

# Approche méthodologique dédiée à l'adaptation des infrastructures au changement climatique – Cas des infrastructures routières

Michaël Gonzva<sup>1</sup>, Didier Soto<sup>1</sup>, Karim Selouane<sup>1</sup>

<sup>1</sup>RESALLIENCE, SIXENSE ENGINEERING, VINCI Construction

**RESUME** Les démarches de diagnostic de vulnérabilité sont multiples mais sont généralement inefficaces du fait de leur considération aléa-centrée, réduisant la vulnérabilité à la seule présence/absence d'enjeux dans un périmètre d'exposition aux aléas. La méthodologie initiée par RESALLIENCE se propose de dépasser cette approche : elle permet une modélisation de la vulnérabilité et de la résilience fonctionnelle d'une infrastructure de génie civil. Elle considère cet ouvrage à la fois comme un facteur pouvant aggraver la vulnérabilité des territoires et aussi comme un vecteur de leur résilience. La méthodologie est appliquée opérationnellement et se fonde sur l'utilisation d'un Système d'Information Géographique.

**Mots-clefs** infrastructure, climat, indicateur, vulnérabilité, résilience, SIG

## I. INTRODUCTION

Les territoires font aujourd'hui face à des défis sociaux et environnementaux sans précédent : attractivité croissante des espaces urbains, démographie grandissante, augmentation de la fréquence et de l'intensité des aléas climatiques... En particulier, le changement climatique augure d'importants risques, en nombre comme en intensité, portant sur les infrastructures, notamment urbaines : incendies endommageant le réseau électrique, inondations affectant le réseau ferroviaire ou routier, vagues de chaleur perturbant le transport aérien... (Fig.1 et 2). Or, à cette caractéristique de vulnérabilité des réseaux se conjugue celle de leurs interdépendances. En effet, les risques induits par les défaillances des réseaux existants font partie des catégories de risque qui désorganisent, dans leur intégralité par effet domino, les usages et les fonctionnalités des systèmes structurant nos territoires (CEREMA, 2019). Pour cette raison, ces infrastructures sont généralement considérées comme des infrastructures critiques. Par exemple, l'interruption du réseau électrique, lorsqu'il est touché par un aléa, peut avoir des répercussions indirectes sur le réseau de télécommunications ou d'alimentation en eau potable. Or, le changement climatique d'ores et déjà impacte et impactera l'usage, la gouvernance et l'exploitation de ces infrastructures (Selouane *et al.*, 2019).



**FIGURE 1. Inondation de l'A10, Juin 2016**  
(Francebleu.fr)



**FIGURE 2. Inondation d'infrastructures routières, Nouvelle-Orléans, Ouragan Katrina, 2005** (David J. Phillip / AP)

C'est dans ce contexte de fonctionnement globalisé des territoires et des réseaux que le changement climatique a révélé les faiblesses dans leur conception et exploitation. Dès lors, plusieurs secteurs, tels que celui du génie civil et de l'aménagement, doivent se mobiliser afin de jouer un rôle moteur dans l'émergence de solutions de construction, d'exploitation et de maintenance adaptées aux enjeux du changement climatique.

## II. Principes de la méthodologie

Au sein de RESALLIANCE, bureau d'étude de VINCI dédié à l'adaptation des projets, des infrastructures et de leurs usages aux changements climatiques, nous nous intéressons notamment aux infrastructures de génie civil dédiées au transport et aux territoires qu'elles irriguent. Pour ce faire, nous proposons un diagnostic de vulnérabilité<sup>1</sup> qui place les territoires au cœur de l'analyse. En effet, ils abritent des enjeux majeurs susceptibles d'engendrer et diffuser leur vulnérabilité, provoquant des effets qui peuvent perturber, compromettre voire interrompre leur fonctionnement et leur développement (Metzger & d'Ercole, 2009). Ces enjeux concernent la population (densité) et ses besoins (santé, éducation, *etc.*), la gestion et l'économie du territoire concerné (entreprises, *etc.*) et la logistique fonctionnelle (alimentation en eau potable, *etc.*).

Les démarches existantes de diagnostic de vulnérabilité sont multiples mais sont généralement peu efficaces dès lors qu'elles sont appliquées à des infrastructures critiques du fait de leur prisme aléa-centrée, réduisant la vulnérabilité à la seule présence/absence d'enjeux dans un périmètre d'exposition. Notre méthodologie se propose de dépasser cette approche *via* deux principes :

- Elle permet une modélisation de la vulnérabilité physique et de la résilience fonctionnelle de l'infrastructure de transport, routière ou ferroviaire. La résilience est la capacité d'un système à absorber une perturbation et à se remettre de celle-ci, en fonctionnement normal ou en fonctionnement dégradé (Gonzva, 2017). La résilience fonctionnelle concerne des actions de fiabilisation pour limiter les dysfonctionnements (Barroca & Serre, 2013) ;
- Elle considère cette infrastructure à la fois comme un facteur pouvant aggraver la vulnérabilité des territoires qu'elle connecte, et comme un vecteur de leur résilience, en limitant la diffusion de la vulnérabilité au niveau des territoires environnants.

<sup>1</sup> La vulnérabilité est ici entendue selon la définition proposée par le CEREMA : sensibilité d'un réseau à un aléa climatique particulier, c'est-à-dire l'amplitude du dommage produit par l'occurrence de cet aléa.

La méthodologie s'appuie donc sur une démarche scientifique pluridisciplinaire au croisement d'approches physique, sociale et matérielle. Elle a été appliquée à des infrastructures ferroviaires (Gonzva, 2017) et routières face à des aléas climatiques. L'application sur des infrastructures routières de génie civil est présentée dans cette communication.

### III. Application à une infrastructure routière de génie civil face aux inondations

Premièrement, la méthodologie se base sur le calcul de deux indicateurs qui permettent de caractériser la vulnérabilité physique d'une infrastructure :

- Un indicateur d'exposition aux aléas naturels, ponctuels ou chroniques, établi sur :
  - La cartographie de l'enveloppe d'exposition aux aléas naturels en présence
  - La sensibilité physique des infrastructures à cette exposition : une route peut être exposée mais suffisamment relevée pour ne pas être impactée par une inondation
- Un indicateur de vulnérabilité territoriale, dont la finalité est de définir la vulnérabilité d'enjeux majeurs du territoire qui peuvent perturber l'exploitation et le fonctionnement des infrastructures routières. Ce dernier agrège la densité de population ; le nombre d'établissements recevant du public, de bâtiments d'activité économique et d'infrastructures critiques que cette infrastructure dessert ; le trafic moyen afin d'estimer son niveau d'exploitation. Ainsi, en combinant ces informations, l'indicateur :
  - Permet de prendre en compte, quel que soit l'aléa, l'impact d'une perturbation d'une infrastructure de génie civil au regard des bassins de vie et d'emploi qu'elle dessert.
  - Intègre, dans son calcul, la plus ou moins grande proximité des enjeux majeurs à l'infrastructure. Un temps d'accessibilité moyen de 15 minutes à une infrastructure routière peut être traduit spatialement par une enveloppe comprise entre 500 et 4000 mètres autour de cette infrastructure (Garbolino et Lachtar, 2012).

Deuxièmement, la méthodologie se base sur la construction et le calcul d'un indicateur de résilience. La résilience peut être évaluée sous la forme d'un indicateur de gestion de crise. Il s'agit, en effet, d'évaluer quantitativement la capacité de gestion de crise d'un opérateur, c'est-à-dire sa capacité à réagir lors de la survenue d'un aléa et à réduire ses impacts physiques. La finalité de l'indicateur est donc de définir les enjeux majeurs locaux qui peuvent permettre une prise en charge rapide des usagers en cas d'inondation. Il s'agit, notamment, des casernes de pompier, hôpitaux, gendarmeries, commissariats de police et casernes militaires. Peuvent s'ajouter les enjeux propres à l'exploitation de l'infrastructure routière : équipes de secours, *etc.*

In fine, l'agrégation des indicateurs de vulnérabilité et de résilience se base sur le logigramme de décision suivant (Fig. 3) qui inclue l'ensemble des dimensions vues ci-dessus.

Les résultats sont cartographiés via un Système d'Information Géographique (Fig.4).

### IV. Conclusion

Notre démarche est collaborative, pluridisciplinaire et innovante en réintroduisant les territoires et leurs dynamiques dans la conception des infrastructures et en considérant l'amélioration de la résilience d'infrastructures de génie civil comme un levier de transformation des territoires vers une plus grande résilience. Dès lors, le domaine du génie civil, en tant qu'acteur-clé de la

conception et réalisation d’ouvrages dédiés au bon fonctionnement des territoires, peut s’inscrire dans une démarche de réponse face aux défis engendrés par le changement climatique.

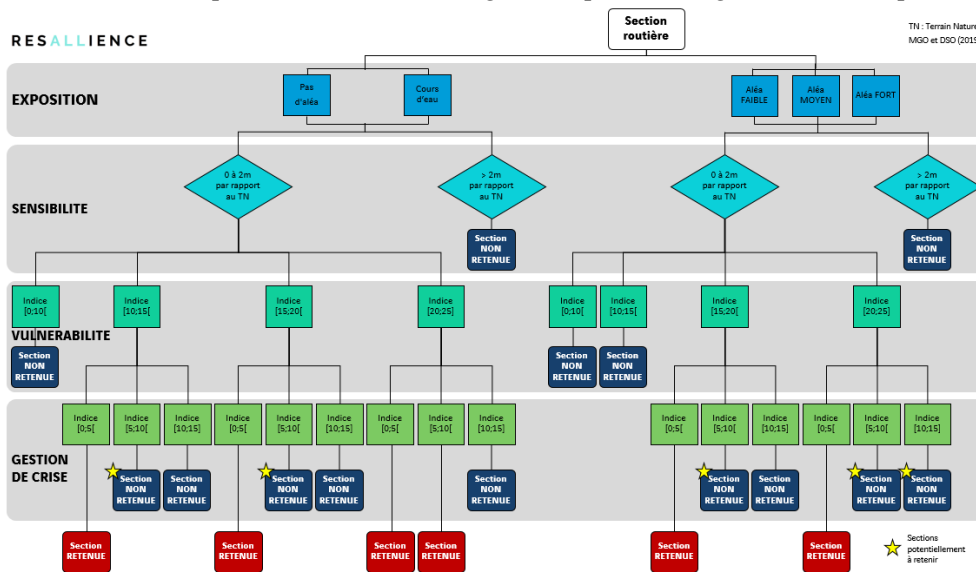


FIGURE 3. Logigramme de décision pour l’agrégation d’indicateurs de vulnérabilité et de résilience

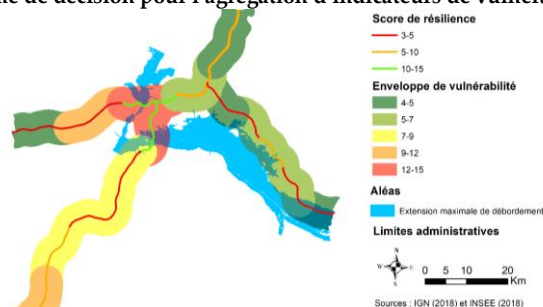


FIGURE 4. Géovisualisation des indicateurs pour une infrastructure de génie civil dédiée au transport.

REFERENCES

P. Metzger, R. D’Ercole (2009). Enjeux territoriaux et vulnérabilité – Une approche opérationnelle in Berra et Peltier (dir.) *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*, Paris, L’Harmattan, 391-402.

E. Garbolino, D. Lachtar (2012). Vulnérabilité et résilience face aux TMD dans un contexte transfrontalier. In BERSANI et SACILE (eds.), *Sécurité des Transports des Marchandises dans l’Eurorégion Alpes-méditerranéennes*, 186-255.

B. Barroca, D. Serre (2013). Behind The Barriers: A Resilience Conceptual Model, S.A.P.I.EN.S

M. Gonzva (2017). Résilience des systèmes de transport guidé en milieu urbain : approche quantitative des perturbations et stratégies de gestion. Thèse de doctorat, Université Paris-Est.

K. Selouane, D. Soto, M. Gonzva (2019). Adapter les infrastructures de transport pour améliorer la résilience des territoires, *Revue Générale des Routes et de l’Aménagement*, n°961, Mars.

CEREMA (2019). Sécurité globale et résilience des territoires Ingénierie, effets de levier et stratégies à promouvoir - Séminaire du 17 et 18 janvier. 184 p.