



# La résilience comme mesure de performance pour la gestion du patrimoine

**Dr Rade Hajdin**

Président, Infrastructure Management Consultants, Zurich

Directeur Général, infSolutions, Saint-louis



**VIABILITÉ HIVERNALE & RÉSILIENCE DES ROUTES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

**Chambéry, 26 et 27 septembre 2022**



ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE  
COMITÉ FRANÇAIS



**CHAMBÉRY 2026**



# Contenu

- Introduction
  - Définition de la résilience
  - Les aspects de la résilience
- Mesure de la résilience
- Mesures pour améliorer la résilience
  - Robustesse
  - Redondance
  - Réactivité
  - Ingéniosité
- Processus de décision
- Conclusion

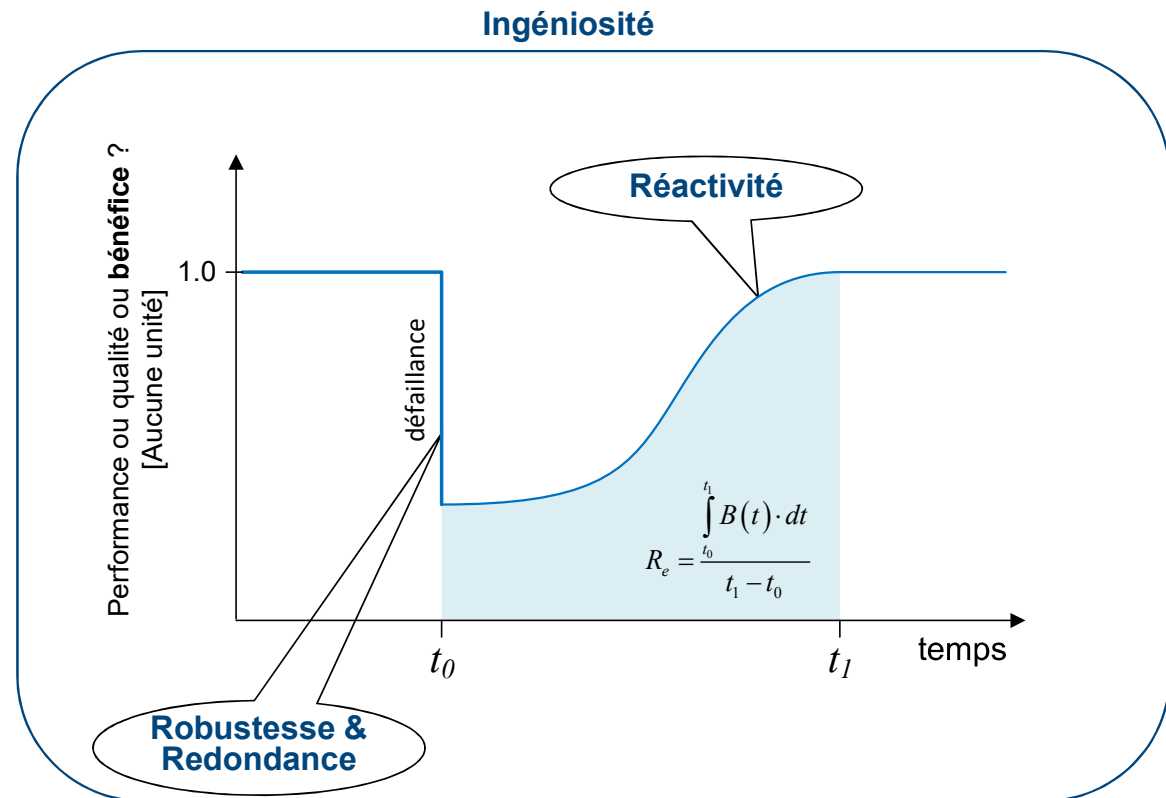


# Définition de la résilience

- La résilience est "la capacité d'un ou de plusieurs systèmes à survivre et à prospérer face à un avenir complexe, incertain et en constante évolution".
- "Un avenir en constante évolution" -> Différentes menaces naturelles et artificielles.
- Périmètre du système
  - Affecté par la menace : Objet, section de route ou réseau
  - La défaillance d'un objet peut avoir des conséquences sur l'ensemble du réseau, c'est-à-dire sur une communauté dans son ensemble (transport, énergie, approvisionnement, communication, etc.)
  - Interdépendances de l'infrastructure
    - Défaillances simultanées
    - Défaillances en cascade
  - Dangers ultérieures

# La résilience et ses aspects

- **Quantification de la résilience :**  
Une mesure de bénéfice / qualité au long terme d'une infrastructure
- Les aspects - 4R
  - Robustesse
  - Redondance
  - Réactivité
  - Ingéniosité
- Se préparer, Absorber, Récupérer, S'adapter
- Système de valeurs pour le bénéfice/la qualité ?





# Risque vs. Résilience

La résilience est comprise comme (CSS, ETH Zürich):

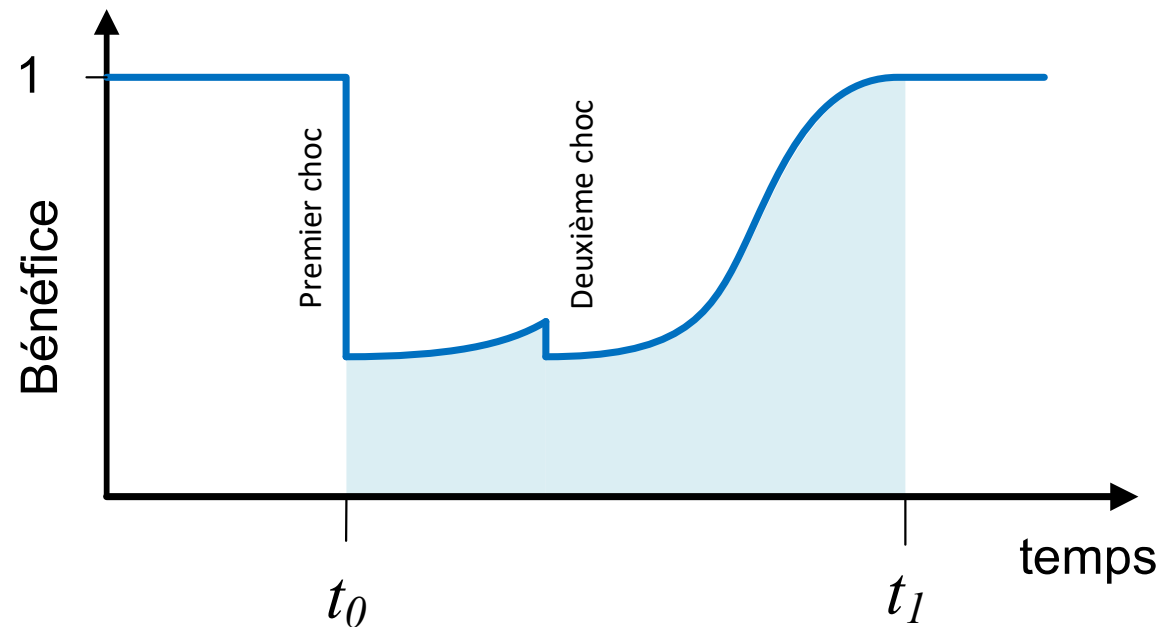
- **un objectif de la gestion des risques.** La résilience remplace ou complète le concept de protection, qui était auparavant défini comme l'objectif des activités de gestion des risques.
- **une partie de la gestion des risques.** Les activités visant à renforcer la résilience sont nécessaires pour faire face aux "risques restants", c'est-à-dire les risques qui n'ont pas été identifiés ou sous-estimés et qui ne sont donc pas couverts par des mesures de protection (préventives) appropriées.
- **une alternative à la gestion des risques.** Il est avancé qu'une analyse probabiliste des risques n'est pas une approche adéquate pour les systèmes socio-économiques qui sont confrontés à des risques non linéaires et dynamiques et qui sont eux-mêmes caractérisés par un haut degré de complexité. Au lieu de prévenir les risques et de protéger le statu quo, ces systèmes devraient renforcer leur résilience en augmentant leurs capacités d'adaptation.



# Risque vs. Résilience

La gestion traditionnelle des risques se concentre sur la planification et la réduction des vulnérabilités. La gestion de la résilience met davantage l'accent sur **l'accélération du rétablissement** et la facilitation de l'adaptation.

Linkov et al, Nature Climate Change 2014.





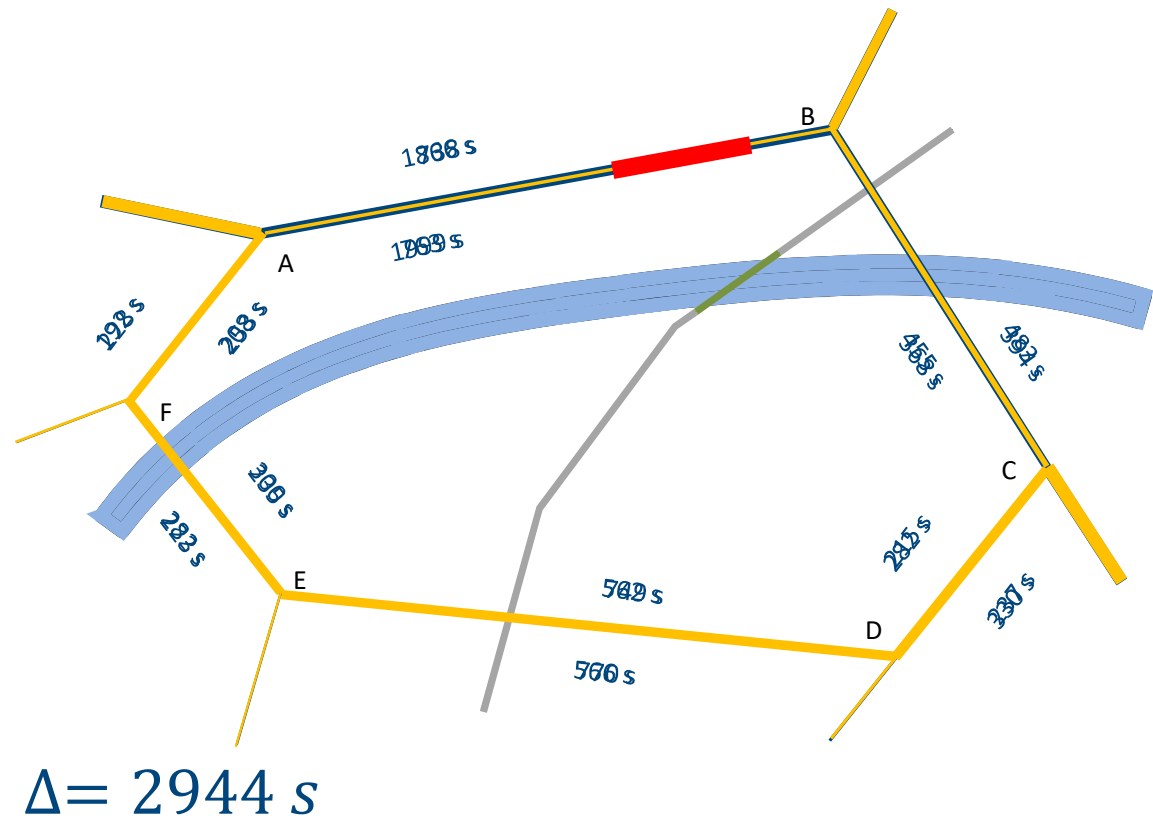
# Mesure de la résilience

- c.-à-d. bénéfice/qualité au long terme de l'infrastructure
- Système de valeur basé sur les indicateurs clés de performance (KPI)
  - Les KPI sont des paramètres techniques qui définissent la qualité du service:
    - La mobilité des usagers : temps et distances de déplacement (passagers et marchandises)
    - La sécurité et le confort des usagers : pertes de vie et d'intégrité physique...
    - L'impact environnemental : polluants de l'eau, gaz à effet de serre...
    - Socio-économie : accidents, niveau de bruit, coûts de carburant, entretien des véhicules, usure des routes, marchandises périssables...
- Agrégation des KPI : Monétarisation -> le bénéfice négatif peut aussi être considéré !
- Les KPI liés à l'état des objets et au budget ne font pas partie **de l'évaluation des bénéfices, mais sont utilisés dans la prise de décision (mesures de maintenance et de rétablissement).**



# Bénéfice d'un tronçon de route

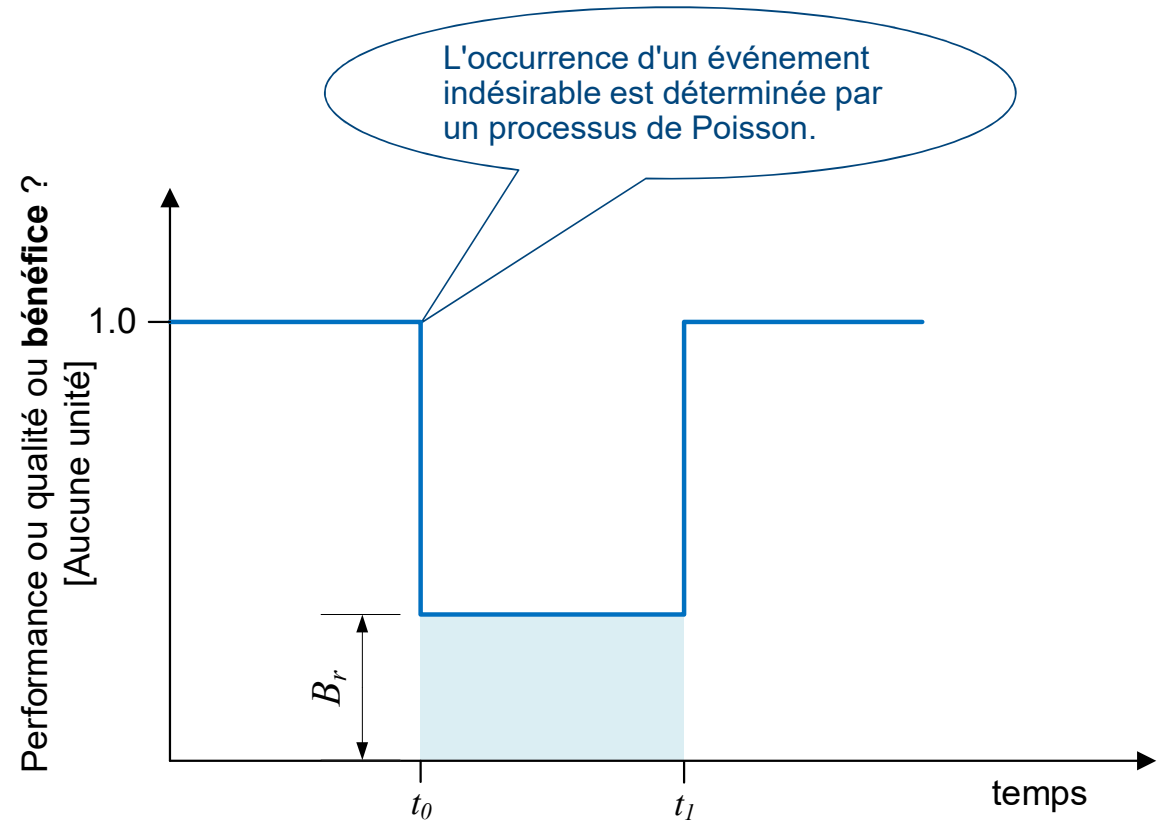
Si un un pont s'endommage...  
le trafic se redistribue...  
et le temps de trajet augmente.  
La réintroduction d'un même  
pont entraîne une diminution  
du temps de trajet -> Bénéfice





# Exemple

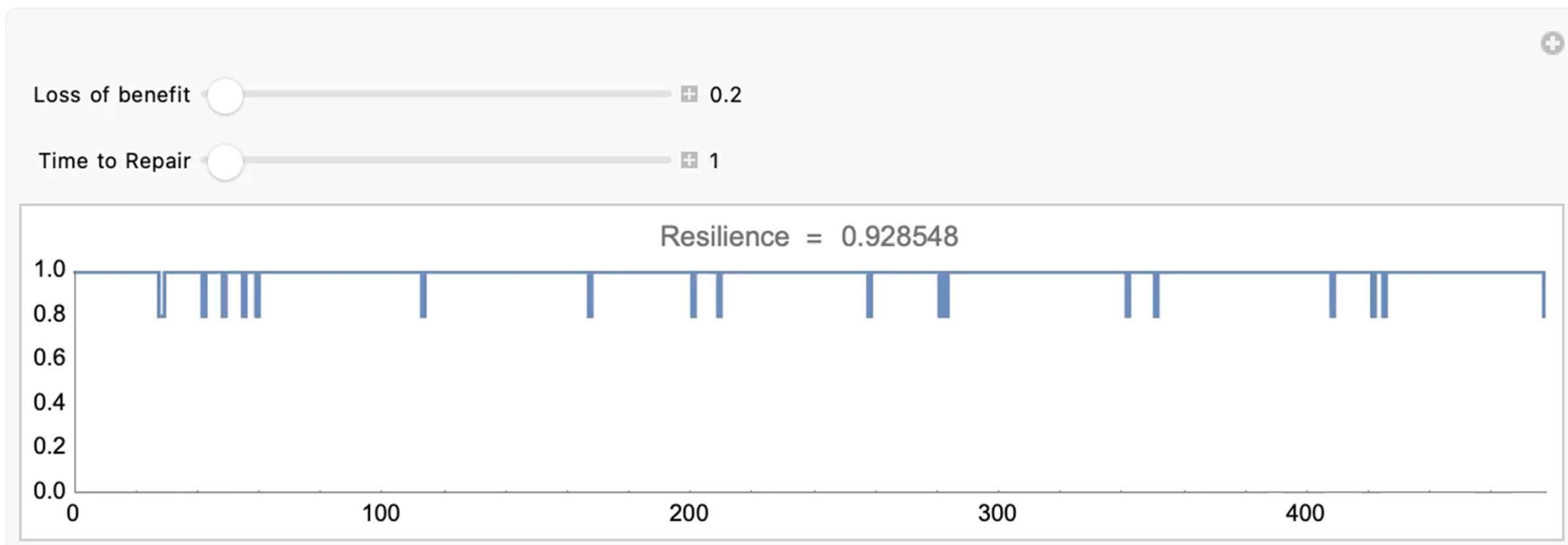
- Pendant la réparation, le pont ne peut pas être utilisé ou seulement partiellement.
- Les événements suivent un processus de Poisson avec une période de retour de 20 ans.
- La résilience est sans unité et exprime un bénéfice moyen sur un temps infini.



# Calculer la résilience ...



Période de retour = 20 ans





# Mesures pour améliorer la résilience

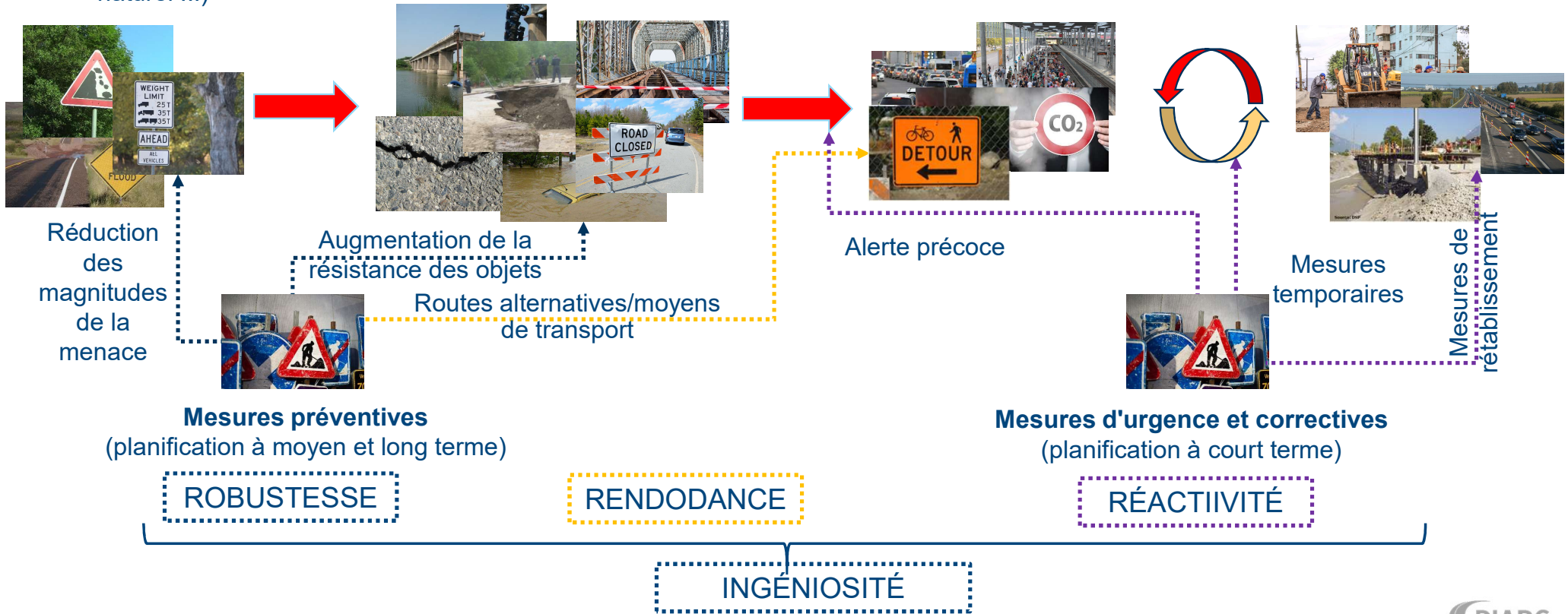
**Scénario(s) de menace**  
(événement anthropogène, risque naturel ...)

**Mode(s) de défaillance**  
(un dommage, un effondrement partiel/total, une fermeture préventive...)

**Conséquences de la défaillance** (ou des défaillances)  
(pertes de parties intéressées)

VS.

**Rétablissement**  
(restauration/amélioration de la qualité du service)





# Mesures pour améliorer la résilience - Robustesse

- Réduction de l'exposition des objets aux menaces
  - Installation de structures/dispositifs de protection (par exemple, clôtures de protection, amortisseurs sismiques, creusement de tunnels).
  - Adaptations aux micro-localisations (par exemple, coupe de la végétation, abaissement du niveau de l'eau...)



Photo: WSL

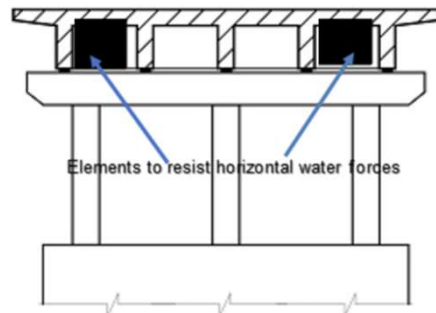


Photo: Stefan Margreth, SLF



# Mesures pour améliorer la résilience - Robustesse

- Augmenter la résistance des assets aux défaillances dues aux menaces
  - Augmenter la capacité de charge/déformation
  - Contrôler/provoquer les mécanismes de défaillance désirés



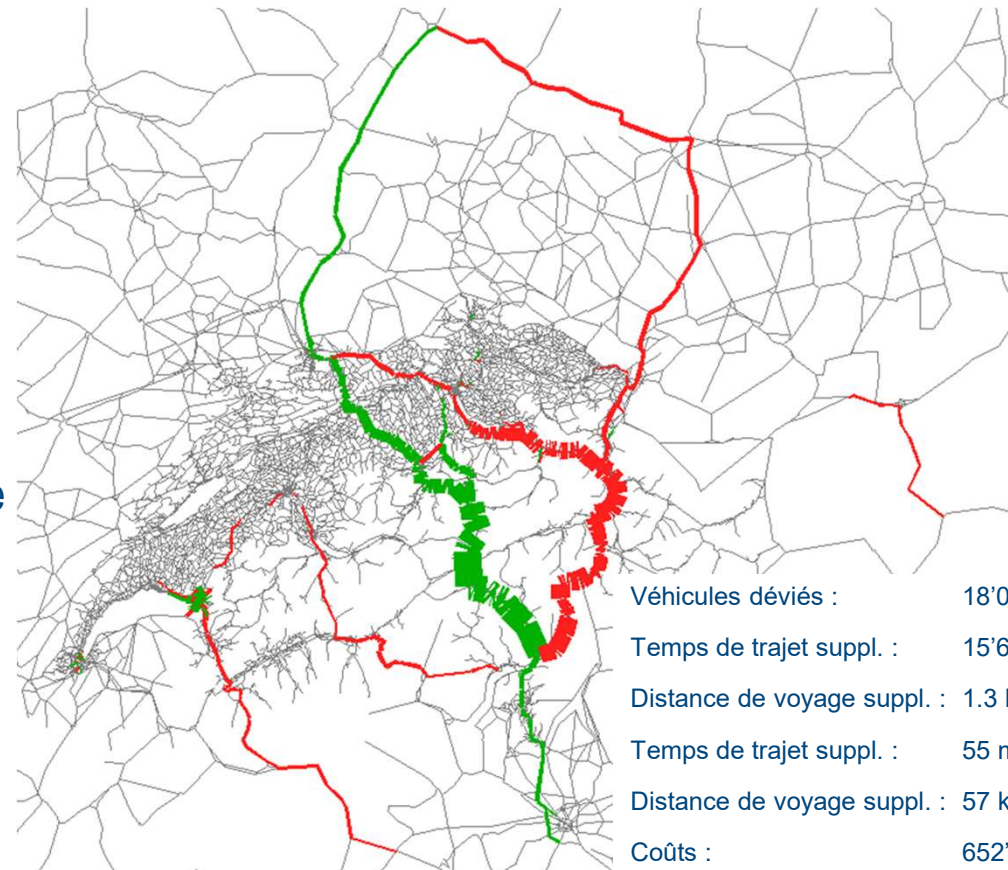
Augmentation de la résistance aux forces horizontales de l'eau lors d'une inondation (Mozambique)  
- une étude de cas tirée du rapport du GT2





# Mesures pour améliorer la résilience - Redondance

- Diminuer les impacts à court et à long terme d'une défaillance sur la perte de bénéfices
  - Construire des routes alternatives avec une capacité adéquate
  - Augmenter l'interchangeabilité des modes de circulation
  - Mise en place de systèmes de secours pour les infrastructures non liées au transport (alimentation en électricité/eau)



Véhicules déviés :	18'053/d
Temps de trajet suppl. :	15'673 h/d
Distance de voyage suppl. :	1.3 Mio. Km
Temps de trajet suppl. :	55 min./veh.
Distance de voyage suppl. :	57 km/veh.
Coûts :	652'000 CHF

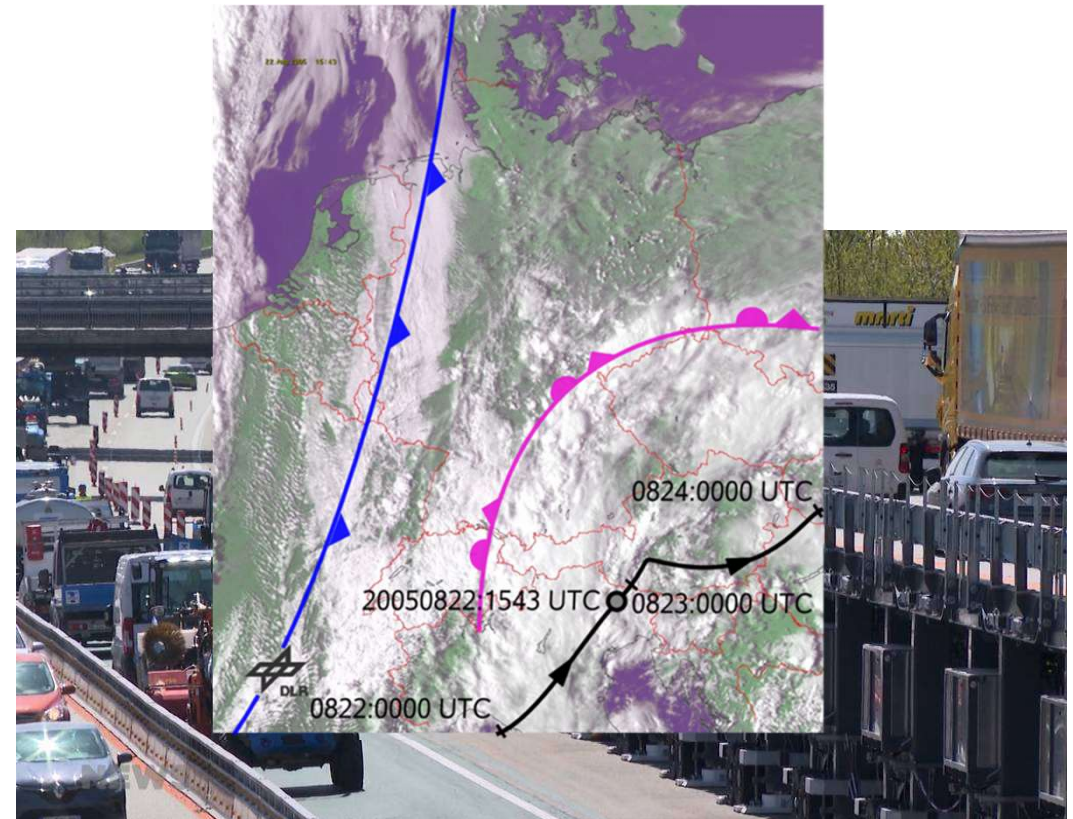
# Mesures pour améliorer la résilience - Réactivité

- Diminution des délais de rétablissement
  - Planification efficace des activités de réparation (établissement de priorités entre les actifs et les utilisateurs touchés, accès des groupes d'intervention, fourniture de services vitaux...)
  - Formation et amélioration continues des équipes d'intervention
  - Réponse juridique rapide -> budgétisation d'urgence
- **Efficacité**



# Mesures pour améliorer la résilience - Ingéniosité

- Augmenter la capacité des ressources humaines et matérielles
  - La capacité d'identifier les problèmes
  - L'allocation prudente du budget, de la main-d'œuvre et des machines d'urgence
  - La planification de l'intervention qui favorise la réparation simultanée de plusieurs biens affectés
- L'application de solutions temporaires, par exemple l'installation de structures telles que des pontons.
- **Effectivité**







# Prise de décision

- Trouver la combinaison optimale de mesures préventives et d'urgence/correctives pour maximiser la résilience à long terme des infrastructures routières, c'est-à-dire les bénéfices pour la société.
- Le champ d'application:
  - **Planification à court terme** (la défaillance est sur le point de se produire ou s'est déjà produite)
    - Activités de rétablissement (type, calendrier, coût, durée, impacts sur les aspects de résilience)
  - **Planification à moyen et long terme** (une défaillance peut survenir à tout moment de la vie d'un actif)
    - Maintenance préventive (type, calendrier, coût, durée, impacts sur les aspects de résilience)
- **Ratio résilience/coût -> classement des stratégies de maintenance/réparation**



# Conclusion

- Le risque et la résilience ont encore quelques problèmes non résolus ...
- La frontière est un peu théorique, les approches pragmatiques sont donc les bonnes.
- La résilience sonne mieux
- Le temps de rétablissement est essentiel
- La résilience peut être améliorée à différents stades et la combinaison de mesures la plus appropriée doit être appliquée -> **Ingéniosité**
- Le ratio résilience/coût semble être une bonne mesure pour la prise de décision.



**Dr Rade Hajdin**

**Président IMC GmbH**

**Rade.Hajdin@imc-ch.com**

World Road Association (PIARC)  
Grande Arche – Paroi Sud – 5<sup>e</sup> étage  
92055 – La Défense Cedex – France



@PIARC\_Roads



World Road  
Association PIARC



World Road  
Association PIARC



World Road  
Association PIARC

**[www.piarc.org](http://www.piarc.org)**

