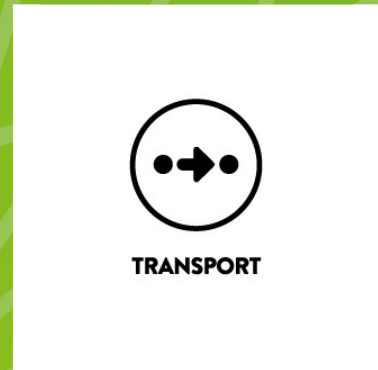


T

H



Analyse

É



M

A

Commissariat général au développement durable

# Indisponibilité d'une infrastructure de transports

## Mesurer et réduire les coûts

OCTOBRE 2017

## sommaire

# Indisponibilité d'une infrastructure de transports

## Mesurer et réduire les coûts

### 5 – Introduction

### 9 – Analyse *ex post* d'une coupure ferroviaire

Une estimation du coût socio-économique de l'indisponibilité de voies ferroviaires survenue à Morlaix en 2013 est estimée selon deux scénarios.

### 19 – Analyse *ex ante* d'une coupure routière

Après la sélection d'un ouvrage routier vulnérable, le surcoût socio-économique de la destruction de cet ouvrage est estimé.

### 35 – Analyse de l'intérêt d'un renforcement sismique d'un ouvrage d'art

Application d'une méthodologie d'analyse coût-bénéfice permettant d'évaluer la pertinence du renforcement sismique de l'ouvrage étudié dans la partie précédente.

### 43 – Conclusion générale

### 45 – Annexes

1. Hypothèses de calcul  
3. Cartographie des risques

2. Modèle de goulot  
4. Bibliographie

Document édité par :

**Le Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable**

**Remerciement** : Je remercie Rémi **Pochez** pour le développement de l'algorithme utilisé pour l'estimation du coût induit par la coupure des différents arcs routiers (« Choix de la coupure et contexte de l'événement » de la Partie 2). Je remercie également Denis **Davi** et Julie **Regnier** à la Dter Méditerranée pour les apports méthodologiques sur les risques sismiques, Julien **Arpaia**, Charles **Kleinclauss** et Véronique **Bicilli** pour leurs observations sur les coûts et les durées d'indisponibilité des ouvrages dégradés ainsi que Pierre **Brender**, Vincent **Jomelli**, André **Leuxe** pour leur aide sur l'orientation et la rédaction de cette publication ainsi que Corinne **Charbit** pour la mise en page.

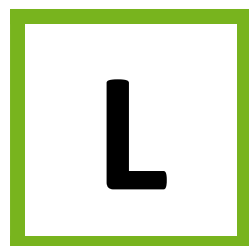
**contributeurs**

---



## **avant-propos**

---



Les réseaux de transport jouent un rôle central dans le fonctionnement de la société et de l'économie. Certains événements médiatisés ont mis en lumière l'ampleur des conséquences de sinistres naturels les impactant, par exemple l'effondrement du pont I-35 Mississippi River dont les coûts de réaffectation du trafic ont dépassé les coûts de reconstruction.

Il peut être intéressant pour les pouvoirs publics de connaître le coût complet pour la collectivité d'une défaillance d'une infrastructure de transport et d'évaluer sa vulnérabilité au regard de différents facteurs de risque, afin de mieux planifier les investissements de renforcement des réseaux existants. Au vu de la rareté des travaux méthodologiques en contexte français, cette étude propose de premières évaluations sur des cas d'école, qui pourraient être répliquées à plus large échelle.

**Laurence Monnoyer-Smith**

COMMISSAIRE GÉNÉRALE AU DÉVELOPPEMENT DURABLE

# Introduction générale

Il existe peu de publications s'intéressant aux problématiques de la réduction de l'offre de transport liée à la défaillance d'une infrastructure et des impacts qui en résultent. Cette étude vise donc à combler ce manque en contexte français et à ouvrir à des discussions méthodologiques ainsi que des perspectives de développement d'outils d'aide à la décision. Elle est réalisée à l'aide du modèle national de trafic Modev, et s'appuie sur une approche socio-économique.



### L'ENJEU : L'ÉVALUATION DU COÛT SOCIO-ÉCONOMIQUE DE DÉFAILLANCES SUR DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

Les réseaux de transport jouent un rôle central dans le fonctionnement de la société et de l'économie. Certains événements médiatisés ont mis en lumière l'ampleur des conséquences d'une défaillance d'infrastructures de transport. Par exemple aux États-Unis, l'ouragan Katrina (Louisiane, Mississippi, août 2005) a notamment perturbé le fonctionnement du port de Gulfport, l'un des plus importants du pays, pendant une dizaine d'années, ou encore l'effondrement du pont autoroutier de l'I-35W sur le fleuve Mississippi à Minneapolis en 2007 a induit un coût de réaffectation entre \$ 71,000 et \$ 220,000/ jour pour les usagers, jusqu'à la reconstruction du pont de substitution 13 mois après la catastrophe (Xie, 2011). En France, sur des périodes souvent plus courtes, les épisodes de canicules dégradent régulièrement le niveau de service des modes ferroviaires (ralentissement nécessaire du fait de la détente des caténaires et de la déformation des rails) ; les tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999 ont bloqué certains itinéraires. Une croissance des pertes économiques associées aux événements catastrophiques naturels a été constatée au cours des dernières décennies. Ces coupures importantes sont souvent liées à un événement imprévu. Dans un contexte de maintenance, la réalisation de travaux impose régulièrement d'interrompre le service sur des infrastructures, y compris celles qui sont utilisées par un nombre très important d'usagers, comme le RER A en Île-de-France qui fait l'objet d'un programme d'interruptions estivales entre 2015 et 2021. Les conséquences de ces interruptions de trafic ne se limitent pas à une perte de temps pour les utilisateurs directement impactés. D'autres coûts ou gains, moins prévisibles, dus à la réaffectation du trafic sur d'autres itinéraires ou modes peuvent se produire et être pris en compte. Des études sont réalisées pour évaluer l'impact qualitatif (Utasse & al., 2016) ou en termes de déplacement (Cerema, 2017) de ces coupures mais, par manque de moyens, peu d'études s'intéressent à la quantification des coûts socio-économiques indirects associés à la redistribution des déplacements dans la zone voisine de l'infrastructure impactée.

Que ce soit pour la prévision des travaux ou pour détecter les infrastructures dont il conviendrait de réduire prioritairement la vulnérabilité, il apparaît important d'étudier ces coûts. Un récent rapport du CGEDD (n° 08414-02) propose une revue approfondie des coûts complets des défaillances de réseaux en situation de crise, et suggère d'étudier « un scénario de coupure sur une longue période du fonctionnement d'une infrastructure de forte capacité en milieu dense ».

La présente étude propose un bilan pour la collectivité de la défaillance d'infrastructures de transport considérées comme vulnérables et de mesures permettant d'en réduire le risque d'occurrence.

La démarche suivie peut servir de prémices au développement d'une méthodologie permettant de prioriser les efforts de renforcement des infrastructures de transport face aux risques naturels, à l'instar de la méthode CAPTA aux États-Unis (National Academies, 2009).

### LA MÉTHODOLOGIE : UNE ANALYSE S'APPUYANT SUR UN MODÈLE DE TRAFIC

La démarche d'évaluation se concentre sur la monétarisation des dommages indirects associés à la dégradation du service de transport pour les usagers, dans l'attente du remplacement ou de la remise à niveau de l'infrastructure dégradée. Le modèle national de trafic du CGDD (voir sa description en fin d'introduction, au paragraphe « L'outil utilisé ») a été employé pour estimer un spectre de contraintes lié au domaine des déplacements. Font notamment l'objet d'une monétarisation : les conséquences des dégâts matériels sur les temps de déplacement des usagers qui auraient utilisé l'infrastructure dégradée si elle avait été fonctionnelle (perte de temps, contrainte obligeant à changer de mode...) ; les pertes pour les opérateurs de réseaux (coûts d'usure des infrastructures) ; et les impacts sur l'environnement (pollution atmosphérique, bruit, gaz à effet de serre) des adaptations du service de transport. Peuvent également être estimés des coûts induits auprès d'autres utilisateurs et opérateurs en retrait de la zone sinistrée (« effet domino »).

En revanche, les coûts (matériels et humains) directement liés à l'effondrement des ouvrages, ou indirects du fait d'un retard dans l'acheminement des secours, ne sont pas intégrés dans l'étude.

L'analyse menée a une portée nationale, ainsi c'est le point de vue de la collectivité qui est apprécié, sans considération des transferts (Christin & al., 2014) entre acteurs. Autrement dit, les situations ne conduisant à aucune plus ou moins-value mais simplement à une répartition différente des gains et pertes par rapport à la situation de référence ne seront pas mises en évidence dans le bilan. Ainsi, les taxes ne sont prises en compte que *via* un calcul de coût d'opportunité des fonds publics (COFP) résultant des impacts directs sur l'équilibre budgétaire de l'État des changements de recettes de la taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques (TICPE) et des coûts d'entretien du réseau routier non concédé.

Cette étude socio-économique est réalisée suivant les recommandations du référentiel d'évaluation des projets de transport du ministère (Quinet, 2013 ; DGITM 2014), tous les coûts étant actualisés à l'année durant laquelle se produisent les modifications de trafics associées à la coupure.

### LES GRANDES ÉTAPES DE LA DÉMARCHE

Dans le cadre de cette étude, deux cas pratiques ont été examinés sur des modes de déplacements et des contextes différents :

- un cas impliquant une infrastructure ferroviaire et un événement historique ;
- un cas impliquant une infrastructure routière majeure soumise à un risque sismique (exemple d'aléa naturel) dans le cadre d'un scénario fictif.

Le scénario historique permet de valider la méthodologie et de prendre en compte les réactions de la collectivité pour limiter les impacts, tandis que le scénario fictif permet d'évaluer *ex ante* les conséquences d'une coupure et l'intérêt d'un investissement dans la consolidation préventive de l'infrastructure, mesuré dans le cadre d'une analyse coût bénéfice (ACB).

### L'OUTIL UTILISÉ : MODEV, LE MODÈLE DE TRAFIC DU CGDD

Les réactions des usagers à une coupure sont estimées à l'aide du modèle de trafic national Modev, développé au CGDD. Il est structuré pour pouvoir à la fois estimer la demande de transport à moyen et à long termes et analyser finement la répartition modale, la congestion des réseaux et l'optimisation de l'usage des infrastructures. Modev suit une architecture classique à quatre étapes (génération, distribution, choix modal puis affectation) adaptée pour accueillir au sein d'un même outil les trafics voyageurs et marchandises.

Le modèle Modev découpe la France en 342 zones. Il est caractérisé par une représentation fine de l'offre de transport avec 276 000 arcs reprenant le réseau routier composé des autoroutes, des routes nationales et des principales routes départementales et communales. Il prend en compte la capacité de ces infrastructures routières. Les réseaux ferroviaires et fluviaux du territoire français sont intégralement modélisés. Enfin, les liaisons aériennes moyen courrier ayant pour origine ou destination la France sont prises en compte. Modev intègre également l'échelle européenne, avec toutefois une précision moins fine qu'en France, pour tenir compte de l'importance des trafics de transit et d'échange, notamment pour le transport de marchandises.

Outre le réseau multimodal, le modèle intègre des bases de données permettant d'estimer précisément les prix et temps de parcours d'un trajet sur le réseau. La demande de transport est modélisée à partir de l'analyse de données observées, issues essentiellement de l'enquête nationale transport déplacement (ENTD) de 2008 pour les voyageurs et du système d'information sur les transports de marchandises (SitraM) pour les marchandises. Elle est caractérisée par un niveau de désagrégation important. La totalité de l'offre a été codifiée dans Modev, avec une prise en compte de la saisonnalité selon le jour de la semaine et la période de l'année (été ou hors été). La demande de transport pour les voyageurs est subdivisée en six groupes selon les caractéristiques socioprofessionnelles et la motorisation des individus. Les déplacements sont distingués selon trois motifs et six jours types. La demande de transport de marchandises est désagrégée en 10 types de marchandises. S'agissant d'un modèle national, Modev est essentiellement construit pour estimer les déplacements à longue distance, c'est-à-dire de plus de 100 kilomètres. Néanmoins, l'essentiel des trajets longue distance ayant une origine ou une destination dans des agglomérations, les conditions de circulation sur les axes principaux des milieux urbains ont donc un impact sur les déplacements longue distance en voiture. C'est pourquoi il a été intégré dans Modev un module courte distance. Son objectif est d'estimer les trajets courte distance tous modes et leur répartition entre trafics routiers, transports en commun et modes non motorisés (cf. Présentation de Modev, à paraître).

Ce type de modèle est adapté à la simulation de coupure d'infrastructure au niveau national et des exercices déjà réalisés sur une version de Modev plus ancienne ayant pour but d'étudier les conséquences d'une fermeture prolongée de l'A7 ont été publiés (Blardone, 2007). Ce même type d'exercice a été réalisé sur l'A13 à Incarville avec un autre modèle de trafic (Cerema, 2014). Cependant, certaines hypothèses, parfois implicites, découlent de l'utilisation de cette classe de modèles. Ces modèles statiques supposent que les usagers conservent leurs comportements déterministes et donc que l'on se situe dans une situation de « rupture stabilisée », où les usagers optimisent leurs déplacements ; la situation de « sidération » où les agents n'ont pas



encore optimisé leur déplacement n'est pas considérée et peut pourtant avoir un poids économique significatif dans le bilan. Une hypothèse majeure est liée à la nature du modèle qui ne prend pas en compte les phénomènes de « remontée de file » (même si les phénomènes d'hyper-congestion sont représentés *via* un traitement spécifique en recourant à un modèle « de goulot »).

De plus, les simulations réalisées dans le cadre de cet exercice retiennent une hypothèse de gel de la distribution des déplacements. Cela se traduit par une captivité des usagers à la destination choisie entre le scénario de référence et le scénario de coupure du réseau. Aucune évolution de la demande de transport n'est envisagée dans les scénarii réalisés. Il s'agit d'hypothèses raisonnables pour des déplacements contraints (domicile-travail notamment), mais d'approximations probablement plus discutables pour d'autres déplacements (à vocation touristique par exemple).

## Introduction générale

---

## Partie 1

# Analyse *ex post* d'une coupure ferroviaire

Le fonctionnement dégradé sur la ligne ferroviaire entre Brest et Morlaix lors des éboulements de 2013 est simulé à l'aide d'un modèle de trafic. Un bilan des coûts pour la collectivité est réalisé avec ou sans changement modal des utilisateurs. Dans les deux cas, l'estimation du coût socio-économique est supérieure à 2 millions d'euros sur une période de deux mois. L'ordre de grandeur est comparable au coût des travaux de dégagement de la voie.



## Partie 1 - Analyse ex post d'une coupure ferroviaire

### 1.1. DESCRIPTION DE L'ÉVÉNEMENT ET SA MODÉLISATION

#### 1.1.1 Contexte historique

Lors de fortes pluies dans le département du Finistère, le 25 janvier 2013, des éboulements ont enseveli une portion de la voie ferrée Brest-Morlaix située à quelques dizaines de mètres de cette gare terminus. Une voie de circulation a pu être rapidement dégagée afin de permettre une reprise minimale du trafic ferroviaire, mais il a fallu plus de deux mois (du 25 janvier au 29 mars) avant que la situation ne revienne à la normale<sup>2</sup>.

#### 1.1.2 Hypothèses et données de modélisation

La coupure ferroviaire sur la ligne Brest – Morlaix a provoqué une réorganisation des services de TER entre Brest et Morlaix, remplacés par 40 autocars supplémentaires par jour entre Plouaret et Landerneau et un arrêt terminus de la desserte TGV à Morlaix au lieu de Brest. Les usagers ont subi pendant deux mois un retard moyen d'environ 35 min sur les temps de parcours initiaux (d'après sncf.com), hypothèse retenue pour modéliser la dégradation de l'offre en transports en commun. La situation est récapitulée sur la figure 1.

Figure 1- Coupure ferroviaire entre Morlaix et Brest : récapitulatif de la situation



Source : adapté du Télégramme

<sup>2</sup> La plupart des informations qui ont permis la reconstitution du contexte historique proviennent des communiqués de presse de la SNCF, d'études *ex post* de l'incident et de journaux locaux (majoritairement « Le Télégramme » et « Presse Région Bretagne »).

Des données mensuelles de fréquentation des modes aériens et ferrés sur la période étudiée (octobre 2012 à avril 2013) ont été rassemblées. Elles ont permis d'améliorer le calage du modèle et de juger de la qualité des hypothèses de modélisation retenues. L'axe Morlaix-Brest comptabilise en moyenne 30 000 voyages par mois (hors été) soit autour de 300 000 voyages par an en train régional, un trafic sous-estimé dans le calage standard du modèle utilisé qui a tendance à répartir plus d'usagers sur le TGV. Le total des déplacements d'environ 70 000 voyageurs longue distance mensuels en TGV et TER (données SNCF) étant retrouvé, les déplacements effectués en trains régionaux n'ont pas été recalés sur les observations. Les voyages effectués par voie aérienne en situation normale sont de l'ordre de 35 000 passagers mensuels au départ de Brest d'après les données de la Direction générale de l'Aviation civile.

Les passagers en provenance de Paris et Rennes ont dû s'arrêter à Morlaix et être acheminés en navette ferroviaire ou en car jusqu'à Brest. La même situation s'est produite pour les passagers au départ de Brest : rabattement en navette ferroviaire ou en car jusqu'à Morlaix puis correspondance vers le TGV.

L'importance des flux d'abonnés (plus de 500 abonnés TER pour un flux quotidien de 900 allers-retours) et la courte durée de l'événement laissent penser qu'une part des usagers a pu rester captive du mode ferré et n'a pas eu le temps d'essayer des alternatives. Cette intuition est la raison pour laquelle deux évaluations de l'impact de la coupure seront présentées par la suite :

- Sans choix modal (soit en supposant que l'ensemble de la clientèle fer est captive de ce moyen de transport pour une coupure limitée à quelques semaines) ;
- En supposant au contraire que les usagers peuvent envisager un changement de mode sans contrainte particulière.

## 1.2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 1.2.1 Coût net socio-économique de l'effondrement sous l'hypothèse de parts modales fixes

Le bilan pour la collectivité s'explique majoritairement par le temps perdu par les utilisateurs, le coût de la mise en place de bus supplémentaires et les gains résultants de la réduction de l'offre ferroviaire. Les externalités générées par l'ajout de bus restent très marginales vis-à-vis des autres postes de coût, l'utilisation du modèle de trafic n'est pas nécessaire dans cette estimation.

## Partie 1 - Analyse ex post d'une coupure ferroviaire

**Tableau 1 - Bilan socio-économique de l'interruption de la circulation ferroviaire de Morlaix sur 2 mois (estimation sans changement de mode)**

*En euros*

<b>Augmentations de coûts y compris coûts externes</b>	
Temps perdu par les utilisateurs du train	2 325 000
Ajout de bus (fourniture de service)	381 000
CO2	5 000
Usure de l'infrastructure	5 000
Pollution locale	36 000
Insécurité	7 000
<b>Diminutions de coûts y compris coûts externes</b>	
COFP+ PFRFP <sup>1</sup>	-5 000
Diminution offre ferroviaire (entretien et fourniture de service)	-665 000
Nuisances Sonores (Bus et train)	-36 000
<b>Solde des variations de coûts</b>	<b>2 053 000</b>

<sup>1</sup> COFP : Coût d'opportunité des fonds publics ; PFRFP : Prix fictif de rareté des fonds publics

En dehors de la perte de temps subie par les utilisateurs du mode dégradé, les coûts ne proviennent que des externalités liées à l'ajout des autocars. L'impact économique de ces derniers reste marginal et permet de conserver un niveau de service convenable limitant les pertes de temps. On observe cependant un gain sonore avec le moindre bruit lié au passage du mode ferroviaire au mode routier sur le parcours entre Morlaix et Brest. La part largement majoritaire des économies réalisées provient de la diminution de l'entretien de l'infrastructure et de la fourniture de services ferroviaires. On remarquera également que les coûts liés à l'offre ferroviaire sont bien moins importants que ceux liés à l'ajout des autocars. Cela pourrait s'expliquer en partie par un dimensionnement de l'offre ferroviaire trop généreux.

### 1.2.2 Coût net socio-économique de l'éboulement avec changements modaux modélisés

Le modèle MODEV simule l'impact sur les choix de modes et d'itinéraires des usagers soumis à une augmentation du temps de transport « ferroviaire » (y compris le service de remplacement par car) sur la portion de ligne impactée. Selon la simulation effectuée, l'éboulement provoque une baisse de l'ordre de 36 % du trafic ferroviaire sur le tronçon ralenti.

Tableau 2 - Trafic moyen par jour en TGV et TER - Longue distance uniquement

En nombre de passagers

	Trafic ferroviaire modélisé
Tronçon ralenti (avant éboulement)	2 200
Tronçon ralenti (après éboulement)	1 400

Source : CGDD, simulations avec le modèle Modev

La baisse de trafic ferroviaire (y compris autocars de substitution) s'explique par un report modal marqué vers la voiture le week-end, de l'ordre de 75 %, et plus marginal vers le mode aérien (25 %) (illustration 1), toutefois plus marqué en semaine (65 %).

Illustration 1 - Interruption de trafic ferroviaire Morlaix-Brest en 2013 : répartition modale le week end

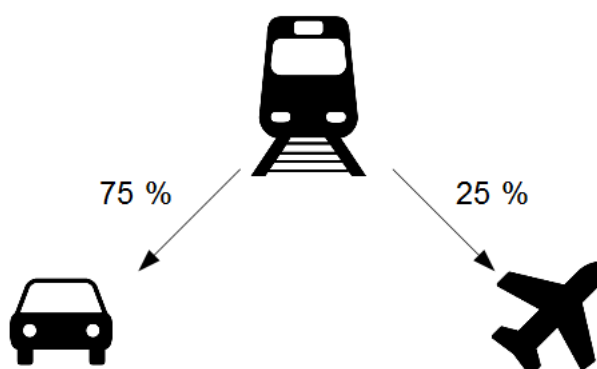
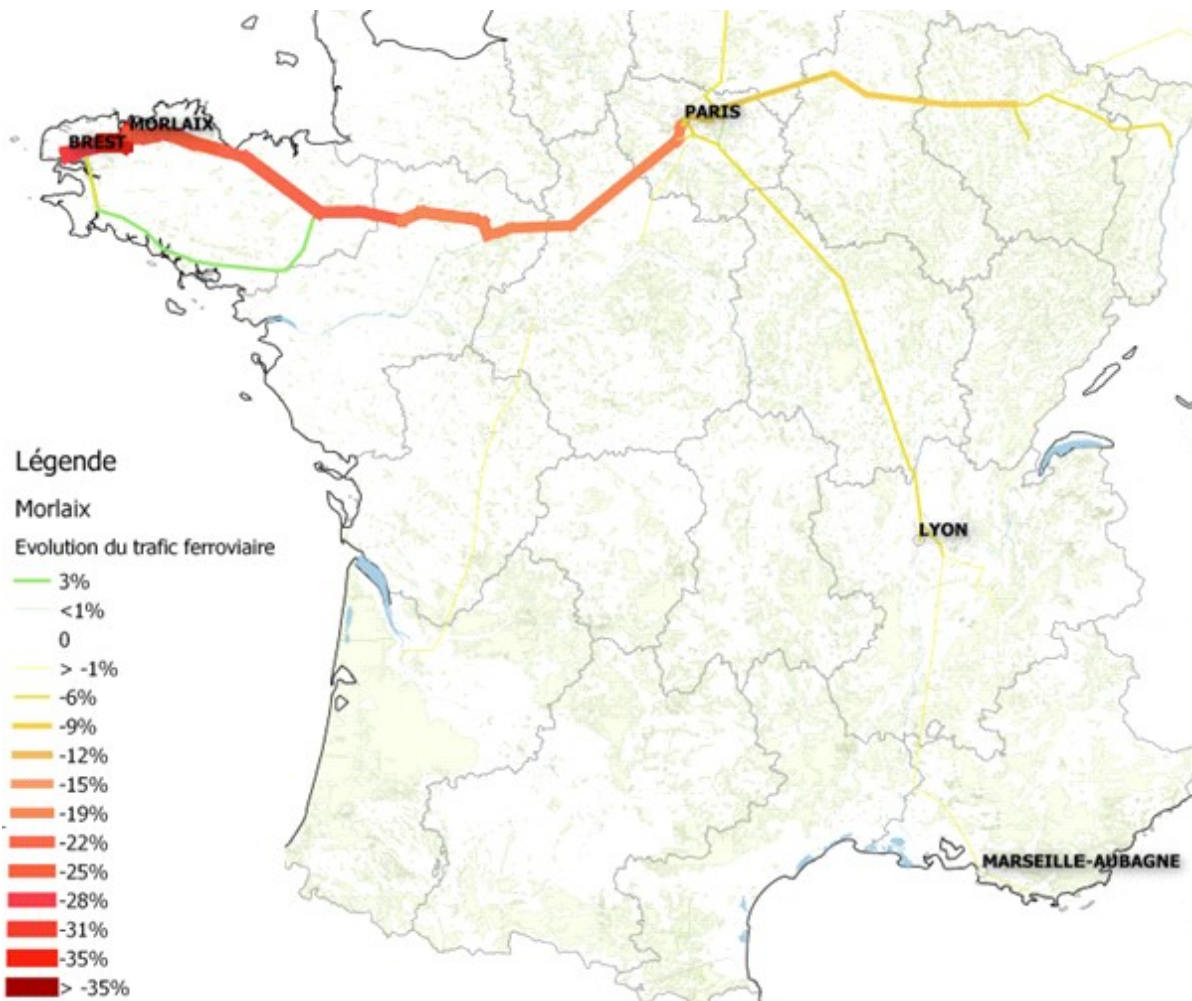


Figure 2 - Carte des baisses de trafic ferroviaire induites par la perturbation du service ferroviaire (rouge et jaune diminution / vert augmentation)



Source : CGDD, simulation avec le modèle MODEV

La répartition spatiale des impacts est conforme à l'intuition : les évolutions de trafic les plus marquées sont situées directement à proximité de la coupure et les impacts simulés à longue distance ne concernent, au-delà de la liaison Paris - Brest, qu'un petit nombre d'axes très fréquentés. Parallèlement, on remarque un faible trafic ferroviaire supplémentaire sur l'axe Sud de la Bretagne via Quimper. En effet, une partie des usagers de la ligne Rennes-Brest via Morlaix se reportent sur cette liaison. La faiblesse de ce report peut s'expliquer par le fait que le temps de parcours reste plus long sur l'OD Quimper - Rennes en comparaison à Brest - Rennes.



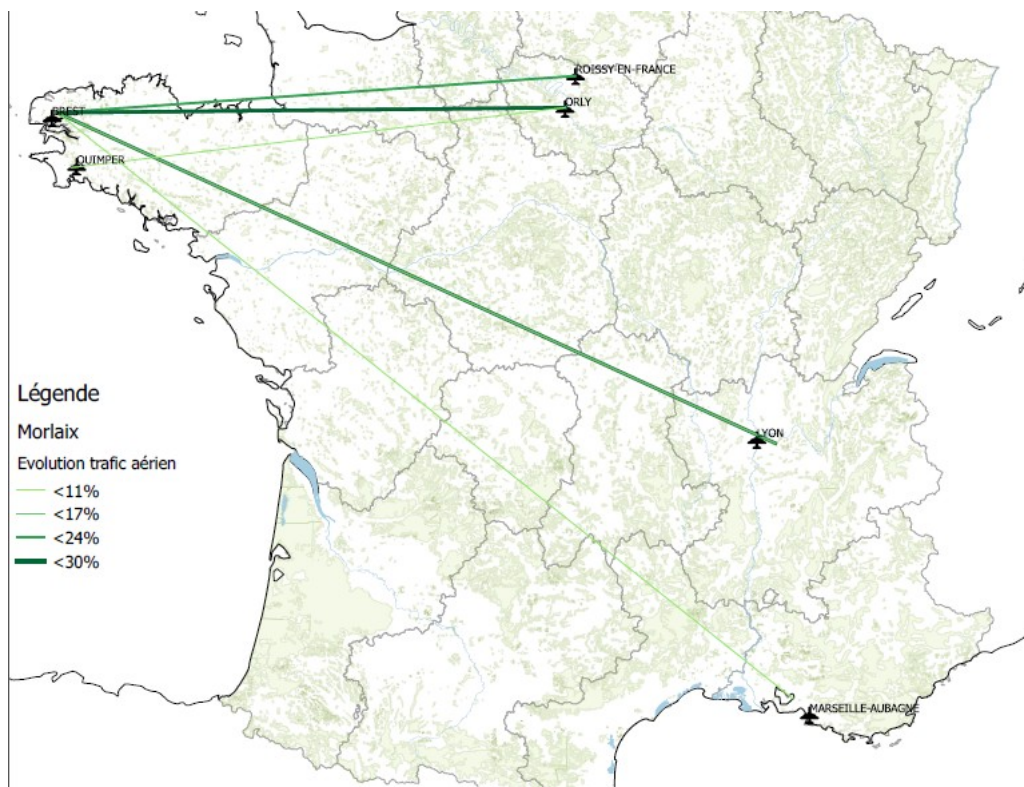
Figure 3 - Carte des déplacements supplémentaires sur la route dus au report modal  
En véhicule supplémentaire par jour



Source : MODEV

Le report modal vers la route a lieu sur plusieurs grandes destinations et notamment l'axe Paris – Brest par la nationale 12 et dans une moindre mesure par l'A13. On note aussi un report sur les relations entre Brest et Lyon impliquant une faible augmentation des trafics.

Figure 4 - Carte des déplacements supplémentaires par le mode aérien dus au report modal



Source : MODEV

Les trafics aériens modélisés en référence représentent un trafic proche du trafic ferroviaire TGV, la coupure favorise ce mode de déplacement concurrent au train sur quelques liaisons de longue distance (Brest à Paris, Lyon et Marseille).

Afin de dresser un bilan socio-économique agrégé de l'impact de cette coupure ferroviaire, ces effets ont été monétarisés (tableau 3) selon les recommandations du référentiel d'évaluation des projets de transports (DGITM, 2014).

Le temps perdu par les utilisateurs restant sur le réseau ferroviaire constitue le premier poste de coûts. Par rapport au scénario précédent, il est cependant réduit par le changement modal.

Certains coûts annexes liés à l'utilisation plus importante de la route et non perçus directement par l'utilisateur, sont calculés. Ce sont les externalités, qui dépendent ici uniquement de l'augmentation du trafic routier (et de la diminution de l'offre ferroviaire), dans la mesure où il est supposé ici que le report de trafic vers l'aérien s'est effectué sans desserte supplémentaire de l'aéroport de Brest.

## Partie 1 - Analyse ex post d'une coupure ferroviaire

**Tableau 3 - Bilan socio-économique de l'interruption de la circulation ferroviaire de Morlaix sur 2 mois**

En euros

<b>Augmentations de coûts y compris coûts externes</b>	
Temps perdu par les utilisateurs du train	1 443 000
Coût du changement modal	200 000
CO2	6 000
Insécurité	330 000
Usure de l'infrastructure	162 000
Pollution locale	210 000
congestion	477 000
Ajout de bus (fourniture de service)	381 000
<b>Diminutions de coûts y compris coûts externes</b>	
COFP+ PFRFP <sup>1</sup>	-1 000
Nuisances Sonores	-33 000
Diminution offre ferroviaire (entretien et fourniture de service)	-665 000
<b>Solde des variations de coûts</b>	
	2 510 000

Source : estimation du report modal avec MODEV

Le coût de congestion correspond uniquement à la valorisation des pertes de temps des utilisateurs qui utilisaient déjà la route, la perte de temps subie par les nouveaux utilisateurs étant déjà intégrée dans le coût du changement modal.

Selon cette modélisation des effets de la coupure, celle-ci a des conséquences diverses selon les acteurs :

- La SNCF et l'autorité organisatrice des TER voient leurs recettes diminuer du fait des reports modaux depuis le ferroviaire vers la route et vers l'aérien. La réorganisation des services leur permet cependant de faire quelques économies d'exploitation de leurs services ferroviaires, mais ces acteurs ont également dû assurer l'organisation d'une solution alternative (navettes et cars) ;
- Les compagnies aériennes profitent d'un report modal du ferroviaire vers l'aérien, à moindre coût dans l'hypothèse actuelle où il n'est pas nécessaire d'affréter de nouveaux avions, et génèrent des recettes supplémentaires ;
- L'État a perçu plus de taxes sur les carburants mais l'utilisation plus intensive du réseau routier a généré également des dépenses supplémentaires d'entretien ;
- Les usagers ont subi une perte de temps, qui pour certains a eu pour conséquence la remise en cause du choix du mode ferroviaire ;

• L'usage plus important du mode routier au détriment du mode ferré a entraîné une augmentation des nuisances associées à ce mode, à savoir la pollution locale, la congestion, les émissions de CO<sub>2</sub>. En termes de bruit, la monétarisation des gains associés à la réduction du service ferroviaire apparaît plus importante que les coûts associés aux nouvelles circulations automobiles.

**Au total, le coût pour la collectivité de la coupure ferroviaire entre Brest et Morlaix sur l'ensemble des deux mois est estimé à 2,5 M€2013.**

Notons que le bilan socio-économique apparaît plus défavorable lorsque le choix modal est supposé possible. Cela peut paraître surprenant puisque chaque usager choisit la solution au coût généralisé le plus faible de son point de vue. L'explication provient du coût important des externalités non perçues par l'utilisateur ainsi que du dimensionnement de l'offre de bus entre les deux représentations de la coupure qui n'a pas été modifié. En effet, dans le cas d'une diminution de la fréquentation due au choix modal, l'exploitant diminue encore l'offre de bus pour réaliser des économies. Or, s'il avait observé une diminution notable de la fréquentation des services de substitution au train, l'exploitant aurait pu réduire l'offre de bus dans les mêmes proportions sans dégradation du service assuré pour les usagers utilisant ce mode.

### 1.2.3 Bilan

Les deux scénarios testés permettent de mettre en regard deux comportements envisageables des utilisateurs. L'absence de ruptures dans la fréquentation des modes aériens et TER observée durant la période d'étude semble supporter l'hypothèse d'une plus forte rigidité du choix modal que celle représentée dans le modèle. Cela peut s'expliquer par divers facteurs que le modèle n'intègre pas :

- L'effet court terme qui limite l'ampleur de changement modal qui n'est pas reflété par le modèle plutôt destiné à l'évaluation des impacts à long terme (on note d'ailleurs différentes élasticités observées court terme/long terme dans la littérature qui reflètent notamment les coûts associés à un changement de solution modale, telle que l'acquisition parfois nécessaire d'un véhicule, l'abonnement à un stationnement,...) ;
- L'effet d'abonnement ou de fidélisation des 520 abonnés du TER qui voyagent entre Brest et Morlaix pour environ 900 allers-retours par jour. De surcroît, « le Conseil régional a décidé exceptionnellement la mise en place d'une mesure tarifaire permettant aux usagers touchés directement par cette situation de bénéficier d'une réduction de 50 % sur l'achat de leur abonnement pour le mois suivant le rétablissement de la circulation ». Cette mesure n'a toutefois pas été annoncée dès les premiers jours de perturbation du service.

Dans les deux cas, l'estimation du coût socio-économique est d'un ordre de grandeur comparable au coût des travaux de dégagement de la voie estimés à 4,6 M€ (BELUT et al., 2014). Le niveau des coûts indirects est donc suffisamment important pour justifier des actions visant à réduire autant que possible la durée de la perturbation ferroviaire.

## Partie 2

# Analyse *ex ante* d'une coupure routière

À l'aide d'un modèle, la cartographie d'une estimation des surcoûts supporté par les utilisateurs du réseau routier en cas de coupure du réseau est établie. Cela permet de sélectionner un ouvrage majeur vulnérable à l'aléa sismique, puis, d'étudier le bilan socio-économique des perturbations du trafic induites par son éventuelle coupure. Ce bilan s'élèverait à une quarantaine de millions d'euros par an, pour l'exemple du Viaduc du Var à Nice qui a été choisi.

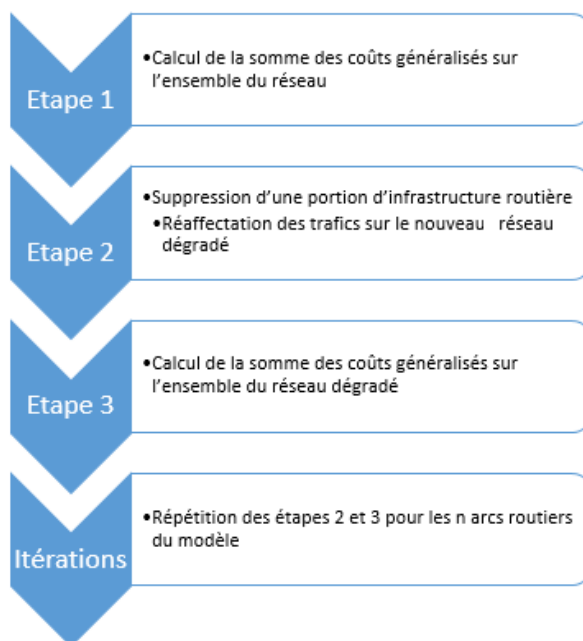


## 2.1. CHOIX DE LA COUPURE ET CONTEXTE DE L'ÉVÉNEMENT

### 2.1.1 Choix de la coupure

Dans cette seconde analyse, il s'agit d'étudier une infrastructure routière qui n'a pas été touchée historiquement, mais de créer une situation fictive et d'évaluer le coût socio-économique qui serait associé à sa dégradation. Afin de sélectionner une infrastructure pertinente, un algorithme basé sur les données de sortie du modèle Modev a été développé. L'objectif est d'estimer l'ordre de grandeur du coût pour les usagers de la coupure des différents arcs représentant le réseau routier dans le modèle (soit les autoroutes, routes nationales, ainsi que les routes départementales et communales principales).

**Schéma 1- Estimation du coût socio-économique induit par la coupure des différents arcs routiers**



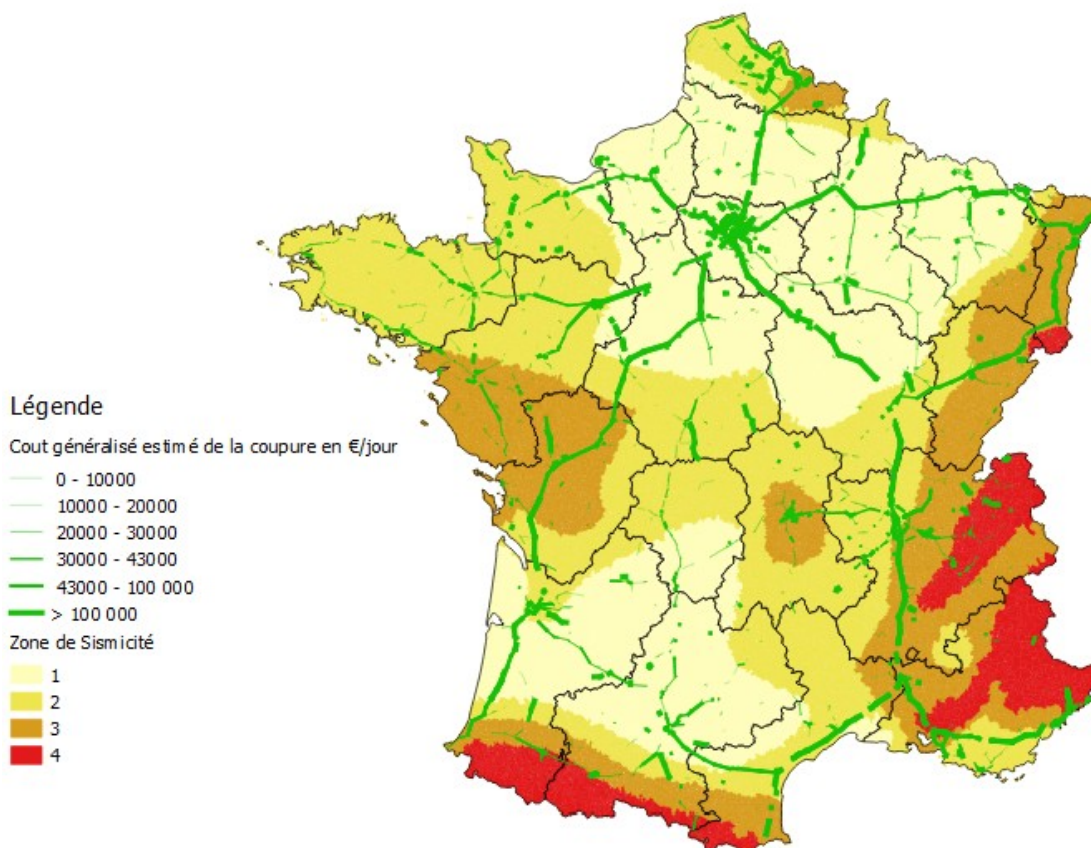
Segment par segment, l'estimation de la variation du coût généralisé ne représente que le surcoût perçu par les usagers directement impactés et comprend (pour un jour moyen) l'évolution de l'usure des véhicules, de la consommation en carburant, des péages et du temps passé (monétarisé avec une valeur du temps moyenne).

En revanche le coût de congestion supplémentaire subi par les usagers déjà présents sur les itinéraires de déviation n'est pas monétarisé.

Le trafic comprend les déplacements voyageurs et de transport de marchandises.

Lorsqu'un centroïde décrivant les origines et destinations n'est plus desservi du fait de la coupure, une pénalité forfaitaire est appliquée par usager impacté.

Figure 6 - Carte des coûts généralisés associés à l'interruption de la circulation sur les différents arcs routiers représentés dans Modev, superposée au zonage de risque sismique



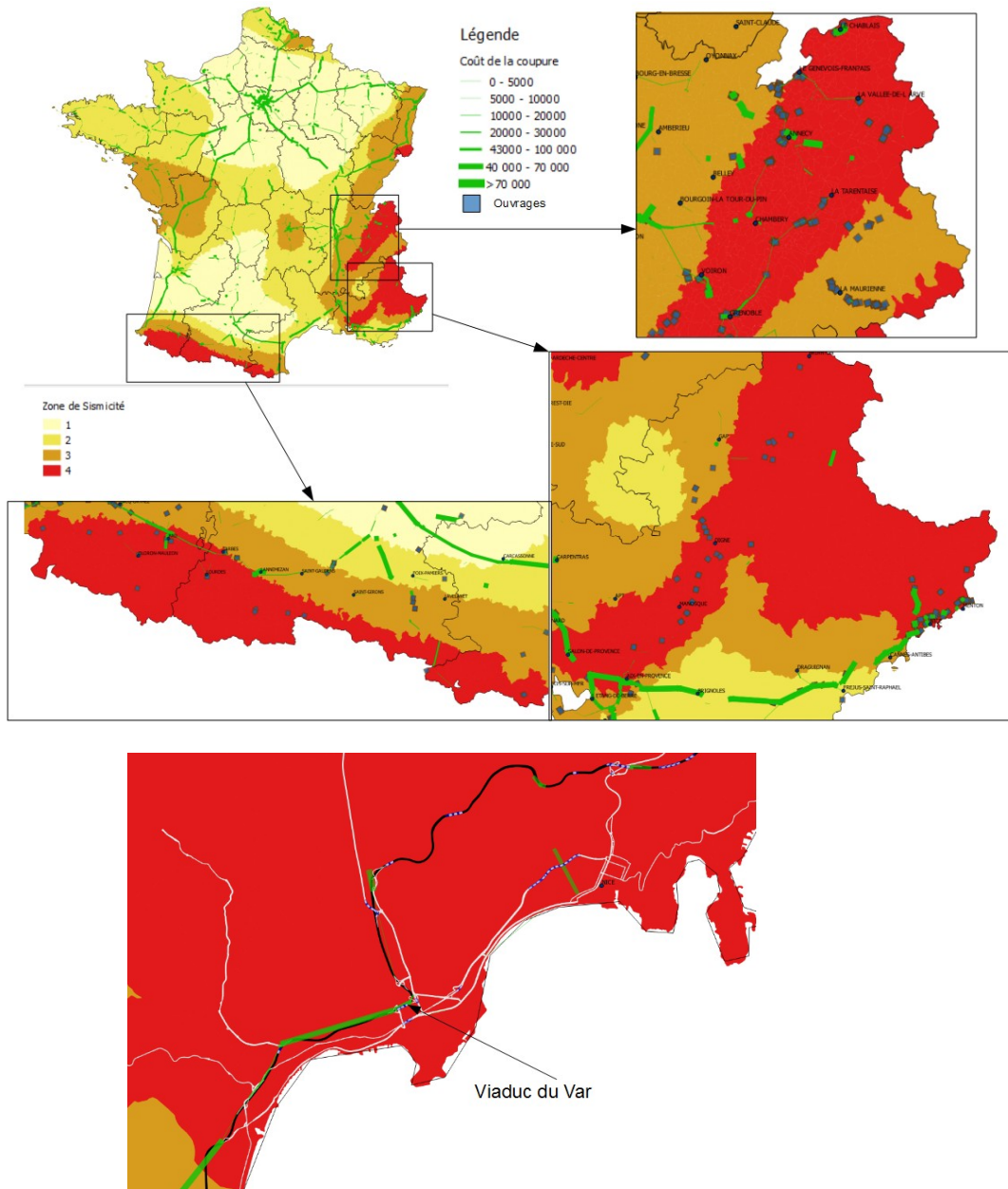
Source : analyse CGDD

De nombreux segments appartenant au réseau autoroutier font partie de ces arcs pour lesquels le coût de suppression est élevé (*traits verts sur la figure 6*), ce qui s'explique en grande partie par la grande vitesse autorisée relativement aux autres infrastructures, ainsi que par la fréquentation importante de ces axes.

Ces résultats sont superposés à une cartographie de l'aléa sismique dans le but de mettre en évidence les ouvrages exposés à cet aléa et dont la destruction aurait des conséquences économiques importantes. En regardant de plus près les zones de sismicité élevée et en y ajoutant les ouvrages exposés à l'aléa sismique (*figure 7*), le Viaduc du Var apparaît comme un des ouvrages pour lesquels l'aléa et les enjeux économiques sont les plus importants. Il fait donc l'objet de l'estimation du coût socio-économique d'une coupure dans les paragraphes suivants.

## Partie 2 - Analyse ex ante d'une coupure routière

**Figure 7 - Carte des coûts généralisés associés à l'interruption de la circulation sur les différents arcs routiers représentés dans Modev superposée au zonage de l'aléa sismique et zooms sur les zones de sismicité élevée**



Source : analyse CGDD



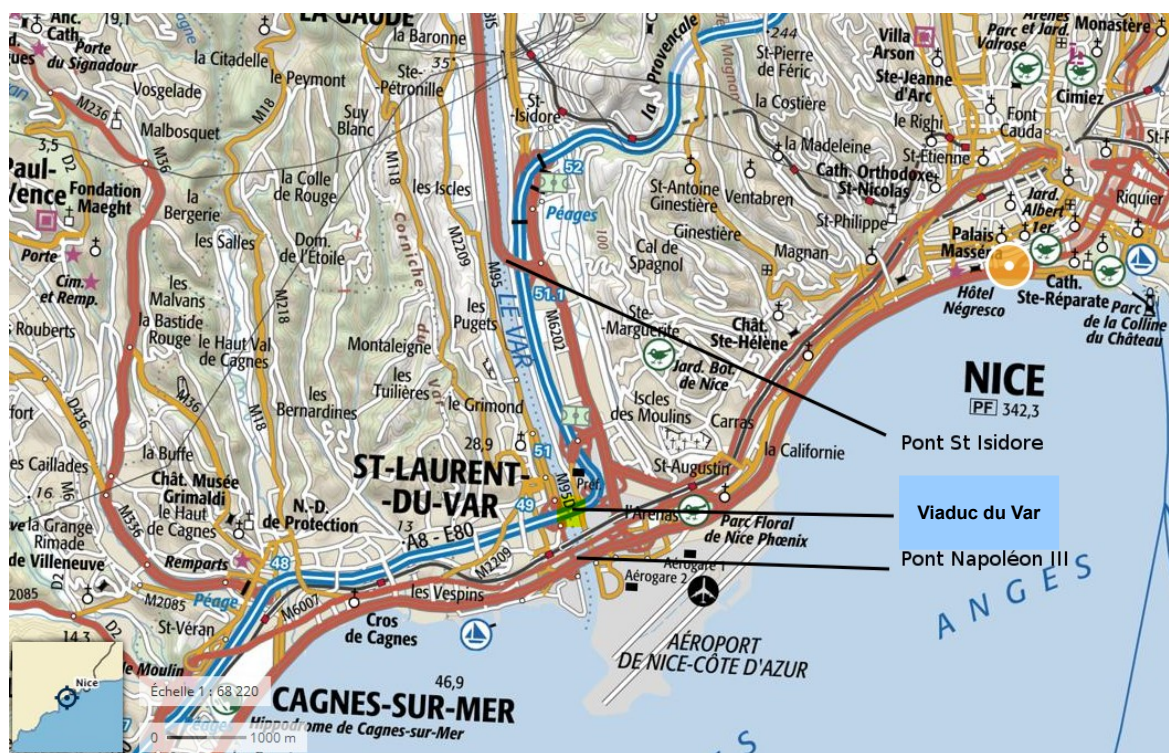
## Partie 2 - Analyse ex ante d'une coupure routière

### 2.1.2 Contexte local

La région de Nice a déjà connu des séismes violents et est située dans la zone de sismicité la plus importante en métropole. Le dernier séisme majeur remonte à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (le séisme de 1887 en Ligurie, ayant causé le décès de plus de 600 personnes dont une dizaine de victimes dans la région niçoise).

Le pont « Viaduc du Var » sur l'autoroute A8 (point jaune sur la figure 8) est une des rares infrastructures permettant de traverser ce fleuve côtier à proximité immédiate de Nice, avec le pont Napoléon III au Sud et le pont St Isidore plus au Nord. Le pont du Var n'a pas été conçu selon les normes parasismiques les plus récentes et supporte un trafic important et congestionné, en particulier lors de la période estivale (jusqu'à 140 000 véhicules/jour).

Figure 8 - Insertion du pont Viaduc du Var dans son environnement local



Source : adaptation du géoportail (IGN)

## Partie 2 - Analyse ex ante d'une coupure routière

---

Dans un premier temps, l'impact d'un séisme de grande ampleur est simulé par la coupure du pont du Var, tandis que le pont St Isidore (qui, lui, a fait l'objet d'une conception parasismique très spécifique) et le pont Napoléon III sont supposés résister. Il est supposé en outre que les dommages sur les autres infrastructures de la région ne modifient pas les besoins de mobilité et les niveaux de service du reste des infrastructures de transport (ce qui peut constituer une hypothèse critiquable dans le cas d'un événement sismique d'ampleur) .

Pour l'analyse on subdivise ce trafic sur l'A8 selon qu'il s'agit de voyageurs ou de marchandises (*tableau 4*).

**Tableau 4 - Trafic modélisé sur le Viaduc du Var**

Type de déplacement	Trafic TMJA* (2 sens)
Poids Lourds de marchandises longue distance**	8 000
Voyageurs longue distance**	29 000
Voyageurs courte distance	54 000

\* TMJA : Trafic moyen journalier annuel ; \*\* c'est à dire une distance de plus de 80 km à vol d'oiseau

Source : MODEV

La géographie des trafics poids lourds utilisant le pont du Var dans leur parcours (*figure 9*) fait apparaître qu'une part importante des flux observés (60 %) part de la péninsule ibérique ou de l'Italie et transite par la France. Le trafic restant est à destination ou en provenance de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (pour 30 %) ainsi que des anciennes régions Languedoc-Roussillon, Aquitaine, Midi-Pyrénées et Rhône-Alpes de façon plus marginale.

Figure 9 - Principaux itinéraires des Poids Lourds (en TMJA\*) empruntant l'A8 au niveau de Nice en 2012



\* TMJA : Trafic moyen journalier annuel

Source : CGDD, estimation à l'aide du modèle MODEV en 2012

La figure 10 représente le trafic Véhicules légers des utilisateurs du viaduc pour la longue distance (parcours supérieur à 80 km à vol d'oiseau). Le trafic local, important sur ce pont, n'est pas représenté. Environ 40 % du trafic moyen journalier a pour origine ou destination la région PACA. Pour le reste, 33 % des VL se dirigent vers l'étranger (Espagne ou Italie), 5 % et moins sont en provenance ou à destination du Languedoc Roussillon, de Rhône-Alpes, Midi-Pyrénées, de l'Aquitaine puis de l'Île-de-France.

**Figure 10 - Principaux itinéraires des véhicules légers (en TMJA\*) empruntant l'A8 au niveau du Viaduc du Var en 2012 pour des trajets sur longue distance**



\* TMJA : Trafic moyen journalier annuel

Source : Estimation CGDD avec le modèle MODEV

### 2.1.3 Hypothèse de modélisation

La modélisation de trafic a été réalisée en distinguant trois types de déplacements : le transport de marchandises et les déplacements voyageurs en distinguant pour ces derniers courte et longue distance (une distinction est faite selon que les déplacements sont de plus ou moins de 80 kilomètres à vol d'oiseau, comme dans l'enquête nationale transport-déplacement). Comme précédemment, un certain nombre d'hypothèses simplificatrices sont prises. Il est supposé en particulier que la coupure n'impacte pas la décision de déplacement ni les destinations choisies par les usagers. Au-delà de ces hypothèses, le changement modal en courte distance n'est pas modélisé. Cette dernière hypothèse simplificatrice conduit à une estimation plutôt par valeur supérieure des pertes de temps pour les déplacements VL courte distance.

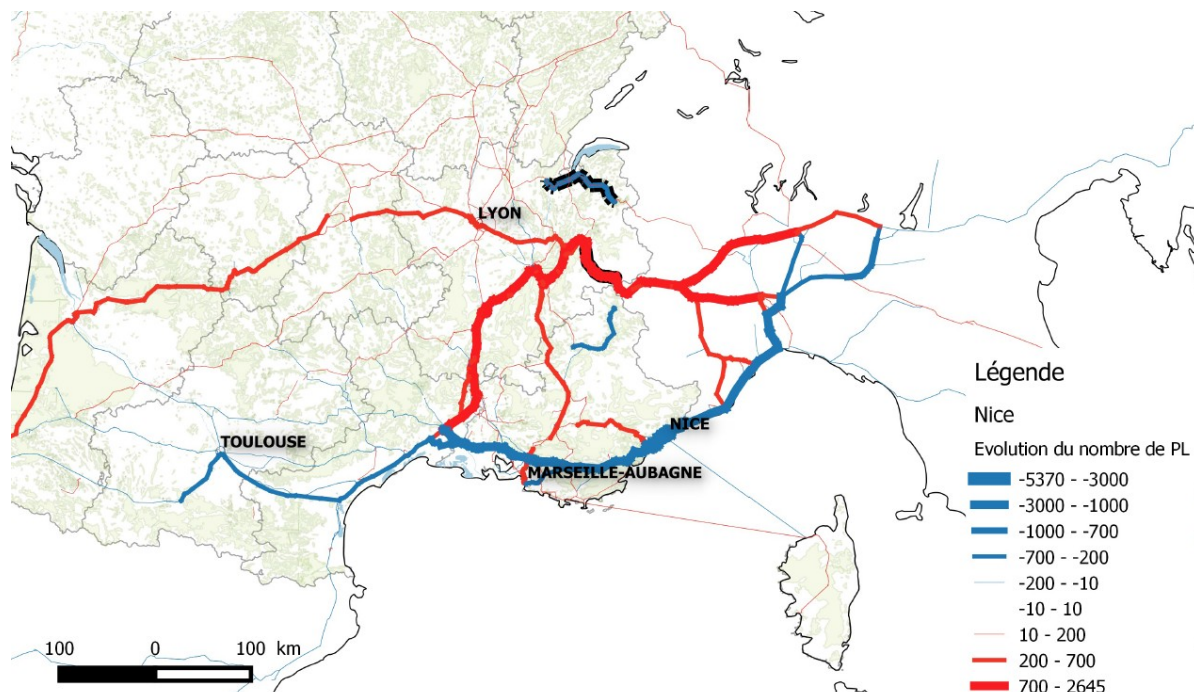
## 2.2. BILAN SOCIO-ÉCONOMIQUE PAR TYPE DE TRAFIC

Dans cette partie, le bilan socio-économique d'une interruption de circulation sur le pont du Var est présenté. Les impacts sont détaillés par modes en séparant les trafics de voyageurs et de marchandises. Afin de tenir compte du caractère aléatoire de l'occurrence d'un séisme, nous travaillerons sur des trafics moyens journaliers annuels et les coûts sont en euros par an. Les coûts socio-économiques considérés sont identiques à la partie précédente, à la différence près que les coûts de congestion supplémentaires sont inclus dans les temps de parcours.

### 2.2.1 Impact sur le transport de marchandises

Les alternatives au Viaduc du Var pour les poids lourds sont assez limitées dans la région des Alpes compte-tenu des nombreux cols qui leur sont fermés à la circulation (en toutes saisons) (figure 11).

Figure 11 - Représentation des changements d'itinéraire Poids lourds



Source : CGDD, modélisation avec MODEV

Seule une faible fraction (moins de 0,001 % en tonnes transportées) de la demande de trafic circulant *via* les ponts enjambant le fleuve Var dans la situation de référence serait concernée par un report modal d'après la modélisation réalisée. Cela s'explique par le manque d'alternatives modales pour les flux de marchandises qui passent par Nice.

Afin de bien modéliser la perte de temps induite par la coupure du pont du Var, un modèle de goulot<sup>4</sup> a été appliqué aux circulations empruntant le pont Napoléon III, qui se trouve à proximité immédiate au Sud. En effet, la courbe débit-vitesse utilisée dans le modèle de trafic sort de son domaine de pertinence lorsque les circulations moyennes simulées sont voisines (voire dépassent) la capacité de l'ouvrage, ce qui peut conduire à sous-estimer les impacts de la congestion routière. Ainsi, avec le paramétrage par défaut du modèle, la totalité du trafic est affectée sur ce second pont, ce qui n'est pas réaliste au vu de sa capacité. Les résultats du

<sup>4</sup> Voir l'annexe 2 pour plus de détails.

## Partie 2 - Analyse ex ante d'une coupure routière

modèle doivent être ajustés pour tenir compte d'une perte de temps supplémentaire pour les utilisateurs du pont. Afin de mieux apprécier l'impact de la congestion dans le cas de trafic très dense, il est préférable d'utiliser un modèle de goulot à la place des « courbes débits vitesses » (même si ce dernier ne représente pas non plus de manière satisfaisante les situations d'hypercongestion). Le but est reproduire au mieux la congestion en heure de pointe sur le pont adjacent au Viaduc du Var. Selon le calcul effectué, les usagers perdraient en moyenne 10 min par rapport à la situation de référence. En intégrant cette pénalité horaire dans le modèle, l'allongement moyen de leur trajet s'élève à un peu moins d'un kilomètre.

**Tableau 5 - Bilan socio-économique pour le trafic de marchandises d'une interruption de la circulation Poids lourds sur le pont du Var**

*En euros par an*

<b>Augmentations de coûts y compris coûts externes</b>	
Terme kilométrique (hors péages)( hors TICPE)	310 000
Terme horaire ( EUR )	2 186 000
Terme journalier (CV + CS) ( EUR )	897 000
Coût du temps (chargeur)	253 000
Usure de l'infrastructure	661 000
Insécurité	391 000
CO2	19 000
COFP+ PFRFP (sur usure hors autoroutes et TICPE)	170 000
Nuisances Sonores	267 000
Coût du changement modal	~0
<b>Diminutions de coûts y compris coûts externes</b>	
Pollution locale	-525 000
<b>Solde des variations de coûts</b>	<b>4 631 000</b>

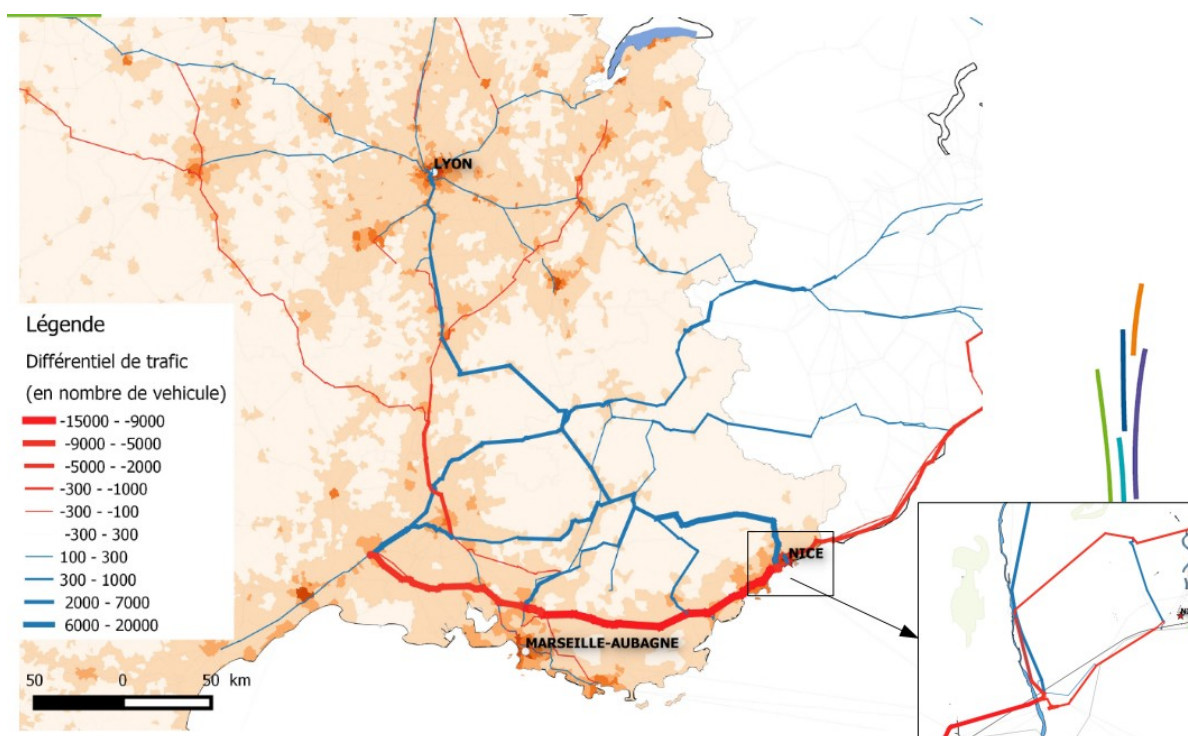
Source : CGDD, modélisation avec MODEV

Dans le cadre des hypothèses retenues, l'augmentation des coûts marchands d'usage des PL représenterait le premier poste du bilan. L'augmentation de la distance parcourue par les poids lourds s'accompagnerait aussi d'une augmentation de leurs émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>). Le terme d'usure de la route est non négligeable compte tenu du report de trafic important des PL du RRN vers les routes départementales et communales dont les coûts marginaux d'entretien par circulation supplémentaire de PL sont supposés beaucoup plus forts. Malgré l'augmentation des distances parcourues, les coûts de pollution locale devraient diminuer, car les zones traversées sont en moyenne moins densément peuplées (le gain est toutefois potentiellement sur-estimé puisque le modèle n'inclut pas de pénalité pour les émissions dans des vallées encaissées, où la pollution peut être plus persistante). Enfin, malgré les changements d'itinéraires vers des milieux moins densément peuplés, le coût des nuisances sonores resterait positif sous le double effet de l'augmentation des distances parcourues et de la prise en compte de plus fortes nuisances sonores par les circulations sur routes départementales et communales que sur le RRN.

### 2.2.2 Impact sur les déplacements de voyageurs à longue distance

La figure 12 représente les changements d'itinéraires en VL estimés en cas de mise hors service de l'infrastructure (en prenant en compte le report modal). La densité des milieux, en fond de carte, permet de mieux visualiser que le report de trafic s'effectue principalement vers des milieux moins peuplés.

**Figure 12 - Représentation des changements d'itinéraire voyageurs sur longue distance**



Source : CGDD, modélisation avec MODEV

**Tableau 6 - Bilan socio-économique pour le trafic de passagers sur longue distance de l'interruption de la circulation sur le pont du Var**

En euros par an

<b>Augmentations de coûts y compris coûts externes</b>	
Augmentation du coût km: usure véhicule et carburant (hors TICPE)	1 634 000
Augmentation du temps passé sur la route	8 259 000
Coût du changement modal	26 000
CO2	42 000
Insécurité	451 000
Usure de l'infrastructure	40 000
Pollution locale	632 000
Nuisances Sonores	50 000
<b>Diminutions de coûts y compris coûts externes</b>	
COFP+ PFRFP	-44 000
<b>Solde des variations de coûts</b>	<b>11 090 000</b>

Source : CGDD, modélisation avec MODEV

En cas de coupure du pont, les alternatives possibles sont plus longues en distance et en temps, augmentant ainsi la consommation de carburant, le temps de voyage et l'usure des véhicules.

En revanche, les coûts marginaux unitaires d'entretien (par circulation supplémentaire de VL) des routes empruntées suite à la coupure seraient en moyenne plus faibles, ce qui explique la faible augmentation de ce poste de coût. Les recettes liées à la taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques seraient supérieures aux coûts d'usure liés à l'augmentation des distances parcourues, ce qui conduirait à un léger gain par la valorisation du coût d'opportunité des fonds public et du prix fictif de rareté des fonds publics.

Le coût de changement modal, de faible amplitude, témoigne du faible report modal estimé en situation de coupure. Moins d'un pourcent des véhicules directement impactés par la coupure opéreraient pour l'utilisation d'un mode alternatif, ferroviaire ou aérien avec une légère préférence pour le fer.

### 2.2.3 Impact sur les déplacements de voyageurs courte distance

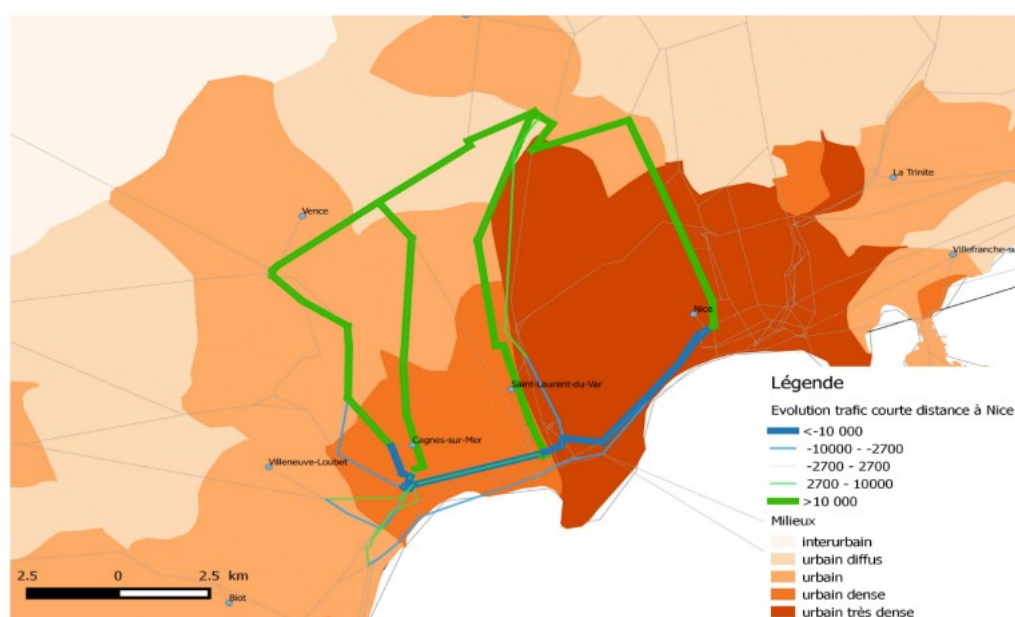
Le trafic voyageurs de courte distance représente environ la moitié de la part des usagers du pont (environ 40 000 véhicules/jour sur un total de 90 000 véhicules). Il est supposé que les usagers effectuant ces déplacements ne changeraient pas de mode suite à une coupure. Avec cette hypothèse simplificatrice, le rallongement des trajets suffirait à expliquer les principaux postes du bilan socio-économique.



## Partie 2 - Analyse ex ante d'une coupure routière

De la même façon et pour les mêmes raisons que pour le trafic de marchandises, nous appliquons une pénalité forfaitaire de temps sur le pont Napoléon III. Cette pénalité agit comme un majorant du temps perdu par les utilisateurs qui seraient affectés sur des itinéraires de temps inférieurs ou égaux aux temps de pénalité créés. Cela a pour conséquence de favoriser les détours par le Nord (cf. Figure 13) et de modifier la répartition des kilomètres qui seraient parcourus selon les zones de densités, conduisant ainsi, dans le présent exemple, à un léger biais d'estimation de la pollution locale et des nuisances sonores.

**Figure 13 - Report des déplacements courte distance (en TMJA\*)**



\* TMJA : Trafic moyen journalier annuel

Source : CGDD, modélisation (simplifiée des déplacements courte distance) avec MODEV

## Partie 2 - Analyse ex ante d'une coupure routière

**Tableau 7 - Bilan socio-économique pour le trafic de passagers sur courte distance d'une interruption de la circulation sur le Viaduc du Var**

*En euros par an*

<b>Augmentations de coûts y compris coûts externes</b>	
Augmentation du coût km: usure véhicule et carburant (hors TICPE)	9 102 000
Augmentation des temps de parcours	10 313 000
Nuisances Sonores	143 000
CO2	25 000
Insécurité	3 411 000
Usure de l'infrastructure	337 000
COFP+ PFRFP	64 000
<b>Diminutions de coûts y compris coûts externes</b>	
Pollution locale	-351 000
<b>Solde des variations de coûts</b>	<b>23 044 000</b>

Source : CGDD, modélisation avec MODEV

## 2.2.4 Bilan

**Tableau 8 - Bilan socio-économique global d'une interruption de la circulation sur le Viaduc du Var**

En euros par an

<b>Augmentations de coûts y compris coûts externes</b>	
Coût temps et distance marchandise	3 647 000
Augmentation des distances de parcours VL	10 736 000
Augmentation des temps de parcours VL	18 572 000
Coût du changement modal	26 000
Usure de l'infrastructure	1 039 000
Insécurité	4 253 000
CO2	87 000
COFP+ PFRFP	190 000
Nuisances Sonores	460 000
<b>Diminutions de coûts y compris coûts externes</b>	
Pollution locale	-244 000
<b>Solde des variations de coûts</b>	<b>38 765 000</b>

Source : CGDD, modélisation avec MODEV

Au total, il est estimé que le bilan socio-économique des perturbations du trafic induites par une coupure du pont du Var correspondrait à un coût de 39 millions d'euros de 2013 sur un an soit un coût moyen journalier de 107 k€<sub>2013</sub>. La majorité du coût serait imputable :

- à l'allongement des distances parcourues ;
- au retard subi par les usagers habituels de l'itinéraire impacté.

Parmi les hypothèses simplificatrices retenues, l'absence de prise en compte des effets de désinduction de trafic, l'invariabilité de la distribution des trafics et l'absence de report modal pour les trafics à courte distance contribuent à faire de ce résultat plutôt une estimation par valeur supérieure.

L'importance du coût pour la collectivité invite à examiner l'intérêt d'investir dans des ouvrages parasismiques dans cette zone exposée, indépendamment même des aspects plus directement liés à la gestion de crise (secours et évacuation des victimes, accès à la zone sinistrée...).

---

## Partie 2 - Analyse *ex ante* d'une coupure routière

---

### Partie 3

# Analyse de l'intérêt d'un renforcement sismique d'un ouvrage d'art

Une méthodologie permettant d'évaluer l'intérêt socio-économique de travaux de renforcement sismique d'un ouvrage exposé à un risque sismique est présenté. Dans un second temps, une application sur l'exemple du viaduc du Var permet de juger de la rentabilité de tels travaux d'un point de vue socio-économique.



### 3.1 PRÉSENTATION D'ENSEMBLE DE L'APPROCHE RETENUE

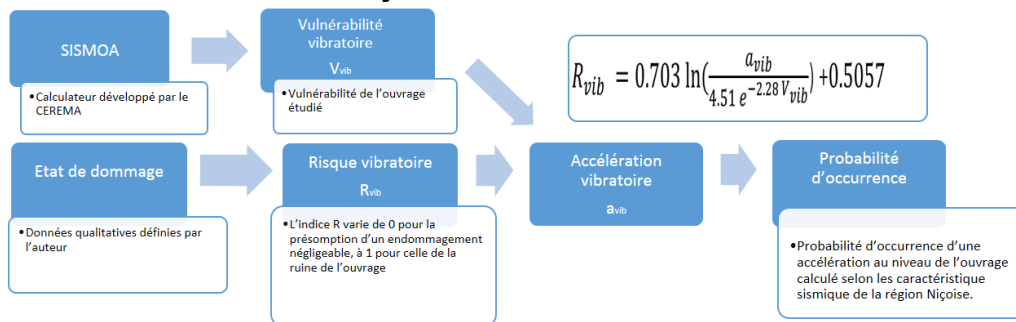
L'objectif est d'estimer l'intérêt socio-économique de travaux de renforcement sismique de l'ouvrage considéré dans la partie précédente. Cette analyse sismique n'est qu'un exemple, et de nombreuses autres situations de risque existent comme les risques technologiques (voire nucléaire) ou d'autres risques naturels comme la crue (cf. la carte en Annexe 3), le glissement de terrain, le risque accidentel ou encore de détérioration rapide d'un ouvrage (vieillessement).

La démarche se concentre sur l'évaluation des coûts socio-économiques ou coûts indirects liés aux contraintes imposées au trafic par un éventuel endommagement du pont, en plus des postes de coûts directement associés à la réparation de l'ouvrage endommagé.

Inspiré par une publication s'intéressant à la priorisation des investissements de renforcement des ponts californiens (Mander, 1999), on répartit les dommages hypothétiques causés au pont entre 5 niveaux, séparés par 4 seuils d'intensités sismiques. Le logiciel SISMOA, développé par le Cerema, est utilisé pour estimer les seuils correspondants pour le pont du Var à partir des caractéristiques connues de cet ouvrage. La méthodologie présentée est adaptée au cas particulier du pont de Nice, et ne tient compte que du risque dit « vibratoire ». Chaque ouvrage étant bien particulier, pour une localité différente, d'autres aspects devraient être pris en compte. En particulier pour des ouvrages situés en région montagneuse, les accélérations doivent être pondérées par un coefficient de relief (jusqu'à \*1,4) en plus d'un coefficient d'amplification selon le type de sol, et d'autres risques dits « induits » seraient à prendre en compte (cf. notice SISMOA du Sétra/Cerema).

Le coût socio-économique associé à chaque niveau de dommage est enfin pondéré par la probabilité d'occurrence de séismes d'ampleur suffisante pour provoquer de tels dommages. Les différentes étapes qui mènent au résultat final sont exposés dans le schéma 2. Cette approche qui pourrait être assimilée à une approche probabiliste ne l'est pas complètement ; en effet, SISMOA se base sur des données qualitatives calibrées à partir de quelques cas représentatifs, tandis qu'un travail purement probabiliste s'appuierait sur des courbes de fragilités qui n'existent pas pour le pont étudié et définirait des fonctions de probabilité de dégâts de différentes ampleurs pour toutes les intensités de séisme, et non sur une logique par seuils. En théorie la carte des zones de sismicité repose sur une approche probabiliste (accélérations associées à une période de retour de 475 ans).

Schéma 2 - Synthèse de la méthode de calcul



### 3.2 PRÉSENTATION PAS À PAS DE LA MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE

Tout d'abord, il est nécessaire d'associer les conséquences en matière d'exploitation à différents états de dommage qualitatifs du pont. Cinq états de dommage sont définis, chacun se rapportant à un temps d'interruption du trafic et à un coût de réparation. Afin de tenir compte de la croissance du trafic et de l'actualisation des coûts, pour les calculs de VAN mais aussi pour le cas de l'effondrement (coupure de 2 ans), le coût est dévalué de 4,5 % sur la deuxième année, contrasté par une croissance du trafic d'autre part.

**Tableau 9 - Définition des états d'endommagement du pont du Var et leurs conséquences**

Risque vibratoire $R_{vib}$	Intensité des dommages	Viabilité de l'infrastructure après séisme	Interventions nécessaires	Temps de coupure prévu (d'après l'étude B. Mander, 1999)	Temps de coupure supposé
0	Aucun	Sans objet	Aucune	--	0 jour
0,01	Mineurs	Faible dommage	Inspection, réparations limitées	3 jours	3 jours
0,25	Modérés	Dommages réparables	Réparation de certaines parties du pont	< 3 semaines	30 jours
0,75	Majeurs	Dommages réparables	Reconstruction de certaines parties du pont	< 3 mois	120 jours
1	Effondrement	Dommages irréparables	Reconstruction de la structure	Selon ouvrage	2 ans

Chacun des états de dommage peut être rapporté à une valeur du risque vibratoire (*encadré 1*). Le risque vibratoire noté  $R_{vib}$  varie de 0 pour la présomption d'un endommagement négligeable, à 1 pour celle de la ruine de l'ouvrage.

Un risque vibratoire est associé à chacune des intensités de dommage évoquées précédemment (*cf. tableau 9*). Si les niveaux associés aux dégâts mineurs et à l'écroulement sont liés directement aux sens des variables dans SISMOA, les seuils retenus pour les dégâts modérés et majeurs sont plus arbitraires, mais leur niveau exact n'impacte que peu les résultats.

Les temps de coupure supposés ont été ajustés à la hausse par rapport à l'étude de Mander pour tenir compte de l'expérience de gestionnaires d'ouvrages des services déconcentrés français. Certains encouragent à retenir des durées d'indisponibilités encore plus longues, qui font l'objet de tests de sensibilité dans la suite du document.

Ayant déterminé  $a_{crit}$  *via* SISMOA, il reste alors à déterminer la probabilité d'occurrence d'un séisme d'accélération  $a_{vib}$  supérieur au seuil minimal correspondant à chaque intensité de dommage. Pour cela il est possible de s'appuyer sur les équations définies dans l'annexe A

(informative) de la norme européenne concernant le calcul de la résistance au séismes des ponts (Eurocode 8-2, 1998) exprimant  $a_{vib}$  en fonction d'un temps de retour  $T_{vib}$  dépendant de la sismicité de la région.

### Encadré 1 - Risque vibratoire

$$R_{vib} = 0,703 \ln(a_{vib}/a_{crit}) + 0,5057$$

Où :

**acrit** est l'accélération critique (accélération maximale admissible par l'ouvrage l'amenant à un état de dommage compris entre les seuils « modérés » et « majeurs ») liée de façon empirique aux caractéristiques intrinsèques de l'ouvrage étudié (telles que le nombre, la hauteur et la longueur des travées). Elle peut être estimée en utilisant le calculateur SISMOA (Sétra/CETE Méditerranée, 2011) développé par le CEREMA.

**avib** est l'accélération du sol, au niveau du pont.

Cette formule est calibrée pour avoir :

- $R = 1,0$  lorsque  $a_{vib}$  est égale à  $2 \times a_{crit}$
- $R = 0,5$  lorsque  $a_{vib}$  est égale à  $a_{crit}$
- $R = 0,0$  lorsque  $a_{vib}$  est égale à  $0,5 \times a_{crit}$

### Encadré 2 - Accélération vibratoire

$$a_{vib} = a_{ref} * coef_{site} * \left( \frac{T_{vib}}{T_{ref}} \right)^k$$

La valeur de l'exposant  $k$  dépend de la sismicité de la région. Des valeurs comprises entre 0,30 et 0,40 peuvent être normalement utilisées. Dans cette étude  $k = 0,35$

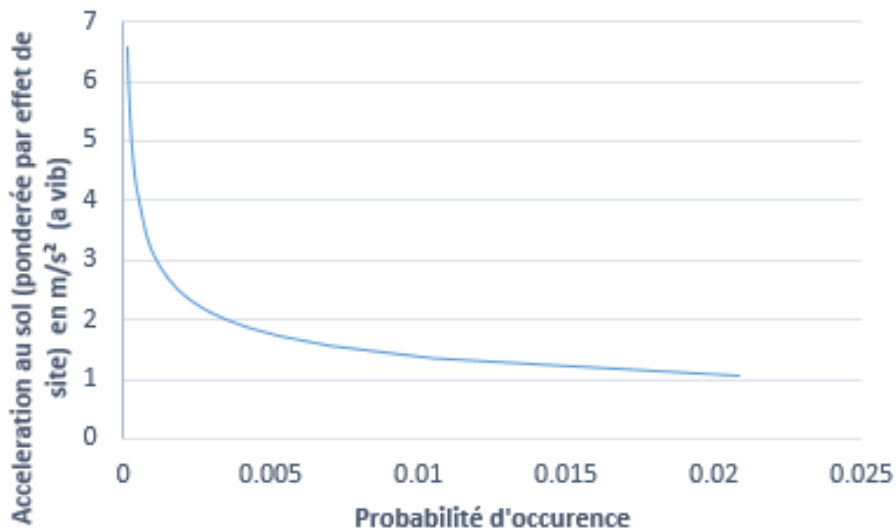
**aref** est l'accélération maximale de référence du sol correspondant à la période de retour de référence  $T_{ref}$

Selon la version définitive du zonage national, l'accélération de référence au rocher (censée correspondre à une période de retour de 475 ans) à Nice est de  $1,6 \text{ m/s}^2$ . L'estimation de l'accélération de référence au rocher est réalisée selon la version définitive du zonage national.

Enfin, il convient de tenir compte de coefficients de site venant moduler l'accélération vibratoire à la base de l'ouvrage. Il peut se décomposer en un coefficient de sol (effet de site géologique) et un coefficient de relief (effet de site topologique). A Nice, il convient de retenir un coefficient de sol de 1,5 d'après les experts consultés.



Figure 14 - Probabilité d'occurrence de séismes dont l'accélération maximale au niveau du pont du Var dépasse le niveau  $a_{vib}$



Grâce à ces données sur la probabilité annuelle d'occurrence de séismes excédant un niveau d'accélération  $a_{vib}$  (figure 14), les probabilités d'occurrence des différents niveaux de dommage pour des scénarios avec et sans travaux sont calculées. Les espérances de coûts entre un scénario sans travaux et un scénario où le pont a été préalablement renforcé peuvent être comparées. Le coût du renforcement varie en général de 1 % à 11 % du prix de construction du pont. Dans ce cas pratique, une hypothèse haute de 10 % du coût de l'ouvrage est retenue, au vu des dimensions et caractéristiques de l'ouvrage ainsi que du caractère potentiellement liquéfiable du sol de fondation. Le coût de l'ouvrage étudié est estimé à 10 millions d'euros. À cela pourrait être ajouté le coût socio-économique lié à la perte du temps des usagers pendant la phase de travaux en cas de renforcement préventif. Or dans le cas du pont considéré, il ne serait *a priori* pas nécessaire d'introduire des restrictions de circulation durant les travaux (de telles restrictions de circulation ont notamment été évitées lors de travaux sur des ouvrages frontaliers des Pyrénées relativement similaires au pont étudié).

En plus de coûts socio-économiques, des coûts fixes de réhabilitation du pont sont ajoutés. Ces coûts sont choisis comme une proportion du prix total de l'ouvrage neuf et croissent en fonction de l'intensité des dommages pour atteindre 100 % du coût en cas d'effondrement. Il est supposé que des réparations mineures représentent 3 % du coût total du pont, 8 % pour des dégâts modérés et 25 % pour des dégâts majeurs.

## Partie 3 - Analyse de l'intérêt d'un renforcement sismique d'un ouvrage d'art

**Tableau 10 - Estimation des coûts socio-économiques selon les actions entreprises face au risque sismique**

Type d'ouvrage	Dégâts	Accélération vibratoire nécessaire en m/s <sup>2</sup>	Probabilité d'occurrence annuelle	Nombre de jours pour le calcul socio-économique	Coût de réparation (en k€)	Coût socio-économique de la coupure (hors travaux) en k€	Espérance du coût total (y compris travaux) en k€	Espérance de la somme des coûts variables totaux en k€
Pont en l'état	Aucun	0.00	9.757E-01	0	0	0	0	85
	Mineurs	1.02	1.573E-02	3	300	319	10	
	Modérés	1.47	7.429E-03	30	800	3 186	30	
	Majeurs	3.00	7.150E-04	120	2500	12 745	11	
	Écroulement	4.30	3.978E-04	2 ans	10000	76 181	34	
Pont renforcé	Aucun	0.00	9.956E-01	0	0	0	0	17
	Mineurs	1.85	2.754E-03	3	300	319	2	
	Modérés	2.60	1.456E-03	30	800	3 186	6	
	Majeurs	5.30	1.377E-04	120	2500	12 745	2	
	Écroulement	7.50	8.118E-05	2 ans	10000	76 181	7	
	Renforcement	--	1	0	--	0	1 000	1000 (une seule fois)

### 3.3 MESURE DE L'EFFICIENCE DU PROJET GRÂCE AU CALCUL DE VALEUR ACTUALISÉE NETTE (VAN)

Le calcul du bilan socio-économique du renforcement du pont est effectué avec un taux d'actualisation de 4,5 %, conformément aux recommandations du Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective (ex-CAS).

À titre de simplification, il est supposé que les différents séismes sont indépendants, ce qui permet de relier simplement les dommages évités moyens annuels (DEMA)<sup>6</sup> associés à chaque niveau de dommage pondérés par la probabilité d'occurrence d'un séisme d'amplitude correspondante.

Le résultat prend également en compte un taux de croissance du trafic routier qui est celui décrit dans les projections de la demande de transport du CGDD<sup>7</sup>, soit 0,6 % de croissance pour les déplacements à courte distance voyageurs, 1,1 % pour les déplacements à longue distance voyageurs et 1,6 % pour les poids lourds. Ces taux sont appliqués en fonction du poids socio-économique de chaque type de déplacements.

<sup>6</sup> Cette terminologie reprend celle du Guide d'analyse multicritère pour les plans de prévention du risque inondation, Christin et al., CGDD 2014.

<sup>7</sup> Cf. Projections de la demande de transport sur le long terme, Pochez et al. CGDD 2016.

### Partie 3 - Analyse de l'intérêt d'un renforcement sismique d'un ouvrage d'art

Un calcul de valeur actualisée nette (VAN) où la première année est consacrée à un investissement dans le renforcement. Ensuite, est valorisée la réduction du risque sismique jusqu'en 2075. Le calcul de VAN s'écrit alors :

$$VAN = -C_0 + \sum_{i=2014}^{2075} \frac{(DEMA)}{(1+r)^i}$$

$C_0$  les coûts initiaux de renforcement

$DEMA$  en considérant une croissance des trafics selon les hypothèses des projections du CGDD

$n$  l'horizon temporel de la mesure

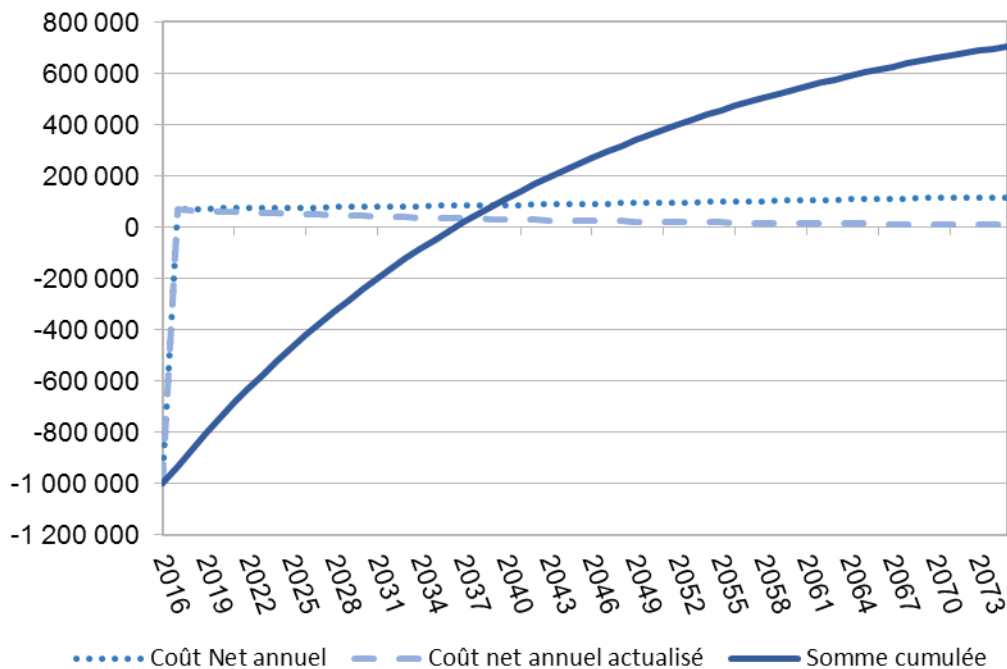
$r \leq$  taux d'actualisation (constant jusqu'en 2075)

**Tableau 11 - Calcul de la VAN de travaux de renforcement du pont du Var**

Année	Coefficient d'actualisation	Bénéfice net annuel	Bénéfice net annuel actualisé	Somme cumulée actualisée
2016	1.00	-1 000 000	-1 000 000	-1 000 000
2017	0.96	68 514	65 563	-934 437
2018	0.92	69 106	63 283	-871 154
2019	0.88	69 705	61 082	-810 072
...	...	...	...	...
2075	0.07	110 056	8 199	656 347

Ainsi, en 2075, à la fin de la durée de vie de cet ouvrage, l'espérance de valeur actualisée nette à 4,5 % du projet de renforcement de l'ouvrage est de 656 k€, avec l'ensemble des hypothèses retenues dans ce travail.

Figure 15 - Valeur actualisée nette du renforcement du Viaduc du Var

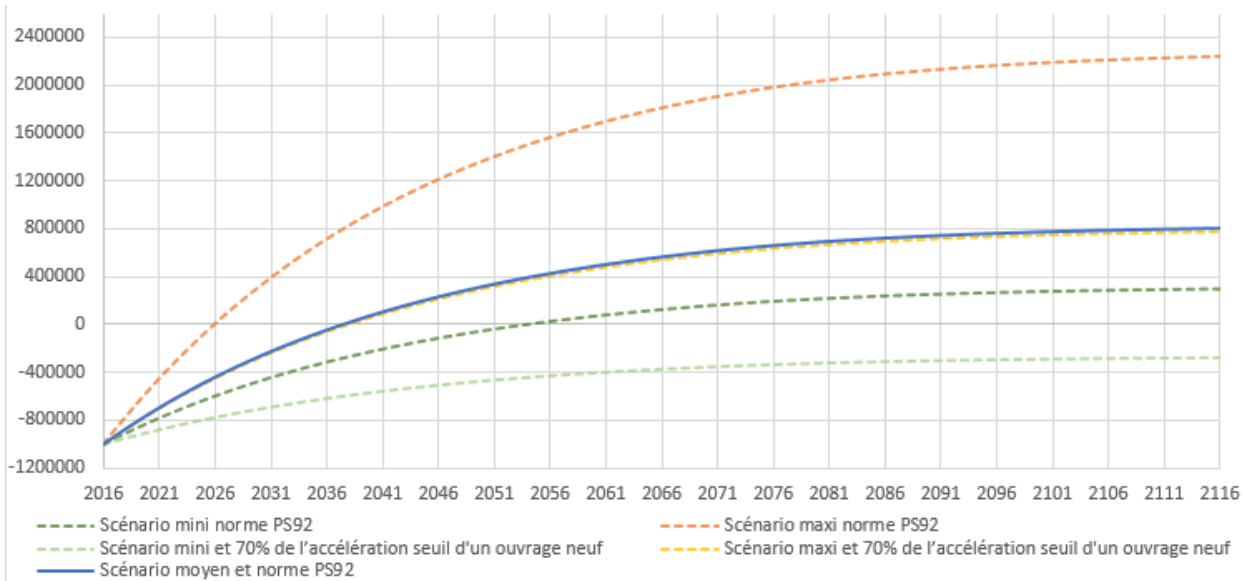


### 3.4 TESTS DE SENSIBILITÉ AU TEMPS D'INDISPONIBILITÉ ET AUX CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE APRÈS RENFORCEMENT

Les hypothèses réalisées sur le temps d'indisponibilité provenant d'une étude américaine ne sont pas complètement adaptées au cas français. En effet, les processus décisionnels et l'importance des investissements diffèrent de la France, ce qui a tendance à raccourcir les temps d'indisponibilité. Pour exposer les impacts de ces hypothèses, des tests de sensibilité ont été réalisés avec concertation d'experts afin de déterminer un intervalle de temps qui pourrait correspondre aux cas français dans ce type de situation.

De plus, lors de renforcement sismique d'ouvrages, l'objectif du renforcement est souvent moins ambitieux que l'atteinte des normes en vigueur pour les ouvrages neufs. À dire d'experts, les opérations de renforcement sont souvent dimensionnées pour permettre aux ouvrages de résister à des séismes caractérisés par une accélération de 30 % inférieure à celle que doivent supporter les ouvrages neufs. L'impact d'une moindre efficacité du renforcement (sans réduction des investissements) a fait l'objet d'un second test de sensibilité.

Figure 16 - Test de sensibilité de la VAN lors du renforcement du Viaduc du Var



Cinq situations sont exposées :

- Les scénarios « mini » montrant l'évolution de la VAN avec des temps d'indisponibilité provenant de données aux États-Unis (en phase pour les intensités de dommages mineures, modérées et majeures, avec les hypothèses retenues par B. Mander dans la publication citée précédemment, et en cas de destruction sur la reconstruction d'un pont suite à l'effondrement du I-35W Mississippi River bridge ) ;
- Les scénarios « maxi », provenant de chiffres décrits comme plus réalistes en contexte français de la part de gestionnaires d'ouvrages d'art de l'administration déconcentrée ;
- Le scénario dit « central » que nous avons retenu dans la partie précédente.

Tableau 12 - Test de sensibilité au temps d'indisponibilité

Intensité des dommages	État de l'ouvrage	Temps d'indisponibilité à la circulation minimum	Temps d'indisponibilité à la circulation supposé	Temps d'indisponibilité à la circulation maximum
Aucun	Sans objet	0 jour	0 jour	0 jour
Mineurs	faible dommage	3 jours	3 jours	3 jours
Modérés	dommages réparables	20 jours	30 jours	90 jours
Majeurs	dommages réparables	90 jours	120 jours	180 jours
Écroulement	dommages irréparables	13 mois	24 mois	36 mois

Le cas le plus défavorable au renforcement préventif du pont est celui où le renforcement ne permet pas d'atteindre les performances des normes actuelles et où temps d'indisponibilité en cas de rupture de l'ouvrage est très court, la VAN tend alors vers une valeur négative. Dans tous les autres scénarios l'intérêt du renforcement varie dans des proportions très importantes mais reste toujours positif.

### 3.5 CONCLUSION ET COMMENTAIRES SUR LA REPRÉSENTATIVITÉ DU CAS ÉTUDIÉ

L'espérance de la VAN du projet est positive. Le projet est donc considéré comme rentable d'un point de vue socio-économique. Bien que restant systématiquement positif dans les quelques tests de sensibilité réalisés (sur le temps d'indisponibilité de l'ouvrage et l'impact du renforcement sur la vulnérabilité de l'ouvrage), le bilan est très sensible aux hypothèses liées à la vulnérabilité de l'ouvrage ainsi qu'aux améliorations des propriétés de l'ouvrage renforcé pour des infrastructures fortement fréquentées comme celle du pont du Var.

Les ratios entre le coût de réparation et celui de construction initiale du pont proviennent de l'étude de John B. Mander et semblent aussi représentatifs des ponts français. Par ailleurs, il est supposé que la reconstruction d'un pont reviendrait au même prix que sa construction initiale, tandis que l'étude de John B. Mander prenait une hypothèse plus optimiste. Compte tenu du nombre de travées du pont de Nice, l'application de sa formule aurait conduit à retenir un coût deux fois inférieur.

Les résultats sont de manière générale très sensibles à la modification des temps de travaux de remise en service du pont lorsque celui-ci subit des dégradations. Les hypothèses sur le temps d'indisponibilité sont inspirées d'une étude américaine et semblent également cohérentes avec des données françaises.

Au-delà du cas particulier étudié, les résultats de cette étude confirment l'importance de l'estimation du temps d'indisponibilité des ouvrages dans le cas d'ouvrages très fréquentés et dont la fermeture induit une forte congestion.

Dans l'exemple de renforcement d'un ouvrage analysé, il apparaît que le renforcement peut se faire sans perturbation de la circulation sur le pont. Si des travaux imposant des restrictions de circulation avaient été nécessaires, les pertes de temps des usagers du fait du renforcement préventif auraient pu modifier le bilan. À titre d'exemple, le temps du renforcement et de la réparation du viaduc de Caronte a été estimé à environ 4 ans, soit une durée supérieure au temps de reconstruction de l'ouvrage entier. Mais même pour les ouvrages dont le niveau de service est dégradé pendant les travaux de renforcement, ce coût peut être très largement modulé en fonction de l'organisation des dits travaux en adaptant les périodes de travaux aux périodes de la journée, aux jours de semaines/ week-end et à la période de l'année durant lesquelles les trafics sont les plus faibles.

## Conclusion générale

Il existe peu de publications s'intéressant aux sujets de réduction d'offre de transport et ses impacts. Cette étude vise donc à combler ce manque en contexte français et à ouvrir à des discussions méthodologiques et des perspectives de développement d'outils d'aide à la décision.

Parmi les principaux enseignements de l'étude, on notera que les coûts portés par les utilisateurs du réseau peuvent constituer un poste important du bilan d'une interruption et d'une remise en état d'une infrastructure dégradée, d'un ordre de grandeur équivalent voire supérieur à celui des travaux. Ces impacts que subit la collectivité peuvent être réduits en développant des réseaux plus résilients, que ce soit en construisant des ouvrages plus résistants ou en tenant compte des effets de réseaux (redondance de certaines infrastructures vulnérables...). Il serait particulièrement intéressant de développer des outils permettant de hiérarchiser les priorités d'investissement, en s'appuyant sur une méthodologie qui pourrait s'inspirer de celle retenue pour l'évaluation du bilan socio-économique du renforcement du Viaduc du Var à Nice.

De plus, dans la première partie de cette étude, les dépendances des comportements des utilisateurs à l'information, la communication mais aussi à la durée de coupure et aux moyens mis en place pour en limiter l'impact sont mis en valeur et il est utile d'essayer d'en rendre compte dans les évaluations de l'impact de coupure de réseau.

---

## Conclusion générale

---



# Annexes

- 1 - Hypothèses de calcul
- 2 - Modèle de goulot
- 3 - Cartographie des risques
- 4 - Bibliographie



# Annexe 1 - Hypothèses de calcul

Les valeurs monétaires ont systématiquement été rapportées aux conditions économiques de l'année 2013 (année de la coupure ferroviaire) en utilisant l'indice des prix du produit intérieur brut produit par l'Insee.

## Externalités

Pour le calcul des externalités, c'est-à-dire des nuisances générées par les transports sur l'environnement, la pollution locale, le bruit et les émissions de CO<sub>2</sub> ont été pris en comptes selon les recommandations du référentiel d'évaluation des projets de transport de la DGITM.

## Pollution locale

La pollution locale a été distinguée selon le milieu concerné d'après les recommandations du référentiel d'évaluation des projets de transport de la DGITM.

**Tableau 12 - Coût de la pollution locale selon les milieu par véhicules.km**

c€2013/veh.km	Urbain très dense	urbain dense	urbain	urbain diffus	interurbain
VL	16,26	4,42	1,75	1,34	0,93
PL	191.986873	38.0681367	18.2109735	9.67136447	6.58475879

## Bruit

Les coûts des nuisances sonores ont été monétarisés comme décrit dans le référentiel d'évaluation des projets de transport. Le coût considéré ici est le coût marginal des nuisances sonores, les variations de trafic étant faibles.

**Tableau 13 - Valeurs du coût des nuisances sonores pour le mode routier pour un jour moyen**  
*En €2013/1000 veh.km*

Type de peuplement	Infrastructure	Coût marginal VL	Coût marginal PL
Rural	Autoroute	0.03	0.10
	Nationale ou départementale	0.12	0.82
	Communale	0.65	7.10
Urbain diffus	Autoroute	0.12	0.51
	Nationale ou départementale	0.21	1.44
	Communale	1.04	10.39
Urbain	Autoroute	0.35	1.34
	Nationale ou départementale	0.35	2.47
	Communale	1.94	19.45
Urbain dense	Autoroute	0.51	2.06
	Nationale ou départementale	0.57	3.91
	Communale	2.35	23.46
Urbain très dense	Autoroute	0.86	3.50
	Nationale ou départementale	1.04	7.30
	Communale	2.65	26.54

## CO<sub>2</sub>

Le coût de la tonne de CO<sub>2</sub> est celui recommandé par le référentiel actualisé en €2013, la valeur utilisée est de 32,92 €/t CO<sub>2</sub>. Les équivalents litre CO<sub>2</sub> est de 2,46 pour les véhicules diesel et de 2,24 pour les essences.

## Coût des modes routiers

### *Coût d'opportunité des fonds publics (COFP)*

De manière générale le COFP au coût pour la collectivité de la levée des recettes publiques et est appliqué pour toute dépense publique nette supplémentaire engendrée par la réalisation du projet (subvention, financement, entretien et maintenance, compléments aux recettes de trafic pour financer le loyer de contrat de partenariat, etc.). Dans cette étude, le COFP est donc appliqué sur l'ensemble du bilan des acteurs publics (à hauteur de 0,2 des variations des dépenses ou recettes). Est en outre ajouté également un prix fictif de rareté des fonds publics (PFRFP) de 0,05 en sus du COFP. Il s'agit d'un coefficient appliqué aux dépenses publiques nettes visant à hiérarchiser les projets en situation de rareté de l'argent public, qui conduit à retenir finalement un COFP de 0,25.

**Coûts d'usure de l'infrastructure routière**

**Tableau 14 - Valeurs des coûts d'usure d'infrastructure pour le mode routier pour un jour moyen**

*En €2013/ veh.km*

Autoroutes concédées	PL	4,64
	Cars et Bus	3,27
	VUL	1,67
	VL	1,52
Réseau national non concédé	PL	3,86
	Cars et Bus	1,96
	VUL	0,07
	VL	0,41
Routes départementales	PL	13,22
	Cars et Bus	5,81
	VUL	1,25
	VL	0,62
Routes communales	PL	8,07
	Cars et Bus	4,16
	VUL	1,29
	VL	0,69

Source : Tome 2 des comptes des transports en 2011, actualisés en €2013

**Coût Poids Lourds**

Les différentes hypothèses retenues correspondent aux publications du Comité national routier (CNR).

Le coût horaire pour le transporteur routier de marchandise dépend entre autres d'un terme kilométrique lié à l'usure du véhicule, à un terme horaire lié à la charge salariale. Hors les dépenses en carburant la valeur horaire est estimée à 19,68 €/h. À cela il faut ajouter le terme kilométrique hors péage et hors TVA en 2013 qui s'élève à 0,377 €/km.

Pour le chargeur un coût indirect est créé lors d'un retard, il correspond à des coûts de logistique par exemple. Un terme journalier est aussi pris en compte, il est estimé à 193,9 € par jour, d'après le CNR.

### Valeur du temps véhicule personnel

Dans le cadre de l'étude, la perte de temps pour les usagers est assimilée à un coût pour les usagers en utilisant les valeurs du temps du référentiel d'évaluation des projets de transport et actualisés pour l'année 2013. La valeur du temps pour le mode ferroviaire est 26,13 €/2013/h et 14,8 €/h pour les véhicules personnels.

### Coûts des autocars pour le report de trafic suite à la coupure de Morlaix

Le coût de fourniture de service ainsi que le coût marginal d'usure de l'infrastructure pour un autocar sont de 2,1 €/autocar. km.

**Tableau 15 - Coût de fourniture de service** *en €/autocars.km*

coûts kilométriques directs:	régional	interrégional
carburant (moyenne)	0.278	0.253
pneumatiques	0.029	0.029
entretien réparations	0.146	0.146
pièces	0.04	0.081
<b>coûts de personnel de conduite :</b>	<b>0.892</b>	<b>0.446</b>
<b>coûts fixes de véhicule:</b>		
assurances	0.060	0.054
charges de structure	0.232	0.162
amortissement	0.422	0.348
<b>total:</b>	<b>2.10</b>	<b>1.52</b>

Source : Calcul CGDD

Le nombre de trajets d'autocars ajoutés pendant la période de la coupure était de 40 par jour durant 64 jours pour une distance parcourue de 69,7 km (donnée issue de données Google Maps entre Landerneau et le Plouaret).

### Tableau 16 - Coût (hors externalité) sur la période de coupure pour l'ajout d'autocars

Nombre de trajet autocars journalier	Nombre de km	Prix/car.km	Durée en jours	Total
40	69,7	2,1	65	380 562

Source : Google Maps

## Annexes

---

À ce résultat il convient d'ajouter des calculs d'externalité ainsi que les calculs d'usure de l'infrastructure (issus du paragraphe précédent). Les coûts des externalités considèrent un taux de remplissage de 25 personnes par autocar (tableau 17).

**Tableau 17 - Coût des externalités sur la période de coupure pour l'ajout d'autocars**

*En c€/pass.km*

Externalités	CO <sub>2</sub>	0,1
	Pollution locale	0,8
	Bruit	0,1

Source : Calcul CGDD

### Taxes

Le montant de la TICPE perçue par l'État a été évalué conformément au niveau de la taxe en 2013 (tableau 18).

**Tableau 18 - Valeurs retenues pour la TICPE et prix du litre de carburant**

*En €2013/L*

Carburants	TTC	dont TICPE
Gazole	1,34	0,44
Essence	1,49	0,62

Le parc de véhicules personnels est réparti à 40 % de véhicules essence et 60 % de véhicules diesel. Une consommation de 31 litres au 100 km pour les poids lourds.

### Calculs socio-économiques

#### Accidentologie

Le calcul d'accidentologie routière est calculé sur la base des données du CAS. Il dépend du type d'infrastructure et du nombre de véhicules\*km annuels.

Le nombre de tués, blessés légers et blessés graves a été calculé selon les chiffres de l'instruction cadre de 2008. La monétarisation de cette insécurité est faite en utilisant l'hypothèse de valeur de la vie humaine recommandée par la commission Quinet (en €2010 actualisées en €2013).

***Coût socio-économique lié au changement modal***

Les comportements de changement modal s'expliquent par un renchérissement du coût généralisé du mode ferroviaire supportés par les usagers. Le coût pour les usagers qui changent de mode émane d'un calcul de surplus dont les bases sont les suivantes : lorsqu'un individu choisit d'utiliser la voiture pour ses déplacements après la coupure du réseau ferré alors qu'auparavant il choisissait le train comme mode privilégié ; l'utilité qu'il associait avant la coupure à la voiture était inférieure à celle qu'il associait au train. Si ce changement de mode est dû à un événement qui dévalorise l'utilité du train de « x » euros par kilomètre alors la différence entre les deux utilités est inférieure à « x » (sinon la coupure n'aurait pas suffi à faire changer de mode l'individu). On estime classiquement que le surplus généré est en moyenne de « x »/2, ce qui revient à dire que les surplus des individus est distribué uniformément entre 0 et « x ».

## Annexe 2 - Modèle de goulot

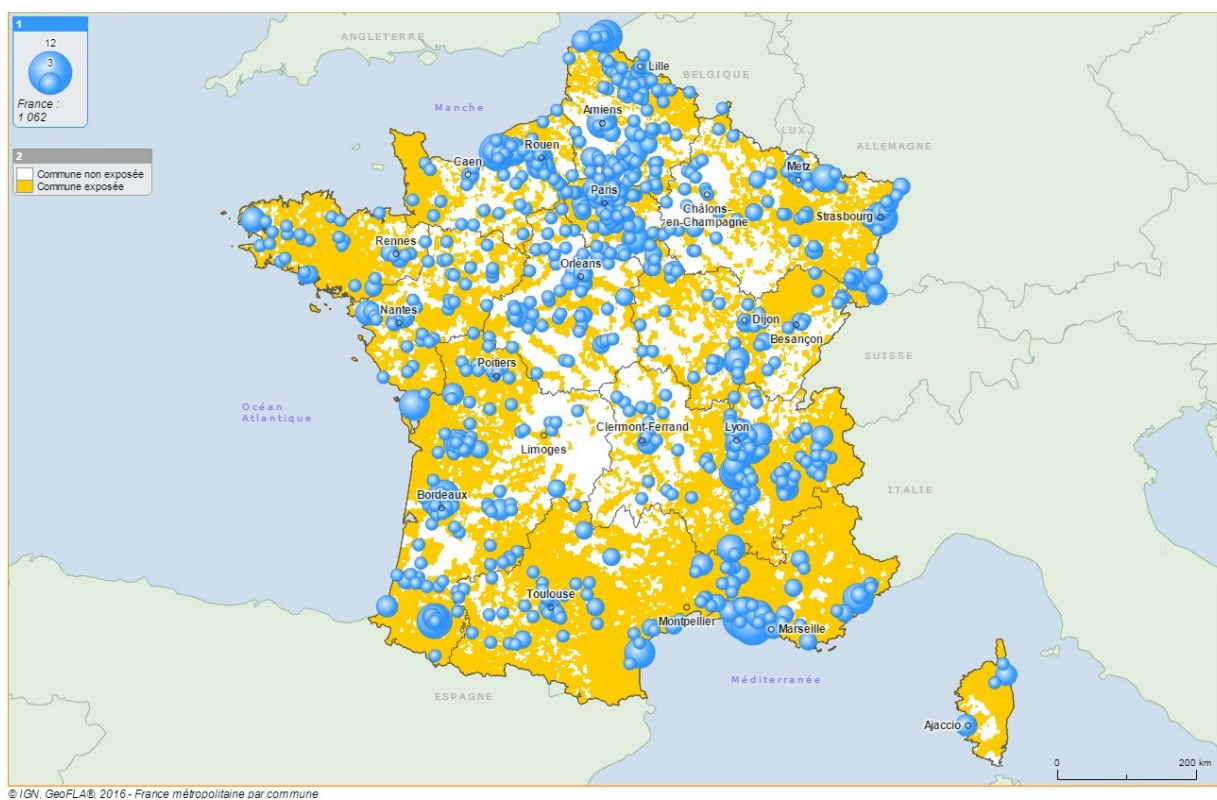
Pour modéliser les heures de pointe, il a été choisi de retenir 2 h successives de congestion par 24 h et il a été supposé que le trafic est 2,4 plus élevé que le trafic moyen durant les heures de pointe. Chaque camion est modélisé comme 2 unités de voiture. Le nombre de voie et la vitesse autorisée maximale sont fixes, en revanche le goulot de 3 voies, à capacité 2 000 unités de véhicules par voie par heure, subit une augmentation de la fréquentation de véhicules. La circulation existante du pont à laquelle est ajoutée celle du viaduc créé dépasse la capacité maximum et crée une file d'attente. Le calcul de retard total est ensuite rapporté au nombre de véhicules traversant le pont pour obtenir un retard moyen. Ce calcul est effectué sur un sens en supposant une symétrie des déplacements.



## Annexe 3 - Cartographie des risques

Parmi les risques pouvant remettre en cause l'utilisation d'une infrastructure, voici un exemple cartographique des risques technologiques et d'inondation en France.

### Carte des risques technologiques et inondations en France



Sources :

1 - Nombre de sites SEVESO en 2012 : SDES d'après MTES, 2012

2 - Communes exposées à un risque majeur d'inondation en 2014 : DGPR (base de données Gaspar, octobre 2014), 2014

## Annexe 4 - Bibliographie

BACOT M.A., DURVILLE J.L. et WINTER L., *Les enjeux économiques de la résilience des réseaux*, CGEDD, 2015. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/154000782/index.shtml>

BELUT F., TOUDIC L., DARRAS V., Glissement rocheux à Morlaix (ligne ferroviaire Paris-Brest) – Gestion de crise et retour d'expérience, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur 2014. <http://www.cfmr-roches.org/sites/default/files/jngg/170.pdf>

BLARDONE J.D., *Scénario de coupure de l'A7 entre Vienne et Orange*, CGDD, 2007, [http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/doc/IFD/IFD\\_REFDOC\\_TEMIS\\_0080103/](http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/doc/IFD/IFD_REFDOC_TEMIS_0080103/)

CEREMA. Plan National Adaptation au Changement climatique – Évaluation des enjeux trafic via l'utilisation d'un modèle de déplacement, 2014, ISRN : CEREMA-DtecITM-2014-008-1. [http://www.infra-transport-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1405w-rapport\\_PNACC.pdf](http://www.infra-transport-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1405w-rapport_PNACC.pdf)

CEREMA, Fermeture du Pont Mathilde à Rouen - Impact sur la mobilité au sein de l'agglomération, 2017, ISRN : CEREMA-DtecITM-2016-052-1-FR [http://www.infra-transport-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1652w-rapport-Fermeture\\_du\\_pont\\_Mathilde\\_a\\_Rouen.pdf](http://www.infra-transport-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1652w-rapport-Fermeture_du_pont_Mathilde_a_Rouen.pdf)

CEREMA, Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC), volet infrastructures et systèmes de transport : Action 3, 2015, ISRN : CEREMA-DtecITM-2015-009-1-FR [http://www.infra-transport-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1510w\\_PNACC\\_act3.pdf](http://www.infra-transport-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1510w_PNACC_act3.pdf)

CHRISTIN N., MAGNIER C. et PEINTURIER C., *Guide méthodologique de l'Analyse multicritères des projets de prévention des inondations*, CGDD, 2014. [http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/ACCRDD/doc/IFD/IFD\\_REFDOC\\_TEMIS\\_0081065](http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/ACCRDD/doc/IFD/IFD_REFDOC_TEMIS_0081065)

Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer. Fiches outils du référentiel d'évaluation des projets de transport au 7 octobre 2014. <http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Fiches-Outils.zip>

MANDER, J. B., *Fragility curve development for assessing the seismic vulnerability of highway bridges*, *Research Progress and*, 1999. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.501.2760&rep=rep1&type=pdf>

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Costing Asset Protection: An All-Hazards Guide for Transportation Agencies (CAPTA), 2009, <https://doi.org/10.17226/14183>.

UTASSE M., JOMELLI V., GRANCHER D., LEONE F., BRUNSTEIN D, et al., *Territorial Accessibility and Decision-Making Structure Related to Debris Flow Impacts on Roads in the French Alps*, 2016, <[10.1007/s13753-016-0088-3](https://doi.org/10.1007/s13753-016-0088-3)> (référence DOI).

POCHEZ R., WAGNER N., CABANNE I., *Projections de la demande de transport sur le long terme*, 2016.

[http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/doc/IFD/IFD\\_REFDOC\\_TEMIS\\_0085036](http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/doc/IFD/IFD_REFDOC_TEMIS_0085036)

QUINET E. L'évaluation socio-économique des investissements publics, rapport du Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective. *La Documentation Française*, 2013.

<http://www.strategie.gouv.fr/publications/levaluation-socioeconomique-investissements-publics-tome1>

SETRA/CETE Méditerranée, *SISMOA évaluation préliminaire du risque sismique sur les ouvrages d'art existants*, 2011. [http://www.infra-transport-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1039w\\_SISMOA-1.pdf](http://www.infra-transport-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1039w_SISMOA-1.pdf)

XIE F. et LEVINSON D., Evaluating the effects of the I-35W bridge collapse on road-users in the twin cities metropolitan region, 2011, <http://dx.doi.org/10.1080/03081060.2011.602850>

---

## Annexes

---

### **Conditions générales d'utilisation**

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille — 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'oeuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1er juillet 1992 — art. L.122-4 et L.122-5 et Code pénal art. 425).

**Dépôt légal : octobre 2017**

**ISSN : 2552-2272**



Ce document présente un bilan pour la collectivité d'une défaillance d'infrastructures de transport considérées comme vulnérables, et de mesures permettant d'en réduire le risque d'occurrence. L'évaluation se concentre sur la monétarisation des dommages indirects associés à la dégradation du service de transport pour les usagers dans l'attente du remplacement ou de la remise à niveau de l'infrastructure dégradée. L'étude, basée sur une approche socio-économique, s'appuie sur le modèle de trafic du CGDD.



Deux applications sont réalisées, d'une part, une analyse *ex post* d'une dégradation du réseau ferroviaire, puis d'autre part, une analyse *ex ante* d'une coupure routière (un pont) complétée par une analyse coût bénéfice permettant de déterminer l'intérêt d'un renforcement de l'infrastructure face au risque sismique.

*Des méthodes similaires pourraient être utilisées pour évaluer la pertinence d'autres mesures de réduction de la vulnérabilité des infrastructures de transports à différents risques naturels.*

**Indisponibilité  
d'une  
infrastructure  
de transports**  
Mesurer et  
réduire les coûts



## commissariat général au développement durable

Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du  
développement durable

Sous-direction Mobilité et Aménagement (MA)

Tour Séquoia

92055 La Défense cedex

Courriel : [MA.Seei.Cgdd@developpement-durable.gouv.fr](mailto:MA.Seei.Cgdd@developpement-durable.gouv.fr)

[www.ecologique-solidaire.fr](http://www.ecologique-solidaire.fr)

