



Retour sur le congrès mondial de Calgary

Pascal ROSSIGNY

Responsable des secteurs d'activité Conception et Gestion de Patrimoine au Cerema

Secrétaire francophone du comité PIARC 3.3

VIABILITÉ HIVERNALE & RÉSILIENCE DES ROUTES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Chambéry, 26 et 27 septembre 2022



Retour sur le congrès mondial de Calgary sur la résilience



VIRTUAL | VIRTUEL

XVI WORLD WINTER SERVICE AND ROAD RESILIENCE CONGRESS
XVI^o CONGRÈS MONDIAL DE LA VIABILITÉ HIVERNALE ET DE LA RÉSILIENCE ROUTIÈRE
XVI CONGRESO MUNDIAL DE VIALIDAD INVERNAL Y RESILIENCIA DE LA CARRETERA

Lundi 7 février

Time (MST)	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4
09:00-10:30	WS 1.1 Avalanche and snow control	WS 2.1 Effect of climate change on winter service	R 15.1 Incorporating resilience into asset management	RF 1 POLIS: Planning for more resilient urban mobility
16:00-17:30	WS 1.2 Dealing with heavy snowfalls	R 15.2 Examples of asset management practices that incorporate resilience	WS 3.1 Winter indices and friction	R 9.1 Disaster Management based on Digital Transformation
18:00-19:30	R 9.2 Enhancing Resilience of Disaster Management	RF 2 TAC: Adapting Infrastructure for Resilience: Research and Experience	WS 4.1 De-icers	WS 3.2 Weather information and MDSS

Mardi 8 Février

Time (MST)	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4
08:00-09:30	R 11.1 Resilient pavements - PIARC case studies	RF 3 ECTRI-TRB: Resilience Frameworks and Metrics for Road Stakeholders	WS 3.3 Road weather information and autonomous vehicles	WS 4.2 Data in winter service
09:45-11:15	RF 4 COVID-ITF: How can governments support and help accelerate a resilient transition to low carbon transport?	WS 4.3 Spreading technology	WS 3.4 Visibility and Snow removal	R 11.2 Resilient pavements - Structural design
17:15-18:45	R 11.3 Resilient pavements - Innovative materials	WS 4.4 Snow removal	RF 5 TRB-AASHTO-FHWA: Managed Retreat – Difficult but Necessary	COV COVID-19 Impact on Roads

Mercredi 9 Février

Time (MST)	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4
08:00-09:30	WS 3.5 Road weather information – Sensors	WS 4.5 Liquid de-icers and residual salt	R 14 Increasing Resilience of Tunnels	WF 1 PIARC TC 2.3: Severe weather and natural events: Solutions to guarantee road freight transport
16:00-17:30	R 15.3 Security and resilience	WS 4.6 Winter service and road infrastructure	WS 3.6 Enhanced Forecasts	WF 2 AQTr: The challenges of training, workforce, and retention in winter maintenance
18:30-20:00	R 8.1 Resilience to climate change of the road network	WS 5.1 Contracts in winter service	WS 4.7 Innovative management methods	R 10.1 Road network operations to increased resilience - Part 1

Jeudi 10 Février

Time (MST)	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4
08:00-09:30	WS 6.1 Autonomous vehicles in winter service	RF 6 HDM-4 and Resilience	R 8.2 Roundtable on Resilience: Cross-cutting issues	WS 5.2 Worst case scenarios and guidelines
09:45-11:15	WS 6.2 Floating car data in winter service	SP 1 Road related data and how to use it	WS 5.3 Training in winter service	R 10.2 Road network operations to increased resilience - Part 2
17:15-18:45	SP 2 Smart Road classification	RF 7 CHTS: Electrified and Smart Transportation	WS 6.3 Road user communications in winter service	R 12.1 Bridge Resilience to Seismic Events

Vendredi 11 Février

Time (MST)	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4
08:00-09:30	RF 8 UNECE: Climate resilient roads now and in the future - What should we know	R 12.2 Bridge Resilience to Climate Change and Winter Conditions	WS 5.4 Winter maintenance management	WS 7.1 Bicycles and winter service in urban areas
09:45-11:15	R 16 Resilience Quiz Session	R 13.1 Resilience of earthworks to natural hazards - Part 1	WS 7.2 Snow removal in urban areas	WS 5.5 Information exchange in winter service
12:30-14:00	WS 7.3 Winter service in urban areas	WS 5.6 Maintenance decision support systems - MDSS	R 13.2 Resilience of earthworks to natural hazards - Part 2	SP 3 Overweight vehicles / Bridges and tunnels strikes by oversized vehicles

Un programme très riche

De nombreuses sessions, impossible de vous rendre compte de tout

Plutôt des coups de projecteurs

Les articles primés par PIARC

- Prix PIARC "Adaptation à un monde en mutation" - Gestion du risque de catastrophe grâce à la "Road-On Map" - Hidenori Tomiyama, Akihiko Masuo,
- Prix PIARC "Viabilité hivernale" - Développement d'une technologie d'aide à l'aspersion de saumure basée sur l'évaluation de la charge de travail mental de l'agent - Roberto Tokunaga, Tomonori Ohiro, Akira Saida, Takeshi Murakami, Masaya Sato
- Prix PIARC "Résilience" - Amélioration de la résilience des travaux de terrassement des routes nationales dans le nord de l'Espagne – Leçons tirées de la période 2011-2018 - Felipe Collazos-Arias, Laura Parra-Ruiz, Mónica-Laura Alonso Plá
- Prix PIARC "Jeunes professionnels" - Élaboration d'une doctrine sur l'usage des abrasifs en France - **Rémi Reiff, Arnaud Escal, Stéphanie Gaudé, Didier Giloppé, Ludovic Burghgraeve, Damien Vaillant**
- Prix PIARC "Auteurs de pays à revenu faible ou intermédiaire (PRFI)" - La résilience climatique dans le secteur routier au Mozambique - Iracema Mascarenhas, Manuel Tangune

Les accessits

- Modèle d'intelligence artificielle de prévision de la température de surface - Carol Valentine, Martha Topp
- Vers un réseau routier espagnol plus résilient - Mónica Laura Alonso, Laura Parra, Fernando Jiménez, Laura Crespo,
- Développement d'un système d'inspection de la visibilité routière exploitant les images vidéo enregistrées par des caméras à bord de véhicules - Kazuhito Ohashi, Yasuhiro Nagata, Yasuhiro Kaneda, Toru Hagiwara, Sho Takahashi, Yuki Nakamura
- La méthode SISMET : un outil d'évaluation préliminaire des risques sismiques sur les infrastructures routières urbaines et périurbaines dans un contexte de gestion de crise - **Denis Davi**
- Développement de turbines à neige autonomes exploitant le Quasi-Zenith Satellite System sur les voies rapides du Japon - Atsushi Ichikawa, Katsuyoshi Abe, Kazue Usui, Toshiaki Itou, Keigo Kurihara

Les articles primés par PIARC

La méthode SISMET : un outil d'évaluation préliminaire des risques sismiques sur les infrastructures routières urbaines et périurbaines dans un contexte de gestion de crise

Denis Davi, Pôle «Réduction des risques sismiques et hydrauliques appliquée aux Ouvrages d'Art», Cerema, France

Illustrations © Auteur

La méthode SISMET a pour objectif l'évaluation préliminaire du risque sismique sur les infrastructures routières existantes dans un contexte urbain ou péri-urbain. A l'échelle d'un itinéraire ou d'un tronçon d'itinéraire, cette méthode repose sur la définition et l'évaluation de critères de vulnérabilité des différents ouvrages qui le composent (ponts, murs de soutènement, tunnels, et talus routiers). Ces indices de vulnérabilité sont alors combinés avec les différents paramètres aléas direct et indirects pouvant menacer les ouvrages en cas de tremblement de terre : vibration du sol intégrant les éventuels effets de site géologique et topographique, effets induits, liquéfaction des sols, chutes de blocs, glissements de terrain, ainsi que les risques de chutes de bâtiments sur les routes. Un critère d'importance vient enfin pondérer les résultats obtenus en termes de risque de coupure d'utilisation possible de l'itinéraire par les véhicules de secours, afin d'intégrer les enjeux de desserte spécifiques à la gestion de crise (hôpitaux, casernes, gare, aéroport, zones densément peuplées...) ainsi que les possibilités de rétablissement provisoire ou de déviations locales.



Denis Davi

Articles primés par PIARC

Vers un réseau routier espagnol plus résilient

Mónica Laura Alonso, Laura Parra, Fernando Jiménez et Laura Crespo

Tous au Centre de recherche sur les transports (Centro de Estudios del Transporte, CET) et Centre d'études des techniques appliquées (Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas, CETA) du Centre d'études et d'expérimentation des travaux publics (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, CEDEX) du ministère espagnol des Transports, des mobilités et des programmes urbains, Espagne

Illustrations © Auteurs

Plusieurs études témoignent des effets croissants des conditions météorologiques sur les infrastructures de transport, qu'il s'agisse d'événements extrêmes ou de catastrophes à évolution lente. Les infrastructures de transport routier ne font pas exception, plusieurs éléments de route devenant plus vulnérables au changement climatique dans le



Mónica Laura Alonso



Laura Parra



Fernando Jiménez



Laura Crespo

monde entier. Rien qu'en Espagne, 45 % du réseau principal et 4 % de l'ensemble du réseau sont impactés, d'une façon ou d'une autre, par le climat [CEDEX, 2018], ces incidences affectant la sécurité et la capacité fonctionnelle des routes. Il convient donc de repenser les stratégies d'entretien et l'analyse du coût du cycle de vie, ce qui, ajouté à l'exploitation ingénieuse de l'intelligence climatique existante, peut accroître la résilience des routes. L'économie et le bien-être des citoyens reposent sur une infrastructure routière efficace.

Les articles primés par PIARC France

Résilience

Médailles d'or ex æquo

La méthode « SISMET » : un outil d'évaluation préliminaire du risque sismique sur les infrastructures urbaine et périurbaines dans un contexte de gestion de crise

Denis Davi (Cerema)

Un cadre méthodologique pour donner la priorité à des tronçons routiers critiques en vue d'investissements dans la résilience climatique

Philippe Sohounou (Résilience)

Médailles de bronze ex æquo

Dégâts hivernaux sur les chaussées routières

Heidi Kauffmann (Cerema / IDRRIM)

Mesure de l'IRI en conditions hivernales au moyen d'un profilomètre utilisable sur des véhicules traceurs

Fabien Menant (Université Gustave Eiffel)

Jeune professionnel

Médaille d'or

Élaboration d'une doctrine sur l'usage des abrasifs en France

Remi Reiff (Cerema)

La session résilience du réseau routier face au changement climatique

Caroline Evans & Fabien Palhol

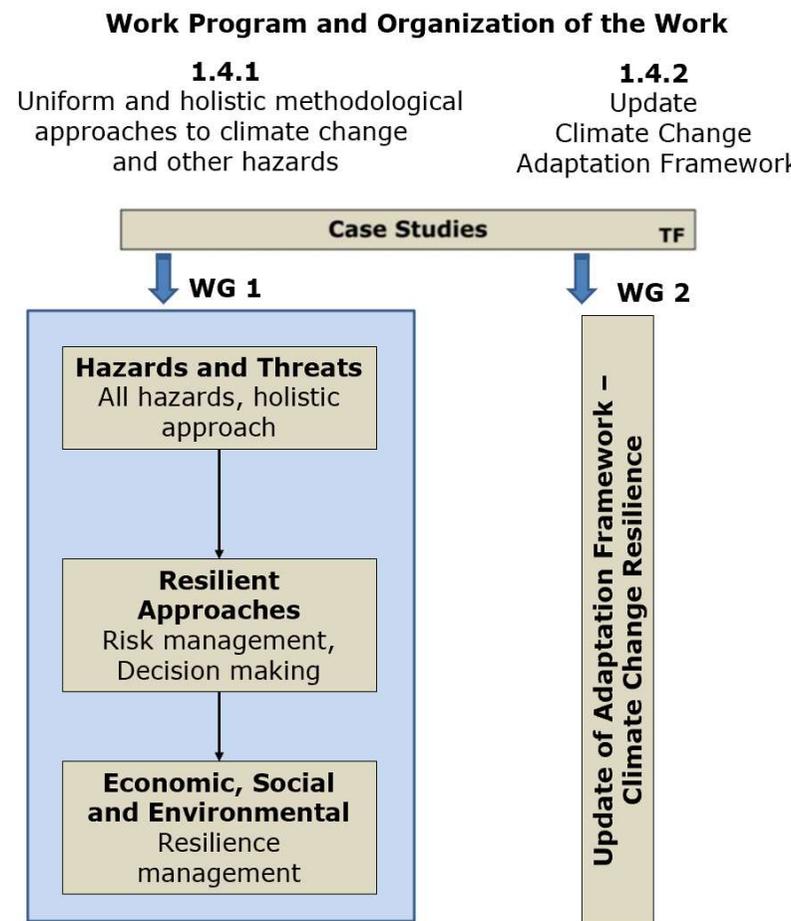
Présidente du CT 1.4 de PIARC & Secrétaire francophone du CT 1.4 de PIARC

CT 1.4: Changement climatique et résilience des réseaux routiers

cevens@ntc.gov.au & fabien.palhol@cerema.fr

Objectifs de la Session

- Décrire les progrès du CT 1.4 Changement climatique et résilience des réseaux routiers.
- Identifier des approches méthodologiques globales pour le changement climatique et les autres risques.
- Mettre à jour le Cadre international d'adaptation au changement climatique pour les infrastructures routières de PIARC
- Présenter d'autres exemples et études de cas internationaux sur la résilience et le changement climatique.



Programme de la session Résilience

Vue d'ensemble des approches méthodologiques uniformes et holistiques du changement climatique et autres aléas

Aperçu du Cadre d'adaptation au changement climatique de PIARC pour les infrastructures routières

Résilience des réseaux de transport affectés par l'érosion et la submersion marine : vers une gestion intégrée et concertée des infrastructures en zone côtière

Une approche simplifiée de la résilience pour l'évaluation des projets routiers en Norvège

Un cadre pour prioriser les segments routiers critiques pour les investissements en matière de résilience climatique

Approches méthodologiques globales de la résilience au changement climatique et aux autres risques

Marie Colin

Référente technique sur la resiliance au Cerema

Marie.colin@cerema.fr

Objectifs et champ d'action du GT1 du CT1.4

Identification des dangers et des menaces environnementales dans le contexte des infrastructures routières

**Changement climatique
Conditions météorologiques extrêmes**

Vieillesse des infrastructures

Catastrophes naturelles ou anthropiques

Cybermenaces

Evaluation des approches visant à accroître la résilience

Gestion des risques dans le contexte de la résilience

Processus de prise de décision en cas d'incertitude

Approches de la gestion des urgences

Gestion et ingénierie de la résilience

Identifier les aspects économiques, sociaux et environnementaux de la mesure de la résilience

Impacts socio-économiques des risques

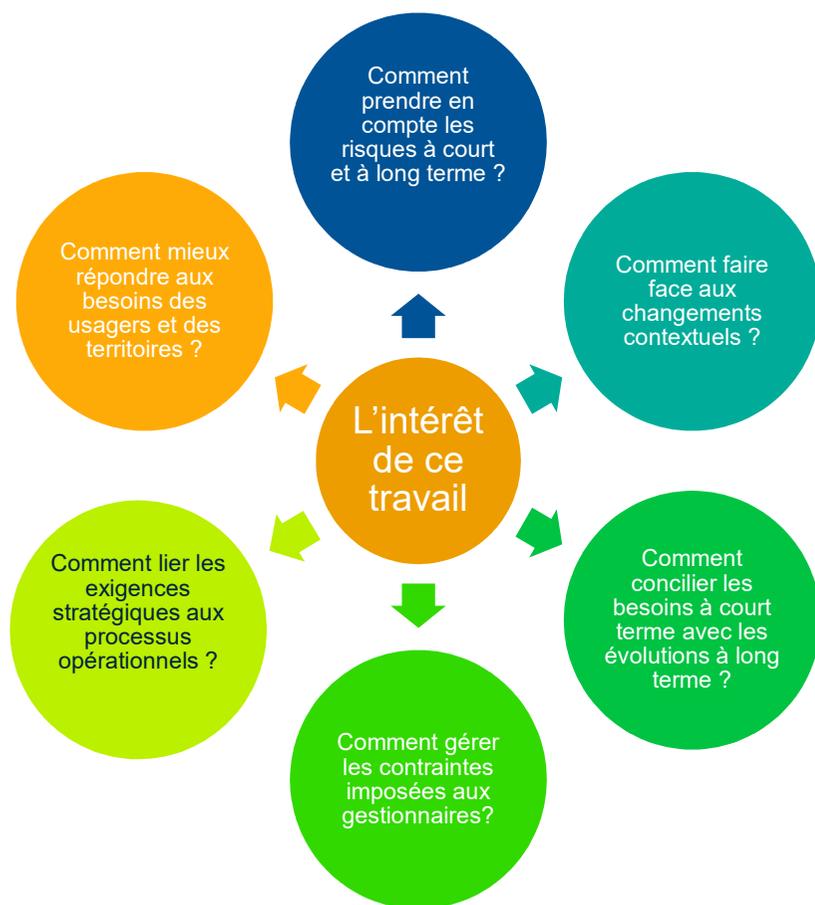
Principaux utilisateurs de l'information socio-économique

Identification de l'étendue de l'application des approches socio-économiques

Mesures d'impact et d'évaluation socio-économique pour accroître la résilience

Rapport coût-efficacité des différentes stratégies d'adaptation

Objectifs et champ d'action du GT1 du CT1.4



Dégradation du permafrost, route de Dempster - Canada



Dégâts causés par l'eau, E6 Birri-Otta - Norvège

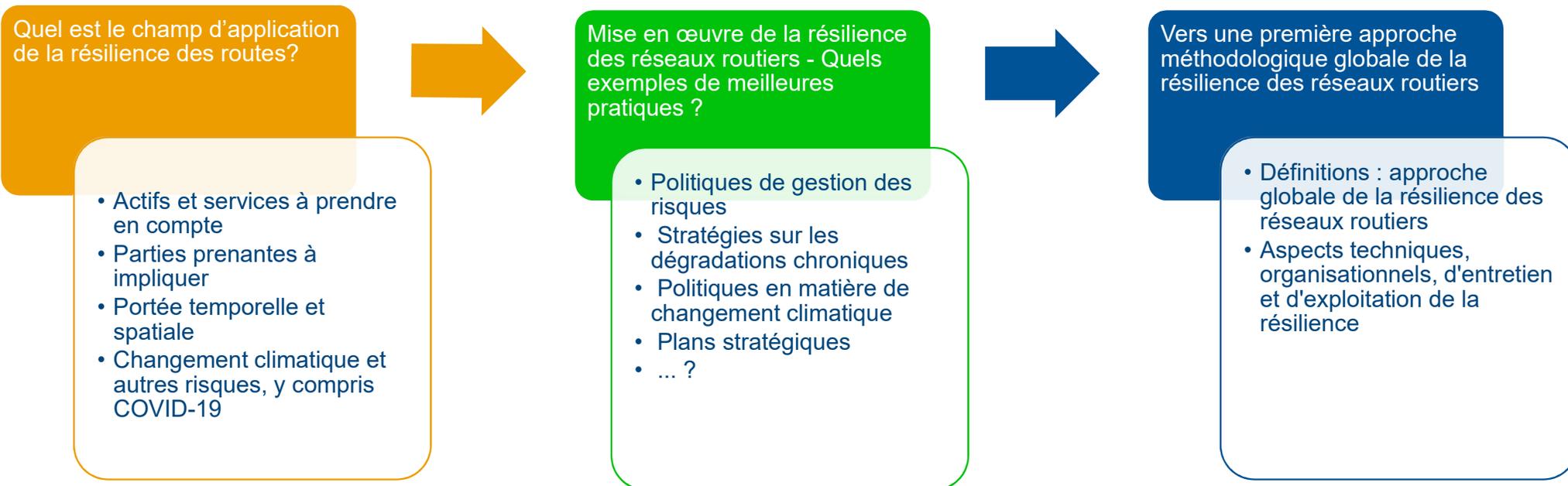


Glissement de terrain, RN85 – France



Feu de forêt, A7/A51 – France

Sujets traités par le GT1 du CT 1.4



Rapport du GT1 – études de cas

construction) active layer (the layer on top of the permafrost that thaws in the summer and refreezes in the winter). However, warming air temperatures are deepening the active layer beyond its original depth, thereby degrading the permafrost and affecting infrastructure stability within and surrounding the road right-of-way. This can lead to embankment settlement or differential settlement within the embankment and ultimately result in damage to the road surface, such as cracks or surface treatment disintegration, or more severe hazards to road safety, such as bumps or sinkholes.

Figure 1: Differential settlement associated with permafrost thaw along an abandoned section of Northwest Territory Highway 4, east of Yellowknife



CASE STUDY 2 Winter Roads in Canada and the Implications of Climate Change

Author by BGC Engineering Inc., 2019

The Canadian North has experienced some of the most significant warming observed anywhere on the planet. From 1948 to 2014, the warming trend was about 0.8°C globally, and 1.6°C in Canada. However over the same time period, the Arctic Tundra region of Canada warmed by 2°C, and the Northwest Territories' Mackenzie District experienced 3.6°C of warming. These increased air temperatures have had a negative impact on transportation in northern Canada.

Canada's northern road network is critical to the functioning of communities and industry in the territories of Yukon and the Northwest Territories (NWT), and in northern parts of several provinces. Other thaw-induced failures (active layer detachment related to the destabilizing effect of resulting changes to occur in the right-of-way or in the surrounding terrain) seasons have anecdotally increased the occurrences of groundwater movement is impeded and flows to the surface, or over roadways, and block culverts or bridges. Aids of water through the embankment or under the bridge spring, is of particular concern as it can cause severe damage to communities for an extended period of time.

Responses to the Impacts of Climate Change

In general, there are two responses to the effects of climate adaptation methods are used to facilitate additional heat input, or (2) increased maintenance or structural of service is not impacted. In other words, the first response

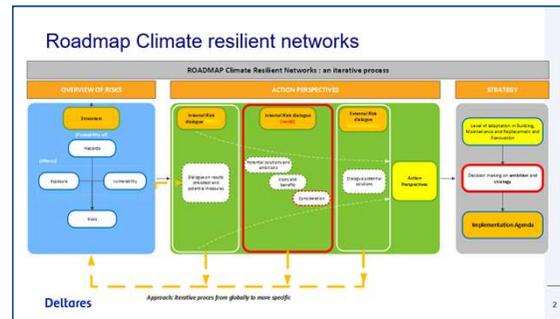


This network includes over 8000 km of winter roads – roads built seasonally over land (on compacted snow), across frozen lakes or rivers, or over sea ice fastened to the shore. They are managed by either

*Pendakur, K. (2017). Northern Territories. In K. Polko and D.S. Lemmen (Eds.), Climate risks and adaptation practices for the Canadian transportation sector 2016 (pp. 37-64). Ottawa, ON: Government of Canada.

LEVEL OF ACHIEVEMENT	INITIATED	SUPERIOR	CONCLUSIVE	REPUTABLE
20 Years	A1-B	A1-C1-B	A1-C1-E1-E	Not Available

Stratégie



Gouvernance

Outils de management

Méthodologie et études de cas

Outils techniques

Aperçu du cadre d'adaptation au changement climatique de PIARC pour les infrastructures routières

Gordana Petkovic

Norwegian Public Roads Administration

Gordana.Petkovic@vegvesen.no

Stuart Woods

Waka Kotahi NZ Transport Agency

Stuart.Woods@nzta.govt.nz

CT 1.4 / GT2



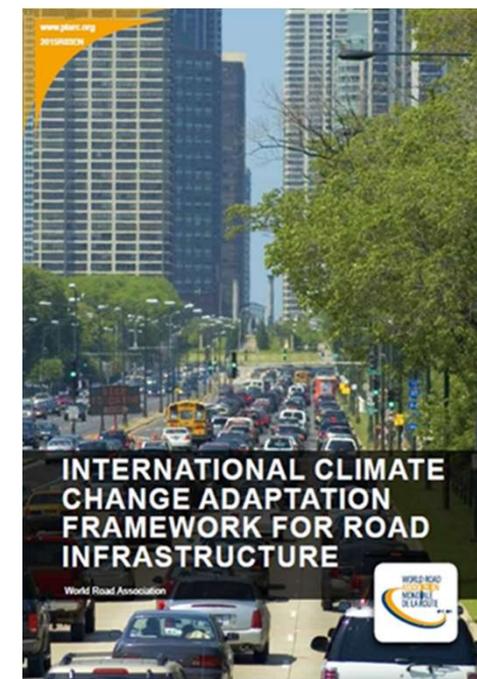
- Gordana PETKOVIC, Leader GT2, Norvège
- Stuart WOODS, Co-Leader GT2, Nouvelle Zélande
- Laura PARRA, Co-Leader GT2, Espagne
- Fernando Mendoza, secrétaire hispanophone, Mexique

Le cadre d'adaptation au changement climatique de PIARC

Publié en 2015.

Guide les propriétaires de routes à travers une évaluation de la vulnérabilité et du risque et les conseille sur la mise en œuvre et le suivi des mesures.

Applicable dans toutes les conditions géographiques, climatiques, économiques et environnementales, indépendamment de la disponibilité des données, de la localité, etc.



Le cadre d'adaptation au changement climatique de PIARC

Etape 1

Phase de préparation :
définition de l'objectif, du
but et de la portée.
Vulnérabilité

Etape 2

Évaluer et noter le
risque
Hiérarchiser les
risques

Etape 3

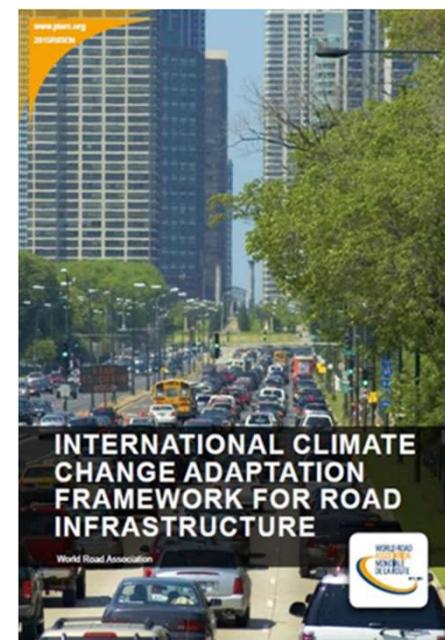
Réponses et les
stratégies
d'adaptation

Etape 4

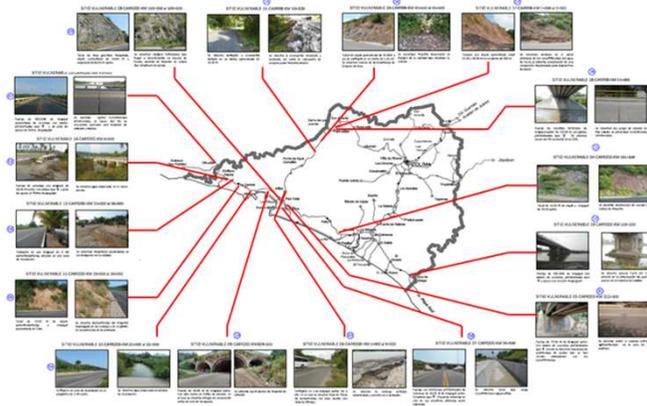
Intégrer les
résultats dans les
processus
décisionnels

Le cadre d'adaptation au changement climatique de PIARC

- PIARC a souhaité une mise à jour du Cadre, basée sur l'expérience de la mise en œuvre et les études de bonnes pratiques.
- Le cycle 2016-2019 de PIARC a identifié des possibilités d'amélioration.
- Le cycle 2020-2023 de PIARC a permis de développer une nouvelle version du Cadre.



Les changements apportés



Exemples de mise en oeuvre du cadre



Rapports du cycle précédent, en explorant les possibilités d'approfondissement

Etudes de cas collectées

150 xgeo.no – Expert tool for preparedness, monitoring and forecasting

- Weather data
- Road data
- Data on earlier events
- Threshold values
- Emergency levels → responsibility and action

Recognizing situations requiring a higher emergency level.

Topics to include?
Making use of available data, data-sharing, combining weather, terrain conditions and previous weather-related events.

34 Geospatial analysis of climate change in road infrastructure in Mexico: impacts, vulnerability, future climate and risks

- Identifying risk sites on the network by the help of GIS - methodology and the examples.
- The case study is supported by maps of risk and climate change made in Mexico, and that when maps overlay with the road network, the sections of the road network exposed to different climatic threats can be identified.
- A very useful document

Good basis for prioritizing adaptation action when road networks are very large

158 Wellington Regional Land Transport Resilience Programme Business Case

The Wellington Region is vulnerable to a range of natural hazards, including earthquakes, tsunamis, major storms, floods and landslips.

Waka Kotahi, in collaboration with local councils and KiviRail, identified the most-at-risk locations in the land transport system, and recommended a programme of interventions to address the risks at these locations.

The CS could be used as a text box, and inform sections 1.7, 2.3, 3.2 or 5.1.

An example of MCA and Cost-Benefit Analysis approaches and was used as input to a wider integrated multi-sector plan. However, its primary focus and maximum credible event used for planning was not climate change related!

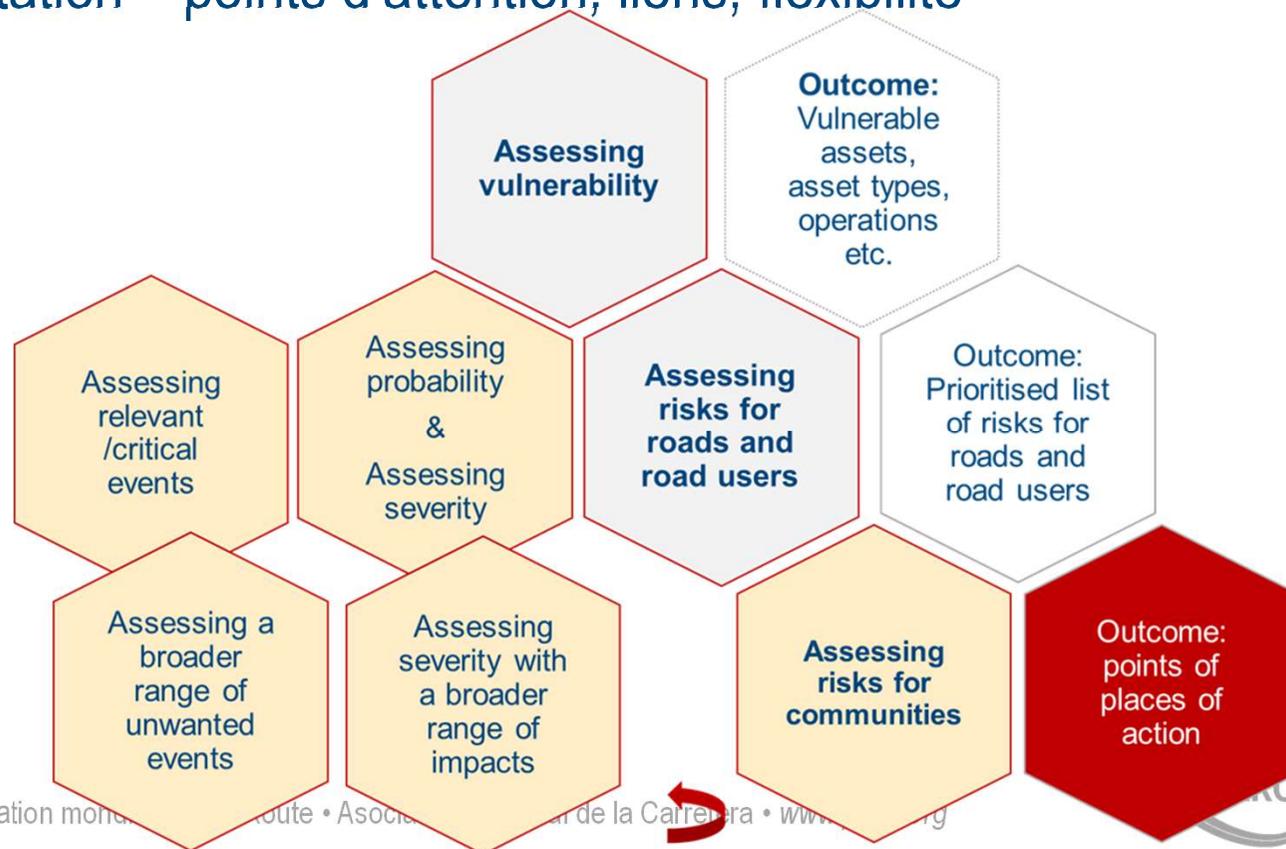
Travail mené sur 3 aspects

1. Structure des travaux d'adaptation
2. Le rapport-cadre
3. Études de cas à l'appui du contenu du cadre

Travail mené sur 3 aspects

1. Structure du travail d'adaptation – points d'attention, liens, flexibilité

Exploration des processus, des relations, des interdépendances.



Travail mené sur 3 aspects

2. Développement du cadre comme un rapport interactif et pratique

1.	STAGE 1 – PREPARATION OF ADAPTATION WORK	10
1.1.	Identifying the baseline for adaptation to CC	12
1.2.	Assessing relevant systems, regulations, processes,.....	16
1.3.	Establishing scope, aims, key tasks and delivery plan.....	17
1.4.	Climate change projections.....	21
1.5.	Early stakeholders engagement	24
1.6.	Assessing the main hazards based on CC projections.....	26
1.7.	Assessing criticality.....	27
1.8.	Outcome of Stage 1 – Continuation of the work	34
2.	STAGE 2 - ASSESSMENT PATHWAYS	35
2.1.	Assessing vulnerability	38
2.2.	Risk /resilience assessment.....	45
2.3.	Full resilience approach.....	50
2.4.	Outcome of Stage 2.....	51
3.	STAGE 3 - DEVELOPING AND SELECTING ADAPTATION RESPONSES AND STRATEGIES.....	51
3.1.	Identification of adaptation responses and strategies	51
3.2.	Selection and prioritisation of adaptation responses and strategies	56

Travail mené sur 3 aspects

3. Études de cas à l'appui du cadre - un aperçu des exemples illustrant et étayant le contenu.

150 xgeo.no – Expert tool for preparedness, monitoring and forecasting

- Weather data
- Road data
- Data on earlier events
- Threshold values
- Emergency levels → responsibility and action



Recognizing situations requiring a higher emergency level.

Topics to include?
Making use of available data, data-sharing, combining weather, terrain conditions and previous weather-related events.

World Road Association • Association mondiale de la Route • Asociación Mundial de la Carretera • www.piarc.org

154 VegROS – Method for periodic risk assessment

VegROS – annual risk assessment on (national) roads. Virtual tour and assessment of all «problem points». Expert team exercise. Algorithm for calculating risk, and prioritising action.



The CS can be included in a text box as an example of an easy and practical method for quick assessment of risks on the road.

World Road Association • Association mondiale de la Route • Asociación Mundial de la Carretera • www.piarc.org

34 Geospatial analysis of climate change in road infrastructure in Mexico: impacts, vulnerability, future climate and risks

- Identifying risk sites on the network by the help of GIS - methodology and the examples.
- The case study is supported by maps of risk and climate change made in Mexico, and that when maps overlay with the road network, the sections of the road network most at risk and the most vulnerable to climate threats can be identified.



Identifying adaptation action when road network is at risk

World Road Association • Association mondiale de la Route • Asociación Mundial de la Carretera • www.piarc.org

158 Wellington Regional Land Transport Resilience Programme Business Case

The Wellington Region is vulnerable to a range of natural hazards, including earthquakes, tsunamis, major storms, floods and landslips.

Waka Kotahi, in collaboration with local councils and KiwiRail, identified the most-at-risk locations in the land transport system, and recommended a programme of interventions to address the risks at these locations.



The CS could be used as a text box, and inform sections 1.7, 2.3, 3.2 or 5.1.

An example of MCA and Cost-Benefit Analysis approaches and was used as input to a wider integrated multi-sector plan. However, its primary focus and maximum credible event used for planning was not climate change related!



World Road Association • Association mondiale de la Route • Asociación Mundial de la Carretera • www.piarc.org



Les objectifs pour le cadre

- Accessible - facile à utiliser et à comprendre
- Mises à jour - incluent les recommandations et expériences de 2015-2019
- Flexibilité - utilisez les parties que vous trouvez utiles.
- Applicabilité - contient des orientations pertinentes pour toutes les zones géographiques et tous les points de départ de l'adaptation.
- Interactivité - une autre façon d'utiliser le cadre



Résilience des réseaux de transport affectés par l'érosion et la submersion marine Vers une gestion intégrée et concertée des infrastructures en zone côtière

Carline Ponsart,

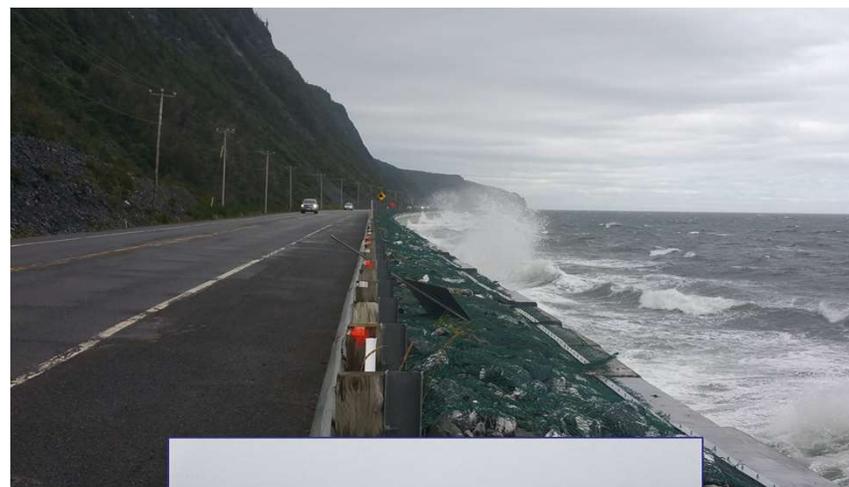
Coordonnatrice du secteur Résilience des infrastructures et adaptation aux changements climatiques de la Direction du patrimoine routier et de l'innovation du Québec

Contexte du changement climatique

Les changements climatiques augmentent la vulnérabilité le long des côtes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

Impacts attendus :

- **Augmentation du niveau des mers**
- **Réduction de la couverture de glace**
- **Augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes (tempêtes violentes, averses torrentielles, marées de tempête, etc.)**
- **Augmentation du taux d'érosion : taux annuel moyen de recul du littoral de 0,5 à 2 m**



Plan d'action basé sur deux études à grande échelle

Étude sur la vulnérabilité des infrastructures (2015)

Sur 2 245 km de routes analysées :

- 260 km de routes nationales sont exposés à l'érosion et à la submersion côtières
- 34 km sont exposés de façon imminente à l'érosion
- 102 km sont susceptibles d'être submergés
- 123 km seront exposés d'ici 2100.



Évaluation économique des impacts potentiels (Ouranos, 2015) :

- 5 426 bâtiments exposés d'ici 2065
- 294 km de routes et 26 km de voies ferrées exposés d'ici 2065.
- **Perte économique globale estimée considérable**

Plan d'action pour la gestion des infrastructures dans un climat en évolution (PAGI3C) - volet côtier

Considérant la nécessité d'agir, un plan d'action opérationnel, basé sur une vision commune des enjeux pour agir au lieu de réagir, a été mis en œuvre.

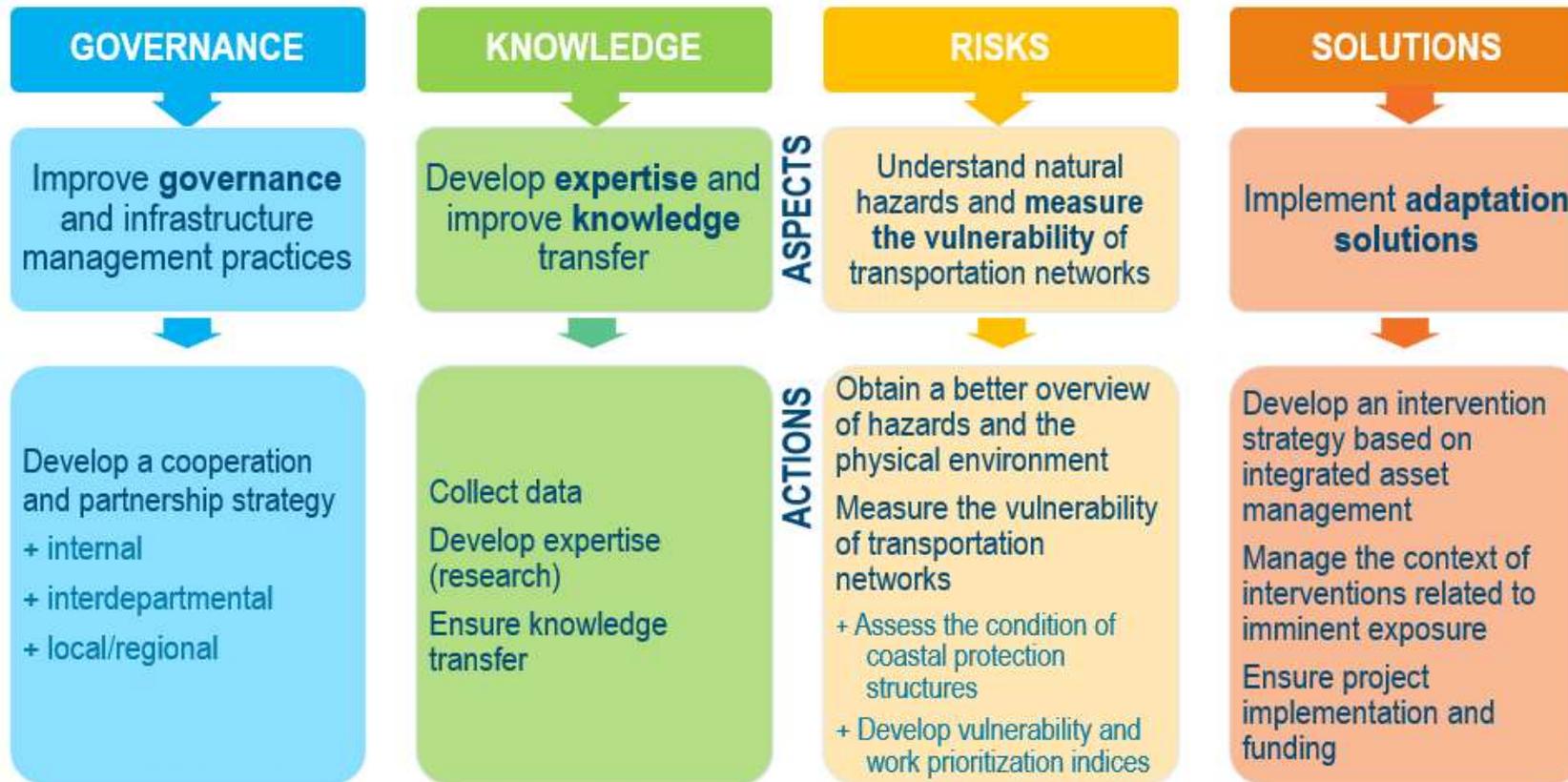
Risques ciblés:

Érosion côtière

Submersion marine

Glissements de terrain (berges)

Plan d'action pour la gestion des infrastructures dans un climat en évolution (PAGI3C) - volet côtier



Indice de priorisation des interventions côtières

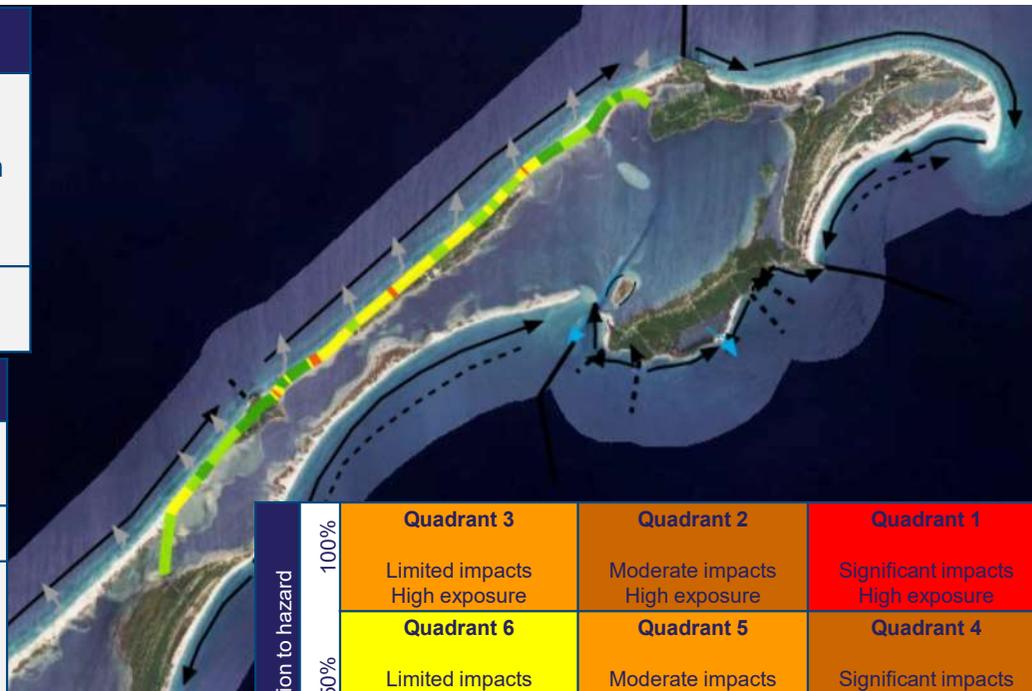
RISQUE - Exposition à l'érosion

Niveau d'exposition (nombre potentiel d'années avant qu'une structure ne soit affectée) : (Distance entre la structure et la côte - recul dû à l'événement d'érosion le plus significatif) / Taux d'érosion annuel moyen 80 %.

Rang de la côte 20%

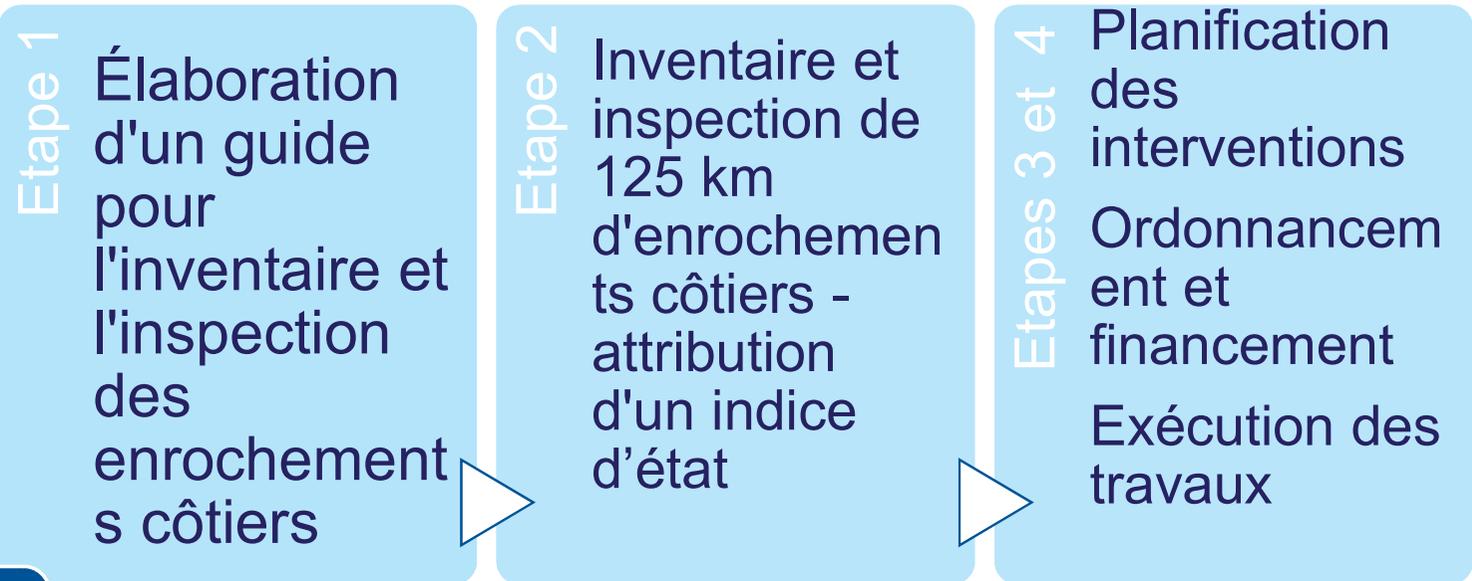
IMPACTS

60% Réduction de mobilité	20%	Importance de la route (réseau, fonction, trafic)
	40%	Detour route (km) – only one link
30% Durée des travaux	15%	Disponibilité des ressources <ul style="list-style-type: none"> Machines Matériaux Ressources humaines
	15%	Site characteristics
10% Présence d'équipements publics	<ul style="list-style-type: none"> Périmètre urbain 	



Exposition to hazard	100%	Quadrant 3 Limited impacts High exposure	Quadrant 2 Moderate impacts High exposure	Quadrant 1 Significant impacts High exposure
	50%	Quadrant 6 Limited impacts Moderate exposure	Quadrant 5 Moderate impacts Moderate exposure	Quadrant 4 Significant impacts Moderate exposure
	0%	Quadrant 9 Limited impacts Low exposure	Quadrant 8 Moderate impacts Low exposure	Quadrant 7 Significant impacts Low exposure
	0%	50%		100%
Impacts (infrastructure/environment)				

Systeme de gestion des protections c6ti6res



Plans d'intervention régionaux pour améliorer la résilience



Identification des zones d'intervention à prioriser

- Indices de priorisation des interventions côtières
- Indice d'état des enrochements côtiers



Évaluation de l'ensemble des besoins afin d'élaborer des stratégies d'intervention ministérielles

- Actifs routiers (ponceaux, structures, chaussée...),
- Risques (sécurité, glissements de terrain, etc.)



Plan décennal et calendrier du projet

Phasage et optimisation des étapes de préparation du projet

Faire avancer / regrouper les activités (évaluations environnementales, acquisitions immobilières, etc.)

Résultats escomptés

Obtenir une vue d'ensemble

Déterminer les financements nécessaires

Optimiser les ressources humaines et financières

Mobiliser les parties prenantes

Mettre en œuvre des solutions d'adaptation - mesurer et évaluer

Plan stratégique 2019–2023 :

25 projets à réaliser

Plan de gestion intégrée du patrimoine routier :

Objectif de réduction des enrochements en mauvais état

Objectif de réduction des sites critiques et à haut risque

Projets 2021-2023 :

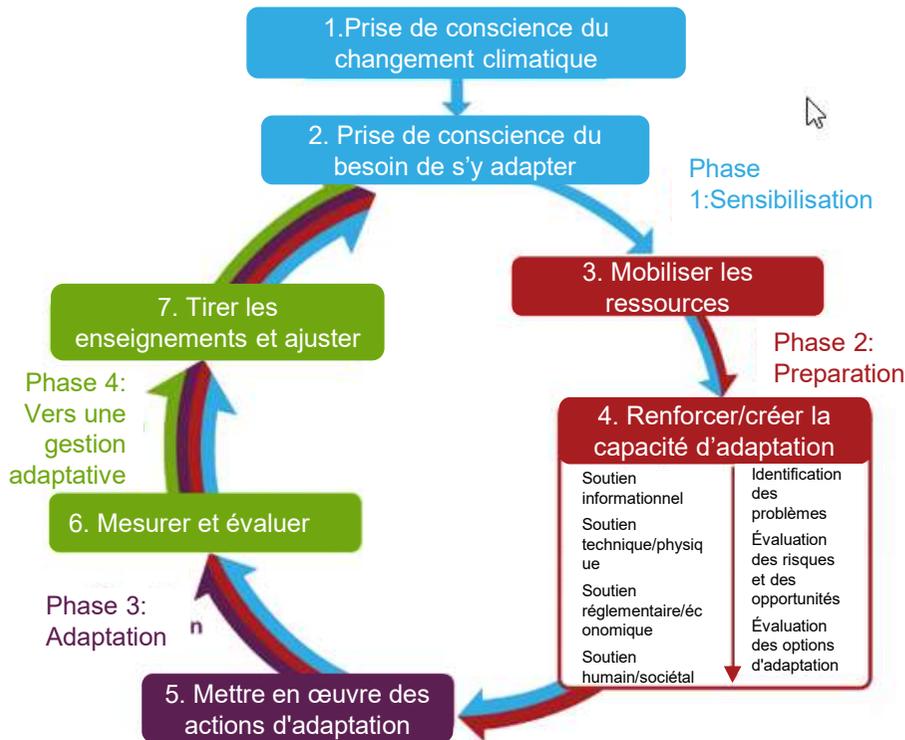
94 projets relatifs au changement climatique seront planifiés ou en cours.

Travaux de protection

Déplacement de routes

Vers une gestion intégrée et concertée des zones côtières

Prochaines étapes



Consulter et mobiliser les parties prenantes externes pour améliorer l'acceptabilité sociale
 Organiser des consultations régionales à grande échelle
 Mise en place d'un comité de gouvernance interministériel
 Réviser le cadre législatif et réglementaire
 Coordonner les activités de recherche, la collecte de données et le transfert de connaissances.
 Déterminer les orientations gouvernementales vers une gestion intégrée et concertée des zones côtières

Source: *Vers l'adaptation, synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec*, Ouranos, 2015 - Figure: Eyzaguirre and Warren 2014

Une approche simplifiée de la résilience pour l'évaluation des projets routiers en Norvège

Jan Husdal

Ingénieur principal, Administration norvégienne des routes

jan.husdal@vegvesen.no

Sommaire

Objectif

Sûreté et sécurité de la société

Méthode

La méthode des trois R : robustesse, redondance et rétablissement

Importance et impact

Résultats (applications)

Corridors de transport/réseau de transport en Norvège

Projets proposés pour un financement public

Analyse de la valeur

Conclusion

Objectif - Pourquoi la méthode 3R a été développée

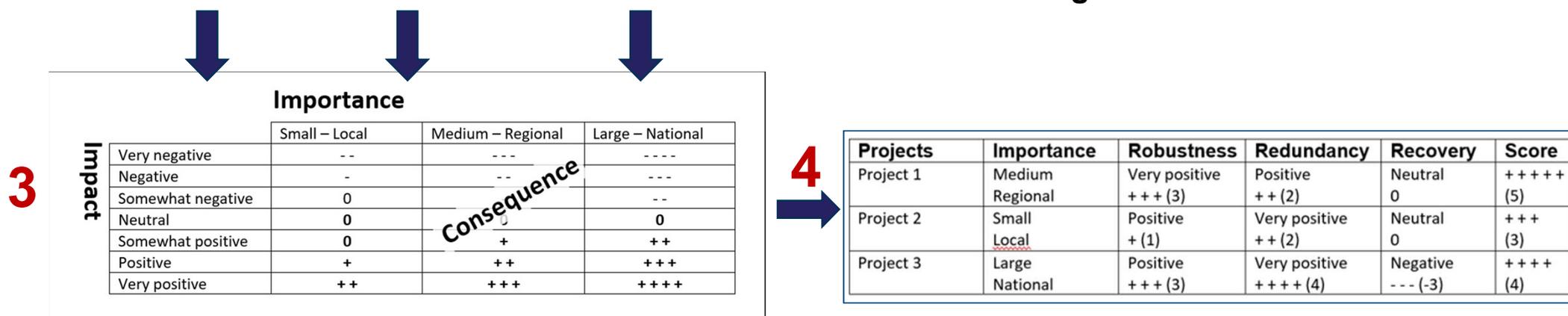
- Des méthodes d'évaluation des risques et des vulnérabilités (ERV) dans la planification liée à la sûreté et à la sécurité de la société ont été développées et utilisées en Norvège depuis le début des années 1990.
- La NPRA avait besoin d'une méthode systématique et d'un outil stratégique pour l'ERV et l'évaluation de la sécurité sociétale, en ce qui concerne le transport routier.
- Une grande partie de la Norvège n'est desservie que par la route, et souvent par une seule route. En cas de perturbation, les options de réacheminement sont très rares, voire inexistantes.
- Pour la sûreté et la sécurité de la société, le transport routier est crucial.

La méthode 3R

Compte tenu de l'importance de la route, l'impact sur la résilience est évalué séparément pour la robustesse, la redondance et la capacité de rétablissement.

2 La méthode 3 R
Robustesse - Redondance - Rétablissement

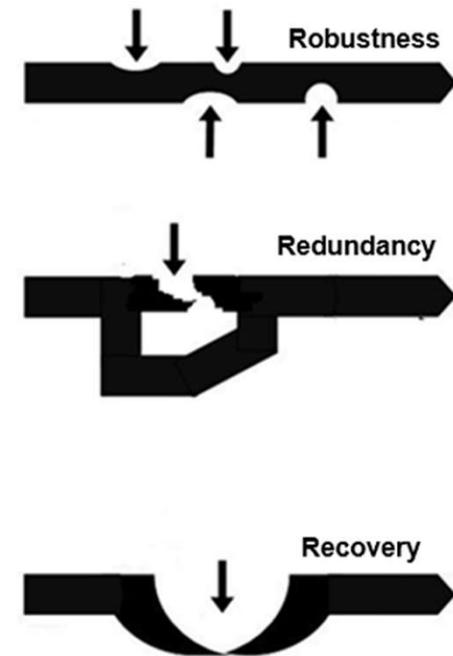
1 Importance
Local – Régional - National



Bien que la valeur de la note en elle-même ne soit pas importante pour un seul projet, elle permet de comparer différents projets.

The 3 R

- La **robustesse** est l'expression de la capacité de la route à résister aux contraintes, non seulement aux contraintes physiques, par exemple les risques naturels et les effets climatiques
- La **redondance** est une mesure de la flexibilité ou de l'existence de bonnes solutions alternatives. Il faut évaluer non seulement l'existence, mais surtout l'adéquation des itinéraires alternatifs.
- La **capacité de rétablissement**- mesure de la rapidité et de l'efficacité avec lesquelles nous pouvons surmonter les perturbations, qu'il s'agisse de réparations à court terme ou de reconstructions à long terme. La robustesse et la capacité de rétablissement sont particulièrement importantes lorsqu'il y a peu ou pas de redondance.



Robustesse – Redondance - Rétablissement

Quelques questions clés pour déterminer le niveau de l'impact

Robustesse	Redondance	Rétablissement
Type of structure built? Open road, (subsea) tunnel, bridge?	Alternatives before and after? "Old" road >>> "new" alternative?	Segments that take long to restore? Open road in easy terrain vs. long bridge?
Standard? 2-lane highway vs. 4-lane motorway?	Capacity on alternative? Increased on "new" alternative?	Complex structures? E.g., bridge or (subsea) tunnel?
Compliant with design rules? If non-compliant, consequences?	New/additional links? Short bypass or new directions?	Interdependencies? E.g., requires automated traffic control?
Exposure to natural hazards? Less or more exposed?	Improved intramodality? Access to transport hubs?	Time to restore service levels? Hours, days, weeks, month?
Improved availability 24/7? Less disruptions?	Time to establish alternatives? Hours, days, weeks, month?	

Importance

Qui décide de l'importance?

Centres de population, services communautaires essentiels, services d'urgence, services hospitaliers, entreprises ou installations de production essentielles ou importantes, installations de production d'énergie, nœuds de transport ou nœuds de transport public, aéroports, ports, gares ferroviaires, installations de transport de marchandises reliant la route, le rail, l'air et la mer, installations militaires.

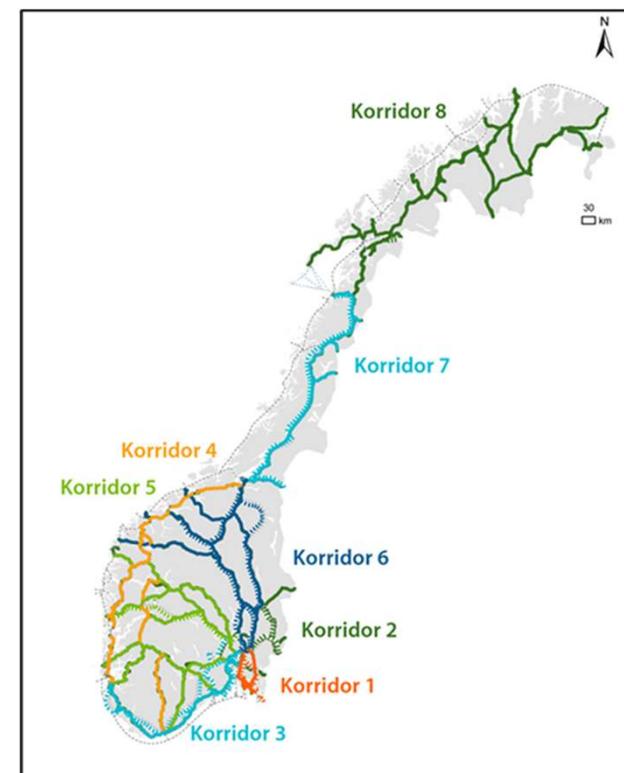
Impact positif ou impact négatif?

Local	Régional	National
Le projet affecte des services/entreprises essentiels dans des villes mineures ou améliore l'accès aux centres de transport locaux ?	Le projet affecte des services/entreprises essentiels dans les grandes villes et les petites villes ou améliore l'accès aux centres de transport régionaux ?	Les projets affectent les services/entreprises essentiels dans les grandes villes ou améliorent l'accès aux centres de transport (inter)nationaux ou sont essentiels à la logistique militaire et à la défense ?

Les résultats

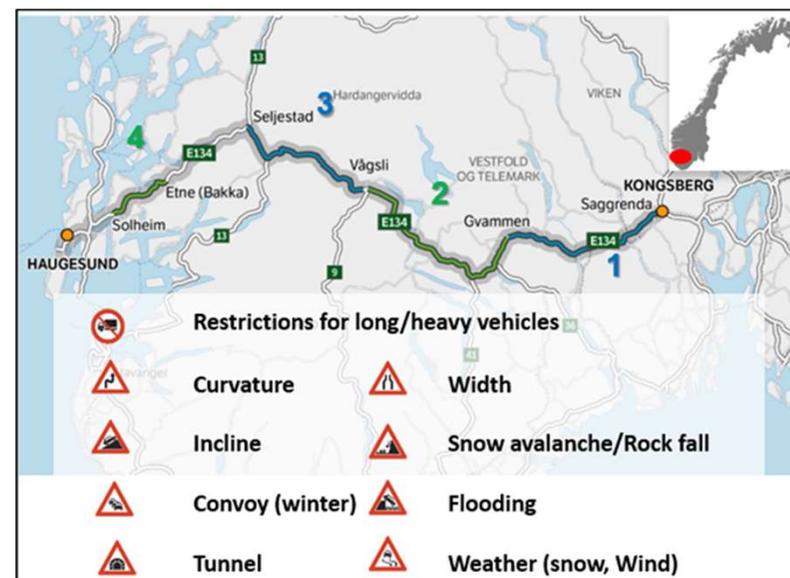
1: Couloirs de transport en Norvège

- Portée : Le plan de transport national norvégien PTN définit huit corridors. Chaque corridor a été évalué à l'aide des 3R.
- Objectif : Identifier les principaux problèmes liés à la sécurité sociétale et à la sûreté du transport routier.
- Résultat : Sud de la Norvège : Un certain manque de robustesse, mais une redondance abondante. Le besoin de rétablissement n'est pas urgentissime. Nord de la Norvège : Pas de redondance, donc la robustesse et la récupération sont très importantes ici.
- Conclusion : Du point de vue de la sécurité sociale et de la sécurité au niveau national, le maintien du réseau routier dans le nord de la Norvège est considérablement plus important que dans le sud de la Norvège.



3: Analyse de la valeur

- Portée : Cette évaluation 3R particulière a porté sur quatre segments de la route européenne E134, sur une distance de 360 kilomètres.
- Objectif : Appliquer les 3R dans le cadre de l'analyse de la valeur et identifier les projets qui contribuent le plus efficacement à la sûreté et à la sécurité de la société.
- Résultat : Les quatre projets diffèrent dans leur effet sur la sûreté et la sécurité de la société. Sans surprise, le projet qui a éliminé deux cols de montagne, des pentes et des virages en épingle à cheveux a obtenu le score le plus élevé.
- Conclusion : 3R peut être utilisé pour comparer des projets et convient à l'analyse de la valeur.



	Importance	Robustness	Redundancy	Recovery	Score
1	Small Local	Very positive ++	Positive +	Neutral 0	+++ (3)
2	Small Local	Very positive ++	Very positive ++	Neutral 0	++++ (4)
3	Medium Regional	Very positive +++	Positive ++	Neutral 0	+++++ (5)
4	Small Local	Very positive ++	Somewhat positive 0	Neutral 0	++ (2)

CONCLUSION

Un projet polyvalent, à valeur ajoutée, global

3R est une approche polyvalente

- pour évaluer les nouveaux projets routiers, dans le cadre de l'évaluation des risques.
- pour évaluer l'infrastructure actuelle, en mettant en évidence le manque de robustesse, de redondance ou de récupération.
- dans l'analyse de la valeur, dans le cadre de l'optimisation des projets.

La valeur ajoutée de 3R

- est plus qu'une analyse de risque traditionnelle
- montre comment l'interaction entre la robustesse, la redondance et la capacité de récupération crée la résilience.

L'approche 3R est globale

Elle met en évidence l'importance de tous les choix au début du projet et la manière dont ils peuvent avoir un impact sur les performances de la route en termes de sécurité et de sûreté de la société.

Un cadre pour classer par ordre de priorité les segments routiers critiques pour les investissements en matière de résilience climatique

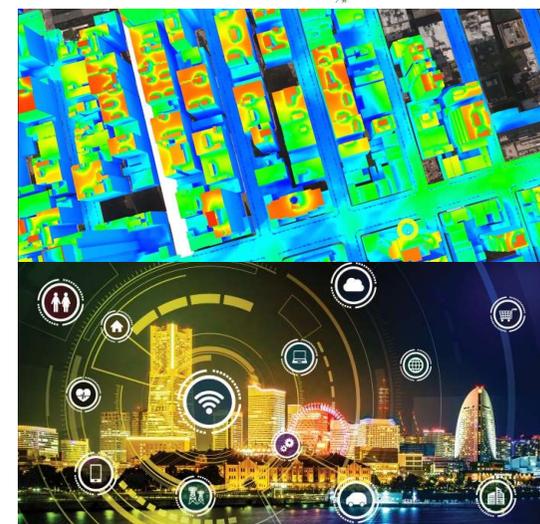
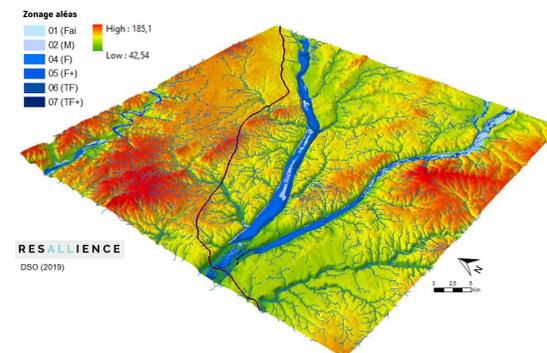
Philippe Sohounou
RESALLIANCE

philippe.sohounou@resalliance.com

Présentation

- Chef de projet et responsable de la résilience des transports @Resallience
- Services d'analyse, de solutions innovantes et de coordination de projets pour l'adaptation climatique des infrastructures, des villes et des territoires.
- y compris l'assistance technique aux exploitants d'infrastructures routières et aux investisseurs => présentation actuelle

RESALLIENCE



Sommaire

- Contexte
- Méthodes
- Etudes de cas
- Conclusions

Contexte

- ⇒ Les routes sont confrontées à de nombreux risques climatiques (inondations, neige, etc.), exacerbés par le changement climatique.
- ⇒ Entraînent des dommages aux infrastructures routières et des perturbations des services ayant un impact sur la société et l'économie.



Inondation de juillet 2007 à Londres (Royaume-Uni)

10 000 personnes bloquées

Coût des réparations : environ 67 millions de dollars US

Source : Ministère britannique des transports. (2014). Transport Resilience



Inondation de juillet 2009 à Ouagadougou (Burkina Faso)

Plusieurs quartiers bloqués pendant plusieurs jours

Coût des réparations : environ 8,5 millions de dollars

Source : Groupe de la Banque mondiale. (2010). Inondations du 1er Septembre 2009 au Burkina Faso - Evaluation des dommages, pertes et besoins de construction, de reconstruction et de relèvement (Français).

Contexte

Le renforcement de la résilience des infrastructures routières est plus important que jamais. Des programmes d'investissement locaux et internationaux sont développés pour atteindre cet objectif.

Cependant, les ressources sont limitées

Pour optimiser les investissements dans la résilience, les décideurs doivent identifier les routes critiques et donner la priorité aux mesures visant à améliorer leur résilience.

Résilience = capacité à résister et à se remettre des aléas.

Routes critiques = dont l'indisponibilité entraînerait les impacts les plus importants sur le système de transport et le territoire environnant.

Cadre théorique pour l'identification des segments de routes critiques en considérant :

la vulnérabilité de l'infrastructure routière

la résilience de l'infrastructure routière

la criticité des services territoriaux supportés par l'infrastructure routière.

Méthode

Cadre proposé

Étape 1 : Diviser le réseau routier en segments de route

Étape 2 : Évaluation des composantes de criticité

Étape 3 : Évaluation de la criticité composite

Méthode

Étape 1 : Diviser le réseau routier en segments de route

en fonction des caractéristiques du réseau et des objectifs des parties prenantes

Par exemple, les réseaux routiers urbains peuvent être divisés en éléments fonctionnels, en utilisant les intersections et les impasses pour diviser le réseau en segments.



Source: Bhavathrathan BK, Patil GR. Algorithm to Compute Urban Road Network Resilience. Transportation Research Record. 2018;2672(48):104-115. doi:10.1177/0361198118793329

Méthode

Étape 2 : Évaluation des éléments de criticité

2.1 Vulnérabilité

Définition : degré auquel l'infrastructure est susceptible de subir un dommage en raison de son exposition à un aléa.

Données : aléa climatique (localisation, intensité et fréquence) ; localisation de l'infrastructure et sensibilité à un aléa (dépend des caractéristiques physiques de l'infrastructure).

2.2 Résilience

Déf : capacité de l'infrastructure à continuer à fournir ses services ou à récupérer rapidement ses fonctionnalités.

Données : évolution prévue des dommages physiques et opérationnels de l'infrastructure au cours d'un processus de rétablissement ; durée de l'aléa, du rétablissement et de la réparation.

2.3 Criticité territoriale

Déf : importance de l'infrastructure pour le fonctionnement du territoire.

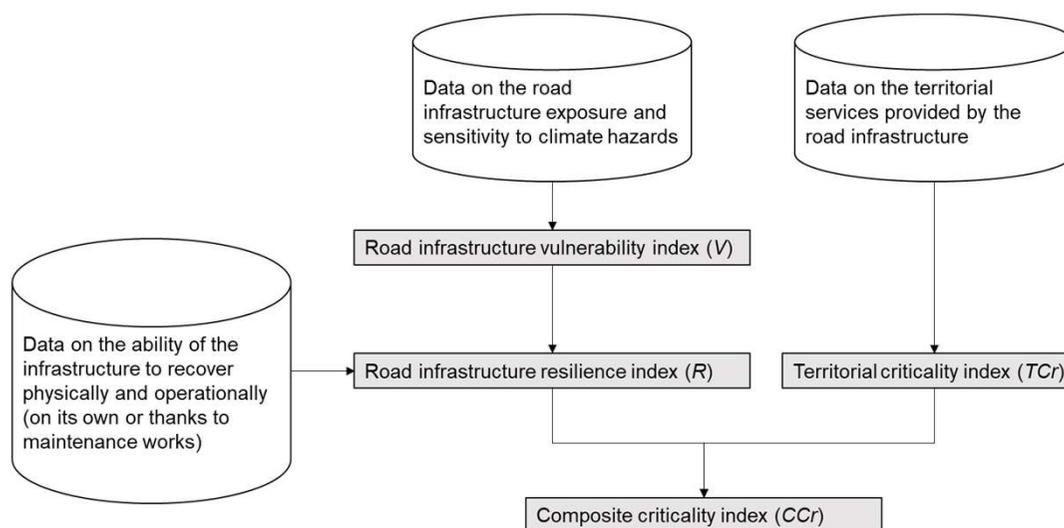
Données : trafic, utilisation du sol

Méthode

Étape 3 : Évaluation de la criticité composite

indice composite regroupant la vulnérabilité, la résilience et la criticité territoriale

formule mathématique adaptée à l'étude de cas pour obtenir une bonne dispersion des scores et refléter les préférences des parties prenantes.



Etude de cas: Réseau Cofiroute

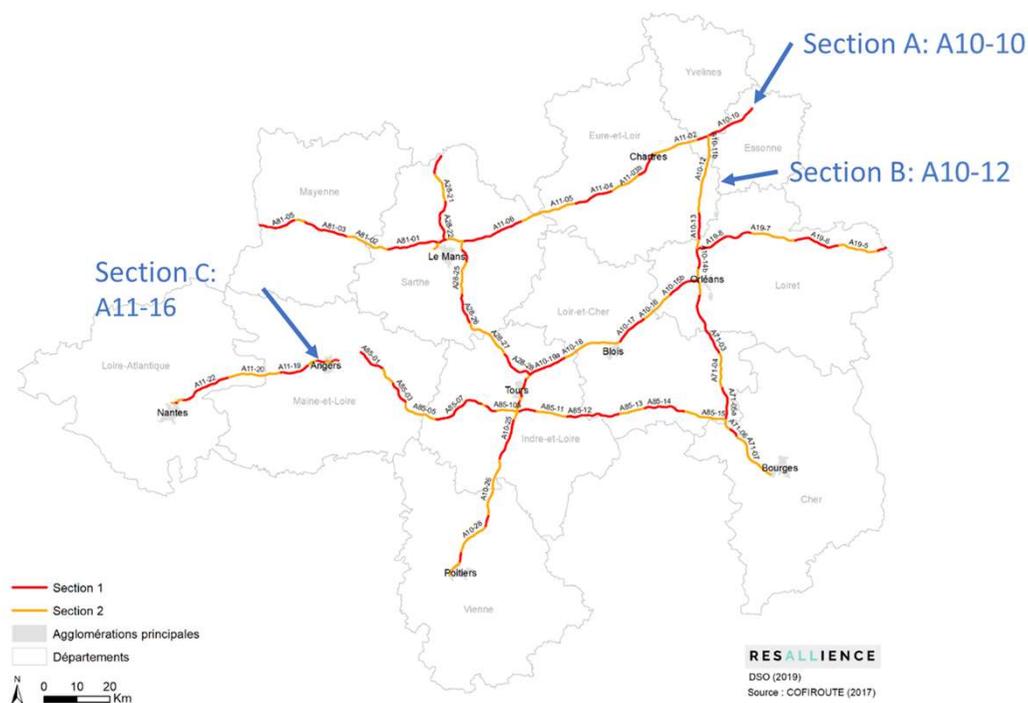
réseau routier du centre-ouest de la France, à gestion privée

Environ 1 200 km de route

OBJET : sélectionner un ensemble de segments d'autoroute qui devraient être analysés en détail pour de futurs investissements en matière de résilience climatique.

Se concentrer sur 3 segments d'autoroute choisis arbitrairement (A, B et C).

Résilience hors du champ d'application



Etude de cas: Réseau Cofiroute

Vulnérabilité

Vulnérabilité = Exposition x Sensibilité

Exposition : échelle de [0,4].

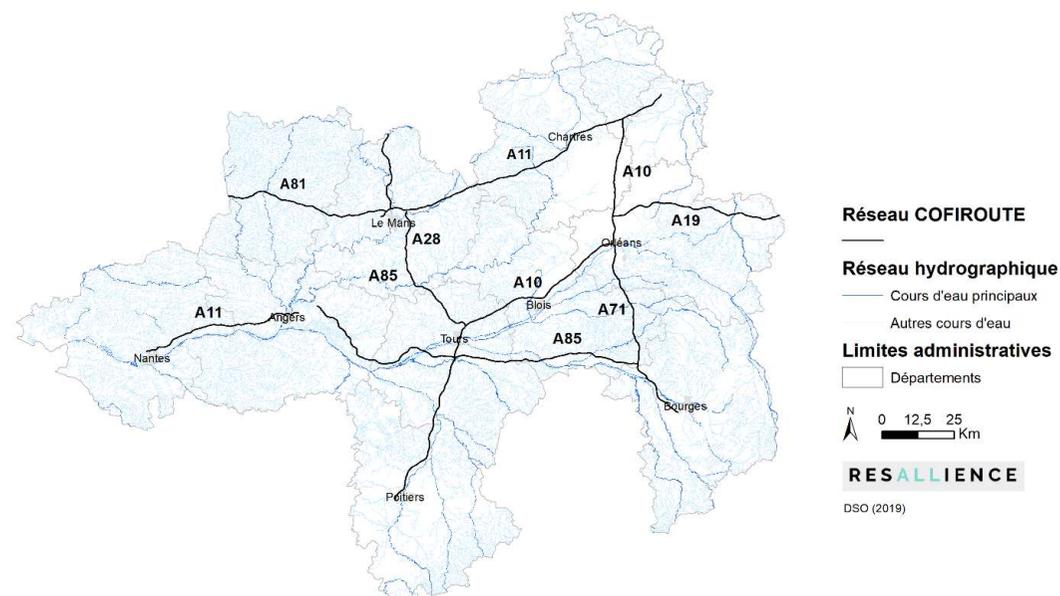
0 : absence de cours d'eau le long de l'autoroute ou la traversant

4 : présence d'un cours d'eau soumis à un régime réglementaire et dont l'intensité de l'aléa est forte.

Sensibilité : 0 ou 1

0 : le différentiel d'altitude avec le terrain naturel environnant est > 2m

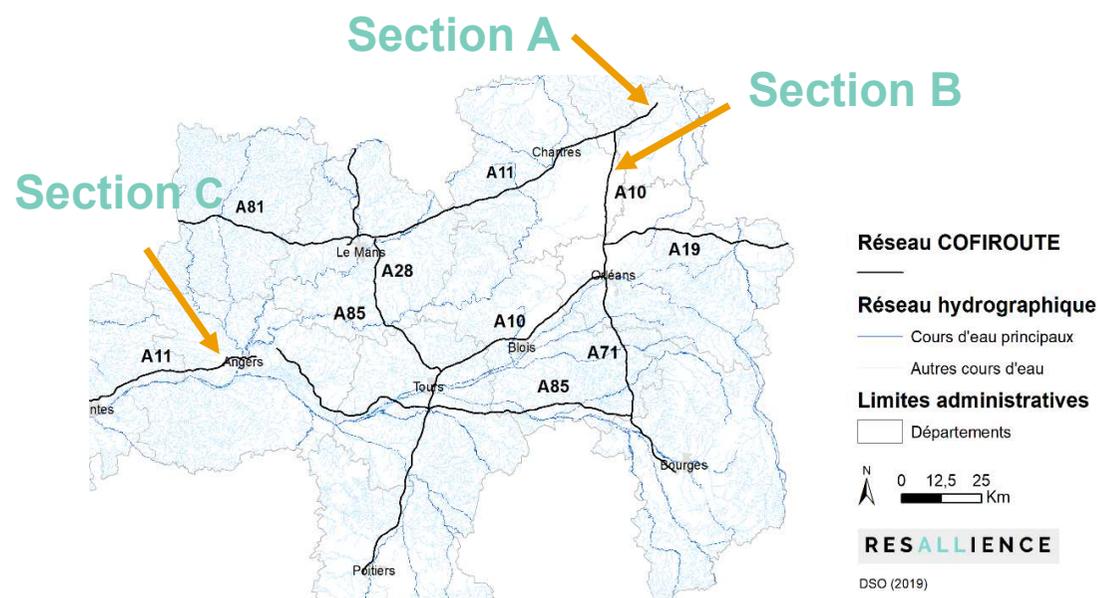
1 : le différentiel d'altitude avec le terrain naturel environnant est < 2m



Etude de cas: Réseau Cofiroute

Vulnérabilité

ID	Exposure (from 0 to 5)	Sensitivity (0 or 1)	Vulnerability (from 0 to 4)
A	1	0	0
B	0	1	0
C	4	1	4



Etude de cas: Réseau Cofiroute

Criticité territoriale

Nombre d'habitants, d'établissements ouverts au public, de bâtiments d'activité économique et d'infrastructures critiques (par exemple, transformateurs électriques, stations de traitement des eaux) dans un rayon de 4 km.

Trafic journalier annuel moyen sur chaque section d'autoroute

Dans [1, 25]

$$TCr = I_{pop} + I_{ERP} + I_{ECO} + I_{CI} + I_{Traffic}$$

Indicator	Score				
	1 pt	2 pts	3 pts	4 pts	5 pts
Pop (Habitants)	Pop < 16374	16 375 < Pop < 33590	33591 < Pop < 66137	66138 < Pop < 119905	Pop > 119906
ERP (Number)	ERP < 50	51 < ERP < 104	105 < ERP < 176	177 < ERP < 296	ERP > 297
Eco (Number)	Eco < 580	581 < Eco < 1066	1067 < Eco < 1512	1513 < Eco < 2211	Eco > 2212
CI (Number)	IC < 36	37 < IC < 56	57 < IC < 77	78 < IC < 127	IC > 128
Traffic (Vehicules)	Traffic < 16500	16501 < Traffic < 29100	29101 < Traffic < 39000	39001 < Traffic < 55000	Traffic > 55 001

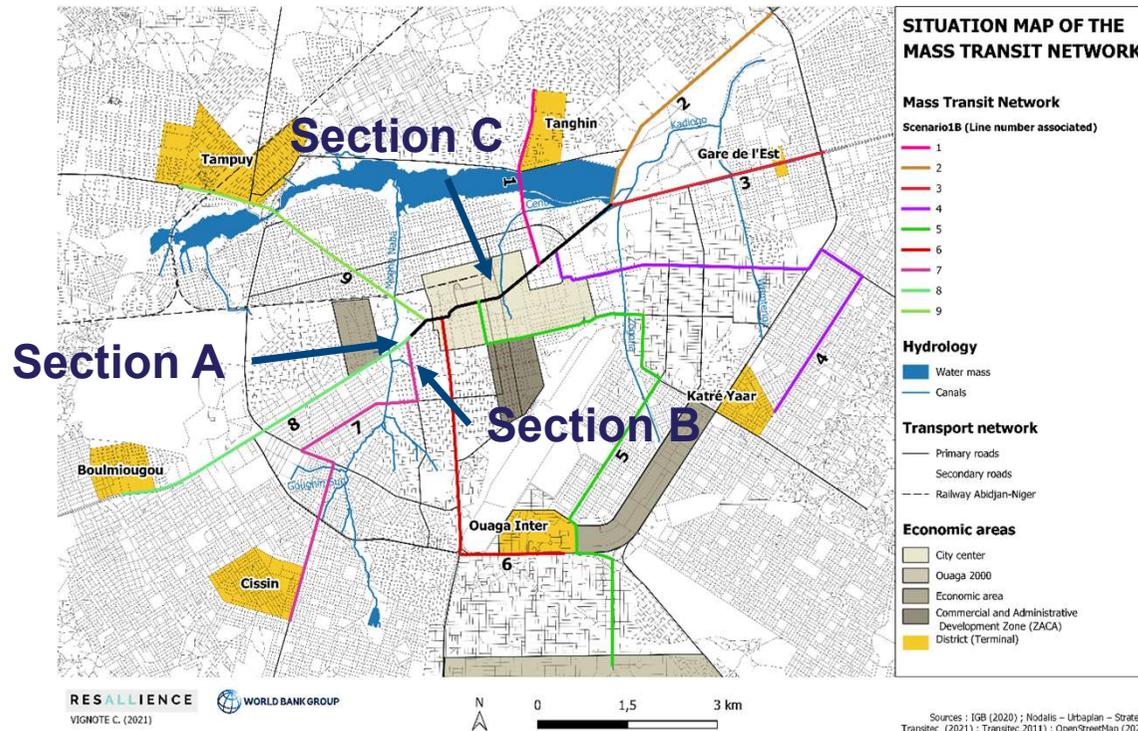
Etude de cas: Réseau Cofiroute

Composite criticality

- $Cr = V * T_{CR}$

ID	Infrastructure vulnerability (from 0 to 4)	Territorial criticality (from 5 to 25)	Composite Criticality (from 0 to 100)
A	0	20	0
B	0	14	0
C	4	20	80

Etude de cas: Projet de Ouagadougou



- 9 lignes de bus à grande capacité qui serviront de réseau primaire d'un système de transport multimodal.
- OBJET : identifier les sections de route critiques sur le tracé du système BRT qui devraient être prioritaires pour les investissements de résilience aux inondations.
- Se concentrer sur 3 sections de la ligne 7 (A, B, C)

Etude de cas: Projet de Ouagadougou

Vulnérabilité

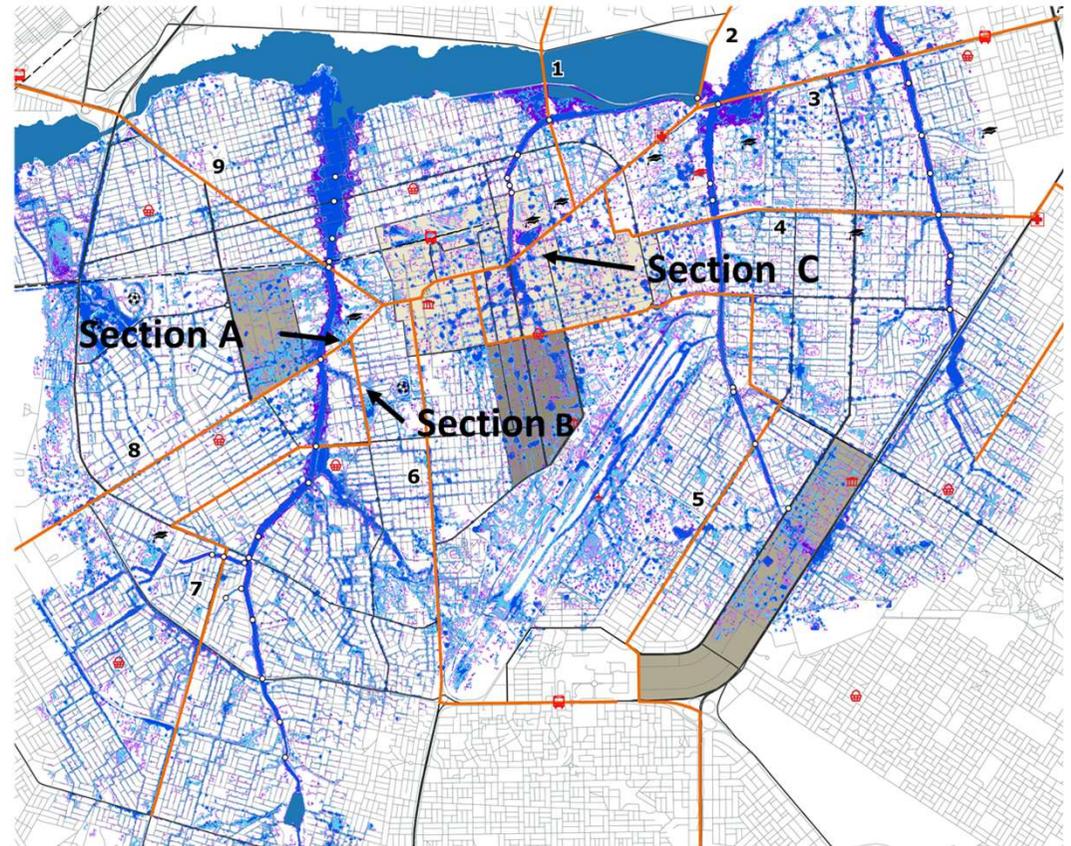
modèle hydraulique d'inondation

Échelle dans [0,2]

Valeur 0 : aucun impact

Valeur 1 : inondé avec trafic ralenti
(hauteur d'eau inférieure à 15 cm)

Valeur 2 : inondé avec trafic bloqué
(hauteur d'eau supérieure à 15 cm)



Etude de cas: Projet de Ouagadougou

Résilience

modèle hydraulique d'inondation
(dynamique)

Échelle en [0,5]

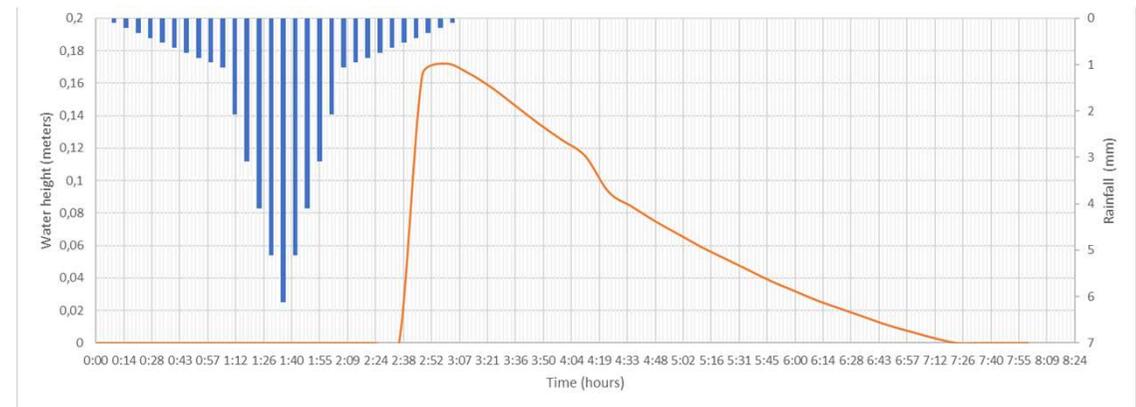
Valeur 0 : aucun impact

Valeur 1 : inondé avec un trafic ralenti et
une récupération rapide

Valeur 2 : inondé avec un trafic ralenti et
une récupération lente

Valeur 3 : inondé avec un trafic bloqué et
un rétablissement rapide

Valeur 4 : inondé avec un trafic bloqué et
une récupération lente



Etude de cas: Projet de Ouagadougou

Résilience

ID	Description of the flood	Infrastructure vulnerability (0 to 2)	Infrastructure resilience (0 to 4)
A	surface run-off coming from the streets to the east. flood depth reaches 30cm.	2	3
B		2	3
C	overflow of the canal as the capacity of the latter is insufficient. flood depth over 40cm and takes several hours to decrease.	2	4



Etude de cas: Projet de Ouagadougou

Territorial criticality

- Projected bus traffic & qualitative assessment of urban issues related to mobility
- In [1,10]
- $TCr = I_{UI} + I_{Traffic}$

Indicator	Score				
	1 pt	2 pts	3 pts	4 pts	5 pts
Traffic (passenger)	Traffic<16500	16501<Traffic< 29100	29101<Traffic <39000	39001<Traffic< 55000	Traffic>55 001
Urban issues	Residential areas with no particular accessibility issues	Mixed residential & commercial areas	Mixed residential & commercial areas, including a few critical facilities (universities, hospitals, etc.)	Business areas, including critical facilities (universities, hospitals, etc.)	Areas with a high concentration of activities (e.g. city center)

Etude de cas: Projet de Ouagadougou

Composite criticality

- $Cr = R * TCr$

ID	Bus line(s) affected	Urban issues related to the transport system	Territorial criticality score (from 2 to 10)	Composite criticality score (from 0 to 40)
A	Line 7 & Line 8	Commercial & residential area. Line 8 serves the national road N1 towards Bobo-Dioulasso	5	15
B	Line 7	Serves residential areas. Line 7 is the least important line of the BRT system for transit & accessibility.	2	10
C	Section shared by most lines	City center , Administrative district. Central market, schools, public services, embassies, military camps.	9	36

Conclusions

- Cadre théorique pour prioriser les segments routiers critiques pour les investissements de résilience climatique
- Adaptable (2 études de cas)
- Conduit à un indice de criticité composite qui permet de distinguer plusieurs tronçons.
- Les sous-indices (V, R & TCr) peuvent être utilisés pour comprendre la valeur du CCr = > identification des solutions appropriées
- les sections A & B de l'étude de cas de Ouagadougou ont les mêmes scores V & R mais des scores TCr différents
- Les sections A et C de l'étude de cas de Cofiroute ont les mêmes scores TCr mais des scores V différents.

De nombreux comités de PIARC travaillent sur la résilience car c'est un thème transversal

Travail du GT2 du CT3.3 sur la gestion de patrimoine:

Identifier et quantifier les risques et les pertes globales associés aux dommages du système de transport et établir des stratégies efficaces de réduction des risques dans le cadre d'une approche globale de gestion des infrastructures routières.

Dresser une revue des rapports existants de PIARC sur ce sujet.

Identifier les meilleures pratiques et approches des mesures de gestion du patrimoine routier pour améliorer la résilience de l'infrastructure routière.

Spécial Routes/Roads sur la résilience routière

- Ce numéro spécial illustre les travaux menés par le CT3.3 (gestion de patrimoine) sur la résilience



Spécial Routes/Roads sur la résilience

Résilience et gestion du patrimoine	19
<i>Gerardo Flintsch, Caroline Evans et Pascal Rossigny</i>	
Améliorer la résilience des réseaux routiers – Cadre	23
<i>Rade Hajdin, David K. Hein, Christian Honeger et Nikola Tanasić</i>	
Améliorer la résilience des réseaux routiers – Études de cas	30
<i>Jack Hansby, João Morgado, Goran Mladenović, Calado Ouana, Fabián Schvartzer et Rongji Cao</i>	
La stratégie de résilience aux inondations de la Ville de Toronto	38
<i>David K. Hein</i>	
Résilience du réseau routier : une approche préventive de la réhabilitation parasismique des ponts pour réduire les impacts macroéconomiques	41
<i>Mauro D'Apuzzo, Vittorio Nicolosi, Azzurra Evangelisti et Daniela Santilli</i>	
Approches de la résilience : exemples en provenance des États-Unis	46
<i>Aimee Flannery et Kristin C. Lewis</i>	
Améliorer la résilience des tunnels en intégrant des données de surveillance à la plateforme BIM	49
<i>Rok Vezočnik, Darko Kokot et Uroš Jovanović</i>	
Les géosynthétiques au service d'infrastructures plus résilientes	53
<i>Stanislav Lenart et Fumio Tatsuoka</i>	
Gestion du patrimoine routier : différentes approches de réseaux routiers	56
<i>Fernando Varela</i>	

Spécial Routes/Roads sur la résilience

DOSSIERS

Résilience et gestion du patrimoine

Gerardo Flintsch, Président du Comité technique 3.3 *Gestion du patrimoine routier* de PIARC, USA
 Caroline Evans, Présidente du Comité technique 1.4 *Changement climatique et résilience du réseau routier* de PIARC, Australie
 Pascal Rossigny, Secrétaire francophone du Comité technique 3.3 *Gestion du patrimoine routier* de PIARC, France

La gestion des infrastructures de transport doit tenir compte de nombreux paramètres, dont leur résilience, qui se révèle d'une absolue nécessité.

Les administrations routières sont responsables de la gestion des réseaux routiers, qui constituent un actif important pour un pays. Une gestion efficace du patrimoine réclame de préparer l'infrastructure aux différents risques susceptibles de l'endommager. L'amélioration de la résilience des réseaux routiers doit s'inscrire dans une approche holistique, qui prend en considération tous les risques possibles et leurs interactions et définit la procédure d'adaptation la mieux adaptée et la plus rentable.

De l'avis de tous, le réseau routier s'avère également une composante indispensable à la bonne marche de l'économie. Lorsque certains dangers provoquent des perturbations, le réseau est mis à mal, ce qui entraîne des pertes financières et économiques colossales pour les agences et exploitants des routes, ainsi que pour les usagers des transports. La résilience revêt donc une importance capitale, garantissant la réduction des coûts d'utilisation et socio-économiques des routes.

À l'avenir, les propriétaires et gestionnaires des infrastructures routières vont devoir s'adapter à un très large



Gerardo Flintsch Caroline Evans Pascal Rossigny

éventail de menaces. Celles-ci, seules ou combinées, ont un impact significatif sur la disponibilité des réseaux routiers. Par conséquent, les propriétaires et les exploitants de la route doivent relever ces défis clés pour assurer un fonctionnement fiable de leurs réseaux routiers, de leur mobilité et de leurs chaînes d'approvisionnement. Il est également évident qu'il existe des interdépendances avec d'autres modes de transport ainsi que des effets de cascade ou d'amplification qui devraient être considérés comme faisant partie d'une approche globale tous risques. Exemples de risques :

- infrastructures vieillissantes, état d'entretien et de réfection,
- changement climatique et phénomènes météorologiques extrêmes,
- catastrophes naturelles,
- catastrophes d'origine humaine,
- cyber-menaces et attaques cyber-physiques.

La résilience admet de nombreuses définitions. Le GIEC la définit comme « la capacité d'un système et de ses composantes à anticiper, absorber, accueillir, ou à se remettre des effets de phénomènes dangereux en temps voulu et de façon efficace, notamment en assurant la préservation, la restauration et l'amélioration de ses structures essentielles et de ses fonctions de base »¹. Il s'agit de la « capacité de résistance d'un système socio-écologique face à une perturbation ou un événement dangereux, permettant à celui-ci d'y répondre ou de se réorganiser de façon à conserver sa fonction essentielle, son identité et sa structure, tout en gardant ses facultés d'adaptation, d'apprentissage et de transformation »².

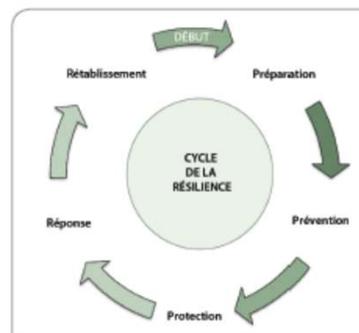


Illustration 1 - Cycle de la résilience
 © K. Thoma, « Resilience-by-Design ». Stratégie für die technologischen Zukunftsthemen (stratégie face aux enjeux technologiques du futur), acatech STUDE, 2014

¹ (Lavell, A., M. Oppenheimer, C. Diop, J. Hess, R. Lempert, J. Li, R. Muir-Wood, and S. Myeong, 2012: Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64)

Spécial Routes/Roads sur la résilience

Améliorer la résilience des réseaux routiers – Cadre

Rade Hajdin, Président d'IMC GmbH, Suisse, professeur à la Faculté de génie civil, Université de Belgrade, Serbie
David K. Hein, Ingénieur et consultant indépendant, Canada
Christian Honeger, Responsable du service de gestion du patrimoine, ASFINAG, Autriche
Nikola Tanasić, chef de projet, IMC GmbH, Allemagne

Illustrations © Auteurs

Le développement durable des sociétés repose de plus en plus sur l'efficacité totale des réseaux de transport terrestres. Toutefois, les récentes défaillances soudaines du viaduc de Polcevera, à Gènes, en Italie [1], d'un pont suspendu en France [2] et du pont de Caprigliola en Ligurie, Italie [3], constituent de douloureuses piqûres de rappel des menaces qui pèsent sur les performances des réseaux routiers. Fort heureusement, ces événements sont relativement rares, mais ils soulignent la nécessité de garantir la sécurité et la fiabilité des infrastructures en améliorant constamment la planification de l'entretien.

Les organisations routières mettent généralement en place des processus de limitation des risques d'événements indésirables, c'est-à-dire de défaillances, grâce à une planification et une application opportunes de mesures d'entretien. Cette approche convient aux scénarios de mise en danger manifeste pouvant être décelés par des inspections et une surveillance. À ces occasions, il est possible de relever des éléments, comme des dommages, pouvant être source de dangers et de lancer des opérations d'entretien pour éviter les défaillances. Selon l'organisation routière, la gravité du scénario de mise en danger s'exprime par une note ou un niveau d'état, et des mesures d'entretien sont mises en place avant que le niveau d'état n'atteigne un certain seuil. Cette approche est l'essence même de la planification de l'entretien basée sur l'état. Les seuils sont définis de façon à ce que la probabilité de défaillance reste suffisamment faible. Dans la pratique, il existe une échelle décisionnelle déclenchant les interventions d'entretien en fonction de règles heuristiques [4,5], d'un score d'état limite ou, plus récemment, de critères fondés sur un ensemble d'indicateurs de performance [6].

Malheureusement, certains scénarios de mise en danger demeurent imprévisibles, comme les dangers naturels, et ne laissent pas suffisamment de temps pour prévenir les défaillances par des mesures d'entretien. Il s'avère donc nécessaire d'évaluer le risque qu'engendrent ces scénarios, c'est-à-dire leur taux d'occurrence et leurs conséquences. Si le risque estimé n'est pas assez faible, des mesures d'entretien



Rade Hajdin

David K. Hein

Christian Honeger

Nikola Tanasić

ou d'amélioration doivent être engagées. Cette approche est l'essence même du processus décisionnel basé sur le risque. Un examen plus approfondi des prises de décision fondées sur l'état et sur le risque révèle qu'il n'existe aucune différence fondamentale entre les deux approches si l'on considère que les inspections réduisent l'incertitude liée à la survenue d'une défaillance, permettant l'adoption opportune de mesures d'entretien préventif et donc l'élimination du risque.

Il convient de noter que les conséquences des défaillances se traduisent non seulement par des pertes immédiates (humaines et matérielles, par exemple), mais également par une indisponibilité de l'infrastructure jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau opérationnelle. Les mesures préventives doivent donc s'accompagner d'une planification judicieuse de mesures de récupération, permettant d'atténuer les effets des défaillances et donc le risque.

Il est essentiel de tenir compte du délai de récupération dans l'évaluation de la résilience dont fait l'objet le présent article.

Cet article offre un aperçu du contexte théorique de l'approche de résilience et examine le stade d'application pratique des cadres associés. Les mesures, ciblant des aspects spécifiques de la résilience, sont présentées dans les études de cas qui font l'objet d'un autre article [7].

ASPECTS DE LA RÉSILIENCE

Au cours du précédent cycle de PIARC (2016-2019), le comité technique E.1 *Stratégies d'adaptation / résilience*, a dressé le rapport : *Méthodologies d'adaptation et stratégies pour améliorer la résilience des routes face au changement climatique – Approche par études de cas* [8]. Il définit la notion de résilience adoptée à partir de [9, 10], comme suit :

International Seminar

CLIMATE CHANGE, RESILIENCE, AND DISASTER MANAGEMENT FOR ROADS

Hybrid Seminar



SAVE THE DATE!

Seminar: 22 - 23 November 2022
Technical visit: 24 November 2022
08.30-16.30 Western Indonesia Time (UTC +7)

Venue:

**Yogyakarta Marriott Hotel,
Yogyakarta - Indonesia**

Registration fee: Also available online:
offline : 150 EUR
online : 100 EUR



Merci de votre attention



ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE
COMITÉ FRANÇAIS

Pascal ROSSIGNY

Pascal.rossigny@cerema.fr



@PIARC_Roads



World Road
Association PIARC



World Road
Association PIARC



World Road
Association PIARC

www.piarc.org



World Road Association (PIARC)
Grande Arche – Paroi Sud – 5^e étage
92055 – La Défense Cedex – France



CHAMBÉRY 2026

