

# Méthodologie d'analyse de la résilience des infrastructures (ouvrages géotechniques) au changement climatique

*Dominique ALLAGNAT*

# SOMMAIRE

- 1 - Changement climatique contexte général
- 2 - Contexte particulier du projet
- 3 - Développement méthodologique
- 4 - Le démonstrateur / Résultats
- 5 - Synthèse et perspectives

# I – CHANGEMENT CLIMATIQUE – CONTEXTE GENERAL

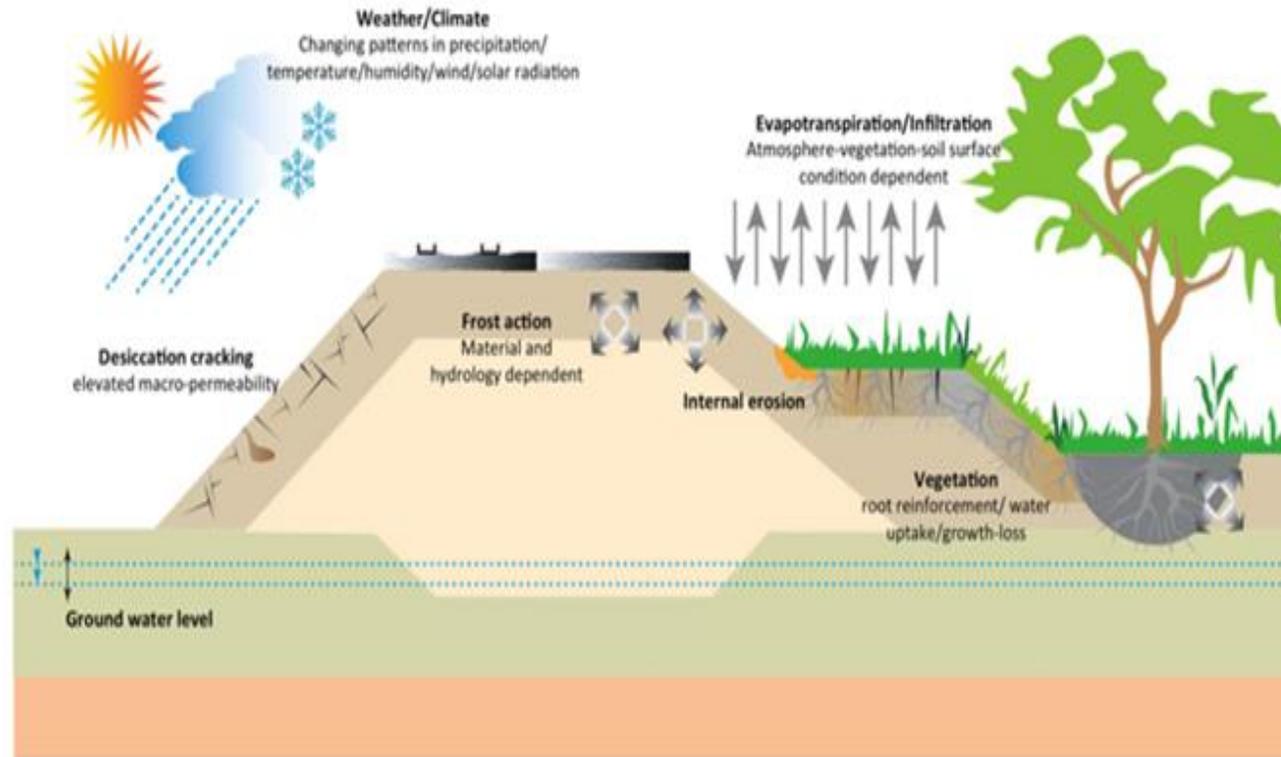
## Réchauffement, changement, dérèglement...climatique

### Constat :

Les infrastructures et les ouvrages géotechniques en particulier sont de plus en plus affectés par les effets du changement climatique :

- Episodes de fortes chaleurs,
- Précipitations intenses,
- Sécheresses ...





Schematic view of the soil-vegetation-atmosphere interactions – Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology – Volume 51, Issue 2, May 2018

Ces événements génèrent des conséquences sur les ouvrages géotechniques qui doivent être maintenant prises en considération dans la conception et la stratégie de maintenance :

- Erosion des talus,
- Retrait/gonflement des ouvrages en terre,
- Glissements de terrain,
- Comportement à LT des matériaux...

## II – CONTEXTE PARTICULIER DU PROJET



**Appel à projet FEREC** : Fondation d'entreprise FEREC 2019 :  
« Résilience et acceptation : quels outils pour les infrastructures ? »

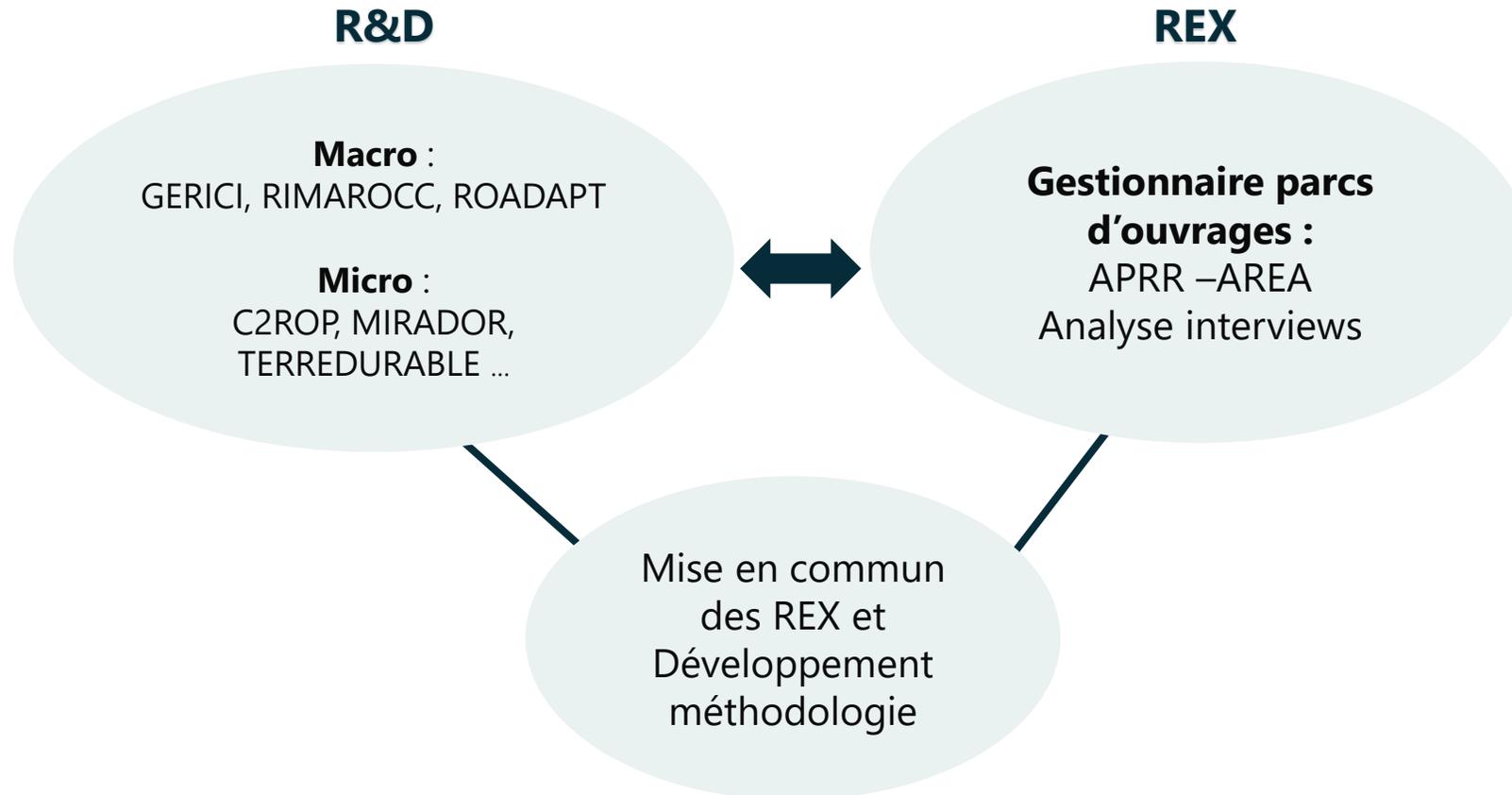
**Projet** : MARI.CC Méthodologie d'Analyse de la Résilience des Infrastructures (OG) au changement climatique (durée du projet = 12 mois).

**Partenaires** : EGIS, Groupe APRR.



**Objectif principal** : Un outil simple d'analyse de la vulnérabilité à l'échelle des **ouvrages** géotechniques.

# Méthode



# Moyens et résultats attendus

- Equipe construite autour d'**acteurs impliqués** dans les enjeux du **changement climatique** et l'impact sur les infrastructures.
- **REX de grands projets R&D** nationaux et internationaux + études d'ingénierie / expertise à l'international.
- **Groupe multi disciplinaire** = ingénieries avec ≠ thématiques techniques (dont la géotechnique) et gestionnaires d'ouvrages.



**Résultats concrets (échelle des OG)**

**Méthodologie éprouvée par un « démonstrateur »**

# III – DEVELOPPEMENT METHODOLOGIQUE

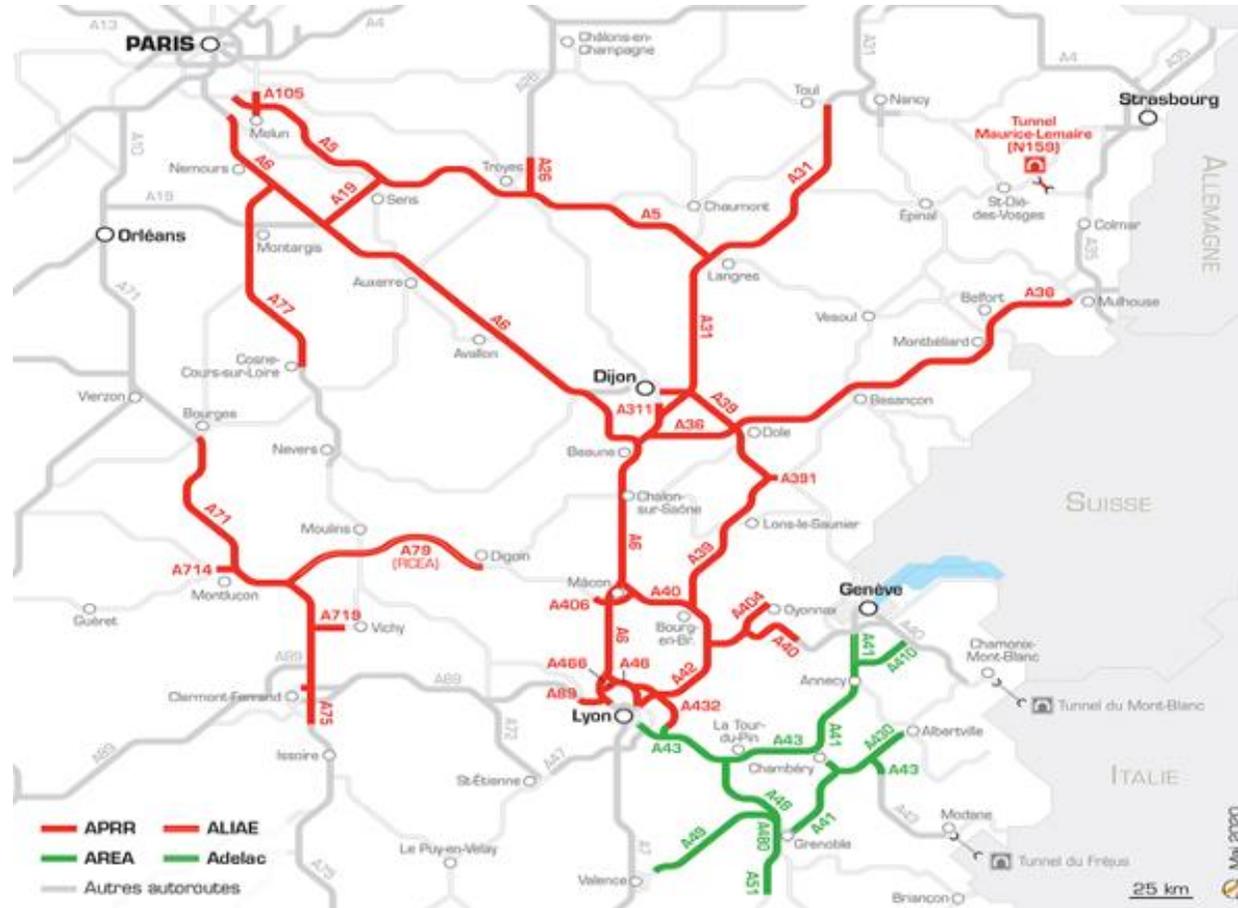
## D'abord une étude bibliographique complète pour évaluer la R&D disponible

- Analyse vulnérabilité dans plusieurs pays (cartographie des zones vulnérables).
- Les plus pertinentes pour notre projet = guides méthodologiques généraux : RIMAROCC, ROADAPT, PIARC ou guide CEREMA.
- Seule la méthode développée par l'association mondiale de la route (PIARC's Adaptation Framework) = **méthode technique adaptée à l'échelle de l'ouvrage.**

Méthodes en général basées sur la théorie de l'analyse des risques => principalement qualitatives ≠ de méthodes détaillées

- **RIMAROCC et ROADAPT** (Europe)
- **GERICI** (1<sup>er</sup> outil risque climatique / infrastructures)
- « **United Kingdom Highways Agency Framework** » (HAF)
- Guide « **United States Federal High-Way Administration** » (FHWA) synthèse des REX aux Etats-Unis
- « **WS DOT Vulnerability Assessment Method** » application du guide FHWA à l'état de Washington.
- Méthode « **PIARC** » plus récente (2015) synthèses des ≠ méthodes à l'échelle mondiale
- « **Lebanon Landslide Hazard Framework** » méthode => SIG
- Guide CEREMA « **vulnérabilité et risques** les infrastructures face au climat » (2019)

## Ensuite, une analyse du REX de l'exploitant



2300 km d'infrastructure

**Interviews menés sur 7 districts** = diversité climatique et géomorphologique (climats océaniques dégradés, continentaux, de montagne, zone de plaine et périurbaine)

## Questions posées

- Augmentation significative **température en été**
  - Périodes de **sécheresse** fréquence, intensité, ..)
  - Augmentation des **pluies extrêmes**
  - Augmentation des **tempêtes** (vents violents)
  - Augmentation des **fortes pluies en hiver**
- 
- Constat d'augmentation **érosion ou glissements** sur talus en déblai
  - Constats sur la **végétation**
  - Constat sur **fonctionnement assainissement** de surface
  - Constat sur les **matériaux** (OG, chaussées)
  - Appréciation / **fonctionnement des OH**

# Restitution des interviews :

## Phénomènes météorologiques observés

- Augmentation des températures moyennes
- Augmentation ou intensité des précipitations extrêmes
- Augmentation des périodes de sécheresse ( $\sim$ )
- Evolution des régimes de vent

## Effets observés

- Inondations de voies / phénomènes pluvieux exceptionnels
- Dégradation et fragilisation végétation
- Instabilité et érosion talus = différenciation / investissements préventifs
- Tassement des remblais / sols compressibles.

# IV – LE DEMONSTRATEUR / RESULTATS

**Objectif** : représenter certains phénomènes induits par les changements climatiques observés et prévisibles => outils d'aide à la gestion de l'infrastructure.

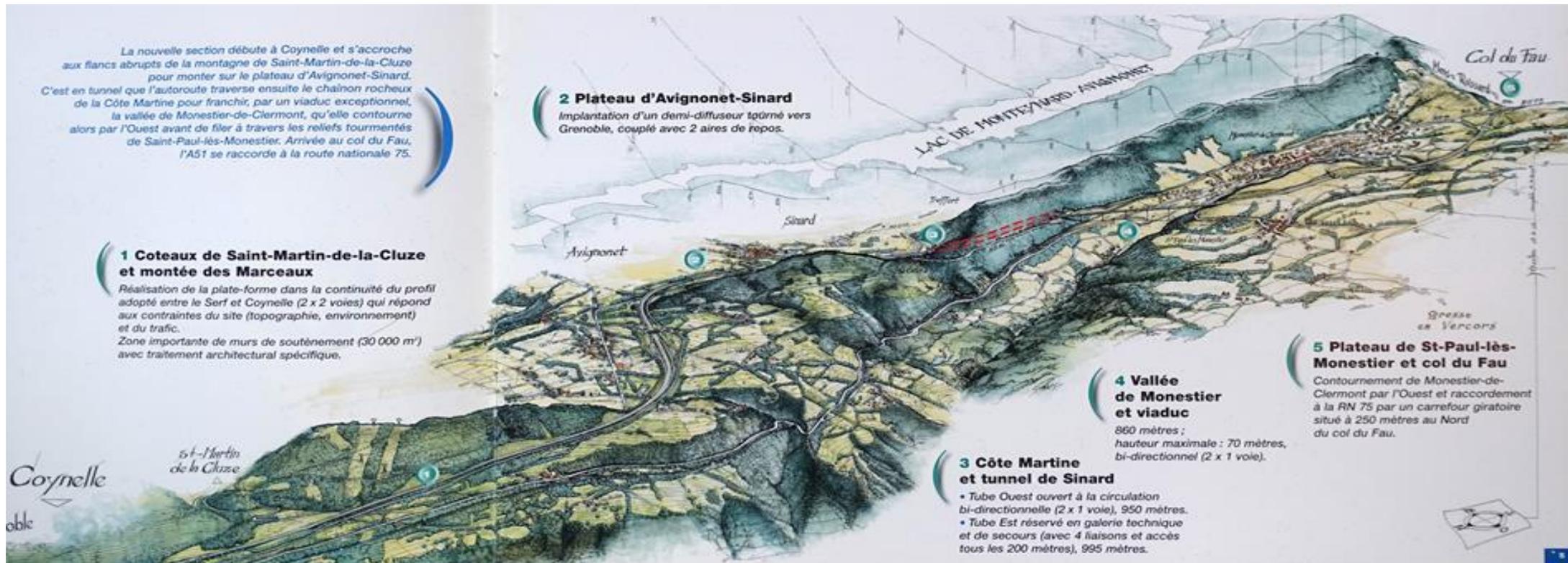
## A51 Grenoble – Col du fau (26 km dates = 1999 à 2007)

- Diversité des situations géographiques traversées
- Diversité des ouvrages géotechniques (OT/sols compressibles, MS en sol renforcé, remblais et déblais de grande hauteur, tunnels, viaducs,...)
- Variation d'altitude = 200 m à 900 m NGF

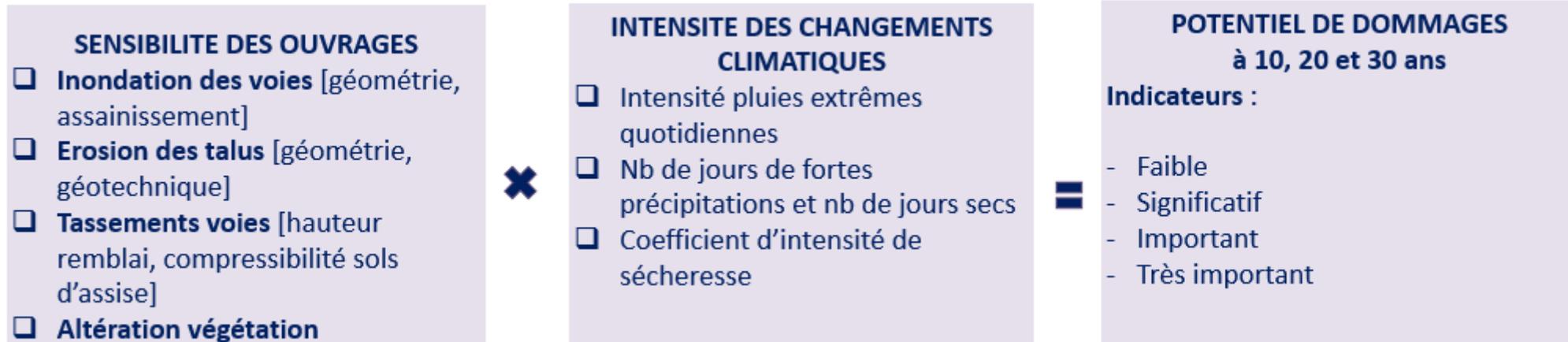


## Les phénomènes étudiés :

- Inondations de voies
- Tassements en zone de plaine
- **Erosion talus et glissements superficiels**
- **Altération de la végétation**



# Méthodologie d'analyse :



## Exemple présenté : érosion des talus et glissements superficiels

**Assèchement des sols** => fragilisation de la végétation + augmentation des phénomènes pluvieux intenses => **érosion avec régression (augmentation spatiale et volumique des désordres)**.

**Sensibilité de l'ouvrage** ( pente, hauteur, nature talus) X intensité du changement climatique = **potentiel de dommage**.

$$D_{er} = S_{er} \times I_{cer} = 3 \text{ à } 20$$

$S_{er}$  = Sensibilité intrinsèque à l'érosion

$I_{cer} = IC_{pl} \times IC_{sec}$  (intensité du CC / érosion de talus = nb de j de forte précipitation x nb de j secs consécutifs)

+ application  $C_{at}$  (amplification topographique)



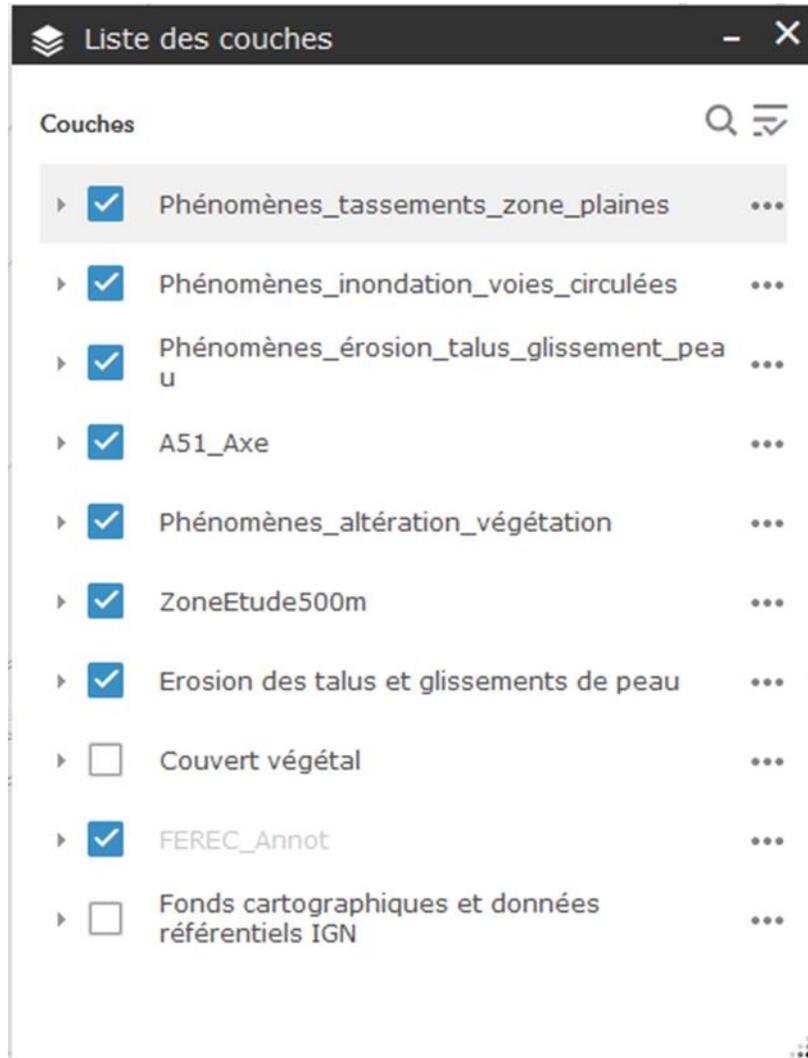
# Projections climatiques régionalisées = Météo France (drias-climat) avec prise en compte des scénarios d'émission des GES (GIEC)

- Précipitations quotidiennes extrêmes (mm)
- Nombre de jour de forts précipitation (NBJ)
- Nombre maximum de jours secs consécutifs (NBJ) + indice de feu météorologique

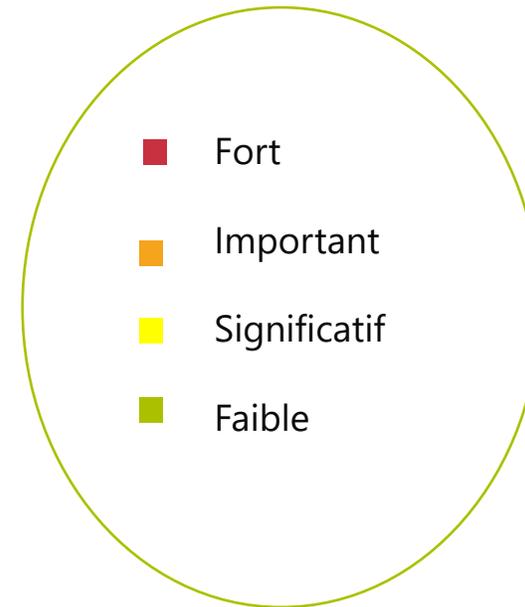
Pluies extrêmes quotidiennes en mm sur le département de l'Isère (périodes de référence, horizon proche et horizon et moyen)

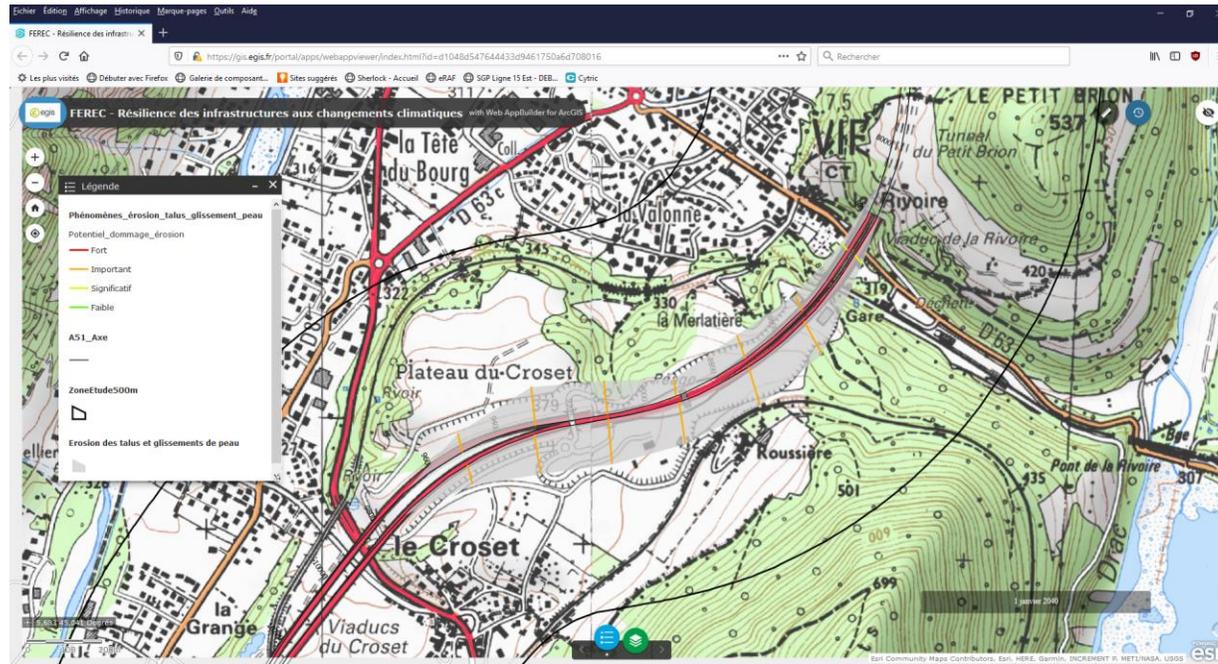


# Outils SIG (logiciel ARCGIS) = outil de calcul et visualisation, avec publication WEBSIG

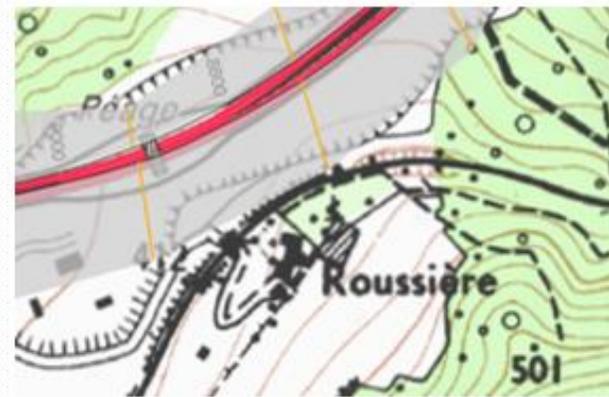


2020 – 2030 – 2040 - 2050

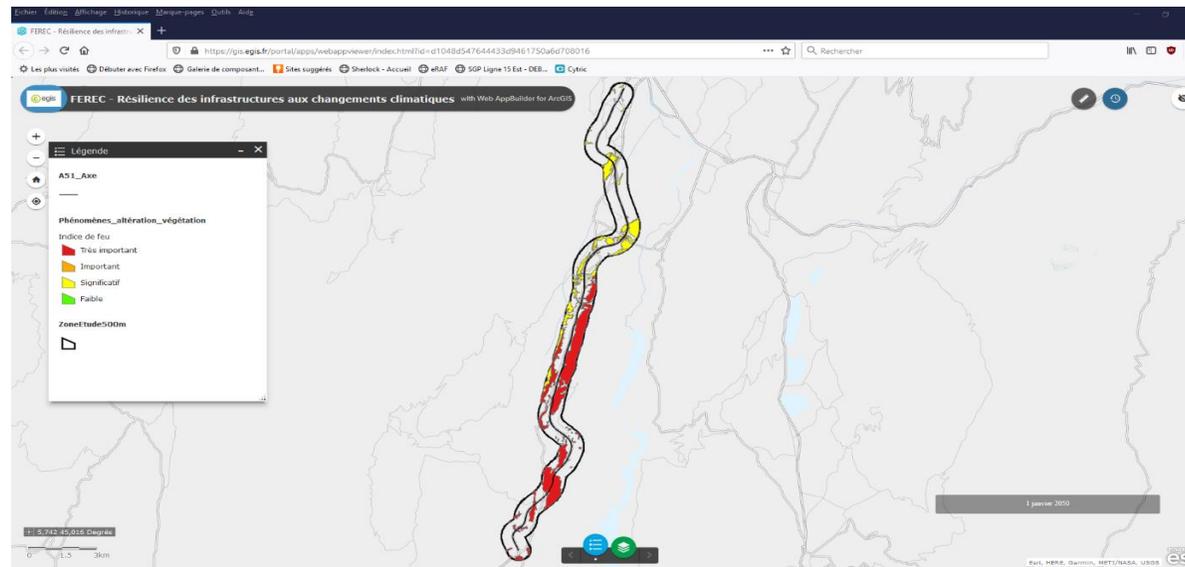




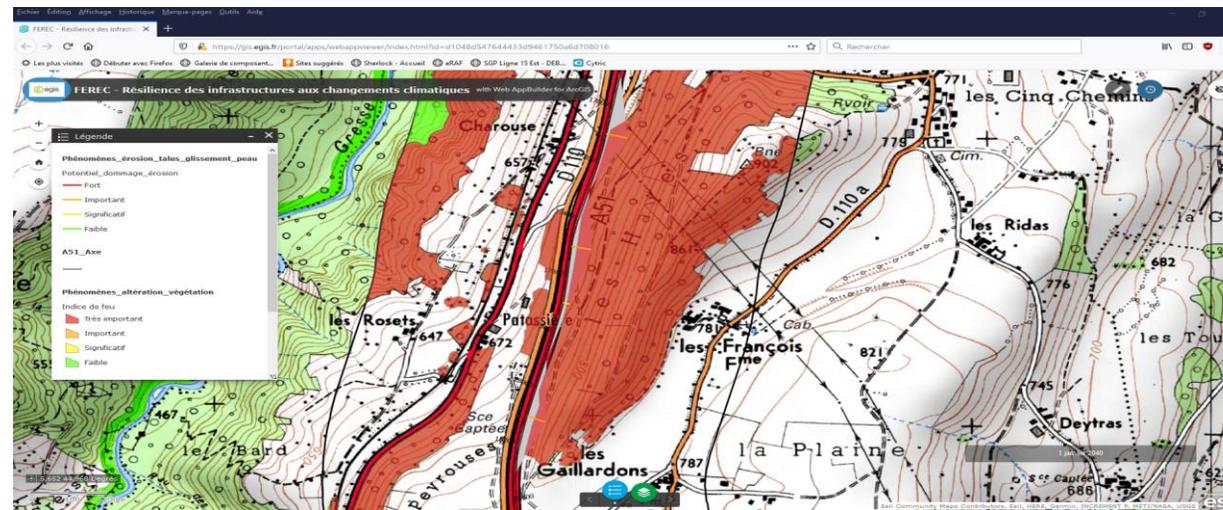
Potentiel de dommage érosion de talus dans le déblai de la gare de péage du Crozet à l'horizon 2040.



Emprise du talus de déblai de la gare de péage du Crozet en l'état actuel (à gauche) et à l'horizon 2040 (à droite)



Potentiel de dommage altération de la végétation à l'horizon 2050



Couplage des phénomènes d'altération de la végétation et de l'érosion des talus entre les Pk17+000 et Pk18+200 à l'horizon 2040

# V – SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

- **Les méthodes disponibles** issues des programmes de recherche nationaux / internationaux constituent le plus souvent une approche « MACRO ».
- En s'appuyant sur des données de **prévisions climatiques disponibles**, le présent projet MARI.CC ouvre la possibilité d'étudier la **vulnérabilité à l'échelle de l'OG** et donc sa résilience au CC.

Ces éléments permettent :

- **Aux gestionnaires, d'adapter la maintenance en anticipant les mesures à prendre.**
- **Aux concepteurs de faire des simulations pour des solutions plus robustes.**

Il reste cependant à raffiner les algorithmes et les mettre à l'épreuve d'autres REX.



MERCI POUR VOTRE ATTENTION