ; et dans les situations de défaillance, pour élargir les choix alternatifs et diminuer les impacts.

Executive summary

Context and demand for reliability

Developed economies are based on transport systems that offer a high quality of service. Productive, individual and social activities are increasingly dependent on transport and its capacity to provide, at all time, the expected nominal level of quality on which these activities have been organized and located.

Reliability of transport can be defined as its ability to provide a given level of quality, as expected by its users, at all times. It becomes an essential attribute of the transport services quality.

Demand for reliability is diverse: it depends on the uses of transport (more or less perishable freight; importance of "just in time" in production systems ; impact of disruption of business and individual activities in case of transport failures). This demand is also difficult to assess. It is based on expectations of nominal transport quality, which are linked to specific users, activities, and their experience in the use of public transport. Costs of disruption created by transport failure depend on the ability of users to re-arrange their activities.

Sources of unreliability and market failures in the provision of reliability

Transport services are exposed to multiple hazards affecting their reliability (technical failures, social risks, natural hazards, industrial hazards, terrorist risks, health risks). These risks may create failures whose impact on the final service to users can range from a few minutes delay to service breakdown for several days, weeks, or months.

Facing these risks, transport operators can use a wide range of measures to improve reliability : technical measures on infrastructure and equipment, organizational measures, quality approaches, specific operating processes in case of failure, detecting devices, alarm systems, first response resources and processes, repair and restore resources and processes, redundancy resources or policies. Transport network tend to improve reliability through supply redundancy, but also increases the risk of "cascading" failures in the event of a disruption on limited segments of the network.

However, transport markets do not necessarily provide an efficient level of reliability to meet users' demand. Three main types of market failures have to be considered in the "market" for reliability.

- Reliability is close to an externality, in the sense that impacts of unreliability on users are not properly reflected in the price system.
- Reliability is partly co-produced by different operators, including governments, which generates stowaway behaviours so that the overall effort on reliability is insufficient regarding demand for reliability ; this effect may be significant in cases when reliability of transport has to be considered at the level of intermodal networks, and not just one segment.

- Finally, monopoly situations may lead to reliability sub-optimal production, along with other attributes of the quality of transport; in particular, users have a limited feedback power on operators for un-reliability incidents, due to low probability for a given user.

Public policies and instruments

Attitudes and roles of public actors in the regulation of reliability are diverse:

- They can be directly managing or organising transport services ; in this case, they can be considered as transport operators facing demand for reliability from their users ;
- They co-produce reliability with transport operators, including while operating their emergency management services for the most serious disruptions ;
- They regulate, through various public policies, the level of reliability provided by operators on various markets.

Public regulation of reliability can use a large spectrum of instruments : regulations (both on reliability levels or resources dedicated to reliability) ; economic incentives ; information tools (analysis of risks and vulnerabilities, reliability performance indicators for operators, information during emergency situations).

The diversity of these instruments raises issues concerning their efficiency, that can be summarized under two headlines :

- how to get a given level of reliability at the lowest cost (cost-effectiveness approach) ?
- how to ensure that this level of reliability reflects its benefits for transport users (cost-benefit approach) ?

Concerning the choice of instruments, cost internalization of non reliability in operators' behaviours is, in theory, the appropriate tool ; it can, in theory, use some form of penalties reflecting costs of service disruptions to users. These tools may, however, face different implementation problems.

First, it may be difficult to assess the value of un-reliability impacts on users, which would be necessary to set the proper level of incentive. This level of incentive should, in theory, equalize the marginal costs of reliability, and marginal impact on users of non residual reliability. In addition, the “thresholds effects” may affect the efficiency of internalization, encouraging operators artificially consider thresholds as targets of reliability.

Reliability internalisation has to deal with "force majeure" cases, in which operators can argue that they have no obligations.

Administrative costs of reliability compensation schemes may be high. Finally, pricing of reliability can, in some cases, go against other public objectives : in the presence of externalities (such as environment, congestion, road safety), pricing non reliability may decrease supply in particular modes, whereas it is not desirable for other purposes (e.g. environment for public transport).

Quantitative regulations of reliability can partially overcome some of these difficulties, or complement pricing schemes. For example, emergency management resources do present synergies between public and private operators: coordination of these resources in emergency situations is better addressed through strict quantitative and qualitative regulations or contracts, rather than economic incentives or pricing schemes.

Public information on reliability is a wide and potentially powerful scope of intervention.

Information on reliability allows users to take reliability performance into account in their consumption behaviours, including in their location behaviours. Subsequently, information enhances competition between operators, modes of transport and locations in terms of reliability. Information on reliability prevent users from "over-anticipating" the level of reliability they can expect from the transport system. This information may help them to adopt "self reliability" strategies in their activities ; those precautionary strategies tend to limit the costs of non-reliability. That's why information on reliability may limit the adverse effects of the "circle" in which naive reliability expectations lead to high unreliability costs, high reliability demand, and, may be, over investments in reliability supply.

Information on vulnerabilities of different segments or critical infrastructures of the transport system is also an useful tool to improve protection policies as well as users' strategies, namely location strategies.

Public information during emergency situations can reduce economic and social impacts of unreliability or disruptions. This information improves the efficiency of first response and business continuity processes. It also widens the range of alternative choices (routes, modes) for users and allows them to reorganize their activities under short notice.

Information on reliability is not provided spontaneously and in a transparent manner by transport markets. It may be used as a strategic tool by some operators to influence public policies, either to influence reliability targets setting, or to bias the identification of vulnerabilities and, subsequently, public resources dedicated to protect the most vulnerable infrastructures or other assets.

Information can improve the provision of reliability on transport markets, but public policies must overcome the "under production" of information on reliability. First, information on infrastructures vulnerabilities or criticality is mainly a public good.. Second, information on reliability performance by operators requires some independence and certification policies. Then, value of information during crisis management has to be better taken into account, namely its effects on users' behaviours.

Specific reliability policies : critical infrastructure protection and emergency management

Public authorities may also intervene in reliability provision beyond markets regulation. First, they have a central role to play for protecting transport systems from extreme risks (extreme natural hazards or terrorist threats) ; protection of critical infrastructure has recently become a crucial public policy in many developed countries. Second, public authorities are also mainly responsible for emergency management, which is a main input to business continuity and, hence, resilience, in the transport sector.

Critical infrastructures

Protection of critical infrastructure is dedicated to prevent most extreme failures, ie those whose impact on the economy and society is considered as unacceptable. This public policy is part of reliability policies, focusing on low probability and high impact risks (terrorist acts or major natural hazards).

Most developed countries rely on a strong public-private partnership for the identification and protection of critical infrastructures. For this partnership to be efficient, operators must have incentives to dedicate relevant resources to relevant infrastructures, i.e. those which collective disruption costs are the more significant, and protection policies are the most efficient. However, public policies may have to face strategic behaviour from these operators, that would lead to under-estimate the critical nature of their infrastructure.

Strategic behaviours arise from the difference between “private” cost of failure of infrastructure incurred by operators, and “public” cost to the society as a whole. In the presence of network externalities, environmental externalities and congestion, this gap may be significant and requires a strong public involvement in the identification of critical infrastructure. Without this intervention, public-private partnership could lead to transfer to public authorities the protection of infrastructures or assets depending on their “private” value, irrespective of their collective value.

In order to limit such strategic behaviours, public intervention can edict identification criteria and methods reflecting the socio-economic value of critical infrastructure. Various case studies suggest that project appraisal techniques can be used to propose such criteria. In the absence of relevant information to implement these techniques, investment value of infrastructure may give some guidance to critical infrastructure identification. As for other aspects of reliability, better accountability of operators in case of infrastructure breakdown could also limit strategic behaviours in critical infrastructures identification and protection.

Emergency management in transport

Reliability management in transport involves prevention and protection measures. They aim at reducing the probability of failure. Reliability management also involves emergency management, in order to preserve the continuity of operations by reducing disruption delays and impacts on users.

When trying to optimise public policies, one must take into account possible trade-offs between prevention measures and emergency management. In the context of multiple-hazards requiring specific prevention measures, this trade-off may lead to focus on emergency management, which is a common resource facing multiple causes of failure; in other words, resilience policies can become more effective than prevention policies. On the contrary, in the context of high probability of “domino effects” for some hazards, this trade-off may lead to focus on prevention and protection policies, taking account the fact that protecting a given element of the transport system can prevent failure of the entire system ; in other words, facing high risk of cascading failures (importance of interconnections, high congestion on alternative routes), prevention policies may become more effective than resilience policies .

Concerning emergency management policies, the question of information must be recalled : information helps to reduce the impact of disruptions on users, improving first response efficiency, widening users' alternative choices (alternative routes or transport modes, or reorganization of activities). Various case studies highlight the economic benefits of information to deal with transport disruption.

Public policy design and assessment needs

For the assessment and design of these public policies, economic methods and tools are necessary. Public policy framework for reliability issues is quite similar to the one used for other market failures. It should, in principle, follow three main analytical steps :

- Why intervene ? Where are the market failures ? How important are they ? This document suggests that externalities, lack of information, monopoly powers and public good characteristics of protection and emergency management are the main reasons for public intervention
- How intervene ? What are the available instruments ? What are their strength and weaknesses ? Though internalisation in the price system is theoretically the first-best instrument, there may be practical difficulties to implement it ; this document illustrate how information tools can be quite a powerful tool,
- To what extent intervene ? What should be the magnitude of intervention ? Are there hidden costs of intervention ? This document provides elements of assessment methods and some case studies, but also points out important knowledge gaps.

Assessment tools appear to be of significant importance to support policy making for reliability, and namely to cover the following issues :

- value of reliability for users (e.g. value of unreliable time), is a key parameter ;
- disruption impact assessment tools, mainly in highly integrated networks and services are useful, in order to identify possible « domino effects » on transport supply, and on user's utility ;
- cost functions for reliability techniques, including emergency management, are necessary to calibrate public interventions, especially when arbitrages have to be made between prevention and resilience instruments ; those cost functions should also identify common costs between network elements or market segments.

More precisely, value of reliability, which refers to value of time in unpredicted situations, is a key parameter. Various surveys suggest that the value of time for non reliability equals up to 2 to 6 times the value of “predictable” time. It is important to distinguish the value of time in unexpected situations and the value of normal time, ie by early users, including when it is a foreseeable situation of congestion. Users can value time for unexpected delay much higher than delay time, as far as they see delays as normal for the transport service they usually use.

Modelling users' behaviour in case of disruption of their activities confirms the results of those surveys. This approach suggests that the ratio between the two values can be from 2 to over 20. Highest ratios illustrate situations where individuals can not reorganize their activities in disruption situations.

This could partly explain why surveys show that low-income users have a value of time unexpected relatively higher, reflecting their lower capacities to manage an unexpected disruption of their professional and individual activities. This modelling suggests that work has still to be done to better assess value of disrupted time, to separate the value of pure unpredictable time, and the value of predictable travel time or anticipated delays, and to quantify the role of information.

More generally, assessment methodologies and tools are needed to support information instruments. These instruments can enhance competition between operators, modes and locations, and favour “self reliability” strategies among users, as a response to expected unreliabilities.

Table des matières

1. La fiabilité : un enjeu croissant de qualité des transports

1.1 La fiabilité parmi les critères de qualité des transports

1.2 Demande de fiabilité : éléments de définition

2. Gestion de la fiabilité : limites du fonctionnement des marchés

2.1 Externalités de fiabilité, information imparfaite et comportements de monopole

2.2 Hétérogénéité de la demande de fiabilité

2.3 Anticipations de fiabilité et demande de fiabilité

3. Instruments et politiques de gestion de la fiabilité : éléments de typologie et d'efficacité.

3.1 Typologie des interventions publiques en matière de fiabilité

3.2 Régulation publique de la fiabilité : principales questions d'efficacité

3.3 Efficacité des instruments d'intervention publique : éléments qualitatifs

4. Identification des infrastructures critiques : éléments d'analyse économique

4.1 Principes d'identification des infrastructures critiques

4.2 Enjeux du partenariat public-privé

4.3 Identification des infrastructures critiques en présence d'externalités

4.4 Allocation optimale des moyens publics de protection des infrastructures critiques

4.5 Asymétrie d'information et comportements des opérateurs dans la désignation des infrastructures critiques.

4.6 Régulation des stratégies des opérateurs d'infrastructures critiques

4.7 Etude de cas de l'impact économique d'une rupture d'infrastructure de transports

5. Gestion des ruptures de service de transports et valeur de la fiabilité

5.1 Articulation entre mesures de prévention et mesures de gestion d'urgence

5.2 Gestion temporelle des crises et de la continuité d'activités

5.3 Valeur de l'information pour la gestion des crises

5.4 Valeur du temps pour la gestion de crise

6. Eléments de conclusion et perspectives

Introduction

Ce document propose quelques éléments d'analyse économique des questions de fiabilité des systèmes de transports. La fiabilité est entendue comme la capacité du système de transports à fournir un niveau de service égal ou proche du niveau nominal auquel s'attendent les utilisateurs.

Les économies développées sont, grâce au développement de l'offre de transports, fondées sur des systèmes de flux tendu. Ceci concerne aussi bien la production, que l'organisation des activités individuelles et sociales. Les activités économiques et sociales se fondent ainsi sur des anticipations de qualité de service de transports, et attachent une importance croissante à ce que cette qualité soit en permanence au niveau sur lequel sont fondées ces anticipations. Symétriquement, ces activités deviennent de plus en plus vulnérables à la non-fiabilité des transports.

La fiabilité devient donc un déterminant essentiel de la qualité des transports.

Le système de transports fonctionne de façon croissante en réseau. Cette évolution n'est pas sans effet sur sa fiabilité. D'un côté, le maillage physique de l'offre de transports en a fait, historiquement, un facteur de fiabilité. De l'autre, la polarisation des marchés de transports les rend également plus vulnérables à la non fiabilité : nœuds de réseau, pôles d'échanges intermodaux, axes privilégiés pour leur efficacité (cf. grands corridors ou lignes à grandes vitesses), zones urbaines denses, infrastructures ou services d'accessibilité à des zones excentrées. Par ailleurs, la multi-modalité fait de la fiabilité de chacun des segments de transports, un facteur de fiabilité de l'ensemble du système. De plus, dans nos économies, l'imbrication croissante des activités fait que la fiabilité des transports dépend de façon croissante de la fiabilité d'autres secteurs ou marchés, notamment ceux de l'énergie, des télécommunications et systèmes d'information.

Pour autant, le fonctionnement normal des marchés ne garantit pas a priori que l'offre soit égale à la demande de fiabilité. Ceci peut s'expliquer par la multiplicité des causes de non-fiabilité, des réponses possibles et des acteurs jouant sur la fiabilité. Certaines causes sont par ailleurs difficilement maîtrisables (certains risques naturels ou terroristes). Le service de fiabilité est donc tout sauf un service homogène produit selon un processus de production maîtrisé par ceux qui sont au contact des utilisateurs.

Diverses interventions publiques sont destinées à améliorer la fiabilité des transports. Elles portent sur la prévention des risques, la protection des infrastructures ou des matériels, la gestion des incidents ou des crises, l'information aux usagers, ou, au delà, sur les incitations données aux acteurs économiques pour intégrer la fiabilité dans les choix d'investissements et d'exploitation.

L'augmentation des besoins et des interventions publiques en faveur de la fiabilité fait émerger des questions sur l'efficacité de ces interventions.

Le présent document propose quelques éclairages partiels de ces questions.

Dans un premier temps, il définit les différents aspects de la fiabilité, en mettant en avant le lien entre les différentes notions, notamment la prévention et la gestion des conséquences ; les incidents mineurs et les crises majeures ; les interruptions de courte et de longue durée.

Dans un deuxième temps, il illustre pourquoi le fonctionnement spontané des marchés ne fournit pas nécessairement le niveau de fiabilité optimal collectivement.

Dans une troisième partie, il présente les principaux types d'intervention publique, en distinguant celles où les pouvoirs publics participent à la production de la fiabilité (notamment via la gestion des situations d'urgence), et celles où l'état régule l'offre de fiabilité des acteurs économiques.

Il illustre ensuite certains aspects de ce cadre d'analyse économique :

- dans une quatrième partie, il s'intéresse à la protection des infrastructures critiques : cette partie illustre les questions économiques posées par la protection ciblée d'un réseau de transports pour maintenir sa disponibilité en cas d'événement majeur ;
- dans une cinquième partie, il s'intéresse à la gestion des ruptures de service de transports : cette partie illustre notamment les arbitrages entre les moyens consacrés respectivement à la prévention et à la gestion des ruptures de service ; elle s'intéresse en particulier :
 - o à la valeur de l'information utilisée pour améliorer la gestion des ruptures de service ;
 - o à la valeur du temps ressentie par les usagers des transports en situation imprévue, qui apparaît déterminante pour la gestion des ruptures de service.

Quelques précisions complémentaires : ce document traite de la fiabilité de l'offre de transports ; ceci inclut les incidents techniques, risques naturels, industriels et intentionnels, les aléas sociaux. La congestion peut être un facteur déclenchant ou aggravant de la fiabilité, mais ce document la distingue de la fiabilité au sens strict. Par ailleurs, les transports peuvent être soumis à des vulnérabilités qui portent spécifiquement sur la demande (baisses brutales de demandes liées au contexte économique, social ou sanitaire, grèves ou épidémies par exemple), qui ne sont pas abordées ici. Enfin, l'approche de ce document est essentiellement centrée sur les transports de voyageurs.

1. La fiabilité : un enjeu croissant de qualité des transports

1.1. La fiabilité parmi les critères de qualité des transports

Les transports constituent un facteur déterminant de la croissance économique, selon trois principaux mécanismes :

- le temps gagné : les transports, en réduisant les temps de parcours, dégagent du temps pour les activités productives et récréatives : il s'agit là du mécanisme déterminant pour évaluer la valeur du temps et, partant, la valeur économique des projets et politiques de transports ;
- la concurrence : les transports modifient les conditions de concurrence entre entreprises, secteurs et zones géographiques ; ces effets, y compris au travers des mécanismes de localisation d'activités, sont en général favorables à la croissance en favorisant la concurrence par la baisse des coûts d'accès, d'information et de transaction ;
- les nuisances environnementales : les transports sont directement à l'origine de nuisances environnementales, différenciées selon les modes : pollution atmosphérique, effet de serre, bruit, congestion, insécurité ; ces effets sont, en général, négatifs, et donc défavorables à la croissance ; ils viennent en général en déduction des effets positifs sur le temps gagné. Ces mécanismes peuvent être amplifiés par les effets à long terme des transports sur la localisation des activités (étalement urbain par exemple).

Aujourd'hui, les transports ont acquis une place déterminante dans le fonctionnement de l'économie. Au delà de trois types d'effets précédents, largement débattus et relativement documentés, un nouveau type d'effet suscite un intérêt croissant : celui de leur fiabilité : est-elle fournie correctement par les marchés de transports, comment faut-il intervenir sur ces marchés pour favoriser une offre efficace de fiabilité correspondant à sa valeur économique et sociale ?

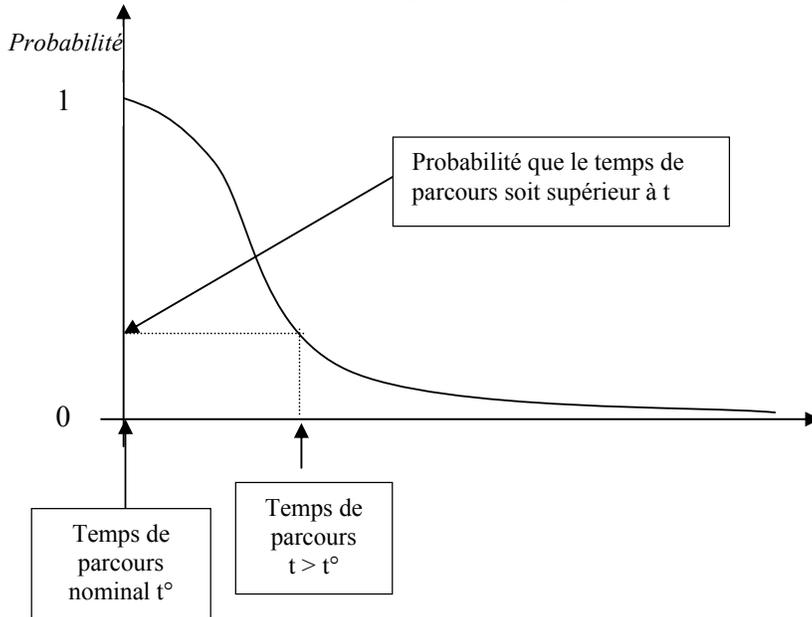
Le concept de fiabilité recouvre, schématiquement, la capacité du système de transports à fournir un niveau de service égal ou proche du niveau « nominal » auquel s'attendent les utilisateurs.

Encadré : fiabilité, disponibilité et résilience des transports

Éléments de terminologie

La fiabilité désigne la capacité du système des transports à fournir un niveau de service (typiquement, un temps de parcours) conforme à ce qu'anticipent les utilisateurs. Cette définition permet de distinguer la fiabilité d'un système de transports de son niveau de congestion : une congestion anticipée (aux heures habituelles) ne rend pas nécessairement un système de transport non fiable. Typiquement, la non fiabilité peut se mesurer par tout type d'indicateur qui exprime l'écart de la situation réelle à une situation anticipée. La situation anticipée peut se définir soit par une fiabilité « nominale » (horaires indiqués par exemple), soit par une moyenne des temps de parcours. L'écart peut s'exprimer soit par un écart moyen (indicateurs de type « variance »), soit par la probabilité d'écarts supérieurs à des seuils ; ces seuils peuvent refléter de faibles écarts de temps de parcours (par exemple les temps de retard de quelques dizaines de minutes utilisés pour suivre la qualité de service des opérateurs de transports publics) ; soit des écarts importants (ruptures de service de plusieurs heures, jours ou semaines en cas d'événements extrêmes).

Schéma : représentation de la fiabilité par la fonction de probabilité des retards



La disponibilité désigne la capacité du système à fournir un service de transports, (même si le temps de parcours est sans rapport avec le temps de parcours normal), dans des circonstances données. La disponibilité est contingente à la réalisation d'un aléa. Une indisponibilité temporaire résulte en une baisse de la fiabilité. La fiabilité est la résultante, probabilisée, de différents niveaux de services (i.e. de temps de parcours), où certains aléas peuvent correspondre à une indisponibilité temporaire du service ou des infrastructures. Tous les aléas participant à la non fiabilité ne se traduisent par une indisponibilité. La disponibilité permet également de continuer à gérer des priorités d'acheminement parmi les usagers, ces usagers pouvant avoir des temps de parcours quasi normaux (services d'urgence par exemple), les usagers exclus ayant des temps de parcours quasi-infinis. La disponibilité ne résulte donc pas de la même façon en fiabilité pour tous les usagers.

La résilience désigne la capacité d'un système à restaurer le service de transports, suite à une rupture, le plus efficacement possible, i.e. en minimisant la durée totale de rupture des usagers. La résilience participe à la fiabilité, elle en est la composante « après événement ».

Encadré : Vulnérabilité du système de transports : éléments de typologie

Les transports sont soumis à un large éventail de vulnérabilités, entendues au sens d'aléas affectant les services de transports échangés sur les marchés. On peut, tout d'abord, distinguer les vulnérabilités qui portent sur l'offre de transports, et celles qui portent sur la demande.

Concernant l'offre, les vulnérabilités peuvent affecter :

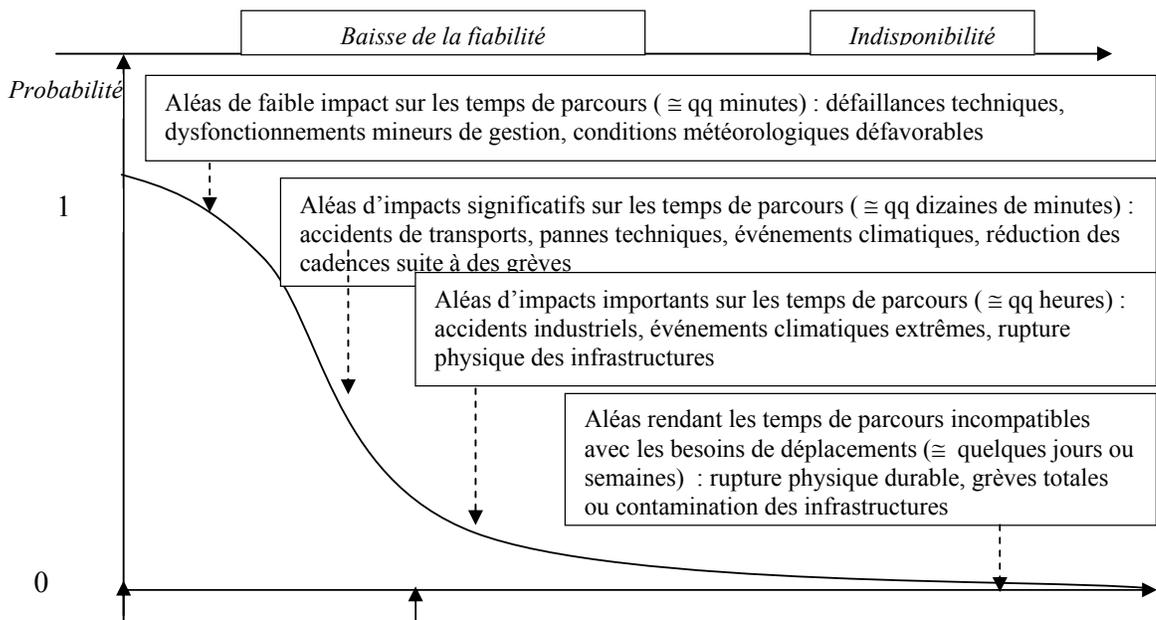
- les infrastructures elles-mêmes, au sens où elles rendent physiquement indisponibles un ou plusieurs éléments du réseau de transports :
- les matériels et équipements (véhicules, superstructures)
- l'offre de services, notamment la main d'œuvre nécessaire à la fourniture de ce service
- les systèmes d'information nécessaires à la gestion des infrastructures ou les services
- les dispositifs et procédures de gestion commerciale et financière des services de transports.

Les vulnérabilités portant sur la demande recouvrent des aléas faisant varier significativement et de façon non prévue, la demande adressée aux transports. Il peut s'agir de pics de demande non anticipés, localisés, ou de baisse de la demande, par exemple suite à une psychose face à des risques (sanitaires ou terroristes) ou à la hausse brutale des prix de l'énergie.

On peut également distinguer les vulnérabilités selon la nature de l'aléa sous-jacent à la modification du service :

- risques naturels (climatiques, mouvements de terrains)
- risques industriels et de transports
- risques intentionnels directs ou au travers d'un vecteur industriel ou de transports
- risques sanitaires
- risques psychologiques
- risques économiques (modification brutale des systèmes de prix)

Les vulnérabilités se distinguent également par leur caractère localisé sur un segment du marché ou un lieu géographique, ou au contraire soit plus systémique. Les vulnérabilités se distinguent par leur impact en terme d'ampleur et de durée. Le schéma suivant situe, de façon simplifiée, les principaux événements selon leur probabilité et les impacts probables en termes de fiabilité, i.e. d'allongement des temps de parcours.



Temps de parcours nominal t°

Temps de parcours $t > t^{\circ}$

Temps de parcours

1.2. Demande de fiabilité : éléments de définition

La demande de fiabilité peut se définir comme la demande pour que le niveau de service offert par les transports soit proche de ce que les usagers anticipent, ou considèrent comme le niveau de service nominal. Cette définition suppose que l'on s'intéresse à la fonction de probabilité des événements pouvant donner lieu à un écart de la qualité de service par rapport à une situation nominale, aux coûts pour les usagers d'un écart du niveau de service par rapport à la situation nominale, et à leur degré d'information, à la fois sur le niveau de service nominal et sur la fonction de probabilité des aléas.

Ainsi, pour définir la fiabilité, il faut d'abord caractériser la fonction de probabilité des différents niveaux de service, les niveaux de service les plus proches du niveau nominal sont présumés les plus probables ; les niveaux de services les plus bas (par exemple, les temps de parcours les plus longs) sont présumés exceptionnels.

Ensuite, il faut tenir compte du niveau de service « nominal » escompté par les utilisateurs. Ce niveau peut être celui indiqué par l'opérateur quand il est identifié (horaires de train ou d'avion par exemple) ou par une tierce partie (site d'information Internet par exemple). Le niveau de service attendu par l'agent n'est pas nécessairement celui affiché par un opérateur : d'une part, les utilisateurs s'intéressent à un service de bout en bout, incluant des segments différents, ce qui conduit les utilisateurs à conjecturer la fiabilité des correspondances et des segments où aucun opérateur ne peut proposer une qualité nominale (route par exemple) ; par ailleurs, les utilisateurs peuvent anticiper, par expérience, un niveau de service différent de celui affiché par les opérateurs ou les tiers informateurs.

Enfin, la fiabilité constitue un paramètre de qualité des transports qui fait l'objet d'une demande ; cette demande dépend des caractéristiques des différents utilisateurs, et du prix éventuel de cette qualité. Les différents utilisateurs peuvent avoir une attente de fiabilité, qui dépend de leurs propres activités et de leur capacité à gérer des non fiabilités en réorganisant ces activités en temps réel.

**Encadré : Demande de fiabilité
Éléments de formalisation simplifiée**

La formalisation suivante reprend les différentes notions exposées ci-dessus :

t° est le niveau de service nominal affiché par le système des transports, i. e le temps minimum du parcours

$p(t)$ est la distribution objective de probabilité des temps de parcours réels en fonction des aléas qui affectent le système des transports ; il en résulte un temps moyen de parcours T

$p_i(t)$ est la distribution anticipée par l'utilisateur i des temps de parcours (en fonction de sa connaissance subjective et/ou partielle des aléas). Il en résulte un temps moyen de parcours anticipé T_i

t° est le temps de parcours nominal annoncé à l'utilisateur . Le temps de parcours anticipé peut être supérieur à t° affiché par l'opérateur si l'utilisateur prévoit un « pied de pilote » pour l'organisation de son agenda

$U_i(t)$ est l'utilité retirée par l'utilisateur i d'un temps de parcours t , que l'on peut décomposer en :

$$U_i [(t - T_i) + (T_i - t^{\circ}) + t^{\circ}]$$

Cette formalisation fait apparaître de façon simplifiée que l'utilité dépend :

- de l'écart entre le temps réel de parcours et le temps anticipé : ceci représente l'impact de la fiabilité sur l'utilité, i.e. le coût de désorganisation
- de l'écart entre le temps anticipé et le temps nominal : ceci représente l'effet des anticipations de fiabilité sur l'utilité, notamment au travers des précautions d'organisation ;
- du temps nominal (ou de la vitesse nominale) affichée, qui sous-tend les choix d'organisation des usagers.

Cette formalisation permet en particulier de bien distinguer les éléments certains (i.e. le temps de parcours anticipé par l'utilisateur ; celui sur lequel il maîtrise ex ante l'organisation de son agenda) et les éléments incertains (le retard).

L'utilisateur va exprimer une demande de fiabilité qui maximisera l'espérance de son utilité, avec sa fonction de probabilité subjective, et compte tenu du système de prix. Les prix peuvent porter sur le niveau de service nominal (temps de parcours normal) et sur les écarts à la normale (compensation de retard)

Ce programme s'écrit simplement :

$$\text{Max } E \{ U_i [(t - T_i) + (T_i - t^{\circ}) + t^{\circ}] \} - p \cdot t^{\circ} - r \cdot E \{ t - t^{\circ} \}$$

Où le premier terme est l'espérance de l'utilité avec la fonction de probabilité subjective p_i .

Le deuxième terme est le prix payé par l'utilisateur pour un temps de parcours nominal de t°

Le troisième terme est l'espérance de l'éventuelle compensation monétaire reçue en cas de retard.

2. *Gestion de la fiabilité : limites du fonctionnement des marchés*

Le rôle croissant des transports dans l'économie a pour conséquence qu'un nombre croissant d'activités marchandes et non marchandes dépendent des transports et, plus particulièrement, de leur fiabilité.

La fiabilité des transports est une composante très spécifique de sa qualité, par rapport aux autres attributs de qualité (vitesse, confort, maillage ou accessibilité, fréquences). En effet,

- la non fiabilité génère chez les usagers des coûts qui peuvent différer de la valeur d'usage normale des transports, ce qui fait de la fiabilité une forme d'externalité ;
- cette forme d'externalité n'est en général pas prise en compte dans les systèmes de tarification, pour quatre principales raisons :
 - o la quasi absence de tarification dans certains modes (route) prive d'une support de tarification simple de la fiabilité
 - o les coûts administratifs de systèmes de compensation peuvent être élevés si l'on souhaite refléter fidèlement les pertes occasionnées aux usagers ;
 - o l'existence de monopoles sur certains segments de marché ne permet pas aux utilisateurs d'exercer de pression concurrentielle sur la fiabilité ;
 - o la multiplicité des causes à l'origine de la non-fiabilité rend parfois difficile de déterminer les responsabilités de chaque acteur.
- la fiabilité constitue une forme de « bien d'expérience » : des utilisateurs habituels intègrent dans leurs comportements un niveau de fiabilité fondé sur leur expérience (ils peuvent par exemple prendre des délais de précaution ou planifier des scénarios de rupture d'emploi du temps) ; par contre, des utilisateurs occasionnels ne disposent pas d'expérience pour connaître le niveau de fiabilité d'un système de transport ; ne connaissant pas le niveau réel de fiabilité du système, ils n'adoptent pas les comportements de précaution ou d'adaptation des utilisateurs habituels ; la non fiabilité est plus coûteuse pour ces utilisateurs.
- la demande pour la fiabilité peut être croissante en fonction du niveau de fiabilité déjà atteint par le système de transports : les mécanismes à l'œuvre sont en effet que, plus un système de transport est, en moyenne, fiable, plus les choix d'activités se fondent sur un niveau élevé de fiabilité, et plus les non fiabilités coûtent cher aux usagers ;
- la fiabilité des transports est un attribut largement co-produit par les opérateurs, les usagers eux-mêmes et les pouvoirs publics, qui maîtrisent en partie certains aléas affectant la fiabilité (et notamment la gestion du retour à la normale suite à la réalisation de ces aléas).

2.1. Externalités de fiabilité, information imparfaite et comportements de monopole

Cette partie illustre les principaux dysfonctionnements listés ci-dessus, par lesquels les marchés sont en général insuffisants pour fournir un niveau optimal de fiabilité :

- l'existence d'externalités, qui recouvre
 - o l'écart entre la valeur ressentie par les usagers en situation de défaillance ou de rupture de service de transports ;
 - o le fait que la fiabilité soit « co-produite » par différents acteurs, typiquement les opérateurs de transports et les pouvoirs publics
- le caractère partiel ou imparfait de l'information sur la fiabilité, notamment chez les usagers occasionnels ;
- le pouvoir de monopole de certains opérateurs, relativement fréquent dans le secteur des transports.

La combinaison de ces différents dysfonctionnements dans le secteur des transports, en fait un secteur particulièrement sensible du point de vue de la régulation publique de la fiabilité.

Encadré :
offre et demande de fiabilité des transports :
illustration du fonctionnement et des imperfections de marchés.

Cet encadré propose une modélisation simplifiée du fonctionnement du marché de la fiabilité des transports, destinée à illustrer les possibles dysfonctionnements nécessitant une intervention publique. La modélisation est centrée sur un service de transports caractérisé par trois attributs :

- son volume ;
- sa fiabilité « nominale » (i.e. le temps de parcours affiché) ;
- sa fiabilité réelle : ce paramètre représente le temps de parcours effectivement réalisé par le service de transports, qui peut s'écarter du temps nominal affiché ; l'écart entre les deux constitue la fiabilité des transports.

La modélisation est effectuée en intégrant dans les paramètres la loi de probabilité régissant les aléas affectant les temps de transports : dit autrement, la fiabilité réelle est un paramètre résultant de répartition des valeurs du temps en fonction de la loi de probabilité : ce peut être l'espérance, ou l'écart-type, ou le maximum de la fonction de probabilité. Cette simplification permet d'illustrer le fait qu'en régime permanent, l'offre et la demande de fiabilité portent non pas sur un événement (aléa) particulier, mais sur la résultante de tous ces événements sur le temps de parcours. On suppose ainsi implicitement que les opérateurs de transports peuvent jouer sur la fiabilité réelle, en réduisant le niveau de risque auquel est exposé le système des transports.

On peut ainsi désigner par

Q : le volume de transports

q° : la fiabilité « nominale » des transports, i.e. la vitesse « nominale »

q : la fiabilité réelle (résultant de la loi de probabilité des aléas)

On suppose que l'utilité retirée par les usagers de ce service de transports est :

$$U(Q, q^\circ, q)$$

On suppose que, pour produire ce service de volume Q , de fiabilité nominale q° et de fiabilité réelle q , la fonction de coût se décompose en :

$$c(Q) + n(q^\circ) + s(q)$$

Optimum collectif

La production optimale collectivement (en volume, en vitesse et en fiabilité) est définie par :

$$\text{Max } \{ U(Q, q^{\circ}, q) - c(Q) - n(q^{\circ}) - s(q) \}$$

Soit :

$$\partial U / \partial Q = \partial c / \partial Q \qquad \partial U / \partial q = \partial s / \partial q \qquad \partial U / \partial q^{\circ} = \partial n / \partial q^{\circ}$$

Les utilités marginales sont égales aux coûts marginaux de production des différents attributs du service de transports (volume, vitesse nominale, fiabilité réelle).

Fonctionnement parfait des marchés : concurrence et information parfaites

Un fonctionnement parfait des marchés (concurrence parfaite et information parfaite des acteurs économiques), peut s'illustrer en supposant que tous les attributs des transports (volume, fiabilité nominale et fiabilité réelle), font l'objet d'un marché, avec un système de prix : on suppose ainsi qu'outre le volume de transports, sa vitesse nominale est tarifée, de même que les éventuels écarts (retards) par rapport à la vitesse nominale, sous forme d'indemnisations. On suppose que

p est le prix attaché au volume de transports Q

f est le prix attaché à la fiabilité « nominale » des transports q°

i est le prix attaché à la fiabilité réelle, i.e. l'indemnisation des retards : $q - q^{\circ}$

La demande de transports (en volume, en fiabilité nominale et en fiabilité réelle), est définie par la maximisation de l'utilité des consommateurs

$$\text{Max } \{ U(Q, q^{\circ}, q) - p \cdot Q - f \cdot q^{\circ} - i \cdot (q - q^{\circ}) \}$$

Soit :

$$\partial U / \partial Q = p \qquad \partial U / \partial q = i \qquad \partial U / \partial q^{\circ} = f - i$$

L'offre de transports (en volume, en fiabilité nominale et en fiabilité réelle), est définie par la maximisation du profit des transporteurs

$$\text{Max } \{ p \cdot Q + f \cdot q^{\circ} + i \cdot (q - q^{\circ}) - c(Q) - n(q^{\circ}) - s(q) \}$$

Soit :

$$\partial c / \partial Q = p \qquad \partial n / \partial q^{\circ} = f - i \qquad \partial s / \partial q = i$$

L'équilibre du marché conduit à l'optimum collectif : dans cette hypothèse, la fiabilité n'est pas un motif d'intervention publique : elle est régulée efficacement par les marchés.

Les paragraphes suivants illustrent les possibles dysfonctionnements du marché conduisant à ce que le niveau de fiabilité ne soit pas optimal.

Externalités et absence de tarification de la fiabilité

L'hypothèse selon laquelle il existe un prix de marché de la non fiabilité est théorique, elle est fortement contredite par la réalité, ce qui peut s'expliquer par plusieurs facteurs : les coûts de mesure des écarts par rapport à la qualité nominale et d'indemnisation individuelle des usagers peuvent être élevés ; les pressions concurrentielles et par les consommateurs pour mettre en place un système d'indemnisation sont faibles, soit parce que les opérateurs disposent d'un pouvoir de monopole (cf. point c. ci-dessous), soit parce que les usagers sont souvent occasionnels et que le coût de la demande d'indemnisation (temps passé) est supérieur au coût des dommages subis.

Pour illustrer simplement ce dysfonctionnement de marché, on peut faire l'hypothèse simplificatrice qu'il n'existe pas de marché de l'indemnisation des retards, i.e. que son prix est nul ($i = 0$).

Dans ce cas, l'équilibre du marché s'écrit :

Demande de transports (volume, vitesse et fiabilité) :

$$\text{Max } \{ U(Q, q^0, q) - p \cdot Q - f \cdot q^0 \}$$

Soit :

$$\partial U / \partial Q = p \qquad \partial U / \partial q^0 = f \qquad \partial U / \partial q = 0$$

L'offre de transports (en volume, en fiabilité nominale et en fiabilité réelle), est définie par la maximisation du profit des transporteurs

$$\text{Max } \{ p \cdot Q + f \cdot q^0 - c(Q) - n(q^0) - s(q) \}$$

Soit :

$$\partial c / \partial Q = p \qquad \partial n / \partial q^0 = f \qquad \partial s / \partial q = 0$$

Dans ce cas extrême, en l'absence de tarification de la fiabilité, la demande est donc infinie, l'offre est nulle. Si la tarification de la fiabilité n'est que partielle (plafonds de compensation ou compensations fixées arbitrairement bas), le marché sera également déséquilibré, la demande de fiabilité étant supérieure à l'offre.

Maîtrise partielle des risques par les opérateurs

L'hypothèse retenue ci-dessus est que les opérateurs de transports peuvent maîtriser les aléas (i.e. la loi de probabilité des retards), et offrir ainsi un niveau de fiabilité qui dépend entièrement de leurs actions. Dans la réalité, ceci n'est pas le cas, une partie de l'aléa dépendant de facteurs externes à l'opérateur. En particulier, une partie de l'aléa dépend de l'action des pouvoirs publics, soit dans la prévention des risques, soit dans leur gestion (intervention des services d'urgence et de secours, prescriptions des durées d'interruption du service).

Si, la fiabilité peut se décomposer en une partie dépendant de l'action des opérateurs de transports, et une autre dépendant de l'action des pouvoirs publics (les deux parties étant supposées indépendantes), le niveau de fiabilité peut s'écrire $q = q_1 + q_2$, où q_1 dépend des opérateurs de transports et q_2 des pouvoirs publics, qui peuvent maîtriser ce niveau de fiabilité avec un coût $r(q_2)$.

Dans ce cas, le niveau optimal d'offre de transports (volume, vitesse et fiabilité) est déterminé par :

$$\text{Max } \{ U(Q, q^0, q_1 + q_2) - c(Q) - n(q^0) - s(q_1) - r(q_2) \}$$

Soit :

$$\partial U / \partial Q = \partial c / \partial Q \qquad \partial U / \partial q_1 = \partial s / \partial q_1 \qquad \partial U / \partial q_2 = \partial r / \partial q_2 \qquad \partial U / \partial q^0 = \partial n / \partial q^0$$

L'équilibre des marchés est déterminé ainsi :

Demande de transports (en volume, vitesse nominale et fiabilité réelle) :

$$\text{Max } \{ U(Q, q^0, q_1 + q_2) - p \cdot Q - f \cdot q^0 - i \cdot (q_1 + q_2 - q^0) \}$$

Soit :

$$\partial U / \partial Q = p \qquad \partial U / \partial q_1 = i \qquad \partial U / \partial q_2 = i \qquad \partial U / \partial q^0 = f - i$$

L'offre de transports dépendant des opérateurs privés (en volume, en fiabilité nominale et en fiabilité réelle), est définie ainsi :

$$\text{Max } \{ p \cdot Q + f \cdot q^0 + i \cdot (q_1 + q_2 - q^0) - c(Q) - n(q^0) - s(q_1) \}$$

Soit :

$$\partial c / \partial Q = p$$

$$\partial n / \partial q^o = f - i$$

$$\partial s / \partial q_1 = i$$

L'équilibre du marché conduit à l'optimum collectif si les pouvoirs publics (dont on fait l'hypothèse qu'ils ne tarifient pas leurs services) peuvent optimiser la fiabilité de telle façon que le coût marginal de leurs actions pour améliorer la fiabilité soit égal à l'utilité marginale de la fiabilité :

$$\partial U / \partial q_2 = \partial r / \partial q_2$$

Information imparfaite des usagers sur le niveau de fiabilité

Les usagers doivent en pratique effectuer des choix en information imparfaite sur la qualité des services de transports, tout particulièrement leur fiabilité. Lorsqu'ils n'ont pas d'information sur le niveau de fiabilité réel des services de transports, les usagers se fondent sur des éléments d'expérience et/ou de réputation. Ainsi, plus un usager consomme de transports, plus il est a priori informé sur leur fiabilité. Par ailleurs, les usagers considèrent souvent que la fiabilité est liée aux autres attributs du service de transports, notamment leur vitesse. On peut illustrer simplement ce dernier effet en supposant que le niveau de fiabilité attendu par l'utilisateur est une fonction de la fiabilité nominale : $q = q^o + d(q^o)$, avec

$\partial d / \partial q^o > 0$: plus la qualité nominale affichée est élevée, plus l'utilisateur s'attend à une fiabilité élevée.

Dans ce cas, la demande de transports s'exprime ainsi :

$$\text{Max} \{ U(Q, q^o, d(q^o)) - p \cdot Q - f \cdot q^o - i \cdot d(q^o) \}$$

Soit :

$$\partial U / \partial Q = p \qquad \partial U / \partial q^o + (\partial U / \partial q) \cdot (\partial d / \partial q^o) = f + i \cdot (\partial d / \partial q^o)$$

L'offre de transports (en volume, en fiabilité nominale et en fiabilité réelle), est définie par :

$$\text{Max} \{ p \cdot Q + f \cdot q^o + i \cdot (q - q^o) - c(Q) - n(q^o) - s(q) \}$$

Soit :

$$\partial c / \partial Q = p \qquad \partial n / \partial q^o = f - i \qquad \partial s / \partial q = i$$

A l'équilibre du marché, on a

$$(\partial U / \partial q - \partial s / \partial q) \cdot (\partial d / \partial q^o) = \partial s / \partial q$$

d'où en particulier : $\partial U / \partial q - \partial s / \partial q > 0$

du fait que l'utilité marginale est décroissante ($\partial^2 U / \partial q^2 < 0$) et les coûts marginaux sont croissants ($\partial^2 s / \partial q^2 > 0$), le niveau de fiabilité observé dans l'équilibre en information imparfaite est inférieur au niveau de fiabilité observé en information parfaite.

Comportements de monopole

Dans la réalité, le fonctionnement des marchés de services de transports ne sont pas parfaitement concurrentiels. Un pouvoir de monopole existe dans plusieurs segments de marchés, soit en monopole de droit, soit en monopole de fait. Dans ce cas, les opérateurs utilisent la tarification de façon stratégique et les prix ne peuvent plus être considérés comme déterminés par les marchés.

On peut illustrer de façon simple un comportement monopolistique en supposant qu'un opérateur en monopole définit sa stratégie tarifaire en fonction de la courbe de demande qui s'adresse à lui ; pour simplifier, on peut retenir que la demande dépend, pour chaque attribut des transports (offre, vitesse, fiabilité), de son prix propre. On en déduit des fonctions de demande inverses (prix en fonction des attributs)

$$p(Q)$$

$$f(q^0)$$

$$i(q)$$

Le comportement du monopole s'écrit ainsi :

$$\text{Max } \{ p(Q) \cdot Q + f(q^0) \cdot q^0 + i(q) \cdot (q - q^0) - c(Q) - n(q^0) - s(q) \}$$

Où l'on retrouve le fait que le monopole égalise sa recette marginale et son coût marginal, le prix étant supérieur au coût marginal

$$p = \partial c / \partial Q - (\partial p / \partial Q) \cdot Q > p$$

$$f - i = \partial n / \partial q^0 - (\partial f / \partial q^0) \cdot q^0 > \partial n / \partial q^0$$

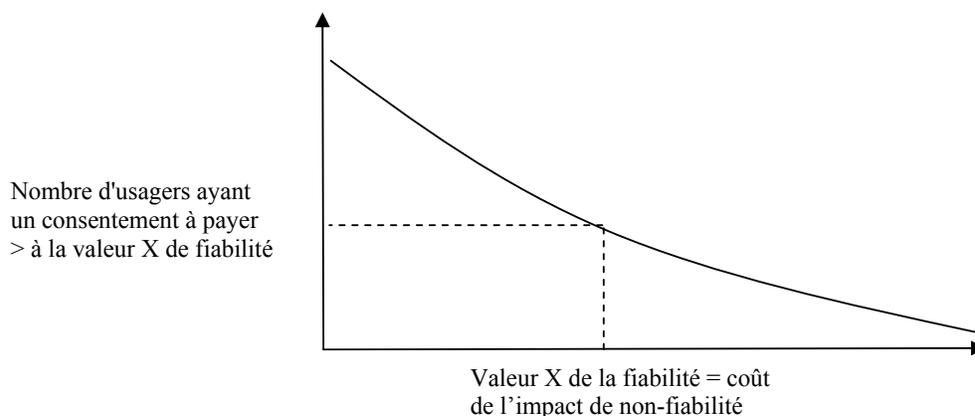
$$i = \partial s / \partial q - (\partial i / \partial q) \cdot q > \partial s / \partial q$$

La fiabilité est inférieure à celle obtenue en situation concurrentielle (de même que l'offre en volume et la vitesse : la fiabilité ne se distingue pas, dans le comportement de monopole, des autres attributs de l'offre de transports).

2.2. Hétérogénéité de la demande de fiabilité

Les usagers des transports présentent des attentes différenciées en termes de fiabilité. Ces attentes dépendent du coût de non-fiabilité généré pour chaque type d'usage des transports. Ce coût varie par exemple en fonction de la nature des marchandises (périssables ou non), de l'organisation des systèmes de production (importance du « juste à temps »), des coûts de main d'œuvre (i.e. de temps de travail) incorporés dans les transports et qui sont perdus en cas de retard. Pour les voyageurs, ce coût varie en fonction de l'impact sur les activités des individus d'une défaillance des transports engendrant une perturbation de ces activités. Ce coût peut dépendre de la valeur de ces activités, mais aussi de la capacité des individus à décaler ou réorganiser ces activités en cas d'imprévu.

La demande de fiabilité, agrégeant ces attentes, se présente ainsi comme une fonction décroissante du consentement à payer pour la fiabilité ou, dit autrement une fonction décroissante du prix de la fiabilité.



On peut se demander dans quelle mesure cette hétérogénéité de la demande expliquerait une sous-production de fiabilité dans le secteur des transports. Tout d'abord, on peut noter que le marché des transports se trouve face à l'hétérogénéité de la demande sur d'autres attributs de la qualité du service : vitesse (valeurs du temps différenciées) ; confort ; fréquences de desserte. En soi, il ne s'agit pas d'une imperfection de marché (l'imperfection de marché peut résider dans l'impossibilité de tarifier la fiabilité, mais pas en soi dans l'impossibilité de différencier les tarifs en fonction du consentement à payer pour la fiabilité).

En effet, face à une demande différenciée portant sur un paramètre unique de qualité (la vitesse par exemple), un tarif unique conduit a priori, en situation concurrentielle, à l'optimum.

Si les différents paramètres de qualité de service étaient séparables et tarifables, l'hétérogénéité de la demande ne constituerait pas non plus une imperfection de marché

Typiquement, un service des transports, caractérisé par une vitesse V , un confort C , une fréquence F et une fiabilité R indépendants, serait caractérisé par un système de tarification : $v \cdot V + c \cdot C + f \cdot F + r \cdot R$.

Si un opérateur de transports peut discriminer ses usagers en fonction de leur consentement à payer pour ce paramètre de qualité, il incorpore à son profit le surplus des usagers. S'il est en situation de monopole, ce faisant, il restaure même l'optimum collectif par rapport à une situation où il ne peut discriminer les usagers en fonction de leur consentement à payer (dans ce cas, en l'absence de discrimination, le comportement de monopole évince les usages dont la recette marginale est supérieure au coût marginal, alors qu'à l'optimum collectif, seuls les usagers dont le consentement à payer est supérieur au coût marginal de production devraient être évincés). Dans cette situation de monopole, l'impossibilité de discriminer les usagers en fonction de leur consentement à payer pour la fiabilité, pourrait être considérée comme une imperfection de marché, puisqu'elle empêche une tarification discriminante « vertueuse » du monopole.

Au total, il apparaît que l'hétérogénéité des valeurs attribuées par les usagers à la fiabilité est pénalisante plutôt au sens où elle rend difficile la fixation d'une valeur de la fiabilité pour dimensionner l'intervention publique. En particulier, face à l'hétérogénéité des impacts de la non-fiabilité sur les activités des usagers, il apparaît très difficile de déterminer des systèmes de compensation « justes ».

2.3. *Anticipations de fiabilité et demande de fiabilité*

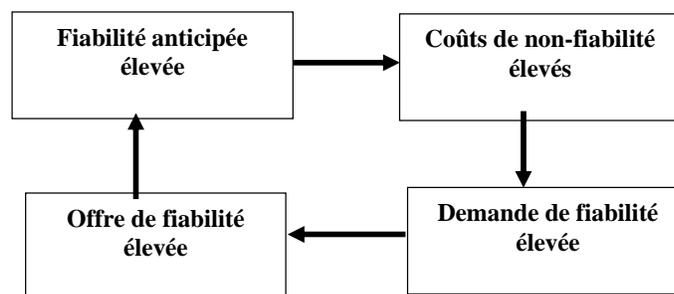
La demande de fiabilité est essentiellement déterminée par le coût que génère, pour les usagers, une défaillance du système de transports : plus ce coût ressenti est élevé, plus la demande de fiabilité est élevée.

Ce coût de la « non fiabilité » est lui-même déterminé par des choix d'organisation (de la production, du travail, des loisirs, des activités sociales) et de localisation : plus les choix d'organisation ou de localisation sont inélastiques à une modification des conditions de transports (retards), plus le coût de ces modifications imprévues est élevé

Ces choix d'organisation et de localisation sont eux-mêmes fondés sur une anticipation de la fiabilité des transports. Comme indiqué ci-dessus, ces anticipations doivent souvent se fonder sur une information imparfaite sur la fiabilité réelle des transports. Pour résorber cette information imparfaite, les usagers se fondent souvent sur des éléments « de réputation ».

Dans un contexte où la fiabilité des transports s'améliore régulièrement ou bien est utilisée comme argument commercial, il est probable que ces anticipations soient de nature « naïve », i.e. fondées sur l'hypothèse d'une amélioration régulière de la fiabilité. Ainsi, les choix d'organisation et de localisation vont opérer un arbitrage de plus en plus dépendant du niveau de fiabilité des transports, au détriment des mesures d'organisation individuelle ou collective qui rendraient les usagers moins dépendants des transports.

On assiste ainsi à une forme de « malédiction de la fiabilité » : plus celle-ci progresse, plus les comportements se fondent sur une hypothèse de fiabilité élevée, et opèrent des choix d'organisation et de localisation en partie irréversibles, qui les rend plus vulnérables à la non fiabilité, augmente donc la demande de fiabilité et, si les marchés reflètent cette demande, incite les opérateurs à augmenter leur offre de fiabilité.



Ce phénomène peut être, d'une certaine façon, considéré comme une imperfection de marché. En dynamique, il peut conduire à un excès de fiabilité sur les marchés. Mais il faut noter que, dans ce phénomène, les marchés satisfont, à tout moment, la demande de fiabilité en fonction de la valeur qu'attribuent les usagers à la fiabilité ; ceci différencie ce types d'imperfections de marchés de celles présentées ci-dessus (externalités de fiabilité, information imparfaite et situation de monopole).

3. Instruments et politiques de gestion de la fiabilité : éléments de typologie et d'efficacité.

Cette partie présente les différents instruments permettant d'intervenir sur le niveau de fiabilité des transports. Elle propose une typologie simplifiée de ces instruments, qui met en lumière leur articulation et leurs domaines de pertinence ou d'efficacité. Elle présente comment les politiques de gestion de la fiabilité peuvent avoir à combiner ou arbitrer entre ces différents instruments. Enfin, elle illustre certaines questions d'efficacité économique soulevées par la combinaison ou l'arbitrage entre instruments.

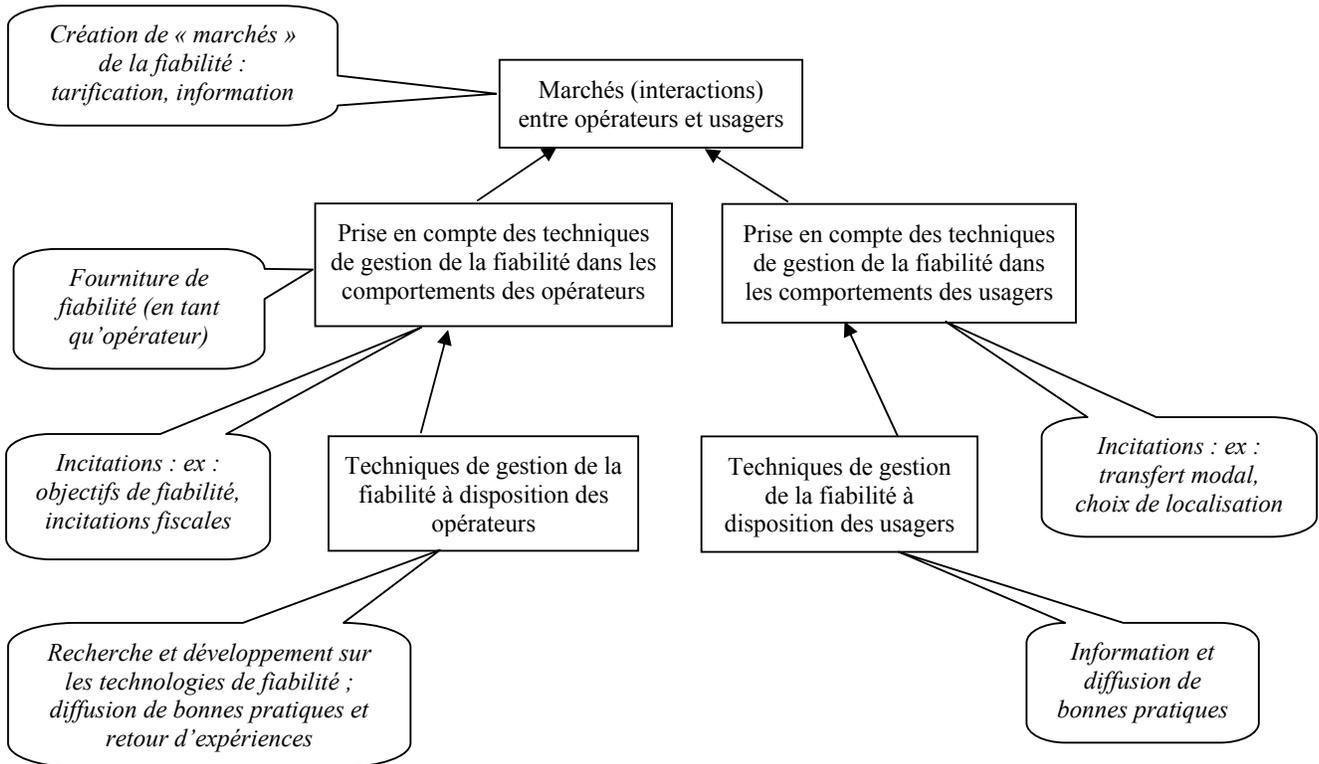
3.1. Typologie des interventions publiques en matière de fiabilité

Les instruments d'intervention sur la fiabilité sont divers. Ils recouvrent l'ensemble des mesures techniques, économiques, réglementaires, organisationnelles ou d'information. Du point de vue de l'intervention publique, il est important de distinguer deux points de vue :

- celui des « techniques » de fiabilité, qui recouvrent l'ensemble des mesures (de conception des infrastructures, de sécurité des équipements et des matériels, de procédures d'alerte et de gestion de crise), destinées à améliorer l'efficacité ; schématiquement, l'analyse de l'efficacité économique de ces mesures relève d'une analyse coûts-bénéfices classique : il s'agit de mettre en regard les coûts de ces techniques d'une part ; l'amélioration de la fiabilité, mesurée par la réduction des impacts de la non-fiabilité (i.e. essentiellement des temps de retard) ;
- celui des instruments de régulation, qui consistent à faire adopter, par les acteurs économiques maîtrisant la fiabilité, les meilleures techniques au meilleur coût ; ces instruments de régulation peuvent consister en des réglementations (sur le niveau de fiabilité), des incitations économiques (bonus / malus sur le niveau de fiabilité), des obligations vis à vis des usagers (compensations financières par exemple), etc... Dans ce contexte, l'analyse de l'efficacité de l'intervention publique est plus complexe, notamment parce que les techniques d'amélioration de la fiabilité ne sont pas a priori connues par la puissance publique, qui ne connaît que les instruments (réglementaires, tarifaires) ; il s'agit alors d'approcher le coût :
 - o des techniques de fiabilisation ;
 - o des coûts économiques des instruments d'intervention publics destinés à faire adopter par les opérateurs des techniques de fiabilisation.

Le schéma suivant illustre la distinction entre ces différents niveaux, en mettant en évidence :

- les « techniques » de fiabilité, à disposition des opérateurs
- les politiques publiques, destinées :
 - soit à favoriser le progrès technique et sa diffusion ;
 - soit à inciter les opérateurs ou les utilisateurs à adopter des « techniques » de fiabilité ;
 - soit à mettre en relation l'offre et la demande de fiabilité, en créant des substituts au marché (notamment via la tarification ou l'information)

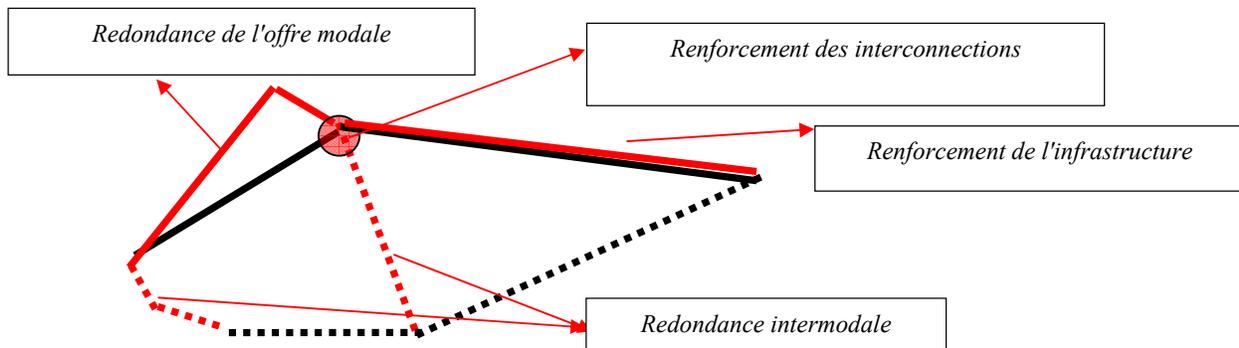


Les instruments « techniques » peuvent porter sur l'offre et sur la demande de fiabilité.

L'offre de fiabilité se produit à chaque étape du processus de production du service de transports, i.e. la conception, la construction et l'exploitation des infrastructures, des matériels et des systèmes d'information. Par ailleurs, la fiabilité s'entend au sens du réseau de transports. L'offre de fiabilité peut donc faire intervenir plusieurs éléments de réseaux, soit complémentaires (trajets multimodaux), soit substituables.

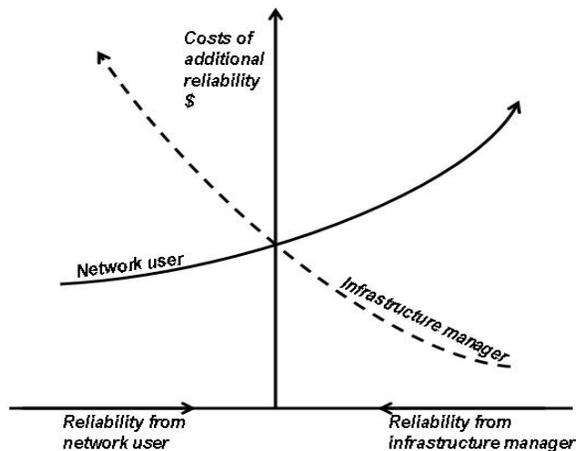
Améliorer l'offre de fiabilité suppose de réduire les probabilités de rupture ou de défaillance de service. Ceci peut s'opérer soit en réduisant les aléas (logique de prévention), soit en réduisant la vulnérabilité du système de transports aux aléas (logique de protection).

Graphique : améliorer la fiabilité à l'échelle des réseaux



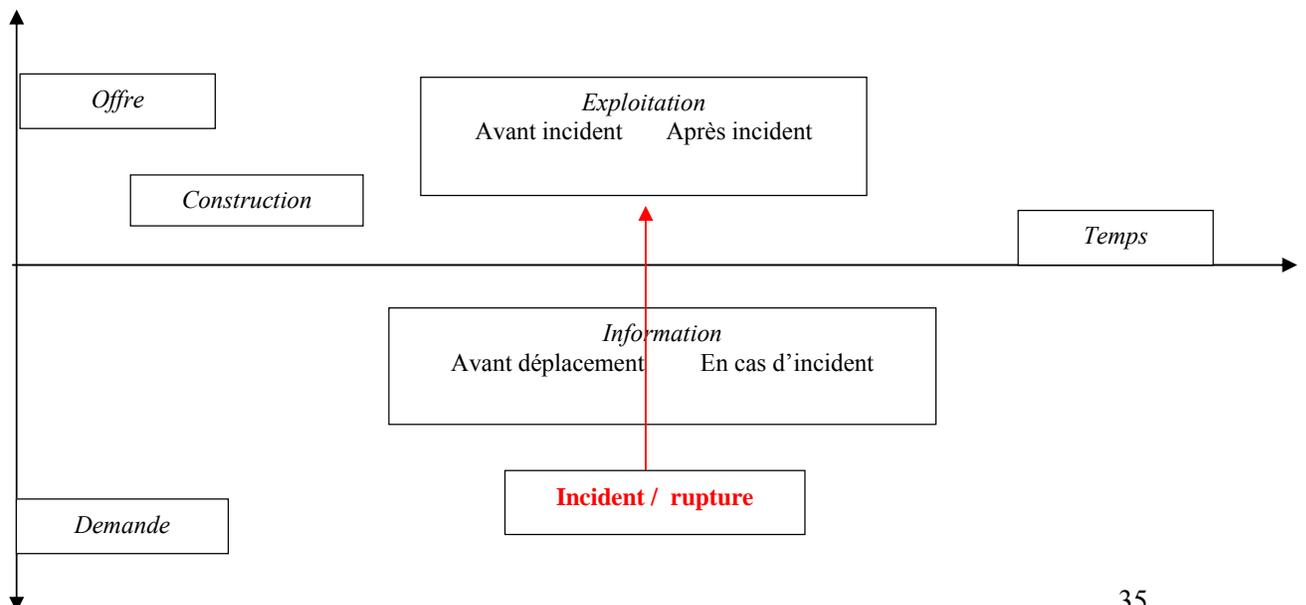
La fiabilité peut également être améliorée au niveau des usages des transports : les usagers peuvent réduire leur vulnérabilité aux ruptures de service en prévoyant des parcours, des modes de transports ou des organisations de substitution en cas de défaillance ; ils peuvent également opter pour des usages des transports statistiquement moins vulnérables (par exemple en localisant leurs activités dans des zones où l'offre de transport est redondante, ou bien les aléas sont moindres).

Certains usages des transports, pour lesquels l'impact de la défaillance est trop coûteux, peuvent s'effacer. La demande peut également être modifiée en modifiant la valeur attribuée par les usagers à la fiabilité, qui est pour l'essentiel liée à leur capacité à s'organiser en situation de défaillance ou de rupture.



La gestion des situations de rupture est également un instrument des politiques de fiabilité.

La fiabilité porte essentiellement sur la continuité du service. La gestion des situations d'urgence vise à réduire la durée de défaillance ou de rupture et à minimiser les impacts pendant la rupture. Elle contribue à la fiabilité du service au même titre que la prévention et la protection. La gestion des situations d'urgence porte à la fois sur l'offre (exploitation des réseaux) et la demande (report ou modification des itinéraires)



Les politiques publiques de fiabilité renvoient à quatre principaux rôles ou posture de l'Etat : exploitant, gestionnaire de crise, régulateur, informateur.

En termes de politiques publiques, l'Etat présente plusieurs postures pour intervenir dans la gestion de la fiabilité :

- pour certaines infrastructures et services de transports, l'Etat est lui-même exploitant : il se situe donc dans la posture d'un opérateur de transports cherchant à optimiser les mesures techniques et organisationnelles de fiabilisation, pour satisfaire la demande qui s'adresse à lui ;
- l'Etat peut mettre en place des politiques publiques de régulation de la fiabilité, destinées à corriger les défaillances de marchés (cf. ci-dessous)
- l'Etat est également l'opérateur principal des services d'urgence ; à ce titre, il maîtrise donc un des facteurs permettant de minimiser le temps de rupture de service ; par ailleurs, il peut avoir à prescrire des niveaux de fiabilité pour l'acheminement de ces services d'urgence ;
- l'Etat est un intervenant essentiel de l'information publique en situation de défaillance ou de rupture, soit en tant que prescripteur auprès des opérateurs, soit en tant que coordinateur de l'information des différents opérateurs, soit en tant que producteur d'informations (sur ses propres services de transports, sur les conduites à tenir par les usagers, sur le niveau de risque prévalant en situation d'urgence, etc..).

Les politiques publiques de fiabilité comportent deux principaux niveaux d'intervention : l'identification des défaillances et la régulation des « marchés » de fiabilité.

L'identification des défaillances de marchés vise à cibler l'intervention publique là où elle est justifiée : ceci suppose d'une part d'identifier les dysfonctionnements de marchés qui conduisent à ce que les opérateurs ne fournissent pas spontanément le niveau de fiabilité attendu par les usagers ; ceci suppose également de connaître et faire connaître les aléas et vulnérabilités : l'information en question étant largement un bien public, l'Etat est en général le mieux placé pour en assurer la production.

La régulation des marchés de la fiabilité vise à corriger les défaillances identifiées, qui s'apparentent à des externalités : les acteurs ne tiennent pas compte, dans leurs comportements, de la valeur de la non-fiabilité pour les autres acteurs, notamment les usagers. Pour l'intervention publique, il s'agit alors d'internaliser dans ces comportements, la valeur de la fiabilité.

La régulation des « marchés » dispose de trois principaux types d'instruments : réglementation, incitations économiques, information.

La régulation des comportements d'offre de fiabilité des opérateurs peut, schématiquement, utiliser les trois principaux types d'instruments de régulation des externalités : réglementation, incitations économiques, information.

La réglementation vise à fixer aux opérateurs un niveau de fiabilité, qui peut être défini soit en valeur moyenne, soit par une distribution de probabilité, soit par des valeurs minimales de fiabilité (service minimum), soit par des valeurs maximales admissibles de non-fiabilité (durée maximum d'interruption). La réglementation peut également porter sur les moyens de production de la fiabilité, soit au niveau de la fiabilité technique des équipements et matériels, soit au niveau des moyens dédiés spécifiquement à la fiabilité (redondances, moyens de secours, organisation de gestion de crise,...).

Les incitations économiques visent à attribuer une valeur à la fiabilité, qui soit alors prise en compte dans les choix de production et de consommation de transports, au même titre que d'autres attributs du service de transports.

Les instruments d'information visent à faire connaître aux usagers le niveau de fiabilité des opérateurs, afin que ce paramètre de qualité de l'offre soit pris en compte dans leurs choix. L'information publique sur la fiabilité peut porter soit sur le niveau de fiabilité ressenti par les usagers, soit sur les moyens dédiés par les opérateurs à la fiabilité.

L'intervention publique peut également modifier la demande de fiabilité, notamment en jouant sur l'information

Outre les trois instruments d'intervention publique précédent, l'Etat peut également mettre en place des politiques qui visent à modifier la valeur attribuée par les usagers à la fiabilité, en les incitant à développer des comportements qui les rendent moins vulnérables aux défaillances et aux ruptures de services (se localiser en des points où les réseaux de transports sont redondants, adopter des organisations de la production moins dépendantes des flux tendus, adopter des organisations de la vie professionnelle et sociale moins dépendante de la ponctualité des transports).

Ces politiques visent, schématiquement, à desserrer le cercle « vicieux » :

- plus d'offre de fiabilité
- plus d'anticipations de fiabilité
- moins d'auto-protection contre la non-fiabilité
- plus de vulnérabilité
- plus de demande de fiabilité.

Dit autrement, l'information publique sur les vulnérabilités permet de diminuer les attentes de fiabilité vis à vis des transports, notamment en développant la mémoire et la culture du risque.

Les tableaux ci-dessous illustrent par des exemples les différents types d'instruments de gestion de la fiabilité.

Instruments « techniques » portant sur différents facteurs d'offre et de demande de fiabilité

Offre de fiabilité
<i>Fiabilité des infrastructures</i> Capacité des infrastructures, dont voies de dégagement Résistance des ouvrages d'art Résistance des voies et chaussées Localisation des infrastructures (en fonction des aléas) Systèmes de détection des anomalies et des défaillances
<i>Fiabilité des réseaux</i> Redondance des segments Capacité et résistance des points d'interconnexion et pôles d'échanges Localisation des points d'interconnexion et pôles d'échanges (en fonction des aléas)
<i>Fiabilité des services</i> Résistance des matériels et systèmes d'exploitation Redondance de l'offre de matériel et des systèmes d'exploitation Localisation des systèmes d'exploitation (en fonction des aléas) Organisation des correspondances Systèmes de gestion des hyper-pointes (slots)
<i>Gestion des situations de rupture</i> Moyens, organisation et localisation des dispositifs de secours aux personnes Systèmes d'alerte et de suivi des incidents Règles de priorisation des trafics en situation de rupture Volume et localisation des moyens de secours et de réparation des infrastructures et matériels
Demande de fiabilité
Organisation de la production (dépendance aux flux tendus) Répartition modale de la demande (en fonction de la fiabilité des modes) Localisation de la demande (en fonction de la fiabilité de l'offre / des réseaux) Organisation des activités individuelles et sociales (dépendance à la fiabilité des transports). Capacités individuelles à gérer la non-fiabilité (organisation du travail, de la production, des activités sociales)

Instruments d'intervention publique

Régulations publiques
<i>Réglementation</i> Prescription de niveaux de fiabilité (régulation par les résultats) (% de retards admissibles ; retard maximum admissible ; service minimum ;) Prescription de moyens (capacité des infrastructures; résistance des matériels ; redondances ; systèmes de détection d'anomalies et d'alerte ; moyens de secours disponibles ;.....) Prescription d'alerte ou de préavis (délai d'information ou de préavis, moyens et modalité d'information préalable des usagers,...) Prescription de traitement des ruptures (délai maximum de remise en service ; moyens et modalités d'information aux usagers pendant la rupture)
<i>Incitations économiques</i> Pénalités pour non-fiabilité (écart par rapport aux objectifs contractuels ou réglementaires) Obligations de dédommager les usagers (par rapport aux objectifs contractuels ou réglementaires) Incitations portant sur les facteurs de production spécifiques à la fiabilité : redondances ; moyens d'alerte, de secours et de suivi des ruptures (NB : il peut s'agir d'incitations positives – subventions publiques ; ou négatives – taxes ou pénalités pour insuffisance de moyens) Incitations (tarification) portant sur les facteurs précurseurs de non-fiabilité : hyper-congestion
<i>Information sur les pratiques de fiabilité, labélisation, certification</i> Publication des résultats de fiabilité des opérateurs Certification des moyens spécifiques de fiabilité (redondances, systèmes de détection des anomalies, moyens et organisation pour la gestion des ruptures) Certification de la résistance des facteurs de production aux défaillances (infrastructures, ouvrages d'art, matériels)

Instruments publics d'information
<i>Information sur les pratiques de fiabilité, labélisation, certification (cf. ci-dessus)</i>
<i>Information pendant les situations d'urgence</i> Etendue géographique de l'interruption de service Itinéraires, modes de transports alternatifs Durée prévisible de l'interruption Préconisations d'attitudes à tenir (sécurité des personnes)
<i>Information sur les aléas et vulnérabilités</i> Identification des infrastructures critiques / vulnérables Publication des statistiques de fiabilité des modes de transports, segments de réseau, périodes

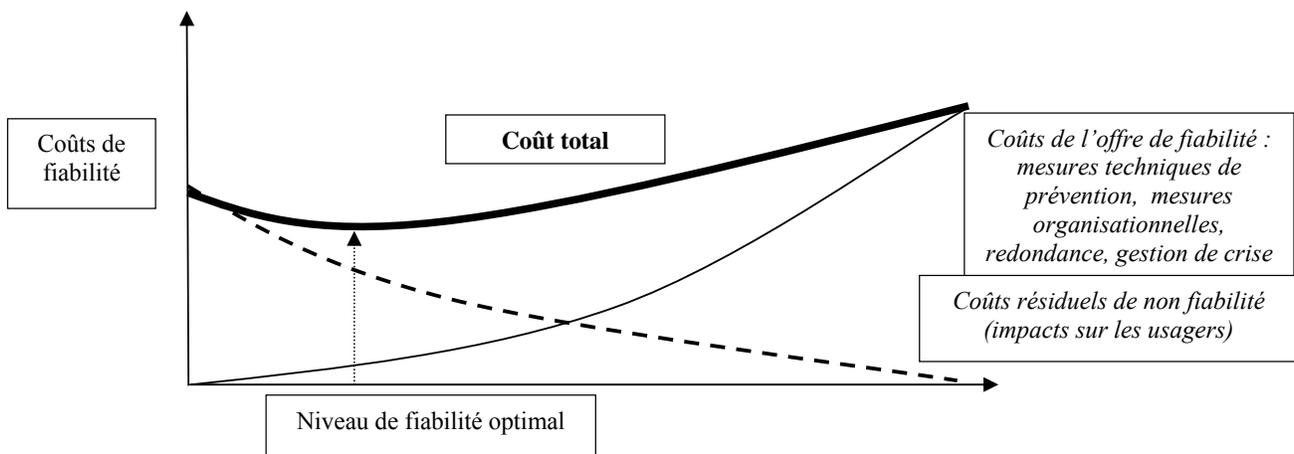
3.2. Régulation publique de la fiabilité : principales questions d'efficacité

Les questions d'efficacité de l'intervention publique peuvent, schématiquement, s'articuler autour de deux questions :

- comment obtenir un niveau de fiabilité donné au meilleur coût (logique coût-efficacité) ?
- comment s'assurer que ce niveau de fiabilité reflète ses avantages pour les usages des transports (logique coût-avantages) ?

Par ailleurs, face à la diversité des instruments disponibles, l'intervention publique est conduite à s'interroger sur le choix des instruments les mieux adaptés pour intégrer la fiabilité dans les comportements des marchés.

Comme pour la correction d'autres types d'externalités, l'intervention publique en faveur de la fiabilité est de fixer un niveau proche de celui qui égalise les coûts marginaux de production de cette fiabilité, avec ses avantages marginaux.



Enfin, il convient de s'intéresser plus spécifiquement aux situations où l'intervention des pouvoirs publics dépasse le strict cadre de la régulation du « marché » de la fiabilité, et notamment lorsque la fiabilité est co-produite par les opérateurs de transports et les pouvoirs publics, ces derniers ayant notamment en charge la maîtrise de certains risques extrêmes ou le traitement des situations d'urgence. Ces deux situations-types sont abordées respectivement dans la partie 4 relative aux infrastructures critiques et dans la partie 5 relative à la gestion des défaillances du service de transports.

3.3. Efficacité des instruments d'intervention publique : éléments qualitatifs

Réglementation de la fiabilité

Comme pour les autres types d'intervention publique, le premier enjeu d'efficacité réside dans la mesure du coût d'atteinte de l'objectif de fiabilité par les opérateurs, et dans la mesure de coût de non-fiabilité pour les usagers.

Par ailleurs, de façon générale, les opérateurs disposent d'une panoplie de moyens pour fournir un niveau donné de fiabilité : résistance des infrastructures et matériels, redondances, systèmes de détection, moyens de secours,.... Il est donc souvent préférable de fixer des objectifs de fiabilité en termes de résultats, laissant les opérateurs libres d'optimiser les moyens, ce qui permet d'atteindre l'objectif de fiabilité au meilleur coût. Cependant, l'intervention publique peut, dans certains cas, combiner une approche par les résultats, et une approche par les moyens, si certains de ces moyens sont aisément identifiables et mesurables, et nécessitent une coordination entre les opérateurs, et avec les moyens publics de fiabilité : il en est ainsi des dispositifs d'alerte et des moyens de gestion des situations d'urgence.

En pratique, les objectifs quantifiés de fiabilité sont les instruments de politique publique les plus fréquemment utilisés, notamment dans les transports publics. De tels objectifs quantifiés peuvent prendre différentes formes, selon l'indicateur de fiabilité retenu (% de parcours à moins de X retards le plus souvent). Ces objectifs peuvent avoir pour effet bénéfique de favoriser les discussions entre régulateurs et opérateurs de transports sur la fiabilité, sur une base mesurable et dont les coûts et les bénéfices pour les usagers peuvent être évalués. Ces objectifs peuvent également être utilisés dans le management interne des opérateurs de transports pour sensibiliser les salariés sur la fiabilité. Cependant, ces instruments peuvent également avoir pour effet pervers de focaliser les comportements sur des objectifs qui ne reflètent pas les attentes des utilisateurs. Ceci peut s'illustrer sur l'exemple des objectifs de ponctualité des trains qui conduisent soit à diminuer la vitesse commerciale affichée, soit à diminuer l'efficacité des correspondances (le train en correspondance n'attend pas l'arrivée tardive du train entrant).

Incitations économiques relatives à la fiabilité

Là aussi, l'enjeu pour l'intervention publique réside à la fois dans la détermination de la valeur de la fiabilité (i.e. du coût de la non-fiabilité pour les usagers), et dans le choix du facteur sur lequel doit porter l'incitation économique. Ce facteur peut être le niveau de fiabilité ressenti par l'utilisateur (délais de retard par exemple), soit un des moyens de production spécifiques de la fiabilité (redondances, moyens de secours), soit un facteur corrélé au niveau de fiabilité, par exemple le niveau de saturation ou d'hyper-congestion des capacités.

En pratique, les réglementations et les incitations économiques peuvent être combinées, par exemple par de dispositifs d'incitations centrés sur un niveau « cible » de fiabilité ou de moyens dédiés à la fiabilité. Dans ce cas, l'intervention publique doit se prémunir contre les effets de seuil, qui peuvent conduire par exemple, à ce que le niveau de fiabilité tende artificiellement vers le seuil (cf. tendance à ce que les retards observés tendent vers le seuil

d'indemnisation des usagers). De façon générale, des systèmes d'incitations continues (type bonus-malus) sont préférables aux systèmes discontinus qui génèrent ces effets de seuil.

Par ailleurs, la mise en place d'incitations économiques doit souvent se fonder sur des règles de responsabilité des opérateurs en matière de fiabilité. En particulier, la définition des cas de non fiabilité considérés comme « de force majeure », qui exonèrent les opérateurs de leur responsabilité économique, est souvent un point délicat pour la mise en place d'incitations, notamment parce qu'il peut interférer avec les règles de responsabilité utilisées pour le fonctionnement des assurances et/ou de la responsabilité civile.

Enfin, il faut noter que les coûts administratifs d'un système de tarification des défaillances (i.e. de dédommagement des usagers) peuvent être élevés, s'il s'agit d'identifier les usagers touchés par les défaillances et de mesurer le coût des défaillances pour chacun de ces usagers.

Information publique sur la fiabilité

L'information publique est plutôt adaptée aux situations où la concurrence entre opérateurs ou entre modes de transports est significative. L'information publique sur la fiabilité, pour être pertinente, doit se fonder sur des dispositifs qui en assurent la sincérité.

Pour la fiabilité observée par les usagers, l'enjeu consiste principalement à mettre en place un dispositif objectif de mesure de la fiabilité ; cependant, le niveau de fiabilité « quantitatif » (distribution statistique des retards par exemple) est parfois insuffisant pour donner une image complète de l'impact de la non-fiabilité sur les usagers, qui dépend également des conditions de traitement de la situation de rupture (informations aux usagers, conditions de confort pendant la rupture) et des conséquences sur l'organisation des parcours et des activités (correspondances notamment). Dans ce cas, la mise en place d'un organisme d'information indépendant des opérateurs peut concourir à enrichir l'information sur la fiabilité, tout en conservant son objectivité.

Pour l'information portant sur les moyens mis en oeuvre par les opérateurs pour assurer la fiabilité, la démarche classique de certification des pratiques sur la base d'un référentiel public, permet a priori de produire une information sincère pour les marchés.

Externalités entre acteurs publics et privés

Les pouvoirs publics sont eux-mêmes multi-acteurs : Etat ou collectivités locales ; autorités organisatrices ou opérateurs ; services de secours ou services techniques ; les intérêts de ces différents acteurs peuvent ne pas converger dans la gestion de la fiabilité, et tout particulièrement l'arbitrage entre prévention des risques et traitement des situations d'urgence. On peut noter également que, comme dans d'autres secteurs d'intervention publique, les acteurs qui décident et les acteurs qui payent ne sont pas toujours confondus. La gestion de crise est par exemple une dépense pour lesquelles les règles de financement entre acteurs ne sont pas encore clairement définies.

Du fait que les intervenants sur la fiabilité sont nombreux et que le système de transports fonctionne en réseau, les questions de fiabilité recèlent de multiples externalités d'un acteur sur les autres. Dit autrement, le niveau de fiabilité d'un acteur définit en partie la fiabilité

d'ensemble du service. De même, les mesures de prévention ou de protection destinées à améliorer la fiabilité, bénéficient indirectement à plusieurs opérateurs. Certaines mesures participant à la fiabilité, telles que l'organisation des services d'urgence constitue en partie, sous l'angle économique, un bien public. Pour autant, toute gestion de l'urgence ne relève pas d'un bien public, et, souvent, la gestion par les opérateurs eux-mêmes des situations de crise, est plus responsabilisante.

Les parties 4 et 5 ci-après illustrent certaines des questions soulevées par le partenariat entre opérateurs privés et publics, notamment sur la question de l'information, sur les vulnérabilités d'une part, sur la gestion de crise d'autre part.

4. Identification des infrastructures critiques : éléments d'analyse économique

4.1. Principes d'identification des infrastructures critiques

Les infrastructures critiques peuvent être définies comme les facteurs de production du service de transports dont l'indisponibilité générerait des coûts pour la société et l'économie considérés comme inacceptables. La notion d'indisponibilité sous-jacente à cette définition constitue une des modalités de non-fiabilité évoquées ci-dessus : elle renvoie à des événements « extrêmes », c'est à dire de faible probabilité et de fort impact (en termes de temps de rupture ou d'activités touchées).

Les infrastructures de transports, physiques ou immatérielles, sont exposées à une multiplicité d'aléas (risques naturels, risques industriels, risques terroristes, risques sanitaires). Certains de ces aléas sont difficiles à probabiliser et à prévoir (risques industriels, risques terroristes). De plus, les infrastructures de transports sont parfois soumises à des conjonctions d'aléas (accidents industriels consécutifs à un aléa naturel ou une attaque terroriste). Enfin, les aléas peuvent être corrélés aux impacts qu'ils engendrent : les menaces intentionnelles sont de plus en plus clairement liées aux impacts économiques des attentats (les objectifs visés ne sont pas seulement les plus vulnérables, mais aussi ceux dont la destruction est la plus coûteuse pour l'économie). La probabilité d'aléas conjoints est également liée à la densité des activités économiques, donc à la fois au coût des infrastructures de transports, et à l'impact économique de leur rupture.

L'identification des infrastructures critiques doit tenir compte de cette imbrication croissante des aléas, entre eux et vis à vis des impacts. C'est pourquoi l'analyse de risque classique (aléa → vulnérabilités → conséquences) ne s'applique pas directement.

Dans la plupart des politiques nationales (cf. infra), l'identification des infrastructures critiques s'intéresse en premier lieu à l'impact de la rupture de l'infrastructure sur l'économie et la société. L'identification des infrastructures critiques « renverse » alors l'analyse de risque, en ciblant a priori la protection sur les infrastructures dont l'impact de la rupture est le plus élevé. L'identification des infrastructures critiques se fonde alors sur le schéma : conséquences (impacts) → vulnérabilité → protection. L'analyse de la vulnérabilité physique à chaque type d'aléas pris isolément (risques naturels, risques industriels, risques terroristes) se situe alors en aval, elle complète ou affine l'identification, et sert à dimensionner les politiques de protection.

Encadré :
comparaison des approches nationales du risque pour l'identification des infrastructures critiques

*Source : Eric OLLINGER, thèse professionnelle,
Mastère d'action publique, Ecole nationale des ponts et chaussées, juillet 2007*

Le concept d'infrastructure critique utilise une définition du risque en trois composantes :
Menace = scénarios possibles avec probabilités d'occurrence,
Vulnérabilité = probabilité de rupture de l'infrastructure dans le cas où un scénario donné se réalise,
Conséquences ou Dommages ou Sévérité = effets sur le pays de la rupture de l'infrastructure.

Approche « terrorisme » ou approche multirisques

Mais s'il y a accord sur la définition du risque, le type de risques à considérer ne fait pas l'objet d'un consensus : les risques naturels, les risques technologiques, les risques sanitaires, le terrorisme ? Deux écoles s'opposent : l'une concentre les mesures de protection sur la lutte contre le terrorisme, l'autre vise tous les risques, y compris le terrorisme conçu comme un risque parmi d'autres.

Approche centrée sur le terrorisme

Le Royaume-Uni place la protection des infrastructures critiques sous l'égide de sa Stratégie contre le terrorisme international (*strategy for countering international terrorism*, surnommée CONTEST). Les mesures conseillées aux entreprises sont des mesures de sûreté (verrous, alarmes, caméras de surveillance, limitation du nombre de points d'accès, protection du réseau informatique...), et la police joue un rôle central dans le dispositif.

Aux Etats-Unis également, la notion d'infrastructure critique s'est développée pour lutter contre le terrorisme. Son histoire est liée à celle du *Department of Homeland Security*. Ce n'est qu'en juin 2006 que le Plan de protection des infrastructures nationales (*National Infrastructure Protection Plan, NIPP*), a rompu avec cette tradition en évoquant une approche multirisques (*all-hazard*) incluant les risques naturels et technologiques.

Approche multirisques

Le Canada a une longue tradition d'approche multirisques remontant à 1948. Depuis cette date, il a toujours existé une agence, tantôt incluse dans le Ministère de la Défense Nationale, tantôt séparée, chargée de la préparation aux urgences civiles de tous types (risques naturels, accidentels ou intentionnels) – même si cette approche multirisques ne s'est pleinement développée qu'avec la fin de la Guerre froide. La politique d'infrastructures critiques (infrastructures essentielles, selon la terminologie locale) s'est naturellement développée dans la continuité de cette approche : elle est dirigée depuis décembre 2003 par le Ministère Sécurité Publique et Protection Civile Canada qui se donne pour mission de « *travailler à la sécurité du Canada sur tous les plans, allant des catastrophes naturelles aux crimes et au terrorisme* ».

La politique allemande de protection des infrastructures critiques est menée principalement par trois offices, parmi lesquels l'Office fédéral pour la protection des populations et la gestion des catastrophes (*Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe*, BBK) et l'Office fédéral de police criminelle (*Bundeskriminalamt*, BKA) constituent respectivement le pôle « risques traditionnels » et le pôle « terrorisme ». La coordination est assurée par le Ministère de l'Intérieur.

Cas particulier de la France

La France retient une approche multirisques tout en insistant sur la menace terroriste : le Code de la défense appelle les opérateurs gérant des points d'importance vitale à « *coopérer [...] à la protection desdits établissements, installations et ouvrages contre toute menace, notamment à caractère terroriste* ». Cependant, comme on l'a vu plus haut, la définition d'un point d'importance vitale mentionne quelques types de menace, et celles-ci sont toutes intentionnelles. De fait, la politique française de protection des infrastructures critiques (activités d'importance vitale) est centrée sur la menace terroriste, les autres risques faisant l'objet de politiques différentes (installations classées pour la protection de l'environnement pour le risque technologique, par exemple).

L'Union européenne, pour concilier des approches aussi différentes que l'approche britannique et l'approche allemande, ou encore la vision néerlandaise selon laquelle la menace « réchauffement climatique » est bien plus importante que la menace terroriste, est restée volontairement ambiguë. La communication de la Commission du 12 décembre 2006 stipule que : « *alors que la menace terroriste est considérée comme une priorité, la protection des infrastructures critiques se fondera sur une approche tous risques.* » La France peut donc se considérer dans la droite ligne du cadre européen sur ce point.

Une tendance au multirisques

En observant l'évolution dans le temps, on constate d'abord une faible influence du 11 septembre. Le terrorisme était déjà dans les préoccupations. Il a seulement été un accélérateur : le *Patriot Act* américain, voté à sa suite, a donné une véritable définition des infrastructures critiques. De même, les attentats de Londres et Madrid ont été un accélérateur pour la politique européenne d'infrastructures critiques.

Cependant, on constate aujourd'hui une tendance au multirisques : les Etats-Unis ont finalement opté pour cette approche dans le *NIPP*. Il semble que les catastrophes des ouragans Katrina et Rita de 2005 ne soient pas étrangères à ce choix. L'évolution du vocabulaire employé est à cet égard significatif. La notion de « menace », qui évoque d'abord des risques intentionnels (terrorisme), est désormais utilisée indifféremment pour tous les types de risque. De même, la frontière entre les notions de sécurité et de sûreté est gommée : en France, le terme « sécurité » recouvre désormais les deux notions dans tous les textes sur les activités d'importance vitale. Dans le présent document, quand il est question de sécurité, c'est toujours dans ce nouveau sens.

Du point de vue des politiques publiques, l'identification des infrastructures critiques s'intéresse aux impacts collectifs des ruptures de services. Ces impacts sont variés : vies humaines, santé, environnement, usages marchands et activités économiques, effets psychologiques. Une partie de ces impacts peut être exprimée en coûts économiques, mais pas la totalité. Dans les politiques nationales, la notion d'impacts est souvent très large (cf. infra), de manière à couvrir le plus d'effets indirects possibles d'une rupture de service.

Encadré : comparaison internationale des critères d'identification des infrastructures critiques

*Source : Eric OLLINGER, thèse professionnelle,
Mastère d'action publique, Ecole nationale des ponts et chaussées, juillet 2007*

Cet encadré présente une comparaison synthétique des concepts et méthodes utilisés pour l'identification des infrastructures aux Etats-Unis, en Allemagne, au Canada, au Royaume-Uni, par l'Union européenne, et en France.

Les concepts d'infrastructure critique : rappel des définitions

	Terminologie	Définition
France	point d'importance vitale	établissement, ouvrage ou installation dont le dommage ou l'indisponibilité ou la destruction par suite d'un acte de malveillance, de sabotage ou de terrorisme risquerait, directement ou indirectement : d'obérer gravement le potentiel de guerre ou économique, la sécurité ou la capacité de survie de la nation ; ou de mettre gravement en cause la santé ou la vie de la population
Allemagne	infrastructure critique (Kritische Infrastruktur)	des organisations ou installations qui ont une importance particulière pour la communauté nationale, et dont la défaillance ou la perturbation créerait des goulets d'étranglement durables dans l'approvisionnement, des dysfonctionnements importants de la sécurité publique ou d'autres conséquences dramatiques
UK	infrastructure nationale critique (critical national infrastructure)	les biens, services et systèmes qui servent de support à la vie économique, politique et sociale du Royaume-Uni et dont l'importance est telle que toute perte totale ou partielle ou perturbation pourrait entraîner la perte de nombreuses vies, avoir un sérieux impact sur l'économie nationale, avoir d'autres conséquences graves pour la communauté nationale, ou concerner directement le gouvernement de la nation
UE	infrastructure critique	les actifs ou éléments d'actif qui sont indispensables au maintien des fonctions sociétales critiques, notamment la chaîne d'approvisionnement, la santé, la sécurité et le bien-être économique ou social des citoyens
USA	infrastructure critique (critical infrastructure)	les systèmes et les biens, physiques ou virtuels, qui sont si vitaux pour les Etats-Unis que l'incapacité ou la destruction de tels systèmes ou biens aurait un effet débilant sur la sécurité, la sécurité économique nationale, la santé publique nationale ou la sûreté, ou toute combinaison de ces questions
Canada	infrastructure essentielle	les installations matérielles et informatiques, les réseaux, les services et les biens matériels dont la perturbation ou la destruction aurait de sérieuses conséquences pour la santé, la sécurité ou le bien-être économique des Canadiens et des Canadiennes ou pour le fonctionnement efficace des gouvernements au Canada.

Les notions qui caractérisent une infrastructure critique

Notion d'importance nationale

Dans toutes les définitions, les infrastructures critiques sont caractérisées par une notion d'« importance ». C'est dans ce sens qu'il faut entendre le mot « critique » : « d'une importance cruciale ». Pour certains, si le mot « *critical* » en anglais a bien ce sens, le mot « critique » en français ne l'a pas et l'expression « infrastructure critique » serait donc un anglicisme. C'est dans cet esprit que les Canadiens, amenés en vertu de leur loi sur les langues officielles à arrêter un terme anglais et un terme français équivalent, ont choisi de faire correspondre « *critical infrastructure* » au français « infrastructure essentielle ». Les Japonais, intéressés par ce concept qui n'existe pas en tant que tel dans leur pays, le traduisent généralement par « *jūyō-infura* », littéralement « infrastructures importantes ». L'Union européenne va plus loin : elle retient des infrastructures « indispensables » - critère difficile à évaluer.

La notion d'importance n'est pas opérationnelle si elle n'est pas assortie d'une échelle : il s'agit en l'occurrence du niveau national. Une infrastructure critique doit être d'importance nationale (ceci est valable partout même si le Royaume-Uni est le seul pays à inclure le terme national dans l'expression elle-même « infrastructure nationale critique »).

Notion de conséquences d'une rupture

La notion d'importance nationale est précisée dans les définitions données par chacun des cinq pays par une autre notion : celle de conséquences d'une rupture de service de l'infrastructure critique dans divers domaines. Seule la définition de l'Union européenne n'explicite pas ce « test » de la rupture.

La rupture envisagée est toujours provisoire ou définitive : « indisponibilité ou destruction » (France), « défaillance ou perturbation » (Allemagne) , « incapacité ou destruction » (Etats-Unis), « perturbation ou destruction » (Canada). Le Royaume-Uni va plus loin en parlant de « perte totale ou partielle ou perturbation », c'est-à-dire une rupture provisoire ou définitive, totale ou partielle.

Mais il est surtout essentiel de remarquer que les causes de la rupture ne sont pas mentionnées (sauf dans le cas français, où on parle d' « acte de malveillance, de sabotage ou de terrorisme », mais ceci correspond à une tradition historique reprise de textes antérieurs et laisse la place à un large éventail de causes possibles). Ainsi, tout critère lié à un scénario de rupture donné et à la vulnérabilité face à ce scénario est exclu.

Les domaines dans lesquels les conséquences d'une rupture de l'infrastructure critique doivent être évalués varient d'un pays à l'autre. Le tableau suivant tente de les synthétiser.

	Défense	Sécurité Sûreté	Gouvernement	Economie	Approvisionnement	Social, bien-être	Santé	Vies	Autres
France	x	x		x	x (survie)		x	x	
Allemagne		x			x				x
Royaume-Uni			x	x				x	x
UE		x		x	x	x	x		
USA		x		x			x		
Canada		x	x			x	x		

4.2. Enjeux du partenariat public-privé

La politique en matière d'infrastructures critiques est, dans la quasi-totalité des pays, fondée sur un partenariat entre les opérateurs de transports d'une part ; les pouvoirs publics d'autre part (cf. encadré). Ce partenariat couvre à la fois l'identification et la protection des infrastructures critiques.

Encadré :

Modes de partenariats public-privés pour la protection des infrastructures critiques

Source : Eric OLLINGER, thèse professionnelle,
Mastère d'action publique, Ecole nationale des ponts et chaussées, juillet 2007

Pour la mise en place des mesures de protection des infrastructures critiques, les principaux pays s'accordent pour miser sur un partenariat public-privé étroit.

Système « dur » (France)

Dans le système français, la politique est encadrée par une loi codifiée au Code de la défense et par un décret, selon lequel les opérateurs sont désignés d'importance vitale par le ministère responsable du secteur, doivent alors préparer un plan de sécurité d'opérateur incluant en annexe une proposition de liste de points d'importance vitale, puis doivent, une fois la liste validée, préparer un plan particulier de protection pour chaque point d'importance vitale.

La France est le seul pays à désigner les opérateurs avant les infrastructures, les autres pays désignant d'abord des infrastructures pour ensuite se tourner vers leurs opérateurs. Cette approche garantit que les opérateurs désignés ne se déroberont pas à leurs responsabilités. Il est cependant essentiel que la liste des opérateurs soit exhaustive.

Système de codécision (Etats-Unis, Canada)

L'approche américaine est plus médiane. Le gouvernement fédéral fixe les orientations à travers le *Department of Homeland Security*, mais il existe une arène de discussion et de codécision entre public et privé : des Conseils de coordination gouvernementale (*Government Coordination Councils, GCCs*) et des Conseils de coordination sectorielle (*Sector Coordination Councils, SCCs*) se réunissent régulièrement, en formations par secteur ou en formation intersectorielle, en un Conseil consultatif partenarial sur les infrastructures critiques (*Critical Infrastructure Partnership Advisory Council, CIPAC*).

Le système canadien n'est pas si avancé, mais il s'oriente également vers un modèle de concertation : les exploitants ont eu un rôle important dans l'élaboration du Plan National de Fiabilité des Infrastructures Essentielles (PNFIE) et de la Stratégie nationale de protection des infrastructures essentielles. Sans aller jusqu'à la codécision, l'idée est celle d'une approche concertée.

Système « coopératif » (Royaume-Uni, Allemagne)

A l'opposé de la France, le Royaume-Uni et l'Allemagne ont refusé de légiférer sur les infrastructures critiques. Les entreprises sont encouragées à mettre en place des mesures de protection et les administrations (CPNI au Royaume-Uni ; BBK, BSI et BKA en Allemagne) y jouent un rôle de conseil, voire de prestataire de services. Elles insistent sur l'intérêt que présentent pour les entreprises elles-mêmes la mise en place de mesures de protection. Il y a là un glissement vers un concept différent de celui d'infrastructure critique tel qu'il ressort des définitions (importance nationale et conséquences d'une rupture de service) : celui de continuité des activités (*business continuity*) de l'entreprise. Ceci peut poser un problème car les intérêts de l'entreprise ne recouvrent pas nécessairement les intérêts nationaux.

Les modalités du partenariat public-privé présentent des enjeux en termes d'efficacité des politiques publiques, que ce soit sur l'identification ou sur la protection.

Sur l'identification des infrastructures critiques, le partenariat entre les opérateurs et les pouvoirs publics prend des modalités différentes dans les principaux pays. Cependant, ce partenariat laisse partout une grande autonomie aux opérateurs pour identifier leurs infrastructures critiques. Ceci s'explique notamment par le souci de responsabiliser les opérateurs dans la protection de leurs actifs. Cependant, pour que ce schéma de « délégation » de la désignation des infrastructures critiques soit efficace, il faut que la répartition des rôles soit efficace, ce qui suppose notamment :

Pour les pouvoirs publics :

- qu'ils fournissent des éléments d'informations génériques et/ou publiques sur les aléas et les menaces (cartographie des aléas par exemple ; renseignements sur les modus operandi terroristes) ;
- qu'ils s'assurent que les vulnérabilités identifiées par les opérateurs tiennent bien compte des externalités citées ci-dessus ; à cet égard, les secteurs ou types de services pour lesquels les impacts socio-économiques d'une rupture diffèrent significativement des coûts privés pour les opérateurs, en raison d'externalités, appellent une intervention publique plus forte en termes d'identification des infrastructures critiques, par rapport aux secteurs où les externalités sont faibles et où, spontanément, les opérateurs sont incités par le fonctionnement des marchés, à identifier correctement leurs vulnérabilités au regard des coûts de rupture.

Pour les opérateurs :

- qu'ils utilisent l'information sur la vulnérabilité de leurs différents facteurs de productions, et de l'impact d'une rupture d'un de ces facteurs, sur le niveau de service ; cette information est a priori plus fine que celle des pouvoirs publics

Le principal enjeu des politiques publiques d'identification apparaît résider dans le fait que les impacts « publics » d'une rupture de l'infrastructure peuvent différer des effets « privés » ressentis par l'opérateur lui-même ; ces différences peuvent être liées :

- à l'existence d'externalités « de régime permanent » : un opérateur ne tient pas compte, dans ses choix de production « en régime permanent », d'un certain nombre d'impacts sur des usagers ou d'autres opérateurs, par ce que ces impacts ne sont pas reflétés par les prix du marché ; ainsi, la valeur socio-économique du service rendu par l'opérateur à ses usagers diffère de sa valeur privée, reflétée par les prix du marché ; cet effet est particulièrement sensible dans le secteur des transports, en raison de l'existence d'externalités (environnementales, de congestion) et de subventions publiques à l'offre et à la demande ;
- à l'existence d'externalités « de rupture » ou « de fiabilité », qui traduisent le fait qu'à court terme, en cas d'aléa, les impacts ressentis par les usagers ou les tiers, diffèrent de ceux que l'opérateur subit lui-même : par exemple, les ruptures de facteurs de production d'un opérateur donné peuvent affecter les conditions de production d'autres opérateurs (effets dominos), sans que ces interactions soient reflétées les prix de marchés ou les relations

contractuelles ; dans ce cas, les stratégies de protection des opérateurs ne sont pas collectivement optimales, puisqu'elles sous-estiment les impacts à court terme d'une rupture.

Un autre enjeu peut résider dans le fait que les services de transports remplissent des fonctions d'intérêt général pour la gestion des crises (acheminement des secours, évacuations), qui ne se traduisent pas en valeur marchande pour les opérateurs. Ces fonctions augmentent donc la valeur « collective » des infrastructures de transports et peuvent justifier une intervention publique dans le processus de désignation.

En termes de protection, le partenariat entre les opérateurs et les pouvoirs publics comporte schématiquement, deux principaux types de modalités :

- l'une portant sur la répartition des coûts de protection : dans cette modalité, un élément déterminant pour les politiques publiques est d'identifier d'éventuels écarts entre le niveau de protection spontanément offert par les opérateurs (en fonction des impacts « privés » de la rupture), et les impacts socio-économiques d'une rupture ; a priori, les infrastructures pour lesquelles les impacts socio-économiques d'une rupture diffèrent peu des coûts privés pour les opérateurs, ne nécessitent pas de participation publique significative en termes de protection ;
- l'autre portant sur une éventuelle spécialisation des compétences de protection, qui peuvent différer entre les pouvoirs publics et les opérateurs privés : schématiquement, les opérateurs peuvent être, à moyens égaux, plus efficaces que les pouvoirs publics pour protéger une infrastructure, du fait de leur meilleure connaissance de l'appareil de production, ou parce que cette protection face aux aléas extérieurs présente des synergies avec l'amélioration de la fiabilité « interne » de l'exploitation (cf. dispositifs de surveillance ou d'alerte permettant d'identifier les défaillances techniques, quelles qu'en soient les causes) ; mais les pouvoirs publics peuvent être plus efficaces, par exemple pour la gestion de la rupture de plusieurs infrastructures, de nature ou de secteurs économiques différents, situées dans une même zone, auquel cas l'efficacité réside essentiellement dans la coordination locale des interventions.

Les paragraphes précédents soulignent l'importance, pour les pouvoirs publics, de gérer les écarts qui peuvent exister entre la valeur collective et la valeur « privée » des ruptures de services de transports. Ces écarts se traduisent par des différences entre le périmètre des infrastructures considérés comme critiques du point de vue des opérateurs (qui ne tiennent pas compte des externalités), et le périmètre critique du point de vue collectif.

Les paragraphes ci-dessous présentent une approche formalisée de ces enjeux d'efficacité du partenariat public-privé dans l'identification et la protection des infrastructures critiques :

- dans un premier temps, l'approche s'intéresse à l'identification des infrastructures critiques en présence d'externalités de réseaux, qui se traduisent par un coût collectif de rupture de service supérieur au coût de rupture de chaque infrastructure ;
- dans un deuxième temps, l'approche s'intéresse à l'allocation optimale par les pouvoirs publics, d'un effort de protection entre différentes infrastructures ;

- dans un troisième temps, l'approche s'intéresse aux situations d'asymétrie d'information ; en effet, si les vulnérabilités et l'impact des ruptures sont davantage connus des opérateurs, ceux-ci peuvent adopter des comportements stratégiques, soit dans la protection des infrastructures (cf. phénomènes d'aléa moral dans l'assurance), soit dans l'identification des infrastructures critiques. Dans ce contexte, même si l'identification des infrastructures critiques est conduite en amont des politiques de protection, les opérateurs peuvent tenir compte, dans cette identification, des politiques de protection des pouvoirs publics, et désigner des infrastructures en fonction de la protection prescrite par les pouvoirs publics ;
- dans un quatrième temps, l'approche replace la question de la désignation et de la protection des infrastructures critiques dans le cadre plus général de la régulation de la fiabilité des transports, considérant que la rupture d'infrastructure critique constitue une modalité, parmi d'autres, de non fiabilité.

4.3. Identification des infrastructures critiques en présence d'externalités

Cette partie présente de façon simplifiée les enjeux liés à l'évaluation du caractère critique d'une infrastructure de transport, en présence d'externalités, notamment d'externalités de réseau.

En présence de telles externalités, lorsque les opérateurs évaluent spontanément le caractère critique de leurs infrastructures de transports en fonction du coût de rupture qu'ils ressentent directement (i.e. la perte de recettes commerciales), ils peuvent largement sous-estimer l'impact collectif de la rupture du service de transports et donc le caractère critique de l'infrastructure. En particulier, les coûts de congestion et d'environnement sur le réseau de délestage en cas de rupture ne sont pas intégrés spontanément dans les évaluations « privées » des opérateurs. Cette sous-estimation du caractère critique est d'autant plus forte que l'infrastructure potentiellement critique se situe dans un réseau où les itinéraires de délestages sont aisément congestionnés.

Il apparaît que, face à ce risque de sous-estimation du caractère critique des infrastructures par les opérateurs, une approche possible pour les politiques publiques est d'édicter des règles d'identification issues de l'évaluation socio-économique des projets, afin d'approcher la valeur économique collective d'une rupture. A défaut, une approche simplificatrice pourrait être de fonder l'identification des infrastructures critiques sur la valeur de l'investissement. En effet, en l'absence d'informations fines sur les impacts d'une rupture d'infrastructures sur les trafics et sur le réseau de délestage, et dans l'hypothèse où les choix d'infrastructures sont optimaux du point de vue de leurs avantages socio-économiques, le coût collectif de rupture est directement lié à la valeur de l'investissement consenti pour l'infrastructure en question.

Encadré

Evaluation du caractère critique d'une infrastructure de transports au travers des coûts de rupture : comportements des opérateurs gestionnaires et point de vue de l'intérêt collectif

Présentation simplifiée.

On considère, pour simplifier, une infrastructure linéaire de transports, gérée par un opérateur, caractérisée par :

- un trafic (annuel) Q
- une longueur L

Pour l'opérateur :

- un coût d'exploitation par unité de trafic c
- une recette d'exploitation par unité de trafic p

Pour les usagers :

- un temps de parcours t
- un coût kilométrique d'usage r

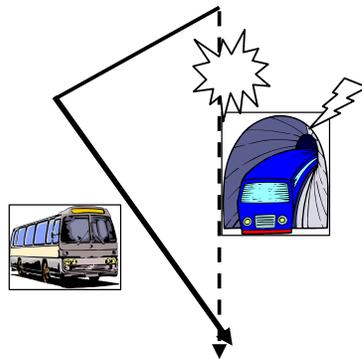
Pour la collectivité :

- un coût externe environnemental s par unité de trafic

Le coût de construction de cette infrastructure est supposé égal à I (en valeur actualisée).

La valeur du temps des usagers est supposée égale à h

On suppose que cette infrastructure connaît une rupture, interrompant le service durant une fraction δ de l'année, et générant un coût physique sur les infrastructures égal à $\alpha \cdot I$ (ce coût peut être interprété également comme le coût de réparation pour la restauration du service).



Si le service est interrompu sur cette infrastructure, le trafic est supposé détourné sur une autre infrastructure (qui peut être un autre mode, ou un autre parcours ; ou une route non concédée parallèle à une autoroute concédée, etc..).

Cette infrastructure de délestage est supposée gérée par un opérateur alternatif (qui peut être l'Etat), et caractérisée par :

- une longueur L'

Pour l'opérateur :

- un coût d'exploitation par unité de trafic c'
- une recette d'exploitation par unité de trafic p'

Pour les usagers :

- un temps de parcours t'

Par ailleurs, il faut tenir compte de ce que les usagers en place sur l'infrastructure de délestage, vont probablement connaître des conditions de circulation dégradée, du fait d'un surcroît de trafic détourné, donnant lieu à un surcroît de congestion. Il convient, dans l'analyse, d'ajouter un sur-coût de congestion sur l'infrastructure de délestage, qui dépend de la forme de la courbe débit-vitesse. Pour simplifier, on suppose que, pour les usagers en place, l'augmentation du temps de parcours est proportionnelle au trafic détourné de l'infrastructure rompue. Si Q' est le trafic en place sur l'infrastructure de délestage avant rupture de l'infrastructure critique, et Q le trafic détourné, on a un sur-coût de congestion égal à $\beta \cdot Q \cdot Q'$

Pour la collectivité :

- un coût externe environnemental s' par unité de trafic

La rupture du service pendant une fraction de temps δ se traduit, pour l'opérateur de l'infrastructure touchée, par un coût égal à la somme du dommage physique et de la perte de recettes commerciales nettes :

$$\alpha \cdot I + (p - c) \cdot \delta \cdot Q$$

Pour les usagers détournés de l'infrastructure rompue, le coût est égal à la différence de coût généralisé entre les deux alternatives de transports :

$$\delta \cdot Q \cdot [(p' - p) \cdot h \cdot (t' - t) + r \cdot (L' - L)]$$

Pour les usagers en place sur l'infrastructure de délestage, le surcoût de congestion est égal à :

$$h \cdot \beta \cdot \delta \cdot Q \cdot Q'$$

Pour l'opérateur tiers, le coût généré est égal au coût d'exploitation supplémentaire, net d'éventuelles recettes liées au trafic détourné.

$$(c' - p') \cdot \delta \cdot Q$$

Pour la collectivité, le coût total de la rupture de service est égal à :

$$\alpha \cdot I + \delta \cdot Q \cdot [h \cdot (t' - t) + h \cdot \beta \cdot Q' + r \cdot (L' - L) + (c' - c) + (s' - s)]$$

Ce coût est égal à la somme des coût pour les différents acteurs, augmenté de la variation des coûts externes environnementaux.

On peut comparer ce coût collectif, qui représente le critère « public » d'identification du caractère critique de l'infrastructure, au coût pour l'opérateur de l'infrastructure en question :

La différence entre ces deux coûts s'écrit :

$$\delta \cdot Q \cdot [h \cdot (t' - t) + h \cdot \beta \cdot Q' + r \cdot (L' - L) + (c' - c) + (s' - s) - (p - c)]$$

On peut noter qu'avant rupture, les usagers pouvaient choisir sans contrainte entre l'infrastructure critique et l'itinéraire de délestage, ce qui signifie que les coûts généralisés de transports sur les deux itinéraires étaient égaux :

$$h \cdot t + r \cdot L + p = h \cdot t' + r \cdot L' + p'$$

d'où

$$h \cdot (t' - t) + r \cdot (L' - L) - p = -p'$$

Ainsi, la différence entre le coût collectif de rupture et le coût « privé » pour l'opérateur s'écrit :

$$\delta \cdot Q \cdot [h \cdot \beta \cdot Q' + (s' - s) - (p' - c')]$$

$$= \delta \cdot Q \cdot [c' + h \cdot \beta \cdot Q' + (s' - s) - p']$$

La présentation ci-dessus suggère que l'écart entre les deux critères d'identification (public – privé) est égal à la différence entre :

- les coûts externes induits par la rupture (usure et exploitation des infrastructures + congestion + environnement) ;
- la tarification de cette infrastructure

Ainsi, si l'infrastructure de délestage présente une sous-tarification de l'usage (ce qui est généralement le cas s'agissant d'infrastructures routières locales et/ou non concédées), le coût collectif de la rupture de l'infrastructure est plus élevé que le coût pour l'opérateur. L'écart est d'autant plus élevé que cette sous-tarification est forte.

Encadré : lien entre coût collectif de rupture et valeur de l'infrastructure

On peut faire l'hypothèse que l'infrastructure, avant rupture, constituait un projet d'investissement optimal pour la collectivité. La valeur (actualisée) nette du projet est donc positive et, si les programmations d'investissements en infrastructures des transports sont optimisés, sa valeur actualisée nette doit être nulle (i.e. les avantages marginaux collectifs de ce projet sont égaux à ses coûts marginaux collectifs) :

$$-I + Q \cdot [h \cdot (t' - t) + h \cdot \beta \cdot Q' + r \cdot (L' - L) + (c' - c) + (s' - s)] = 0$$

Le coût collectif de la rupture s'écrit donc :

$$\alpha \cdot I + \delta \cdot Q \cdot [h \cdot (t' - t) + h \cdot \beta \cdot Q' + r \cdot (L' - L) + (c' - c) + (s' - s)]$$

$$=$$

$$(\alpha + \delta) \cdot I$$

Le coût collectif de la rupture (dans l'hypothèse d'une programmation optimale des investissements en infrastructures), s'exprime donc simplement en fonction de la valeur de l'investissement : il est égal à la somme de la fraction de l'investissement physiquement détruite ($\alpha \cdot I$) et de la fraction de temps de l'investissement indisponible ($\delta \cdot I$).

On peut tenter, à partir des formulations ci-dessus et des données disponibles sur les coûts d'usage des différents réseaux routiers en France¹, de quantifier l'écart entre l'approche de désignation sur la base de coûts « privés » de rupture, et l'approche par le coût collectif de rupture. Les évaluations ci-dessous considèrent la rupture d'une autoroute en zone urbaine d'une part, en rase campagne d'autre part, qui est supposée se traduire par un report de trafic sur la voirie locale, en la saturant. (Les évaluations ci-dessous portent, pour fixer les idées, sur le trafic de véhicules particuliers sur une section de 10 km, l'objet étant de comparer les approches « publique » et « privée » de l'identification des infrastructures critiques ; les coûts sont calculés pour des ruptures forfaitairement égales à 1 an ; on suppose que l'itinéraire de délestage n'est pas plus long que l'itinéraire rompu - ce qui est une hypothèse conservatrice).

¹ Cf. couverture des coûts d'infrastructures routières, approches par réseaux et sections-types du réseau routier national, ministère chargé des transports et ministère chargé de l'environnement, novembre 2003.

Le tableau suivant présente l'écart entre le coût de rupture public et le coût de rupture privé, et rapporte cet écart au coût de rupture privé (hors coûts de dégradation physique de l'infrastructure). Il montre que l'approche « privée » d'identification des infrastructures critiques peut conduire à une sous-estimation d'un facteur 2 du coût collectif de la rupture de service de transports, notamment du fait que les effets externes de congestion, d'insécurité et d'environnement sur la voirie de délestage, ne sont pas pris en compte spontanément par les opérateurs chargés d'identifier le caractère critique de leurs propres infrastructures.

		<i>Itinéraire de délestage</i>					<i>Itinéraire rompu</i>					
Trafic	Durée de rupture (an)	Long. du trajet	Coût d'usage	Congestion	Ecart d'effets externes (bruit + sécurité)	Recettes tarifaires	<i>Ecart de coût de rupture (public-privé)</i>	Long. du trajet	coût d'usage	Recettes tarifaires	coût de rupture privé (hors dégradation physique)	<i>écart de coût de rupture</i>
VL / jour	année	km	cE / VL.km	cE / VL.km	cE / VL.km	cE / VL.km	<i>millions d'euros</i>	km	cE / VL.km	cE / VL.km		<i>En %</i>
<i>Rupture de segment autoroutier en milieu dense se reportant sur la voirie rapide locale</i>												
100000	1	10	1	10	0	5,6	20	10	1	11	37	54%
<i>Rupture de segment autoroutier en milieu dense se reportant sur la voirie locale</i>												
60000	1	10	0,3	10	1,82	4,9	16	10	1	11	22	72%
<i>Rupture de segment autoroutier en rase campagne se reportant sur le réseau national ordinaire</i>												
20000	1	10	0,3	10	1,3	5,1	5	10	1	11	7	65%

4.4. Allocation optimale des moyens publics de protection des infrastructures critiques

Comme indiqué précédemment, les politiques publiques d'identification et de protection s'appuient en grande partie sur les opérateurs des infrastructures de transports dans leur désignation. Typiquement, la démarche, notamment retenue en France, est de désigner un opérateur, en raison de l'importance de ces activités, puis de l'engager à identifier lui-même les infrastructures les plus critiques pour le maintien de ces activités. Dans ce processus, les opérateurs vont désigner des infrastructures en fonction de l'impact de leur rupture sur leur activité. Si l'on néglige les externalités évoquées au point précédent, le critère retenu sera, pour l'opérateur, la valeur économique « privée » des impacts consécutifs à la rupture de l'infrastructure. Par ailleurs, l'opérateur met en place lui-même des mesures de protection de ses infrastructures, qui visent à en maximiser la disponibilité. Ainsi, l'opérateur va désigner comme critiques toutes les infrastructures pour lesquelles le coût marginal (privé) de protection est supérieur au coût (privé) de la rupture de service (probabilisée).

La désignation des infrastructures critiques par les opérateurs, s'assimile donc à une demande de protection adressée aux pouvoirs publics, lorsque la protection « privée » n'est plus avantageuse pour les opérateurs.

On peut noter ici que, si les pouvoirs publics n'ont pas d'avantages comparatifs vis à vis des opérateurs dans la protection des infrastructures, cette protection ne devrait pas être non plus avantageuse du point de vue de l'intérêt général.

En soi, la procédure de désignation des infrastructures critiques par les opérateurs, risque donc de conduire à ce que ceux-ci fassent prendre en charge par la collectivité, une protection que n'est pas avantageuse, ni du point de vue des opérateurs, ni du point de vue de la collectivité. En ce sens, la procédure de désignation par les opérateurs eux-mêmes, risque de conduire à une sur-évaluation du périmètre à protéger, par un phénomène de « défausse ». Il s'agit d'un effet qui va a priori dans le sens inverse de la sous-évaluation due à l'existence d'externalités (cf. supra). Cependant, il n'y a aucune raison que les deux effets se compensent : en présence d'externalités, ce sont les infrastructures dont la rupture présente le plus d'externalités qui sont sous-désignées ; dans le phénomène de défausse, ce sont les infrastructures dont le bilan marginal de la protection est négatif.

On doit cependant signaler que ce phénomène de « défausse » peut être justifié si l'on s'intéresse à un risque dont la maîtrise est du ressort des pouvoirs publics, tel que le terrorisme : ainsi, les opérateurs désignent aux pouvoirs publics des infrastructures dont la protection « privée » au regard des aléas non terroristes n'est pas rentable, charge à l'Etat de déterminer les infrastructures à protéger, parmi celles proposées, au regard de la menace terroriste. Cette approche est justifiée si les aléas sont non corrélés et les mesures de protection face aux différents aléas sont indépendantes (i.e. qu'elles ne présentent pas d'économie de gamme face à la diversité des aléas).

Pour réguler ce phénomène de « défausse » (qui peut être souhaitable), il faut donc que la procédure de désignation comporte un dispositif de régulation des demandes de protection. Un tel dispositif peut être de plusieurs natures : il peut s'agir d'une régulation « quantitative », où les pouvoirs publics sélectionnent les infrastructures à protéger, par une forme de contingentement ; il peut également s'agir d'une approche incitative, où les opérateurs sont responsabilisés (financièrement), à la protection des infrastructures désignées comme critiques, afin d'éviter le phénomène de « défausse » de la protection sur les pouvoirs publics.

Dans une approche quantitative, les pouvoirs publics vont devoir mettre en place des critères de sélection des infrastructures proposées par les opérateurs.

**Encadré : sélection par les pouvoirs publics des infrastructures à protéger :
formalisation simplifiée**

On suppose que la procédure de désignation par les opérateurs de leurs infrastructures critiques a donné lieu à une liste de N infrastructures, dont la valeur de rupture est $V_1, \dots, V_n, \dots, V_N$.

Les pouvoirs publics disposent de moyens de protection pour réduire la vulnérabilité, i.e. augmenter la disponibilité de ces infrastructures. Les moyens alloués à chaque infrastructure sont : $C_1, \dots, C_n, \dots, C_N$.

Si μ_n est la disponibilité (i.e. la probabilité que l'infrastructure n soit en service pendant la période considérée), on suppose qu'elle dépend positivement des moyens de protection alloués : $\mu_n(C_n)$

Le programme des pouvoirs publics consiste donc à maximiser la disponibilité des infrastructures compte-tenu des coûts de protection consentis :

$$\text{Max} \left\{ \sum_n [\mu_n(C_n) \cdot V_n - C_n] \right\}$$

En cas de contrainte sur les moyens de protection, ce programme s'écrit :

$$\text{Max} \left\{ \sum_n \mu_n(C_n) \cdot V_n \right\}$$

$$\text{s/c } \sum_n C_n < C$$

La formulation ci-dessus s'apparente aux programmes d'allocation de moyens de protection et de secours entre plusieurs sites, développés en recherche opérationnelle (cf. Owan et Daskin, strategic facility location, a review, European journal of operational research, 1998).

Sans chercher à formaliser plus avant, on peut noter que l'optimisation des moyens de protection est supposée tenir compte de l'ensemble des propositions d'infrastructures critiques formulées par les opérateurs, ce qui peut aller à l'encontre des modes de désignation séparés par secteurs ou séquentiels, qui ne permettent pas d'avoir une vue d'ensemble sur les infrastructures désignées. On peut noter également que les programmes précédents ne conduisent pas nécessairement à protéger, en cas de moyens contraints, uniquement les infrastructures dont le coût de rupture est le plus élevé ; il faut également tenir compte de la fonction coût-efficacité de la fonction de protection des différents sites.

4.5. Asymétrie d'information et comportements des opérateurs dans la désignation des infrastructures critiques.

Les pouvoirs publics peuvent ne pas détenir toute l'information nécessaire à une identification pertinente des infrastructures critiques. L'écart entre l'information privée et l'information publique peut venir de la connaissance des aléas et menaces pesant sur les infrastructures physiques, mais également de l'enchaînement des facteurs conduisant de l'indisponibilité d'une infrastructure physique à l'indisponibilité des services de transports.

L'asymétrie d'information liée au lien entre une rupture physique et un impact en termes de service offert peut être significative entre un opérateur et les pouvoirs publics ; cette information relève en effet souvent d'une connaissance intime de l'appareil de production de l'opérateur, des capacités de gestion interne des incidents et défaillances, et des attitudes des usagers. L'enchaînement des facteurs entre une rupture d'infrastructure et l'impact sur les usages est en effet suffisamment complexe pour receler de multiples asymétries d'informations :

Encadré : indisponibilité des infrastructures et des services : enchaînement des facteurs

L'indisponibilité s'entend comme le produit de différents facteurs :

- le taux d'indisponibilité physique du facteur de production (l'indisponibilité peut être partielle) ;
- la durée de l'indisponibilité ;
- la possibilité d'une substitution partielle par d'autres facteurs de production ;
- l'impact de cette indisponibilité sur le niveau de service offert (possibilités de détournement de trafic) ;
- l'effet de l'indisponibilité du service sur la demande (effets de psychose ou de désorganisation).

L'écart d'information entre opérateurs et pouvoirs publics peut créer une situation d'anti-sélection ou d'aléa moral, dont la régulation peut nécessiter une responsabilisation des opérateurs en cas de rupture de service.

Les phénomènes d'auto-sélection renvoient au fait que, par asymétrie d'information, les pouvoirs publics ne peuvent pas proposer des mesures de protection liées aux risques de rupture spécifiques à chaque opérateur ou type d'opérateurs. Ceci conduit à un coût de protection a priori trop élevé, qui tend vers celui qui aurait prévalu pour les opérateurs dont le risque et l'impact de la rupture est le plus élevé (cf. phénomènes d'anti-sélection en matière d'assurance automobile : les conducteurs aux comportements les plus risqués ne peuvent se distinguer qu'a priori, après accidents – cf bonus-malus ; ce mode de correction de l'antisélection est difficilement applicable aux risques extrêmes de faible probabilité). En matière de protection des infrastructures critiques, a priori, les opérateurs ne détiennent que peu d'informations spécifiques sur leur risque (il s'agit d'une information émanant davantage des pouvoirs publics). Pour autant, ces phénomènes d'auto-sélection ne sont pas totalement absents pour la protection des infrastructures critiques : la vulnérabilité du service au client final, par rapport à la rupture d'un des facteurs de production constitue une information détenue davantage par l'opérateur que les pouvoirs publics (cf. ci-dessus) ; avoir reçu des menaces ou détecté des signes précurseurs de vulnérabilité peut conduire à de l'auto-sélection d'opérateurs, qui préfèrent ne pas les signaler lors de l'inventaire des infrastructures critiques. La politique d'identification des infrastructures critiques peut même dissuader les opérateurs de signaler aux autorités publiques certaines vulnérabilités ou risques spécifiques.

Les phénomènes d'aléa moral renvoient au fait que les mesures de protection / prévention auxquelles les opérateurs peuvent recourir, peuvent être dissuadées si la prise en charge publique de la protection ou des dommages, ou leur assurance, ne tiennent pas compte du niveau d'effort de protection consenti par ces opérateurs. Cependant, ce type d'imperfections n'est pas nécessairement plus marqué pour la protection contre le terrorisme ou les risques majeurs, que pour d'autres risques faisant intervenir des mesures techniques et organisationnelles de protection (incendie, risques techniques, malveillance). Certaines de ces mesures de protection sont en effet de même nature que celles destinées à lutter contre le terrorisme ou les risques majeurs (accès sécurisé, alarmes) et l'effort consenti est donc mesurable. Les approches utilisées par les assureurs pour contrôler l'aléa moral pour ces risques « classiques » seraient donc a priori utilisables également pour les mesures de protection in situ contre le terrorisme. Pour les mesures de protection ex situ (renseignement), la question de l'aléa moral ne se pose pas puisque l'effort de protection ne relève pas de l'agent mais de la puissance publique.

Par ailleurs, il faut tenir compte de ce que, même si l'identification des infrastructures critiques est conduite en amont des politiques de protection, les opérateurs peuvent tenir compte, dans l'identification des vulnérabilités, des politiques de protection partagées avec les pouvoirs publics. Ainsi, schématiquement, si un opérateur anticipe que la désignation d'une infrastructure critique apporte, en plus des contraintes, des mesures de protection publiques, dont le bénéfice pour l'opérateur est globalement positif, cet opérateur peut être incité à désigner une infrastructure critique pour bénéficier d'une forme de « subvention » à la protection ; inversement, si la désignation entraîne une politique de protection (publique + privée) dont le bilan pour l'opérateur est négatif, il sera incité à sous évaluer, stratégiquement, la vulnérabilité de ses infrastructures, pour limiter le périmètre désigné comme critique.

4.6. Régulation des stratégies des opérateurs d'infrastructures critiques

Cette partie présente de façon schématique les différents motifs et instruments d'intervention publique permettant de réguler les stratégies des opérateurs dans la désignation et la protection de leurs infrastructures critiques.

Elle reprend, dans une formalisation simplifiée, les différents phénomènes ou questions d'efficacité décrits précédemment : existence d'externalités entre infrastructures ; allocation des moyens publics de protection ; liens entre comportements de désignation et efforts de protection.

Cette partie suggère que l'internalisation des coûts collectifs de rupture de service dans les prix de marché, incite, en théorie, les opérateurs à des comportements conformes à l'intérêt collectif. Cependant, l'existence d'autres externalités des transports que celle de fiabilité (environnement, sécurité routière, congestion) altère ce résultat : si ces autres externalités ne sont pas internalisées, l'internalisation de la fiabilité peut conduire à une baisse de l'offre sur certains segments du marché des transports, alors que cette offre peut être par ailleurs déjà sous-optimale au regard des externalités (cas des transports collectifs notamment). A priori, ce résultat est transposable aux dimensions de la fiabilité autres que la rupture « critique », notamment pour des défaillances de plus faible probabilité et d'impact plus limité.

Dans cette partie, on s'intéresse à un opérateur fournissant un service de transports, soumis à un aléa de rupture. Face à cet aléa, l'opérateur adopte une stratégie de protection, i.e. de réduction de la probabilité de rupture. Par ailleurs, on s'intéresse également dans cette partie au cas où la valeur sociale du service fourni par cet opérateur n'est pas égale à sa valeur privée reflétée par les prix de marchés. Comme indiqué précédemment, l'écart entre la valeur sociale du service et son prix de marché peut refléter soit des externalités de sécurité entre opérateurs ou entre réseaux (effets dominos par exemple), soit des externalités de rupture entre l'opérateur et ses usagers, ces derniers percevant un coût de rupture différent (en général supérieur) au coût de la rupture pour l'opérateur (notamment à la perte de recettes commerciales). Les pouvoirs publics disposent alors, pour réguler le comportement de l'opérateur, de deux types d'interventions : ils peuvent intervenir directement en participant à la protection, ou ils peuvent intervenir indirectement sur les prix de marchés, ce qui modifie alors le comportement de protection de l'opérateur, en modifiant le coût de rupture ressenti.

Niveau de protection sans externalités du service de transport.

On s'intéresse ici au cas simple où le service de transport ne présente pas d'externalité ; dit autrement, son prix reflète sa valeur sociale.

Encadré :
niveau de protection des infrastructures critiques : comportements des opérateurs et optimum collectif

On suppose que l'opérateur fournit un niveau de service Q , de prix p , générant un coût de production $c(Q)$.

Sans aléa de rupture, le programme de l'opérateur s'écrit :

$$\text{Max } \{ p \cdot Q - c(Q) \}.$$

Le niveau de service Q est affecté d'un aléa, de telle sorte que la probabilité de disponibilité du service est $\lambda < 1$.

On suppose que l'opérateur et les pouvoirs publics peuvent « protéger » le service, et ainsi réduire la probabilité de rupture, en consentant un coût de protection, respectivement de F pour l'opérateur, et S pour les pouvoirs publics. La fiabilité du service dépend alors positivement de l'effort de protection conjoint $F+S$: soit $\lambda(F+S)$.

Compte-tenu de l'aléa de rupture et des moyens de le réduire, l'optimum collectif de production et de protection du service de transport s'écrit :

$$\text{Max } \{ p \cdot \lambda(F+S) \cdot Q - c(Q) - (F+S) \}$$

Soit, à l'optimum « collectif » :

$$\begin{aligned} p \cdot Q \cdot (\partial \lambda / \partial F) - 1 &= 0 \\ p \lambda - (\partial c / \partial Q) &= 0 \end{aligned}$$

Ceci s'interprète comme l'égalisation de l'efficacité marginale de l'effort de protection et de la valeur du service :

$$1 / (\partial \lambda / \partial F) = p \cdot Q$$

et l'égalisation du coût marginal de production et du prix (probabilisé) du service :

$$\partial c / \partial Q = p \cdot \lambda$$

Spontanément, le comportement de l'entreprise s'écrit :

$$\text{Max } \{ p \cdot \lambda(F+S) \cdot Q - c(Q) - (F) \}$$

Soit, à l'optimum « privé » :

$$\begin{aligned} p \cdot Q \cdot (\partial \lambda / \partial F) - 1 &= 0 \\ p \lambda - (\partial c / \partial Q) &= 0 \end{aligned}$$

Les pouvoirs publics, qui maîtrisent directement l'effort de protection S , peuvent adopter deux attitudes :

a) une attitude « bénévole » de maximisation du bien-être collectif, auquel cas le programme s'écrit :

$$\text{Max } \{ p \cdot \lambda(F+S) \cdot Q - c(Q) - (S) \}$$

$$\text{Soit, à l'optimum : } p \cdot Q \cdot (\partial \lambda / \partial F) - 1 = 0$$

On note que les pouvoirs publics adoptent alors une attitude analogue à celle des opérateurs : égalisation de l'efficacité marginale de l'effort de protection et de la valeur du service : $1 / (\partial \lambda / \partial F) = p \cdot Q$
Cette attitude bénévole des pouvoirs publics conduit à un optimum collectif de protection.

b) une attitude sous contrainte budgétaire : $S < S^o$; voire $S = 0$

Dans ce cas, le comportement « privé » de l'opérateur reste optimal du point de vue collectif.

En l'absence d'externalités, l'intervention publique de protection n'apparaît pas déterminante, l'attitude spontanée (« privée ») de l'opérateur conduit à l'optimum collectif ; dit autrement, les coûts et impacts de la non fiabilité étant entièrement internes au programme de l'opérateur, celui-ci en tient entièrement compte, ce qui conduit un niveau de protection conforme à l'intérêt collectif, quel que soit l'effort de protection de l'Etat.

Protection de services de transports en présence d'externalités

La valeur sociale du service de transports diffère en règle générale de sa valeur privée.

On note v la valeur sociale du transport.

L'optimum collectif de production et de protection du service de transport s'écrit :

$$\text{Max } \{ v \cdot \lambda (F+S) \cdot Q - c(Q) - (F+S) \}$$

Soit, à l'optimum « collectif » :

$$v \cdot Q \cdot (\partial \lambda / \partial F) - 1 = 0$$

NB : ceci s'interprète comme l'égalisation de l'efficacité marginale de l'effort de protection et de la valeur collective du service : $1 / (\partial \lambda / \partial F) = v \cdot Q$

$$v \lambda - (\partial c / \partial Q) = 0$$

NB : ceci s'interprète comme l'égalisation du coût marginal de production et de la valeur unitaire (probabilisée) du service : $(\partial c / \partial Q) = v \cdot \lambda$

Spontanément, le comportement de l'opérateur de transport s'écrit :

$$\text{Max } \{ p \cdot \lambda (F+S) \cdot Q - c(Q) - F \}$$

Soit, à l'optimum « privé » :

$$p \cdot Q \cdot (\partial \lambda / \partial F) - 1 = 0$$

$$p \lambda - (\partial c / \partial Q) = 0$$

soit :

$$1 / (\partial \lambda / \partial F) = p \cdot Q$$

$$(\partial c / \partial Q) = p \cdot \lambda$$

En faisant l'hypothèse classique de coûts marginaux de production croissants et de rendements d'efficacité décroissants de l'effort de protection, le niveau de production et le niveau de protection de l'opérateur sont inférieurs aux niveaux collectivement optimaux (si la valeur sociale des transports est supérieure à la valeur privée).

L'attitude « bienveillante » de l'Etat qui consiste à maximiser le bien-être collectif compte-tenu de l'effort de protection publique S s'écrit :

$$\text{Max } \{ v \cdot \lambda (F+S) \cdot Q - c(Q) - (S) \}$$

Soit, à l'optimum :

$$v \cdot Q \cdot (\partial \lambda / \partial F) - 1 = 0$$

On note qu'en présence d'externalités, les pouvoirs publics adoptent une attitude de protection plus stricte que celle des opérateurs (égalisation de l'efficacité marginale de l'effort de protection et de la valeur collective du service de transports). Par contre, le niveau de production de l'opérateur de transport reste inférieur à l'optimum collectif : même une attitude bienveillante de protection publique ne suffit pas à restaurer l'optimum de production et de protection.

Régulation conjointe de la production et de la protection des services de transports

Pour restaurer un optimum, il apparaît donc nécessaire d'infléchir le comportement des opérateurs de transports, afin qu'ils prennent en compte la valeur collective du service de transports. Deux principaux types de politiques publiques sont envisageables : l'une s'intéresse à la valeur collective du service de transports en cas de rupture ; l'autre s'intéresse à la valeur collective de transports *per se*.

Dans le premier cas, l'instrument d'intervention typique consiste en une taxe sur la rupture de service : l'opérateur paye une pénalité, en cas de rupture de service, égale à la différence entre la valeur sociale et la valeur privée du service de transports.

Cette taxe ou pénalité s'écrit alors : $(v - p) \cdot [1 - \lambda(F+S)] \cdot Q$

Le programme de l'opérateur de transport s'écrit alors :

$$\text{Max } \{ p \cdot \lambda(F+S) \cdot Q - c(Q) - F - (v - p) \cdot [1 - \lambda(F+S)] \cdot Q \}$$

$$=$$

$$\text{Max } \{ v \cdot \lambda(F+S) \cdot Q - (v - p) \cdot Q - c(Q) - F \}$$

Soit, à l'optimum « privé » :

$$v \cdot Q \cdot (\partial \lambda / \partial F) - 1 = 0$$

$$v \lambda - (v-p) - (\partial c / \partial Q) = 0$$

soit :

$$1 / (\partial \lambda / \partial F) = v \cdot Q$$

$$\partial c / \partial Q = v \cdot \lambda - (v-p)$$

On note à cet égard que $\partial c / \partial Q = v \cdot \lambda - (v-p) < p \cdot \lambda$ (car : $(v - p) \cdot (\lambda - 1) < 0$)

L'intervention publique par pénalisation de la non-fiabilité restaure donc un comportement optimal de protection de l'opérateur : égalisation de l'efficacité marginale de l'effort de protection et de la valeur collective du service de transports. Par contre, le niveau de production du service de transports reste sous-optimal. Ceci signifie qu'en cas de pénalisation des ruptures ou des non-fiabilités, le niveau de production du service de transports est inférieur au niveau spontané de production sans intervention publique. Dit autrement, avec une pénalisation des ruptures de services, la stratégie de protection ou de fiabilisation des opérateurs est correcte, mais ils produisent encore moins de services de transports « de régime permanent » qu'en l'absence d'intervention publique.

Le deuxième type de politique publique, qui s'intéresse à la valeur du service de transports *per se*, vise à subventionner l'opérateur pour sa production, le montant de la subvention étant égal à l'écart entre la valeur sociale et la valeur privée du transport : $(v - p) \cdot Q$

Dans ce cas, le comportement de l'opérateur s'écrit :

$$\text{Max } \{ p \cdot \lambda (F+S) \cdot Q - c(Q) - F + (v - p) \cdot Q \}$$

Soit :

$$p \cdot Q \cdot (\partial \lambda / \partial F) - 1 = 0$$

$$p \lambda + (v - p) - (\partial c / \partial Q) = 0$$

Le comportement de production de l'opérateur consiste à égaliser le coût marginal de production à la valeur du service (probabilisée), augmentée de la subvention (nominale) :

$$\partial c / \partial Q = p \lambda + (v - p)$$

On note que la subvention de production conduit à un niveau de production supérieur au niveau optimal, car $\partial c / \partial Q = p \lambda + (v - p) > v \lambda$

Le comportement de protection reste déterminé par l'égalisation de l'efficacité marginale de l'effort de protection et de la valeur « privée » du service : $1 / (\partial \lambda / \partial F) = p \cdot Q$

A priori, ce mode d'intervention ne restaure pas, dans le comportement de l'opérateur, l'optimum collectif. Pour ce faire, il faut combiner les deux interventions publiques :

- subvention à la production
- pénalisation de la rupture ou de la non-fiabilité

Si l'on applique simultanément les deux types d'intervention :

- subvention à la production : $(v - p) \cdot Q$

- pénalisation de la rupture ou de la non-fiabilité : $(v - p) \cdot [1 - \lambda(F+S)] \cdot Q$

Dans ce cas, l'opérateur maximise le programme suivant :

$$\text{Max } \{ p \cdot \lambda (F+S) \cdot Q - c(Q) - F + (v - p) \cdot Q - (v - p) \cdot [1 - \lambda(F+S)] \cdot Q \}$$

=

$$\text{Max } \{ v \cdot \lambda (F+S) \cdot Q - c(Q) - F \}$$

Qui restaure le programme d'optimum collectif.

On peut noter ici qu'une subvention sur la valeur du service peut permettre de restaurer l'optimum, à condition qu'elle ne soit pas une subvention « ex ante » ou « nominale » sur la production, mais une subvention « ex post », qui tient compte de la fiabilité du service de transports ; dit autrement, les pénalités pour non fiabilité doivent être déduites de la subvention de fonctionnement « de régime permanent ».

La formalisation ci-dessus suggère que l'intervention publique visant à améliorer la fiabilité (par une pénalisation des ruptures) peut avoir un effet négatif sur l'objectif de production ; et, inversement, la subvention à la production peut d'autre part, peuvent avoir des effets négatifs, conduisant à une surproduction mais une sous-fiabilité. Ainsi, l'intervention publique partielle sur un des objectifs (internalisation des coûts de rupture ou internalisation des effets externes « de régime permanent »), ne suffit pas à restaurer l'optimum collectif. Il n'est pas évident qu'elle ne dégrade pas le bien-être collectif par rapport à une situation sans intervention.

4.7. Etude de cas de l'impact économique d'une rupture d'infrastructure de transports

L'évaluation socio-économique de l'impact d'une rupture de service, apparaît un élément clé de l'identification des infrastructures critiques de transports. Elle permet de fonder cette identification sur des critères objectifs, comparables d'un mode à l'autre.

Cette partie se propose de fournir des éléments quantifiés à partir d'études de cas conduites en France (*Eric OLLINGER, thèse professionnelle, Mastère d'action publique, Ecole nationale des ponts et chaussées, 2007*)

Eléments de méthode

Schématiquement, le bilan socio-économique collectif lié au report de trafic suite à la rupture de service s'exprime comme la différence, entre deux situations (nominale – rompue), en termes de :

- valeur économique du temps de parcours
- coûts privés des usagers (utilisation des véhicules)
- coûts d'exploitation des opérateurs (réseaux et services)
- coûts externes (congestion, insécurité, pollution locale, CO2, bruit)

Par ailleurs, il faut tenir compte du bilan socio-économique lié au trafic désinduit suite à la rupture de service. Schématiquement, ce bilan s'exprime comme le produit du trafic désinduit (en volume) par la différence entre la valeur sociale du trafic en situation nominale et en situation de rupture. Cette valeur sociale est, typiquement égale à la différence entre le prix ou coût généralisé du transport, et les coûts sociaux (exploitation + externes) de fourniture de ce service de transports.

Encadré : bilan socio-économique de la rupture de service d'une infrastructure de transports

Si N est le trafic détourné suite à la rupture de l'infrastructure, le bilan pour ce trafic détourné peut s'exprimer de la façon suivante :

$$- N * [h * (t_{\text{rupture}} - t_{\text{nominale}}) + (p_{\text{rupture}} - p_{\text{nominale}}) + (cms_{\text{rupture}} - cms_{\text{nominale}})]$$

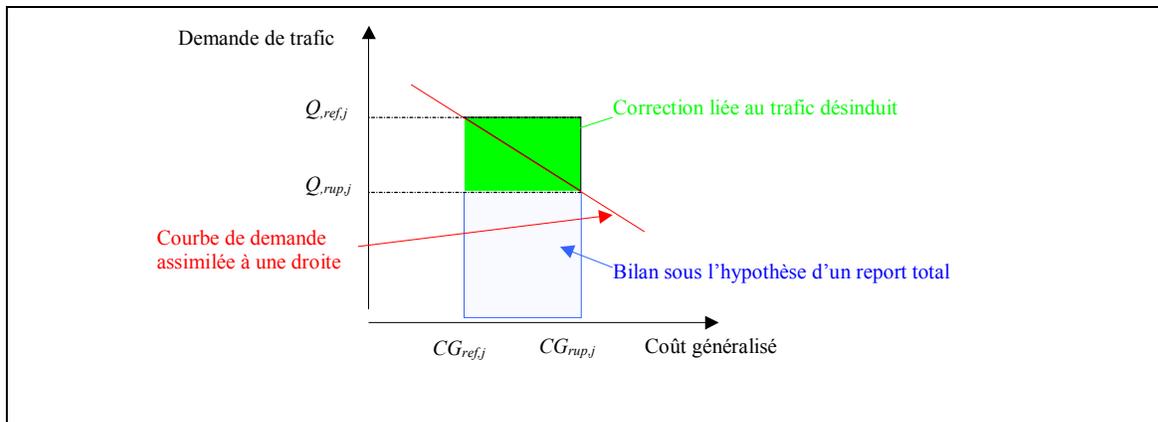
où :

t est le temps de parcours ; h est la valeur du temps

p est le prix marchand de fourniture du service de transport pour l'utilisateur (prix de revient kilométrique pour les véhicules, coûts d'exploitation pour les transports collectifs)

cms est le coût marginal social (sans double-compte avec le coût précédent)

Pour le trafic désinduit, on peut appliquer, au premier ordre, la formule du calcul économique illustrée sur le graphique ci-dessous, qui affecte aux passagers désinduits une désutilité égale à la moitié de la différence de coût généralisé entre les deux situations.



Eléments d'application en France

L'objet de cette partie est d'illustrer les éléments de méthode présentés ci-dessus au travers de quelques études de cas. L'évaluation du caractère critique des infrastructures de transports étudiées est faite via l'estimation du coût qu'aurait eu leur rupture totale. Il s'agit d'une simple rupture d'exploitation : les coûts de la rupture et les éventuels dégâts matériels ou humains qu'elle causerait ne sont pas évalués.

L'approche proposée est d'adapter le calcul socio-économique tel qu'il est pratiqué pour évaluer la rentabilité des projets d'infrastructure à l'évaluation des effets de l'indisponibilité temporaire d'une infrastructure de transport. Cette approche retient les principes et valeurs de l'instruction-cadre ministérielle relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport (25 mars 2004 ; mise à jour le 27 mai 2005).

Cette approche est appliquée ici à trois types d'activités ou infrastructures de transports : le tunnel sous la Manche, l'autoroute A7 et les transports collectifs urbains (TCU) dans les principales agglomérations françaises. Pour ces activités ou infrastructures, on compare la situation de rupture, où le service est interrompu pendant une période forfaitaire de un an, à la situation de référence effectivement observée pendant une année donnée. Cette durée forfaitaire d'un an de rupture permet, outre de comparer les ordres de grandeurs de coûts de rupture entre différentes infrastructures, de considérer que les comportements de substitution ont pu s'adapter à une situation de rupture relativement durable, ce qui évite notamment d'avoir à considérer les reports de très court terme de déplacements.

Encadré : évaluation du coût de rupture d'infrastructures critiques : applications aux cas du tunnel sous la Manche, de l'autoroute A7 et des services de transports urbains.

Source : Eric OLLINGER, thèse professionnelle, Mastère d'action publique,
Ecole nationale des ponts et chaussées, juillet 2007

Application au tunnel sous la Manche

On compare ici la situation de rupture, où les flux traversant le tunnel sont coupés pendant toute l'année 2006, à la situation de référence effectivement observée en 2006. On s'intéresse à tous les trafics traversant le tunnel, quel que soit leur couple origine/destination. Les flux présentés représentent le total des flux dans les deux sens (continent => Angleterre et Angleterre => continent). La question centrale est celle du report de ces trafics. Dans cette première évaluation, on fait abstraction des phénomènes de saturation des capacités des modes alternatifs, du ralentissement de leur débit avec la congestion, et du désagrément causé par cette congestion sur les consommateurs détournés et sur ceux ayant choisi ces modes *a priori*.

La rupture entraîne le report de certains consommateurs vers des alternatives de coût généralisé plus important et un abandon du voyage par d'autres consommateurs (trafic « désinduit »). On raisonnera ici par superposition, en supposant dans un premier temps que le trafic désinduit est nul (hypothèse de report total), puis en évaluant la correction liée au trafic désinduit.

Dans l'hypothèse de report total, les reports de trafic sont simplifiés comme suit :

- Les consommateurs utilisant la navette Eurotunnel (le *Shuttle*) avec leur véhicule sont reportés vers les ferries. Ce trafic est concentré sur l'itinéraire Calais-Folkestone (la distance entre ces deux villes étant négligée/Douvres). Ces consommateurs sont de trois types : voitures, autocars, camions.
- Les consommateurs Eurostar sont reportés vers l'avion. Ce trafic est concentré sur l'axe Paris-Londres.
- Les trains de fret, représentant 3% du tonnage transmanche, sont négligés.

Les trafics de référence sont indiqués ci-dessous :

Type de consommateur j	Trafic de référence $Q_{ref,j}$
Passagers Eurostar	7,9 millions dont ¼ de passagers 1 ^{ère} classe
Voitures sur navette	200 000
Autocars sur navette	67 000
Camion sur navette	1,3 millions

Les temps de parcours retenus sont les suivants :

Entreprise i	Temps de parcours t_i
Eurostar	2h40
Eurotunnel	35 min
Compagnies aériennes	4h (variante : 4h30)
Compagnies ferry	1h15

Au total, le coût de la rupture pendant 1 an est estimé, avec ces hypothèses, à 290 Millions d'€.

Application à l'autoroute A7

On étudie ici le cas de l'autoroute A7 à travers une évaluation du coût qu'aurait eu sa rupture totale entre Vienne (sortie 11) et Orange (sortie 21) pendant toute l'année 2002. Il s'agit d'une simple rupture d'exploitation : les causes de la rupture et les éventuels dégâts matériels ou humains qu'elle causerait ne sont pas évalués. On s'intéresse à l'ensemble du trafic traversant la section entre Vienne et Orange, soit 35 000 véhicules par jour et par sens. Sont pris en compte les poids lourds (PL) et les véhicules légers (VL). La rupture entraîne le report des véhicules vers des itinéraires alternatifs. Ce report a été évalué par le Service Etudes, Statistiques et Prospective (SESP) du Ministère à l'aide du modèle de trafic MODEV. Les possibilités de report sont supposées seulement routières, une brève étude des reports modaux sous MODEV ayant montré qu'ils étaient négligeables.

Le coût total de la rupture pendant 1 an est alors estimé à 735 millions d'€.

Application aux transports collectifs de province

On considère ici les données disponibles pour l'année 2004². L'unité de base est le périmètre de transport urbain (PTU). Faute de pouvoir modéliser précisément le comportement des voyageurs, on supposera qu'en situation de rupture, chacun d'eux prend son véhicule personnel. Le covoiturage n'est pas modélisé : chacun est seul dans son véhicule. Les effets de la congestion sont partiellement pris en compte, puisque intégrés dans le coût marginal social à leur valeur moyenne avant rupture de service : la congestion supplémentaire due à la rupture n'est pas modélisée. Le trafic désinduit n'est pas pris en compte. La distance et le temps moyens d'un déplacement en TCU sont ceux de la dernière enquête nationale transports de l'INSEE, datant de 1994, soit 11,3 km pour 37,3 min en TCU et 19 min en voiture personnelle (à ce stade, il n'a pas pu être pris en compte de différences entre PTU en termes de distance ou de vitesse de déplacements). Les coûts marginaux sociaux considérés sont les suivants :

	VP	Car ou bus	TCSP ferroviaire
CMS par véh.km 2004	0,0506 €	0,2193 €	
CMS par voyage 2004	0,5742 €		0,0034 €

Le tableau suivant présente les coûts de rupture décroissants pour les vingt périmètres de transports urbains (hors Ile de France) où ces coûts sont les plus élevés :

	Coût de la rupture
Lyon	547 M€
Marseille	249 M€
Lille	183 M€
Nantes	175 M€
Strasbourg	152 M€
Toulouse	149 M€
Grenoble	116 M€
Montpellier	94 M€
Rennes	79 M€
Saint-Etienne	74 M€
Bordeaux	66 M€
Dijon	59 M€
Rouen	57 M€
Reims	51 M€
Mulhouse	51 M€
Angers	44 M€
Besançon	44 M€
Tours	43 M€
Le Mans	40 M€

² Sources : Annuaire statistique « Transports collectifs urbains : évolution 1999-2004 » publié en 2005 par le CERTU, le GART et l'UTP ; recueil « Les transports en commun en chiffres en Ile-de-France » publié en 2005 par le STIF

Limites et perspectives

Les évaluations économiques ci-dessus se veulent illustratives de la possibilité d'utiliser les méthodes d'évaluation socio-économique des projets pour estimer les coûts de rupture significative d'infrastructures de transports. Elles présentent des limites importantes et appellent ainsi des approfondissements.

D'une part, elles se fondent sur l'hypothèse que tous les effets de la rupture de l'infrastructure sont traduits dans les fonctions d'utilité des usagers directs des transports ; l'impact, en aval, sur les activités utilisatrices de ces activités ne sont pas pris en compte ; cette hypothèse, conforme aux hypothèses sous-jacentes au calcul économique de projet, peuvent présenter des limites pour les situations de rupture : la rupture de desserte de certaines zones ou activités économiques ou groupes sociaux, peut avoir des effets qui dépassent largement la valeur du temps de transports.

De même, des effets de long terme dus à la « rupture » de certaines activités utilisatrices de transports ne sont pas pris en compte : il peut s'agir de faillites d'entreprises dont la rupture d'approvisionnement compromet l'activité ; il peut s'agir d'effets irréversibles sur des individus « fragiles » (perte d'emploi due à l'absence de transports).

D'autres effets de long terme, dits de « réputation psychologique » peuvent être à l'oeuvre : ils conduisent les usagers à craindre durablement une fragilité de l'infrastructure rompue, même après restauration du service ; les transferts et dés-inductions de trafics peuvent donc se prolonger indépendamment de la durée réelle de rupture.

Dans le même ordre d'idées, les effets « de réseau » sont appréhendés avec une simplification extrême, le plus souvent par manque de données. Il est vrai que la modélisation des comportements de détournement des usagers en situation d'urgence est difficile, d'autant qu'elle dépend crucialement de l'information dont ils disposent.

Les effets de court terme de la désorganisation des activités ne sont pas non plus pris en compte : implicitement, on suppose dans la modélisation ci-dessus que la valeur du temps perdu est celle des activités de transports « normales ». Or, la rupture crée des désorganisations d'activités à court terme qui confèrent au temps de rupture une spécificité : il est imprévu.

Ces deux derniers points font l'objet de quelques développements dans la partie 5 ci-dessous.

5. Gestion des ruptures de service de transports et valeur de la fiabilité

Cette partie s'intéresse plus particulièrement à l'analyse économique des mesures de gestion des situations de rupture de transports, qui apparaissent complémentaires des mesures de prévention et de protection qui visent, elles, à réduire la probabilité de rupture.

L'analyse économique des mesures de gestion des ruptures (ou de gestion de « crises ») est complexe, à plusieurs titres :

- elle s'intéresse à des situations de court terme ou non-récurrentes, où les coûts supportés par les différents acteurs – usagers-opérateurs-services publics, sont mal connus et très liés au facteur temps ; par comparaison, les coûts prévalant dans les politiques de protection et de prévention sont relativement indépendants du facteur temps ; dit autrement, le moment de mise en oeuvre des mesures de protection et de prévention joue peut- nonobstant l'inflation- sur leurs coûts ;
- elle s'intéresse à des « technologies » ou « process » de traitement des situations d'urgence qui sont a priori multi-usages (elles peuvent être déployées relativement indépendamment des causes des ruptures, de leur localisation, du secteur ou du mode de transport touché) ; il s'agit donc de coûts communs ; il sont alors dimensionnés pour gérer un niveau maximal de gravité d'événements, de telle sorte que le coût marginal d'usage de ces technologies pour le traitement d'un événement donné est plus faible que le coût de développement de ces technologies ;
- elle s'intéresse à des situations où l'information joue un rôle clé : dans l'efficacité des interventions de secours, mais aussi dans le coût des ruptures pour les usagers ; a priori, l'information diminue le coût des ruptures, mais il est difficile d'établir un lien entre l'effort d'information et l'ampleur des ruptures ; la partie ci-dessous propose une approche exploratoire pour la détection automatique d'accidents.

Pour autant, il y a un enjeu majeur à développer l'analyse économique des instruments et politiques publiques de gestion des situations de rupture. En particulier, ces instruments ou politiques publiques se trouvent confrontés à trois principaux types d'arbitrages :

- entre mesures de protection ou de prévention d'une part ; mesures de gestion des situations d'urgence d'autre part ;
- entre mesures d'intervention en situation d'urgence d'une part, reprise de l'activité de transports d'autre part ;
- entre différentes mesures d'information, qui présentent des bilans coûts-efficacité contrastés.

Les paragraphes suivants présentent quelques éléments d'éclairage économique de ces arbitrages.

5.1. Articulation entre mesures de prévention et mesures de gestion d'urgence

La gestion de la fiabilité utilise, schématiquement, deux modes d'intervention :

- la réduction de la vulnérabilité du système de transports aux aléas (gestion « ex ante ») ; typiquement, cette intervention vise la probabilité de défaillance du service ;
- la minimisation des impacts de la réalisation d'un aléa sur la continuité du service (gestion « en temps réel » ou « ex post » des ruptures) ; typiquement, cette intervention vise la durée de rupture du service.

La gestion ex post des situations de rupture, une fois l'aléa réalisé, requiert de moyens, en général planifiés ex-ante pour être disponibles en situation de crise.

Cette partie a pour objet de présenter quelques éléments d'arbitrage ou d'optimisation des politiques de gestion de la fiabilité, en faisant le lien entre ces deux modes d'intervention.

On peut en effet noter que la prévention, comme d'autres technologies de production, présente des rendements d'échelle décroissants, ou des coûts marginaux croissants en fonction du niveau de fiabilité ex ante visé. Les « technologies » ou « process » de traitement des crises présentent, eux, des rendements d'échelle également décroissants en fonction de la qualité du traitement de la crise, mais ces fonctions de coûts sont liées principalement au temps de rupture (importance des durées d'intervention notamment), et non à la probabilité de rupture. En fonction des aléas et de la nature de leurs impacts, l'arbitrage entre prévention et gestion des crises peut donc différer. A l'optimum, le coût marginal du gain de fiabilité par la réduction des vulnérabilités doit être égale au coût marginal du gain de fiabilité permis par les moyens de gestion « ex post » des ruptures.

Encadré : arbitrage entre fiabilisation ex ante et ex post des systèmes de transports

Schématiquement, si les coûts de réduction ex ante de la vulnérabilité s'expriment comme une fonction $P(\lambda)$ où λ est la probabilité de défaillance ; si le coût des moyens mis en place pour la gestion des ruptures s'exprime comme une fonction $R(t)$ où t est le temps d'interruption du service en cas de rupture ; et si la valeur de la non fiabilité est V (par unité de temps de rupture).

L'optimisation des moyens respectifs de prévention et de gestion ex post des rupture s'écrit :

$$\text{Min } \{ P(\lambda) + R(t) + t \cdot \lambda \cdot V \}$$

soit, à l'optimum :

$(\partial P / \partial \lambda) = - t \cdot V$: le coût marginal de fiabilisation ex ante (i.e de réduction de la probabilité de rupture) est égal au coût de la rupture de durée t

$(\partial R / \partial t) = - \lambda \cdot V$: le coût marginal de traitement ex post de la rupture (i.e. de réduction de la durée de rupture) est égal à la valeur probabilisée de la rupture

$\lambda \cdot (\partial P / \partial \lambda) = t \cdot (\partial R / \partial t)$: le coût marginal de fiabilisation ex ante (probabilisé) est égal au coût marginal de réduction de la durée de rupture multiplié par la durée de rupture.

L'arbitrage formalisé ci-dessus entre mesures de fiabilisation ex ante et mesures de gestion ex post de la rupture peut cependant être modifié dans deux types de cas :

Tout d'abord, les mesures de gestion de la rupture sont en général communes à tous les risques de rupture. Dit autrement, les moyens de gestion de crise sont en général indépendants de la nature du risque qui a engendré la défaillance.

Ainsi, c'est la somme des mesures de fiabilisation propres à chaque type d'aléa qui doit être comparée aux coûts de gestion de rupture. Les mesures de gestion de la rupture présentent en quelque sorte des économies de gamme, qui peuvent les rendre préférables aux mesures de fiabilisation ex ante face à une multiplicité d'aléas indépendants.

A contrario, certains segments de l'offre de transports peuvent connaître des ruptures « en cascade », notamment en cas de saturation des modes ou itinéraires de délestage ; dans ce cas, c'est le coût de gestion des ruptures de l'ensemble des segments soumis à une rupture « en domino », qui doit être comparé au coût de fiabilisation ex ante d'un des segments de l'offre de transports. Ceci peut conduire à privilégier la fiabilisation ex ante par rapport à la situation où ces effets dominos n'existent pas.

L'encadré suivant présente une formalisation plus détaillée des arbitrages entre mesures de prévention ex ante et mesures de gestion ex post. Il montre que la question de l'optimisation des moyens de prévention et de gestion peut être séparable en deux :

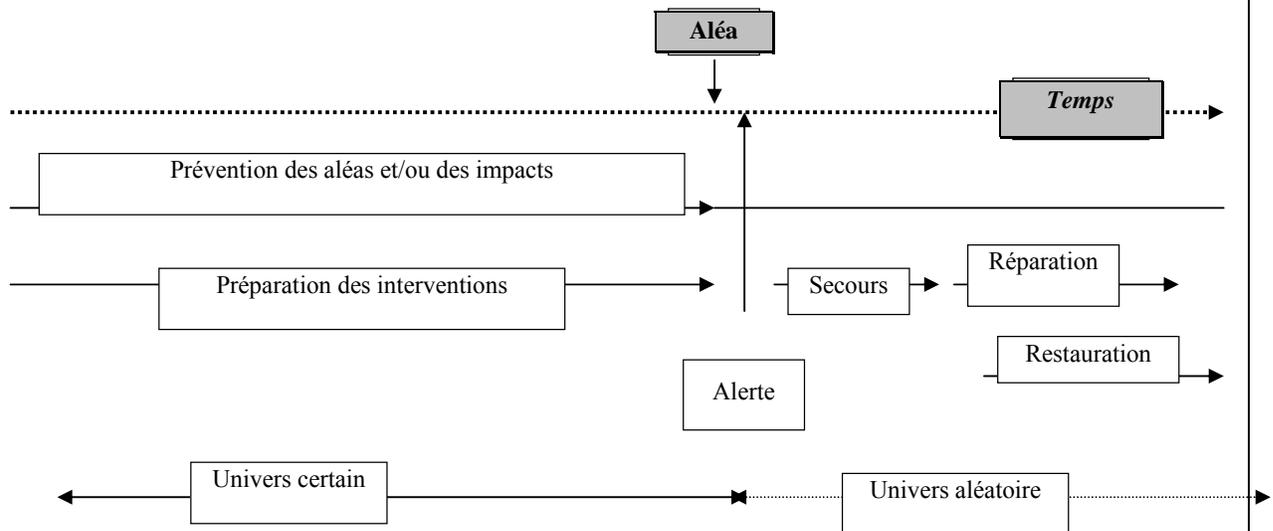
- l'arbitrage, ex ante, entre les coûts consentis pour la prévention d'une part ; pour mettre à disposition des moyens de secours d'autre part ;
- l'arbitrage, en situation de rupture, entre les moyens consacrés à la reprise du service, et les coûts d'interruption ressentis par les usagers.

Cette formalisation suggère également qu'il faut tenir compte de synergies possibles entre les politiques de prévention et les moyens de gestion des ruptures : d'une part les politiques de prévention peuvent améliorer le fonctionnement des services d'urgence (par exemple en maintenant le service de transports pour l'acheminement des secours et des moyens de réparation), d'autre part, l'information produite dans le cas des politiques de prévention (cartographie des aléas et des vulnérabilités), peut améliorer sensiblement l'efficacité de la gestion des situations de rupture, surtout en cas de ruptures « en cascades », sachant que l'efficacité de la collecte d'information est déterminante pour l'efficacité du traitement des situations d'urgence.

Encadré : principaux déterminants des arbitrages entre instruments de prévention et de gestion des situations de rupture

La non-fiabilité est représentée, schématiquement, par un événement aléatoire, créant une rupture du service de transports ayant des impacts a priori négatifs sur les personnes et le fonctionnement de l'économie. La politique de prévention et de gestion de cet aléa comporte deux principales phases : avant l'événement d'une part ; pendant et après l'événement d'autre part.

Le schéma suivant présente un enchaînement classique des mesures de gestion des aléas.



On peut noter ici que les politiques d'avant crise sont de nature certaine, par rapport aux impacts et mesures à mettre en place après crise, qui sont de nature incertaine (aléatoire).

L'événement redouté est, schématiquement, issu d'un événement naturel, d'un accident technologique ou d'un acte intentionnel. Ces événements sont caractérisés par des probabilités d'occurrence. Ces probabilités dépendent de facteurs de risques, dont certains sont entièrement indépendants des politiques publiques, d'autres en dépendent.

L'évaluation économique de la gestion de la fiabilité peut se formaliser de la façon simplifiée suivante : les scénarios d'occurrence de l'événement incertain sont caractérisés par deux paramètres : leur probabilité d'occurrence ; leur impact sur les agents économiques. Les politiques publiques jouent sur ces deux paramètres. Pour ce qui concerne les impacts, les politiques publiques peuvent intervenir ex-ante pour diminuer l'impact humain et économique d'un niveau donné de l'aléa (il s'agit de la prévention-protection) et intervenir ex-post, pour secourir et sauvegarder d'une part ; réparer et restaurer d'autre part.

Ainsi, schématiquement, les politiques publiques interviennent à quatre niveaux :
les facteurs de risques (prévention pure) ;
le lien ex-ante entre le niveau de l'événement et les impacts (protection) ;
le lien ex-post entre le niveau de l'événement et les impacts : secours ; réparation-restauration

A l'issue de ces mesures, l'aléa aura causé des dommages dits « résiduels ».

Ainsi, schématiquement, la politique publique consiste à minimiser le coût total de ces cinq éléments : [prévention] + [protection] + [secours] + [réparation-restauration] + [dommages résiduels].

On suppose que l'événement se caractérise par une probabilité associée à chaque niveau de risque (par exemple : hauteur d'eau ; intensité d'une explosion). Ceci peut se formaliser par une fonction de probabilité $p(A)$: probabilité que l'événement d'intensité A se produise dans la période considérée (avec : $\int_A p(A) = 1$).

Si la probabilité d'occurrence dépend de facteurs de risques sur lesquels les politiques publiques peuvent éventuellement jouer et si le niveau d'effort public (i.e. son coût) en prévention pure est $PREV$, la probabilité d'occurrence d'un événement d'intensité A est :

$p(A, PREV)$

(avec : $\int_A p(A, PREV) = 1$).

Lorsque l'aléa se réalise, son impact (humain, économique) est IMP , supposé mesuré en termes économiques. Il dépend du niveau de l'aléa (A) et des politiques publiques de prévention-protection décidées ex-ante (dont on suppose que le niveau est $PROT$) ainsi que des mesures de protection-secours décidées pendant la crise (dont le niveau est SEC) et des mesures de réparation-restauration décidées pendant ou après la crise (REP).

Au total, il s'agit donc de minimiser la somme des cinq termes :

$PREV + PROT + SEC + REP + IMP$

Pour la puissance publique, la décision se définit à trois niveaux : ex-ante, il s'agit de mesures « certaines », dont le coût est indépendant de la réalisation de l'aléa ; ex-post, il s'agit de mesures liées à l'aléa, que l'on peut décomposer en mesures de gestion de crise d'une part, mesures de réparation-restauration d'autre part.

S'agissant de la gestion ex ante, il s'agit de minimiser le coût des mesures adoptées avant la crise et le coût escompté des mesures et impacts une fois la crise survenue, compte tenu des mesures qui auront été adoptées avant la crise.

On suppose que les mesures liées à l'aléa font l'objet d'un plan de préparation, c'est à dire que le niveau d'effort (en secours ou en réparation) est planifié en fonction du niveau de l'aléa : $SEC(A)$ formalise le plan de secours-intervention ; $REP(A)$ formalise le plan de réparation-restauration-retour à la normale.

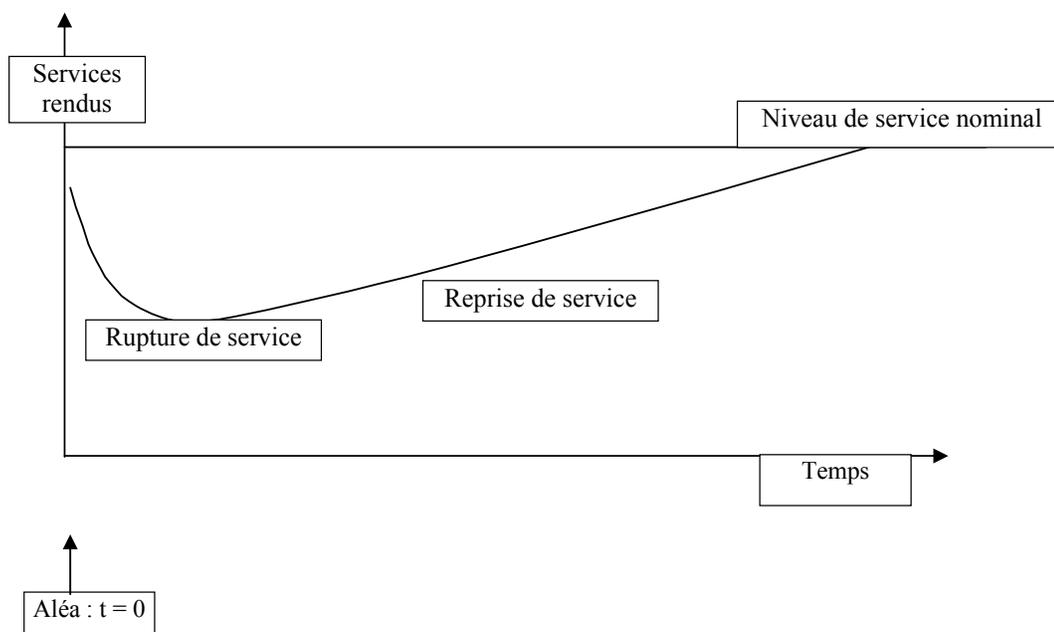
La politique « optimale » ex ante peut alors se formaliser comme la minimisation, en fonction des mesures : $PREV$ et $PROT$ et des plans : $SEC(A)$ et $REP(A)$, de :

$$\begin{aligned} & PREV + PROT \\ & + \int_A SEC(A) \cdot p(A; PREV) + \int_A REP(A) \cdot p(A; PREV) \\ & + \int_A IMP(A; PROT; SEC(A); REP(A)) \cdot p(A; PREV) \end{aligned}$$

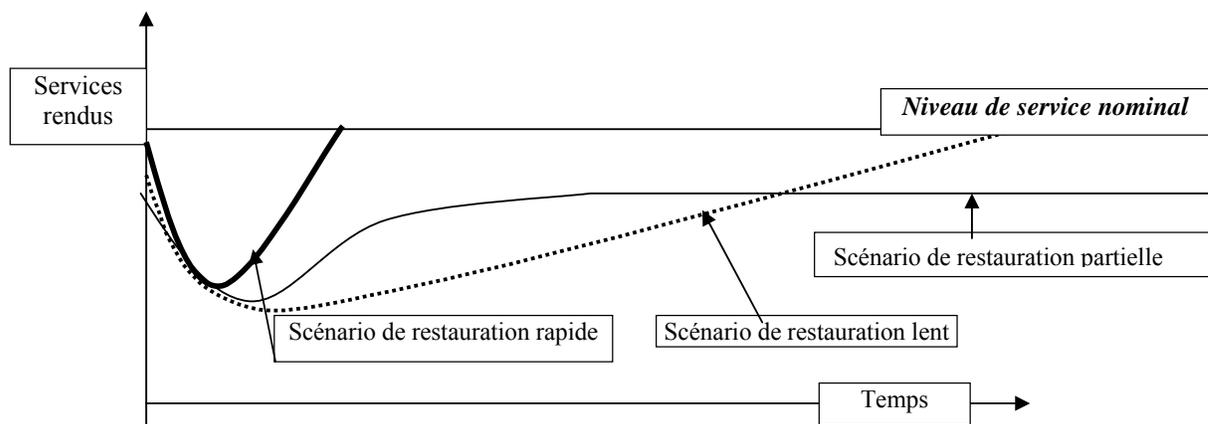
5.2. Gestion temporelle des crises et de la continuité d'activités

La gestion de crise s'analyse, d'un point de vue économique, comme visant à minimiser les coûts d'un aléa qui s'est produit, ces coûts recouvrant à la fois les secours, la réparation et le « manque à gagner » que constitue l'interruption du service. Les éléments de cette optimisation doivent s'analyser en dynamique. Souvent, les choix publics de gestion de crise ont notamment à arbitrer entre une reprise rapide du service dans un souci de continuité d'activités, qui minimise les coûts d'interruption, mais peut rendre plus coûteux ou moins efficaces les secours ou les réparations, et un report de la remise en service, qui joue inversement.

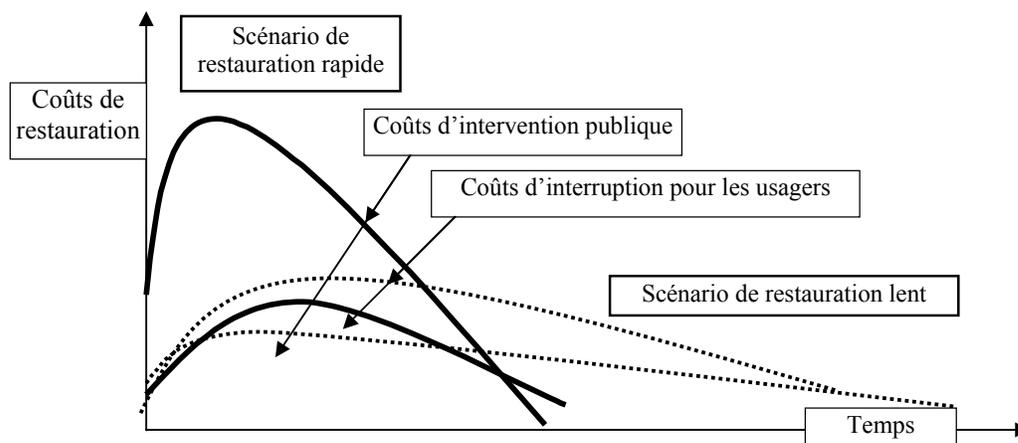
Le schéma suivant illustre ces questions de façon simplifiée : un aléa affecte le niveau de service fourni par rapport à la situation nominale du fil de l'eau.



Les stratégies publiques peuvent alors être schématisées comme des actions permettant d'accélérer la restauration des services en contrepartie de coûts (publics ou privés). Différents scénarios de restauration peuvent se distinguer également aussi par les techniques sur lesquelles on joue (substitution de services publics aux services défaillants ; reconstructions temporaires, etc...).



Chaque scénario correspond à une politique publique de restauration caractérisée par des coûts étalés dans le temps (schématiquement, en distinguant les services publics de secours et les usagers).



Encadré : arbitrages entre intervention d'urgence et reprise d'activité

Dans la gestion ex post des crises, il faut tenir compte d'arbitrages entre différentes stratégies de retour à la normale. Schématiquement, une stratégie de retour à la normale se définit par des arbitrages entre d'une part, le temps et les efforts consacrés à la réparation physique ou fonctionnelle de l'infrastructure, et d'autre part, la durée de la rupture de service. Ainsi, accélérer la reprise du trafic diminue le coût des impacts d'une rupture, mais peut rendre plus difficiles et donc plus coûteuses les mesures de réparation ou ne pas permettre d'atteindre un bon niveau de restauration des fonctionnalités originelles.

En reprenant la formulation ci-dessus, les politiques publiques doivent, après survenue de l'événement, minimiser le coût total : réparation + dommages résiduels (REP + IMP), le dommage étant égal à la perte de « productivité » ou d'usage des actifs affectés par l'aléa.

A priori, les dommages résiduels sont d'autant plus faibles que le coût de la restauration est élevé : IMP (REP) avec $\partial \text{IMP} / \partial \text{REP} < 0$. Il s'agit donc bien d'une question d'arbitrage sur le niveau de réparation : il existe a priori un niveau de réparation « optimal » qui minimise le coût total réparation + dommages résiduels.

Pour reprendre la formalisation ci-dessus, l'optimisation du scénario de restauration (RES_t) consiste alors à minimiser (avec un facteur d'actualisation dès lors que l'on s'intéresse à des phénomènes de moyen-long terme) :

$$\int_t (RES_t + IMP_t)$$

L'impact économique et social IMP s'écrit comme la différence entre le niveau de service du fil de l'eau (SER°) et le niveau de service avec restauration (SER) ; sur le graphique précédent, il s'agit de minimiser :

$$\int_t (SER^\circ_t - SER_t + RES_t)$$

Les différents scénarios de restauration (RES_t) se caractérisent par les coûts consentis, au fil du temps, par les acteurs publics et privés, pour la restauration ($RES_{t,public} + RES_{t,private}$).

Illustration dans les situations de rupture de trafic

Pour illustrer ces arbitrages entre mesures de gestion de crise et continuité d'opération, on peut considérer la formalisation simplifiée suivante d'une rupture de trafic :

On considère un service de transports soumis à une rupture imprévue, de durée t . Cette rupture est caractérisé par un volume de trafic soumis à la rupture. On considère deux cas-types :

dans le premier cas, le volume de trafic soumis à la rupture est fixe : il s'agit par exemple d'un train arrêté, d'une rame de métro bloquée, ou d'un avion retenu au sol ;

dans le second cas, c'est un flux de trafic qui est soumis à la rupture ; le nombre d'utilisateurs soumis à perturbation est alors croissant en fonction du temps de rupture ; on suppose dans ce cas que l'intervention publique peut ou non jouer sur le flux de trafic (par exemple en détournant en amont les usagers, ou en les informant afin qu'ils retardent leur voyage).

On suppose que la durée de rupture est t et que tous les usagers présentent une même valeur unitaire du temps de rupture, égale à $v(t)$. La partie suivante suggère que cette valeur est croissante pour des temps de rupture faibles, du fait que la désorganisation des agendas des usagers est de plus en plus coûteuse (au delà d'une certaine durée d'interruption, la valeur du temps peut devenir constante, voire décroître).

Les coûts de gestion de l'événement et de restauration du service sont dépendre supposés décroître en fonction du temps : une intervention rapide est supposée plus coûteuse qu'une intervention étalée dans le temps, ce qui illustre notamment le fait que les moyens d'intervention sont limités et a priori localisés en dehors de lieu de l'incident, ce qui rend coûteux leur acheminement rapide ($\partial c / \partial t > 0$).

Le trafic soumis à rupture de service peut être :

soit fixe, indépendant de la durée de rupture (cas du train bloqué) : Q

soit lié au flux entrant, i.e. pendant l'intervalle dt , le trafic entrant est égal $= q \cdot dt$

l'intervention publique ne peut pas jouer, dans certains cas, sur le flux entrant ($q = \text{constante}$)

en général, le flux diminue en fonction des efforts de gestion de trafic et d'information mis en œuvre par les gestionnaires de crise : si $g(t)$ est l'effort de gestion pendant l'intervalle dt , on a $q = q(g(t))$; avec $\partial q / \partial g < 0$ et $\partial g / \partial t > 0$

Le programme d'optimisation de la gestion de crise consiste à minimiser les coûts de gestion de l'événement et de rupture d'activité :

Dans le cas où le trafic bloqué est indépendant du temps de rupture :

$$\text{Min} \{ Q \cdot v(t) \cdot t + c(t) \}$$

t

Dans le cas où le trafic bloqué est lié au temps de rupture :

$$\text{Min} \{ \int_{[0,t]} [q(g(\tau)) \cdot v(t-\tau)] \cdot d\tau + c(t) + \int_{[0,t]} [g(\tau)] \cdot d\tau \}$$

t

5.3. Valeur de l'information pour la gestion des crises

L'information publique pendant les situations de rupture de transports a pour objectif essentiel de diminuer les impacts perçus, en améliorant l'efficacité des secours et des interventions, en élargissant le choix des solutions alternatives (itinéraires de délestage) et en permettant aux usagers de réorganiser éventuellement leurs activités (information sur la durée prévisible d'interruption).

Cette information présente ainsi une valeur, probablement d'autant plus élevée qu'elle est produite et diffusée dans les premiers moments de la crise.

La collecte de cette information présente également un coût ; plus l'information est produite tôt, de façon cohérente entre les différentes sources mobilisables, plus son coût est élevé.

De ce fait, tant en termes de coûts et d'avantages économiques, que de gestion temporelle, la collecte et la diffusion de l'information pour la gestion de crise présentent des enjeux d'arbitrage et d'optimisation.

Cette partie propose quelques formulations simplifiées de ces questions, ainsi qu'un exemple illustratif d'évaluation économique des avantages de l'information pour la gestion des accidents routiers.

Encadré : valeur de l'information pour la gestion des crises

Dans la formulation des politiques de gestion de crise ex ante, on suppose que la fonction de probabilité des événements et la fonction de dommages en fonction du niveau de l'aléa et des politiques publiques, sont connues.

S'agissant de la gestion de crise ex post, i.e. une fois l'aléa déclaré, il faut tenir compte de ce que l'aléa lui-même et ses impacts ne sont pas connus instantanément, mais progressivement, et exigent des efforts d'information. Ces efforts augmentent l'information détenue par la puissance publique, ou les usagers eux-mêmes, et rendent les secours plus efficaces.

Ceci peut se formaliser, si INF est le niveau d'effort de collecte d'information, par un coût des secours SEC (INF), avec a priori ($\partial \text{SEC} / \partial \text{INF} < 0$: le coût des secours diminue avec le niveau d'information ou, dit autrement, leur efficacité augmente).

Pendant la phase de gestion de crise, l'intervention publique peut, schématiquement, se représenter comme cherchant à optimiser (minimiser) la somme de quatre types de coûts : secours, réparation, impacts et information, les efforts d'information permettant de mieux adapter les secours :

$$\text{SEC}(\text{INF}) + \text{REP} + \text{IMP}(\text{SEC}; \text{REP}) + \text{INF}$$

Par ailleurs, les coûts de réparation peuvent dépendre, outre de l'aléa, du niveau d'effort pour les secours : REP (A ; SEC). Le signe du lien entre efforts de secours et coûts de réparation n'est pas défini a priori : certains secours limitent les coûts de réparation, typiquement les interventions sur les biens, d'autres peuvent les augmenter, notamment si le sauvetage de vies humaines suppose la destruction de matériels.

Il s'agit donc d'optimiser (minimiser), en fonction de l'effort d'information INF :

$$\text{SEC}(\text{INF}) + \text{REP}(\text{SEC}(\text{INF})) + \text{IMP}[\text{SEC}(\text{INF}); \text{REP}(\text{INF})] + \text{INF}$$

L'encadré suivant illustre l'évaluation de la valeur économique de l'information pour la gestion des crises, en s'intéressant aux dispositifs de détection automatique d'accidents.

Encadré :

**Eléments d'évaluation économique des dispositifs de gestion des crises routières :
cas de la détection automatique d'accidents**

Les dispositifs d'exploitation de la route permettent notamment de réduire la congestion en diminuant la durée durant laquelle la capacité d'une infrastructure est momentanément réduite (par exemple, par les dispositifs automatisés de détection des accidents).

Dans ce dernier cas, lorsque la capacité d'une infrastructure est réduite pendant une durée T (mesurée en h) et que cette réduction occasionne un épisode de congestion, les pertes de temps associées S (mesuré en UVP.h) dépendent :

de la demande instantanée de transport Q (mesurée en UVP/h)

de la capacité maximale de l'infrastructure C (mesurée en UVP/h)

de sa capacité réduite $C_R = \alpha \cdot C$ (mesurée en UVP/h)

L'évolution de l'encombrement figure sur le graphique 1 ci-dessous.

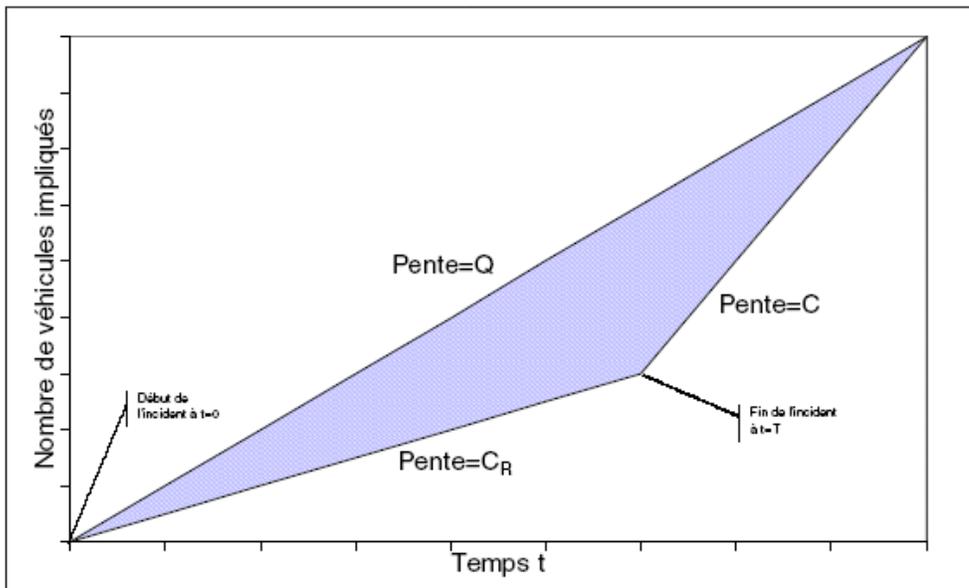
La perte de temps des usagers correspond à l'aire hachurée du graphique 1 et vaut :

$$S = [T^2 / 2] \cdot [(1-\alpha) \cdot C \cdot (Q - \alpha \cdot C)] / (C - Q)$$

La réduction de la durée de l'incident permettra donc d'agir sur les pertes de temps des usagers.

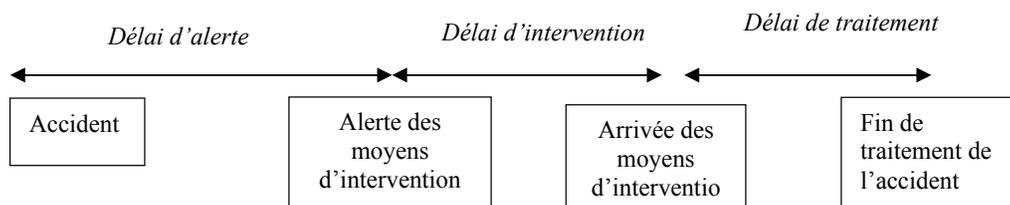
NB : Cette formule n'est linéaire en aucune des variables (temps et trafics), ce qui signifie que les fluctuations horaires de la circulation au cours de la journée (heures de pointes) ou de l'année (migrations estivales) influencent de manière significative le résultat. En particulier, les pertes de temps occasionnées par une réduction momentanée de la capacité de l'infrastructure sont d'autant plus importantes que la demande de transport est proche de la capacité maximale.

Graphique 1
Evolution de l'encombrement dans le temps



L'intervalle de temps entre l'occurrence d'un accident et l'arrivée des moyens d'intervention peut se décomposer en deux parties :

- le délai d'alerte, correspondant au temps écoulé entre l'occurrence de l'accident et l'alerte des moyens d'intervention ;
- le délai d'arrivée des moyens d'intervention sur les lieux de l'accident, correspondant au temps écoulé entre l'alerte des moyens d'intervention et leur arrivée.



Plusieurs travaux de recherche mettent en évidence un lien entre le délai d'intervention et la gravité des blessures. Notamment, deux études américaines (cf. impact of rapid incident detection on freeway accident fatalities ; William M. Evanco, Mitretek), bien que réalisées dans des conditions de circulation différente, proposent de retenir une élasticité du nombre de tués au délai d'alerte de 0,27 en milieu urbain et 0,14 en rase campagne ; faute d'information spécifique à la France, l'approche retiendra ces deux valeurs.

En 2003, le nombre de tués était de 3,7 tués/Gvéh.km sur les autoroutes de liaison et 3,2 tués/Gvéh.km sur les autoroutes de dégagement. Une réduction du délai d'alerte de 50 % permettrait donc de diminuer ce taux de respectivement 0,5 tués/Gvehkm et 0,2 tués/Gvéh.km. Par la suite, les caractéristiques de l'accidentologie sur les autoroutes de liaison et de dégagement seront respectivement considérées comme représentatives de la circulation en milieu interurbain et urbain.

Faute d'information supplémentaire, l'influence de la Détection Automatique d'Incidents (DAI) sur le taux de blessés graves ou légers ne sera pas prise en compte par la suite car les avantages monétarisés sont toujours largement dominés par le coût occasionné par la perte d'une vie humaine.

Les dispositifs de détection automatique d'incident (DAI) ont pour but principal de réduire les délais d'alerte lors d'un accident de la circulation. En règle générale, il s'agit d'un système de boucles ou de caméras couplées à une unité de traitement automatisé qui permet d'identifier rapidement les situations d'accidents (des patrouilles des forces de l'ordre peuvent également être envisagées; elles ne sont pas traitées dans cette approche) et permet ainsi de réduire le délai d'alerte des moyens d'intervention.

Hypothèses retenues

Les systèmes de DAI permettent de réduire les délais d'alerte. Plusieurs sources indiquent des valeurs de réduction suivantes :

Le système Allegro (Lille) a pour objectif de gagner 5 à 13 minutes sur une valeur moyenne du délai d'alerte de 15 minutes;

Une étude américaine (cf. impact of rapid incident detection on freeway accident fatalities ; William M. Evanco, Mitretek) évalue le délai de notification moyen aux États Unis à 5,2 minutes et que la mise en place d'un système de DAI pourrait permettre de l'abaisser à 2 ou 3 minutes.

Par la suite, on retient une réduction du délai d'alerte de 3 minutes, soit une diminution de 58 % par rapport aux délais actuels.

Pour l'évaluation économique de la DAI, différents types de section d'autoroute sont étudiés, selon la typologie du rapport «Tarification des infrastructures routières, Analyse par réseaux et par section types du réseau routier national» ; ministères de l'Équipement et de l'Écologie, octobre 2003. La demande de transport, déterminée par le trafic moyen journalier annuel (TMJA), variera dans le temps de la façon suivante :

sur les axes en milieu urbain, la répartition de la circulation sera celle observée sur la section à 4 voies du Boulevard Périphérique extérieur de Paris ;

sur les axes interurbains, on supposera que 90 % du trafic journalier est supporté entre 8 h et 20 h et 10 % du trafic journalier est supporté entre 20 h et 8 h

L'occurrence d'un accident s'accompagne d'une réduction de la capacité des voies et est donc susceptible, selon l'intensité du trafic, d'occasionner des encombrements. Faute actuellement d'informations plus précises, des données d'accidentologie caractéristiques (et qui idéalement devraient être déterminées à partir de statistiques sur un axe précis) sont reprises de l'ouvrage «Exploitation et télématique routière» et figurent dans les tableaux ci-dessous :

Tableau : Répartition et durées moyennes d'un accident en fonction du nombre de voies bloquées

Nombre de voies bloquées	Répartition des accidents (%)	Durée de l'accident (minutes)
Bande d'arrêt d'urgence (BAU)	25,0	20
1	59,5	40
2	14,0	60
3	1,5	60

Tableau : Réduction de capacité d'un axe en fonction du nombre de voies bloquées

<i>Nombre de voies bloquées</i>	Réduction de la capacité de l'axe (en %)		
	2x2 voies	2x3 voies	2x4 voies
Bande d'arrêt d'urgence (BAU)	5	1	1
1	65	51	42
2	100	83	75
3		100	87

Tableau : Valorisation des avantages économiques de la détection automatique d'incidents pour l'année 2003 par type de section

<i>En € 2003/km.an</i>	Milieu	Trafic (TMJA)	Gains de temps	Sécurité routière	Effet de serre	Pollution locale	Carburants	Total
AR NC 2x4	U. Dense	> 150000	9 073	26 968	61	913	227	37 242
AR NC 2x3	U. Dense	>100000	6 430	17 998	43	647	161	25 279
AR NC 2x3	U. Diffus	>80000	1 988	14 250	15	227	56	16 536
AR C 2x3	U. Diffus	>60000	677	10 640	5	77	19	11 419
AR NC 2x2	U. Diffus	>40000	552	7 099	4	63	16	7 733
AR C 2x3	RC	>35000	32	3 869	0	2	0	3 903
AR C 2x2	RC	<25000	61	2 765	0	4	1	2 831
AR NC 2x2	RC	<25000	61	2 765	0	4	1	2 831

Légende :

AR NC : autoroute non concédée, AR C : autoroute concédée
 2x2 : 2x2 voies, 2x3 : 2x3 voies, 2x4 : 2x4 voies

U. Dense : urbain dense, U. Diffus : urbain diffus, RC : Rase campagne (Définition au sens de l'instruction cadre du 25 mars 2004, relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport)

5.4. Valeur du temps pour la gestion de crise

Dans la cadre d'analyse ci-dessus, la valeur du temps apparaît comme un paramètre-clé de la gestion des situations de rupture dans le secteur des transports :

- elle permet d'évaluer les coûts de l'indisponibilité des transports pour les usagers ;
- elle permet, ex ante, d'identifier les mesures de gestion des situations d'urgence les plus efficaces en termes de temps total perdu, dans une logique de planification ;
- elle permet, en cours de crise, d'arbitrer entre différentes mesures de gestion de trafic, en fonction de leurs effets sur le temps gagné ;
- elle permet, le cas échéant, d'optimiser le temps de reprise du trafic suite à une rupture, en mettant en regard les gains de temps et les éventuels coûts d'une reprise (freins aux travaux de réparation ou d'investigation des dégâts) ;

Cette partie s'intéresse à la mesure de la valeur du temps ressentie en cas de rupture imprévue du service de transports, quelle qu'en soit sa nature (événement naturel, technique, industriel, terroriste, social). Le caractère imprévisible de cette rupture crée des retards pour les usagers, et donc des coûts. Qualifier et quantifier ces coûts est utile pour la gestion de ces ruptures : ex ante pour les prévenir ou les planifier ; en cours d'événement, notamment pour optimiser la reprise du service et minimiser le temps perdu.

La valeur du temps perdu en cas d'imprévu est de nature sensiblement différente de celle utilisée pour apprécier l'impact des projets et des politiques de transports.

En effet, la valeur du temps « prévisible » est fondée sur des comportements anticipés où les agents peuvent arbitrer entre différentes activités, de transports, de travail et de loisirs. Cet arbitrage conduit à une forme d'équilibre entre les différents usages du temps, qui détermine sa valeur, notamment en fonction de la rémunération du temps de travail.

La valeur du temps « imprévu » reflète, elle, plutôt le coût de désorganisation des agendas des individus.

L'objet de cette partie est de fournir des éléments de comparaison de ces deux valeurs du temps, par une modélisation économique simplifiée des comportements des usagers des transports. Cette modélisation suggère que l'on doit s'intéresser à trois types d'impacts d'une rupture de service sur les activités effectuées à partir de ce service de transports :

- les retards (ou ruptures « quasi-prévisibles ») peuvent être en partie anticipés par les agents, sous forme de « temps de précaution » ;
- les ruptures (imprévues) peuvent perturber ou tronquer des activités de façon proportionnelle au temps de rupture ;
- les ruptures peuvent perturber ou supprimer des activités par séquences entières, avec l'idée qu'une activité qui n'a pu être commencée est entièrement perdue pour l'utilisateur ; cette situation peut refléter le cas des individus ayant des agendas très contraints ou très organisés ex ante, i.e. avec des enchaînements d'activités très stricts.

Ces trois types d'effets peuvent conduire à des valeurs du temps de rupture très différentes :

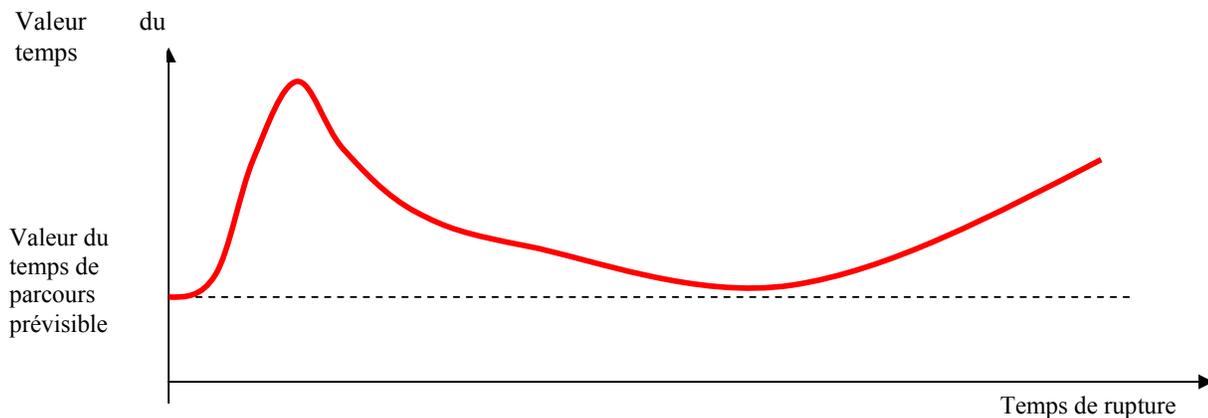
- la valeur du temps des retards quasi-prévisibles est probablement proche de la valeur du temps « normale »: le temps de précaution est, de fait, intégré dans le temps de parcours ;
- si l'on considère que les ruptures occasionnent des pertes d'activités proportionnelles au temps de rupture, l'écart entre la valeur du temps « prévisible » et la valeur du temps « imprévu » apparaît de l'ordre de 20 % à 100 % ;
- si l'on considère que des séquences entières d'activités sont affectées, voire supprimées par une rupture de service, l'écart entre valeur du temps « prévisible » et valeur du temps « imprévu » est très élevé : la valeur du temps « imprévu » peut être de 2 à 20 fois supérieure à la valeur du temps « prévisible ».

Ces résultats sont cohérents avec diverses études sur la valeur du temps de retard dans les transports (pour les transports collectifs, l'écart entre la valeur du temps « prévisible » et la valeur du temps « imprévue » va de 2 à 6 selon les études). Mais l'analyse suggère que ces résultats agrègent les trois types d'impacts précédemment cités dans les comportements des utilisateurs. Dans les enquêtes de comportement ou de préférences déclarées, il peut donc être utile de les séparer, notamment si l'on souhaite mesurer la valeur du temps de rupture en fonction des motifs de déplacement et des moments où intervient cette rupture, et en fonction de la durée de cette rupture.

A cet égard, cette partie suggère que :

- pour des durées d'interruption très courtes, on se situe probablement dans la « marge de précaution » adoptée par les usagers, avec une valeur du temps proche de la valeur du temps « prévisible », voire légèrement inférieure ;
- dès que la marge de précaution est dépassée, la valeur du temps de rupture présente une forte discontinuité, et croît fortement car les effets de désorganisation des agendas illustrés dans cette partie apparaissent à l'œuvre ;
- pour des ruptures plus longues, la valeur du temps « imprévu » se rapproche de la valeur du temps « prévisible », puisque les agendas peuvent en partie se réorganiser
- pour des valeurs extrêmement longues (quelques semaines ou mois), apparaissent de nouveaux effets de « rupture », qui ne concernent plus les agendas, mais l'approvisionnement ou les activités professionnelles et les liens sociaux eux-mêmes : si le report d'activités ainsi « vitales » n'est plus possible, la valeur du temps de transport non effectué peut prendre une valeur très élevée, reflétée par les comportements de modification de modes de transports, conduisant à emprunter des modes lents et coûteux pour accéder aux approvisionnements, au travail, ou à la visite des proches.

Le coût marginal de la rupture (i.e. le coût du maintien de la rupture pendant un temps supplémentaire) évolue ainsi au cours du temps de rupture de la façon suivante :



Ce résultat qualitatif est important pour la gestion du retour à la normale : la valeur du temps, qui doit permettre de « dimensionner » les mesures de reprise du trafic par un arbitrage entre le temps perdu et le coût des mesures permettant de restaurer le trafic ; si cette valeur du temps, évolue, pour chaque usager, en fonction du temps de rupture, il faut en tenir compte dans cet arbitrage ; qualitativement, ceci suggère que la reprise du service après rupture pour les usagers « bloqués », est d'autant plus efficace qu'elle intervient après une durée proche du « pic » de valeur du temps de rupture illustré par la courbe ci-dessus.

Valeurs du temps en situations prévues et imprévues

Cette partie se propose de donner quelques éléments d'éclairage économique de la valeur du temps en situation de rupture, en retenant un cadre de modélisation simplifiée où une rupture de service de transports perturbe les activités des usagers, de façon imprévue, ce qui en affecte l'utilité.

La valeur du temps utilisée classiquement pour l'évaluation de la demande et des projets de transports suppose que les individus arbitrent ex ante, et en information parfaite, entre le temps de transports et d'autres activités, de loisirs ou de travail. La valeur du temps en situation de rupture ou « imprévue » traduit le fait que les individus ont déjà planifié leurs activités, et n'ont plus ces possibilités d'arbitrage.

Pour illustrer ces deux notions, cette partie reprend le modèle d'arbitrage consommation – temps, qui fonde, au plan théorique, la détermination d'une valeur du temps. Elle utilise ensuite ce même modèle en supposant que les activités de loisirs ou de travail des individus sont perturbées par une indisponibilité des transports, en faisant l'hypothèse simplificatrice que toute activité de loisir ou de travail est potentiellement perturbée par une indisponibilité des transports (i.e. que le transport est nécessaire de la même façon à toute activité).

La modélisation illustre l'impact de l'indisponibilité temporaire des transports en supposant que de courtes perturbations engendrent des retards qui « tronquent » les activités. Dans une situation imprévue, les activités perturbées voient leur utilité baisser, du fait qu'elles sont ainsi « tronquées ».

Mesurer la perte d'utilité d'une activité tronquée suppose de s'intéresser à l'organisation fine des agendas des individus : une activité peut être parfois reportée sans impact significatif ; une activité tronquée peut ne perdre de valeur que pour la partie qui a été tronquée (activités « sécables »), ou bien perdre toute sa valeur (activités non sécables : manquer le début d'un film par exemple). Par ailleurs, certaines activités peuvent s'enchaîner logiquement, si bien que manquer les premiers segments a un effet domino sur les autres (manquer un avion ou ne pas pouvoir aller chercher des proches pour accomplir une activité ensemble).

Intuitivement, on perçoit que pour les individus dont l'agenda est le moins sécable et dont les segments s'enchaînent le plus, auront une perte d'utilité particulièrement élevée si un rupture intervient pendant un des maillons de leurs activités, puisque tous les maillons en seront affectés. Ainsi, les individus qui présentent des longues séquences d'activités organisées, seront plus affectés que ceux qui présentent des activités de courtes durées, auquel cas, l'activité touchée est de courte durée.

Cette partie suppose également que le temps de transport est, quel que soit la situation (prévisible ou imprévue), sans valeur intrinsèque, i.e. que la consommation de transports ne génère pas d'agrément particulier, ni ne permet d'effectuer d'autres activités en même temps (travail notamment). (Une telle valeur d'agrément diminuerait la valeur économique du temps de transport puisque cette dernière s'attache au temps perdu). Cette hypothèse minimise probablement l'écart entre la valeur du temps en situation prévisible et la valeur du temps en situation perturbée. En effet, s'il peut exister un agrément au temps de transports en situation prévisible, en situation d'imprévu, il est très probable que les phénomènes de stress annulent cette valeur d'agrément du temps de transport prévisible.

**Encadré : modélisation de la valeur du temps de rupture
à partir des coûts de désorganisation des agendas**

Le modèle simplifié de valeur d'arbitrage temps-consommation en situation prévisible est le suivant :

La fonction d'utilité du consommateur dépend de son temps de loisirs L et de sa consommation C . On suppose que l'utilité marginale du bien de consommation est constante, et que l'utilité marginale du temps de loisirs est décroissante (on retiendra ci-dessous la forme : $U(L) = \mu L^\alpha$ avec $\alpha < 1$)

Supposant que le salaire horaire est w ; que le temps disponible de la journée (hors sommeil) est T ; l'arbitrage temps de travail – temps de loisirs – consommation se définit ainsi :

$$\text{Max } [u(L) + C]$$

$$\text{s/c : } C < w(T-L)$$

où l'on retrouve que l'utilité marginale du temps de loisirs est égale au salaire w .

Plus précisément, on a :

$$\text{Max } [\mu L^\alpha + C]$$

$$\text{s/c : } C < w(T-L)$$

$$\text{soit : Max } [\mu L^\alpha - w L]$$

$$L = (w / \mu / \alpha)^{1/(\alpha-1)}$$

Si l'on suppose que l'agenda de l'individu est organisé en une séquence de N plages d'activités successives dans la journée, auxquelles s'ajoute la séquence de travail. On suppose que l'utilité retirée de cet agenda est :

$$U(L_1, \dots, L_n, \dots, L_N, C)$$

Supposant une perturbation de courte durée (Δt), dont le moment de survenance dans la journée soit aléatoire, selon une loi de probabilité équi-répartie sur la durée d'ouverture du service (T).

1°) Dans une première hypothèse, on suppose que la perturbation affecte l'activité pendant laquelle elle intervient, pendant une durée égale à celle de la perturbation (i.e. l'activité peut reprendre, bien qu'avec retard, une fois la perturbation terminée).

Lorsque la perturbation intervient, pendant l'activité n à l'instant $t \in [0 ; L_n]$, la perte d'utilité est :

$$\partial U / \partial L_n \cdot \Delta t$$

On suppose $\Delta t \ll L_n, n$

La moyenne de cette perte d'utilité en fonction des instants de survenue possible de la perturbation pendant l'activité L_n est :

$$\int \partial U / \partial L_n \cdot dp \cdot \Delta t$$

où dp est la probabilité que l'événement arrive entre t et $t+dt$: $dp = dt / T$

d'où la perte d'utilité moyenne si l'événement intervient pendant l'activité L_n :

$$[U(L_1, L_n, L_N) - U(L_1, 0, L_N)] / T \cdot \Delta t$$

Sur l'ensemble des activités de loisirs de la journée :

$$\sum_n [U(L_1, L_n, L_N) - U(L_1, 0, L_N)] / T \cdot \Delta t$$

Sur la période de travail, on suppose également que le retard n'engendre une perte de valeur (de salaire) qu'en proportion du temps de travail perdu, soit : $w \cdot \Delta t$

En moyenne, compte-tenu de la probabilité de survenance du retard pendant la période de travail $T-L$, la perte d'utilité (i.e. de salaire) est de $w \cdot (T-L) / T \cdot \Delta t$

Au total, le coût moyen d'une perturbation aléatoire de courte durée sur les activités de loisirs et de travail est :

$$\{ \sum_n [U(L_1, L_n, L_N) - U(L_1, 0, L_N)] + w \cdot (T-L) \} / T \cdot \Delta t$$

2°) Dans une seconde hypothèse, on suppose que la perturbation supprime entièrement l'activité pendant laquelle elle intervient.

Lorsque la perturbation intervient, pendant l'activité n à l'instant $t \in [0 ; L_n]$, la perte d'utilité est :

$$U(L_1, L_n, L_N)$$

d'où la perte d'utilité moyenne si l'événement intervient pendant l'activité L_n :

$$U(L_1, L_n, L_N) \cdot L_n / T$$

Sur l'ensemble des activités de loisirs de la journée :

$$\sum_n [U(L_1, L_n, L_N) \cdot L_n / T]$$

Sur la période de travail, on suppose également que le retard engendre une perte de valeur (de salaire) égale à la totalité de la journée de travail, soit : $w(T-L)$

Au total sur la journée :

$$\sum_n U(L_1, L_n, L_N) \cdot L_n / T + w (T-L)^2 / T$$

Pour illustrer la modélisation simplifiée précédente, on peut considérer la formalisation précédente, où l'utilité de l'agenda $L_1, \dots, L_n, \dots, L_N$ s'écrit :

$$U = \mu (L_1^{\alpha_1} \cdot L_n^{\alpha_n} \cdot L_N^{\alpha_N}) + C$$

Pour simplifier la présentation, on peut supposer que toutes les périodes de temps ont des utilités marginales égales $U(L_1, L_n, L_N) = \mu (L_1^{\alpha} \cdot L_n^{\alpha} \cdot L_N^{\alpha})$. Par symétrie, il s'en suit que l'agenda est décomposé en N périodes de loisirs égaux L° .

Les pertes d'utilité ci-dessus s'écrivent alors :

dans l'hypothèse 1° :

$$[[N \cdot \mu \cdot L^{\circ (N \cdot \alpha)} + w (T - N \cdot L^{\circ})] / T] \cdot \Delta t$$

dans l'hypothèse 2° :

$$[N \cdot \mu \cdot L^{\circ (N \cdot \alpha + 1)} + w (T - N \cdot L^{\circ})^2] / T$$

Résultats illustratifs

Les tableaux suivants présentent la valeur du temps perdu par unité de temps de rupture, elle est présentée en rapport à la valeur du temps en situation prévisible. On retient deux formes de la fonction d'utilité : à utilité marginale quasi constante ($\alpha = 0,8$) ou à utilité marginale très décroissante ($\alpha = 0,4$). On retient plusieurs types d'agendas, soit très contraints (i.e. les loisirs sont organisés en une seule séquence, ou, dit autrement, toutes les séquences sont imbriquées), soit décomposées en de multiples séquences supposées indépendantes les unes des autres (de l'ordre de 8 dans les tableaux ci-dessous).

Pour fixer les idées, la durée d'interruption de service est supposée de 30 minutes.

Utilité marginale quasi constante ($\alpha = 0,8$)

Nombre de séquences d'activités indépendantes dans la journée (y compris travail)	2	3	5	9
<i>Hypothèse 1 : la rupture a un effet proportionnel sur le temps perdu dans les activités</i>				
Valeur du temps de rupture (rapportée à la valeur du temps normale)	1,2	1,2	1,2	1,2
<i>Hypothèse 2 : la rupture affecte entièrement les activités pendant lesquelles elle intervient</i>				
Valeur du temps de rupture (rapportée à la valeur du temps normale)	22	12	8	5

Utilité marginale fortement décroissante ($\alpha = 0,4$)

Nombre de séquences d'activités indépendantes dans la journée (y compris travail)	2	3	5	9
<i>Hypothèse 1 : la rupture a un effet proportionnel sur le temps perdu dans les activités</i>				
Valeur du temps de rupture (rapportée à la valeur du temps normale)	2,0	2,0	2,0	2,0
<i>Hypothèse 2 : la rupture affecte entièrement les activités pendant lesquelles elle intervient</i>				

Ainsi, dans l'hypothèse où les défaillances de transports induisent des pertes d'activités proportionnelles au temps perdu dans les transports, la valeur du temps imprévu issue de la modélisation précédente est supérieure d'un facteur 1,2 à 2,0 à la valeur du temps hors imprévu. Ceci s'explique par le fait que les activités présentent toutes une utilité marginale plus forte en début de période qu'en fin de période (utilité marginale décroissante). En moyenne, l'interruption d'une activité en cours coûte donc plus aux individus que la valeur du temps « normale », qui traduit l'utilité marginale de cette activité lorsqu'elle se termine (cette utilité marginale étant plus faible que pendant toute la période de l'activité puisque l'utilité marginale est décroissante). Plus la forme de la fonction d'utilité est à utilité marginale décroissante, plus cet effet se fait sentir.

Dans l'hypothèse où se sont les activités entières qui sont supprimées et perdent leur utilité, du fait de l'interruption de service de transports, les pertes d'utilité sont très supérieures à la valeur du temps « normale » : à l'effet cité ci-dessus s'ajoute l'effet « mécanique » que des séquences entières d'activités sont supprimées. A l'extrême, un individu peut perdre l'utilité de toute sa journée (voire plus s'il s'agit de séquences plus longues : cf voyages hors domicile de plusieurs jours ; ou travail organisé sur plusieurs jours voire semaines), pour une interruption de transports de durée limitée.

Les paragraphes ci-dessus illustrent la différence entre la valeur du temps « anticipé », basée sur des comportements « ex ante » où les usagers peuvent effectuer des arbitrages entre activités, transport, travail et loisirs. La valeur du temps de rupture est de nature très différente, elle reflète le coût des activités interrompues ou abandonnées du fait des défaillances des transports.

Ceci permet également d'illustrer les différences entre valeur du temps de rupture, valeur du temps de retard, et valeur du temps de précaution face aux risques de retards.

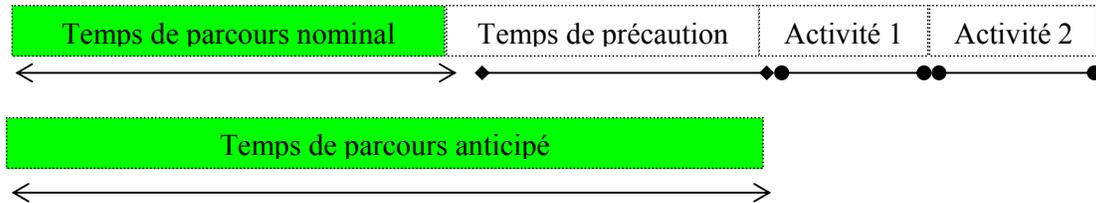
Le temps de retard peut ou non se traduire par une rupture d'activités, selon qu'il est supérieur au temps de précaution pris par les usagers. Si le retard ne provoque pas de rupture d'activité, sa valeur unitaire par unité de temps ne se différencie pas fondamentalement de la valeur du temps de parcours : elle peut différer si les usagers perçoivent un confort différent entre être dans les transports (en mouvement) ou attendre (dans les transports ou hors des transports).

Le temps de précaution est un temps « anticipé », il constitue la « prime de risque » consentie par l'utilisateur pour se prémunir contre les retards. Cette prime de risque se mesure en temps de précaution * valeur du temps de précaution. Le temps de précaution résulte de l'arbitrage des individus entre temps perdu (si le retard est inférieur au temps de précaution) et activités perdues (si le temps de retard est supérieur au temps de précaution) en fonction de leur aversion pour le risque de rupture d'activités et de leur perception subjective du risque de défaillance des transports. La valeur unitaire du temps de précaution est, elle, anticipée : elle résulte d'arbitrages effectués ex ante. Elle est donc, également, proche de la valeur du temps de parcours et de retard .

Le schéma suivant illustre ces différentes notions, en pointant le fait que la valeur du temps de rupture diffère du temps de parcours ou de précaution, parce que les temps effectivement affectés par des ruptures représentent des séquences d'activités entières. Il n'y a donc pas

continuité entre les temps de défaillance des transports et le temps de rupture ressenti par les usagers.

Comportements anticipés (ex ante)



Situation réelle n° 1 : arrivée en avance

Valeur du temps de non fiabilité = valeur du temps d'attente \approx valeur du temps de parcours
(modulo la différence de perception du confort)



Situation réelle n° 2 : arrivée en retard, mais dans la marge de précaution

Valeur du temps de non fiabilité = valeur du temps d'attente \approx valeur du temps de parcours
(modulo la différence de perception du confort)



Situation réelle n° 3 : arrivée en retard, au delà de la marge de précaution

Valeur du temps de non fiabilité = valeur de l'activité n°1 partiellement perdue



Situation réelle n° 4 : arrivée en retard, au delà de la marge de précaution

Valeur du temps de non fiabilité = valeur de l'activité n°1 totalement perdue



Situation réelle n° 5 : arrivée en retard, au delà de la marge de précaution

Valeur du temps de non fiabilité = valeur des activités n°1 et n°2 totalement perdues



Dans le graphique ci-dessus, les situations n°4 et n°5 conduisent à un coût de rupture ressenti par l'utilisateur égal à la valeur des activités n°1 (respectivement n°2) perdues.

Ces résultats peuvent être comparés aux travaux existants, qui indiquent, pour les transports publics, des valeurs du temps de retard significativement supérieures à la valeur du temps normale. Ces travaux mettent également en évidence le fait que l'écart entre valeur du temps de rupture et valeur du temps normale est d'autant plus élevée que les revenus sont faibles, ce qui peut illustrer le fait que les capacités à réorganiser les agendas sont plus élevées lorsque les revenus sont élevés (notamment par le financement des dispositifs « tampon » en cas de retard : gardes d'enfants, ou la plus grande facilité à gérer les reports d'activités professionnelles,...)

<i>Ecart entre valeur du temps en situation imprévue et valeur du temps en situation normale</i>	<i>Source</i>
2,4	(Enquête de préférences déclarées, Pays-Bas, 2001), (cf. RAND Europe literature review, 2004)
3,1 (< 30 km) ; 1,8 (30 à 60 km) ; 0,8 (> 60 km) 3,8 (revenus < 28500 E) ; 1,2 (revenus > 68000 E)	(temps de retard trajets routiers domicile-travail, enquête de préférences déclarées, Pays-Bas, 2005)
3 à 6	(Suède, dires d'experts, 2004) (cf. RAND Europe literature review, 2004)
6	(Enquête de préférences déclarées - STIF, France, 2000)
2,5 (ménage et parcours moyen) 6 à 8 (bas revenus, domicile-travail)	Californie (NCHRP, 1999)

Commentaires et limites

Ruptures de courte durée versus ruptures de longue durée

Pour des ruptures de longue durée, la valeur du temps se rapproche de la valeur du temps prévisible, du fait que la réorganisation des agendas devient possible.

La modélisation ci-dessous prend l'hypothèse d'une interruption de courte durée des transports. Si l'on considère des interruptions de plus longue durée (>> 1 heure pour fixer les idées), plus cohérentes avec des événements extrêmes, les résultats précédents peuvent être modifiés, qualitativement, ainsi :

L'hypothèse de modification proportionnelle des agendas par rapport à la durée des perturbations perdrait sans doute de sa pertinence, par rapport à l'hypothèse où des séquences entières d'agendas qui sont perturbées. Dans ce contexte, la valeur du temps de rupture serait beaucoup plus élevée que la valeur du temps prévisible. Mais, lorsque la durée d'interruption s'allonge encore, un autre effet apparaît : la possibilité de réorganiser son agenda en le planifiant à l'avance (par exemple, renoncer à une activité du lendemain). Ainsi, pour des longues durées d'interruption, il est probable que la valeur du temps imprévu se rapproche de la valeur du temps prévisible.

Retards prévisibles et rupture imprévue

Le temps de retard peut être en partie intégrée dans des comportements de précaution des usagers ; il est alors de nature différente du temps en situation imprévue, ou du temps perdu

au delà de la marge de précaution ; il peut cependant être difficile de séparer les deux dans la perception des usagers, et donc dans les enquêtes de préférences déclarées.

Par ailleurs, cette modélisation s'intéresse à la valeur du temps totalement imprévu. Elle se distingue des approches où l'on cherche à mesurer la valeur du temps d'écart par rapport au temps souhaité (ou au temps moyen) de parcours. Dans cette dernière approche, les usagers anticipent en partie la variance des temps de parcours dans l'organisation ex ante de leurs agendas. Cette « marge de précaution » est fondamentalement du temps perdu et non du temps imprévu. Ce temps a donc une valeur proche de la valeur du temps de transports.

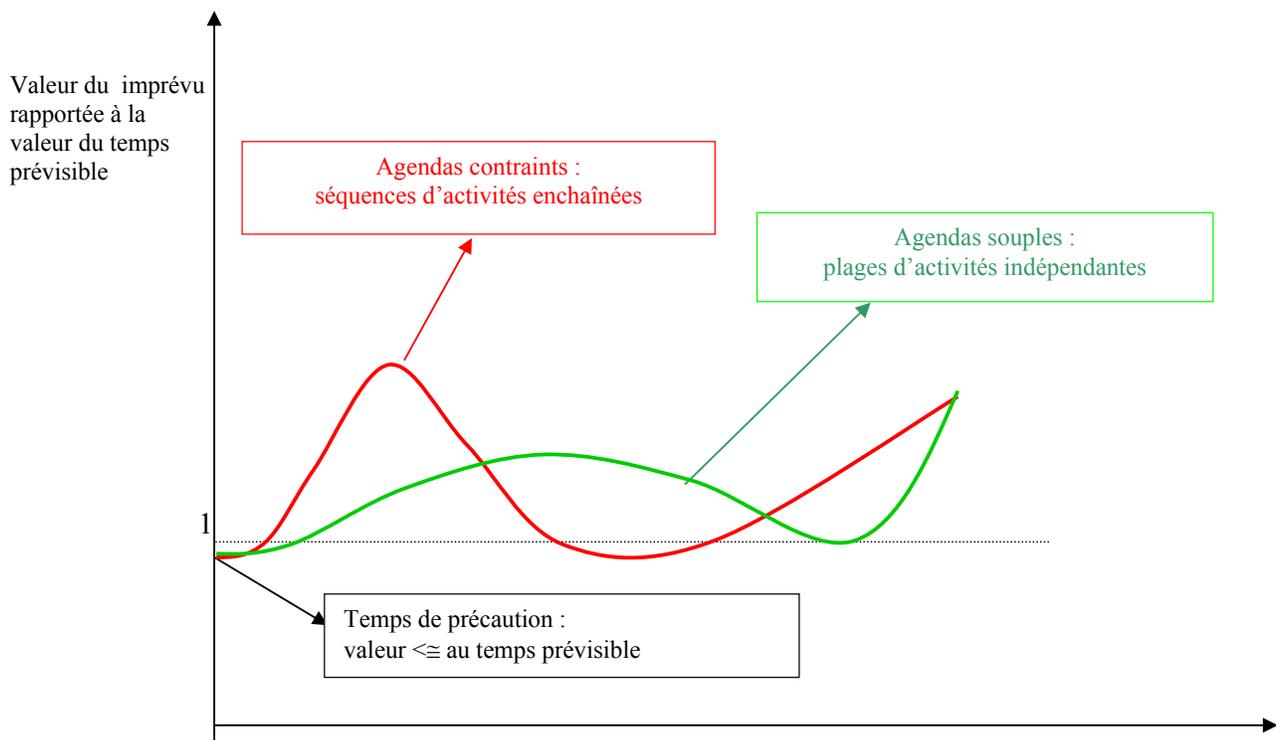
C'est ainsi que les travaux de consensus d'experts et de bibliographie menés par Hamer et al (2005) et Kouwenhoven et al (2005) sur la valeur de la fiabilité des transports donnent une valeur proche de la valeur du temps « normal ». Ces résultats peuvent :

- soit signifier, parmi les deux hypothèses modélisées ci-dessus, on se situe plutôt dans l'hypothèse d'agendas peu contraints ;
- soit que les comportements des agents intègrent en partie une approche « de précaution », i.e. des marges pour retards, ce qui diminue la valeur du temps imprévu ressenti.

D'une certaine façon, la valeur du temps illustrée par la présente modélisation simplifiée est celle reflétant des situations extrêmes, i.e. de faible probabilité pour les usagers, en dehors de la variance « normale » des temps de parcours. La question de savoir comment l'utilisateur sépare la variance « moyenne », intégrée dans les marges de précaution et l'organisation des agendas, et l'événement exceptionnel, renvoie à la question de l'information des usagers sur la variance réelle des temps de parcours abordée précédemment : typiquement, les usagers occasionnels disposent d'une information moins pertinente sur le niveau de fiabilité réel des transports que les usagers réguliers. De ce fait, la valeur du temps imprévu sur des segments de marchés où les voyageurs occasionnels sont plus nombreux (transport aérien, parcours touristiques) est plus élevé que sur les segments de marchés où l'expérience permet de mieux connaître le niveau réel de fiabilité (trajets domicile – travail).

Cette distinction entre temps imprévu et variabilité prévisible n'est pas sans implication pour la gestion des mesures d'amélioration de la fiabilité : jouer sur les événements de probabilité faible ou moyenne influe davantage sur la marge de précaution, l'évaluation de ces politiques devrait alors se faire avec une valeur du temps « anticipé », proche de la valeur du temps utilisée par l'évaluation des projets et politiques de transports « en régime permanent » ; jouer sur les comportements de faible probabilité (les événements extrêmes) influe sur le temps de rupture non anticipé par les usagers, dont la modélisation précédente suggère qu'il est beaucoup plus élevé.

Le schéma suivant illustre ce que pourrait être une synthèse qualitative de ces différents effets.



Mesure de la valeur du temps ressenti par des enquêtes de préférences

La modélisation simplifiée ci-dessus illustre également le besoin, dans les travaux d'évaluation de la valeur du temps en situation imprévue, a priori fondés sur des enquêtes auprès des individus ou des ménages :

- de tenter de séparer l'effet « temps de précaution » du temps « imprévu » : de fait, il peut y avoir forte corrélation entre le temps de précaution des usagers et le niveau de fiabilité moyen perçu : plus un système de transport présente de risques de ruptures, plus le temps de précaution ex ante des usagers est élevé ; séparer ces deux effets dans les enquêtes peut être délicat ;
- d'apprécier le caractère contraint des agendas des individus ; et notamment le poids de l'enchaînement des activités ; à cet égard, on peut noter que cet enchaînement ne concerne pas que les individus, mais plus largement les ménages, les proches et les partenaires professionnels.

6. Eléments de conclusion et perspectives

Face à la demande sociale croissante pour des transports d'un haut niveau de fiabilité, les opérateurs et les pouvoirs publics disposent d'une panoplie de mesures techniques et organisationnelles, ainsi que d'instruments d'intervention sur les marchés, notamment via l'information. La multiplicité des causes de non-fiabilité, y compris celle qui résultent de dysfonctionnements des marchés des transports, ainsi que la multiplicité des instruments d'intervention, nécessitent un éclairage économique, afin de s'assurer que les politiques de fiabilité répondent aux besoins aux meilleurs coûts et en s'appuyant sur les acteurs les mieux à même de produire de la fiabilité.

Les politiques publiques de gestion de la fiabilité des transports doivent alors s'analyser comme d'autres politiques de résorption d'imperfections de marchés, en tentant de répondre aux questions suivantes et de développer les outils et méthodes permettant de le faire.

Pourquoi intervenir ?

La fiabilité s'apparente à une externalité, sa valeur pour les usagers n'est pas spontanément prise en compte par les opérateurs sur les marchés des transports ;

S'y ajoutent :

- le fait que l'information sur la fiabilité est insuffisamment fournie par les marchés, voire utilisée de façon stratégique ;
- l'existence de comportements de monopole, qui privent les usagers d'un pouvoir de rétroaction sur la fiabilité auprès des opérateurs ;
- le fait que les moyens de fiabilisation présentent des coûts communs entre segments de l'offre et entre opérateurs publics et privés, ce qui conduit à un sous-investissement comme pour d'autres biens publics.

Comment intervenir ?

Parmi les instruments d'intervention possibles, l'internalisation des coûts de non fiabilité dans les comportements des opérateurs constitue en théorie la réponse adéquate, sous la forme schématique d'une pénalisation des écarts de qualité de service par rapport à la situation nominale. Cette intervention peut cependant se heurter à différents écueils pratiques. D'une part, il est difficile de déterminer un niveau optimal de fiabilité, qui doit en théorie égaliser les coûts marginaux de fiabilisation, et les impacts marginaux sur les utilisateurs de la non fiabilité résiduelle. Par ailleurs, des effets de seuils peuvent affecter l'efficacité de l'internalisation, en incitant les opérateurs à considérer artificiellement ces seuils comme des objectifs de fiabilité. La mise en place de tarifications de la fiabilité se heurte également souvent à la question des aléas « de force majeure », qui exonèrent les opérateurs de leurs obligations. Les coûts administratifs d'un système de tarification des défaillances (i.e. de dédommagements), peuvent être élevés. Enfin, la tarification de la non fiabilité peut aller à l'encontre d'autres objectifs d'intervention publique : ainsi, en présence d'externalités autres que de fiabilité (environnement, congestion, sécurité routière), tarifier la non fiabilité conduit à diminuer l'offre de transports, ce qui, pour certains modes (transports collectifs), peut aller à l'encontre d'autres objectifs publics.

La réglementation de la fiabilité peut en partie éviter ces écueils. La réglementation peut également venir compléter les systèmes de tarifications lorsqu'il s'agit de réguler certains facteurs de fiabilité : ainsi, les moyens de gestion des situations d'urgence peuvent présenter des synergies entre opérateurs publics et privés : la coordination de ces moyens d'intervention en situation d'urgence relève alors davantage de la réglementation que des incitations économiques.

L'information publique sur la fiabilité constitue un champ d'intervention large et potentiellement puissant. Elle permet d'abord aux usagers de prendre en compte ce critère dans leurs choix de transports, et, au delà, dans l'organisation de leurs activités. Elle permet notamment de renforcer la concurrence entre opérateurs et modes de transports en termes de fiabilité. L'information sur la fiabilité permet aux usagers de ne pas « sur-anticiper » le niveau de fiabilité auquel ils doivent s'attendre de la part des transports, notamment sur les segments de l'offre qui constituent des biens d'expérience, i.e. dont la qualité est mal connue. Ce faisant, elle permet aux usagers d'adopter des stratégies de précaution qui limitent les coûts de non fiabilité. Dans le même ordre d'idées, l'information sur la fiabilité limite également les effets pervers d'un enchaînement offre-demande où des anticipations naïves de fiabilité augmentent les coûts de non-fiabilité donc la demande de fiabilité, et, à son tour, l'offre de fiabilité donc les anticipations. L'information sur les vulnérabilités des différents segments ou points critiques du réseau de transports, permet également de cibler les mesures de fiabilisation, et d'éclairer les usagers, notamment dans leurs choix de localisation. L'information publique pendant les situations de rupture de transports a pour objectif essentiel de diminuer les impacts perçus, en élargissant le choix des solutions alternatives (itinéraires de délestage) et en permettant aux usagers de réorganiser éventuellement leurs activités (information sur la durée prévisible d'interruption).

À quelle hauteur intervenir ?

Quels sont les coûts et la valeur économique de la fiabilité, quel est le niveau optimal de fiabilité selon les segments ? Quels outils d'évaluation sont-ils nécessaires pour calibrer les interventions publiques ?

Un premier enjeu important d'évaluation et de calibrage des interventions publiques réside dans la valeur de la fiabilité pour les usagers, qui renvoie à celle de la valeur du temps en situation de rupture de transports. Diverses études suggèrent que la valeur du temps de non fiabilité est supérieure d'un facteur 2 à 6 à la valeur du temps prévisible. Il est en effet important de bien distinguer la valeur du temps en situation d'imprévu de la valeur du temps normal, i.e. anticipé par les usagers, y compris lorsqu'il se trouve en situation prévisible de congestion. Les usagers peuvent ainsi attribuer une valeur au temps de retard imprévu très supérieure à la valeur du temps de retard qu'ils considèrent comme normale pour le service de transports qu'ils utilisent habituellement.

La modélisation des comportements des usagers en cas de désorganisation de leurs activités permet de bien séparer la valeur du temps imprévu de la valeur du temps prévisible : cette modélisation suggère que le rapport entre les deux valeurs peut être de 2 à plus de 20 ; ceci renforce les résultats des études précédentes fondées sur des enquêtes déclaratives. Les écarts les plus élevés illustrent des situations où les individus ne peuvent pas réorganiser leurs activités en situation d'imprévu. Là aussi, la modélisation conforte le résultat des enquêtes déclaratives qui montrent que les usagers de faible revenu présentent une valeur du temps

imprévu relativement plus élevée, ce qui illustre leurs moindres marges de manœuvre pour gérer une désorganisation imprévue de leurs activités professionnelles et individuelles.

Au delà de la valeur de la non-fiabilité reflétée et plus particulièrement de la valeur du temps imprévu, le développement d'outils et méthodes devrait permettre d'éclairer les politiques publique de fiabilité, principalement sur les points suivants :

- impacts des défaillances ou ruptures au sein de réseaux et services de transports fortement intégrés, congestionnés et organisés selon une logique de « juste à temps », afin notamment d'identifier les possibles effets « domino », y compris dans les usages des transports (désorganisation des systèmes de production et des activités individuelles et socio-professionnelles) ;
- fonctions de coûts des technologies de fiabilisation, y compris des mesures portant sur la gestion des situations d'urgence et la continuité d'opérations, afin d'éclairer les arbitrages entre dépenses de fiabilisation ex ante et mesures de gestion ex post ; ces fonctions de coûts devraient notamment permettre d'identifier les coûts communs de certaines mesures de fiabilisation entre segments de l'offre et/ou opérateurs ;
- impact et valeur des instruments d'information sur les comportements des usagers, à la fois dans les choix d'opérateurs, de mode de transports et de localisation ; dans les comportements de précaution et la valeur attribuée à la fiabilité ; et dans les situations de défaillance, pour élargir les choix alternatifs et diminuer les impacts.

Eléments de bibliographie

OLLINGER, Eric : protection des infrastructures critiques, Thèse professionnelle, Ecole nationale des ponts et chaussées, Mastère d'action publique, juillet 2007

Transportation Research Board : NCHRP, Guides to vulnerability assessment and emergency response planning, 2002 ; a guide to highway vulnerability assessment, 2002 ; TCRP and NCHRP : continuity of operations guidelines for transport agencies, 2003 ; NCHRP disruption impact estimating tool (DIETT) for prioritizing high value transportation choke points

Ministère de l'écologie et Ministère de l'équipement : Couverture des coûts d'infrastructures Analyse par réseaux et par sections types du réseau routier national, 2003

Commission des comptes des transports de la Nation, rapport 2005 relatif à l'efficacité des dépenses publiques.

Emergency management Australia : Critical infrastructure risk management and assurance, 2003

RAND Europe : litterature review on time values, 2004

HELLSTRÖM, Tomas. 2007. Critical infrastructure and systemic vulnerability : towards a planning framework. *Safety Science*, n°45, p. 415.

KOUBATIS, Andrew, SCHÖNBERGER, Jorge Yerena. 2005. Risk management of complex critical systems. *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 1, n°2/3, p. 195.

LAGADEC, Patrick, MICHEL-KERJAN, Erwann. 2005. A new era calls for a new model. *International Herald Tribune*, 1^{er} novembre 2005.

LAGADEC, Patrick, MICHEL-KERJAN, Erwann. 2007. Comment protéger nos grands réseaux vitaux ? *Les dossiers de la Recherche*, n°26, février-avril 2007, p. 38.

MICHEL-KERJAN, Erwann. 2003. Risques catastrophiques et réseaux vitaux : de nouvelles catastrophes. *Flux – Cahiers Scientifiques Internationaux Réseaux et Territoires*, n°51 : Réseaux, risques et crises.

RINALDI, Steven M., PEERENBOOM, James P., KELLY, Terrence K. 2001. Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine*, December 2001. p. 11.

SIMPSON, David M., ROCKAWAY, Thomas D., WEIGEL, Terry A., COOMES, Paul A.,

HOLLOMAN, Carol O., 2005. Framing a new approach to critical infrastructure modelling and extreme events. *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 1, n°2/3, p.125.