

CYCLE 2025 ADAPTER LES TERRITOIRES À +4°C

QUELLE RÉSILIENCE DES INFRASTRUCTURES?

**Construire une stratégie de résilience :
données, incertitudes et mise en œuvre**

Témoignage du bureau d'étude SETEC

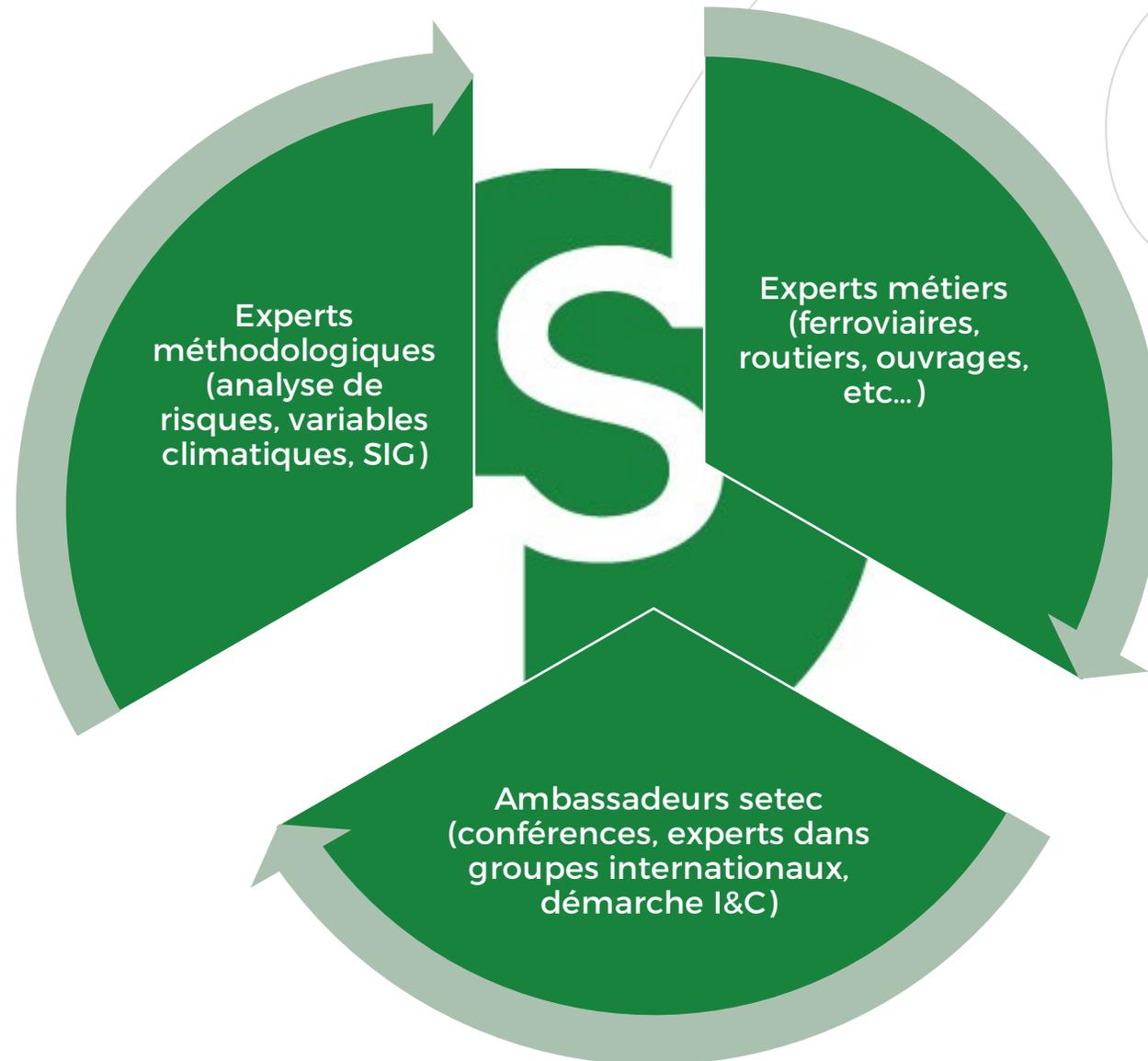
12 juin mai 2025

Marine Lericolais

I. CONSTRUIRE UNE STRATÉGIE DE RESILIENCE / DÉMARCHE GROUPE SETEC

RÉSILIENCE DES INFRASTRUCTURES

UNE ÉQUIPE TRANSVERSALE SETEC



RÉSILIENCE DES INFRASTRUCTURES

APPROCHE SYSTÉMIQUE + SOLUTIONS OPÉRATIONNELLES



Conseil stratégique, pédagogie, concertation

Identification des sous-systèmes impactés et caractérisation des criticités physiques (infrastructures) et fonctionnelles (organisation, disponibilité)

Construction de la trajectoire d'adaptation et de transformation des sous-systèmes identifiés

Volet opérationnel du plan d'action, suivi et mesure des effets et ajustements de la stratégie d'investissement et des solutions d'adaptation

REFERENCES SETEC : INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES

- 1
Sensibilisation et diagnostic
- 2
Étude des vulnérabilités
- 3
Stratégie et programmation
- 4
Mise en œuvre et suivi du plan d'action

Conseil stratégique, pédagogie, concertation

Identification des sous-systèmes impactés et caractérisation des criticités physiques (infrastructures) et fonctionnelles (organisation, disponibilité)

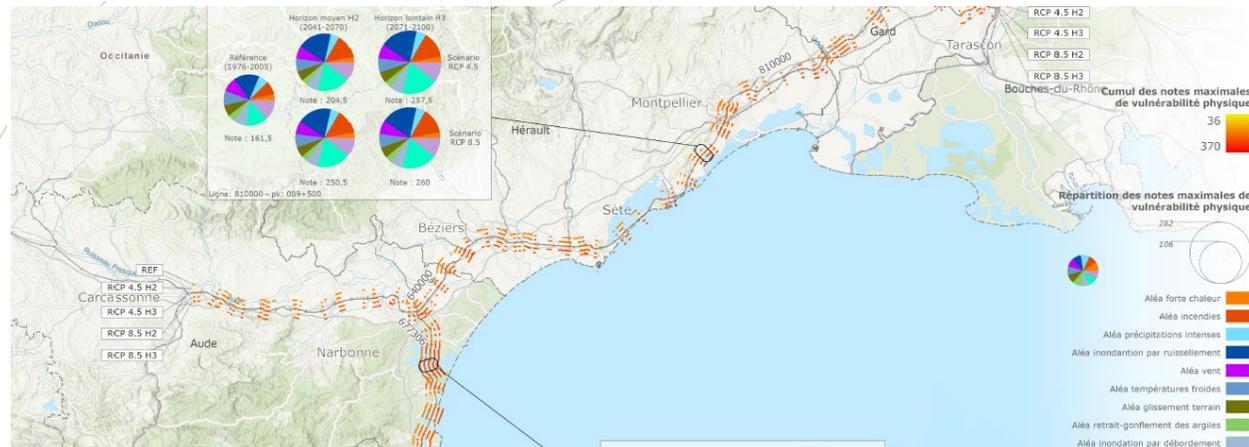
Construction de la trajectoire d'adaptation et de transformation des sous-systèmes identifiés

Volet opérationnel du plan d'action, suivi et mesure des effets et ajustements de la stratégie d'investissement et des solutions d'adaptation



SNCF Réseau

ANALYSE DE RÉSILIENCE DES LIGNES FERROVIAIRES DE L'ARC MÉDITERRANÉEN



SNCF Réseau

FOCUS SUR LES VULNÉRABILITÉS PHYSIQUES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU RFN



RÉFÉRENCES SETEC INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES NATIONALES



DGITM

DIAGNOSTIC STRATÉGIQUE DU RESEAU ROUTIER NATIONAL

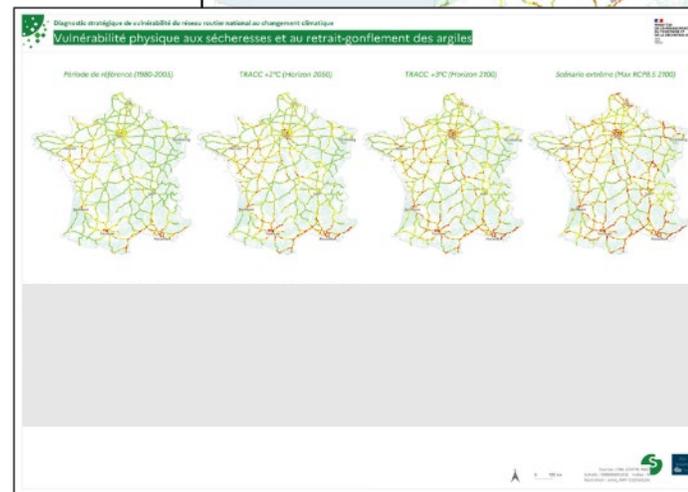
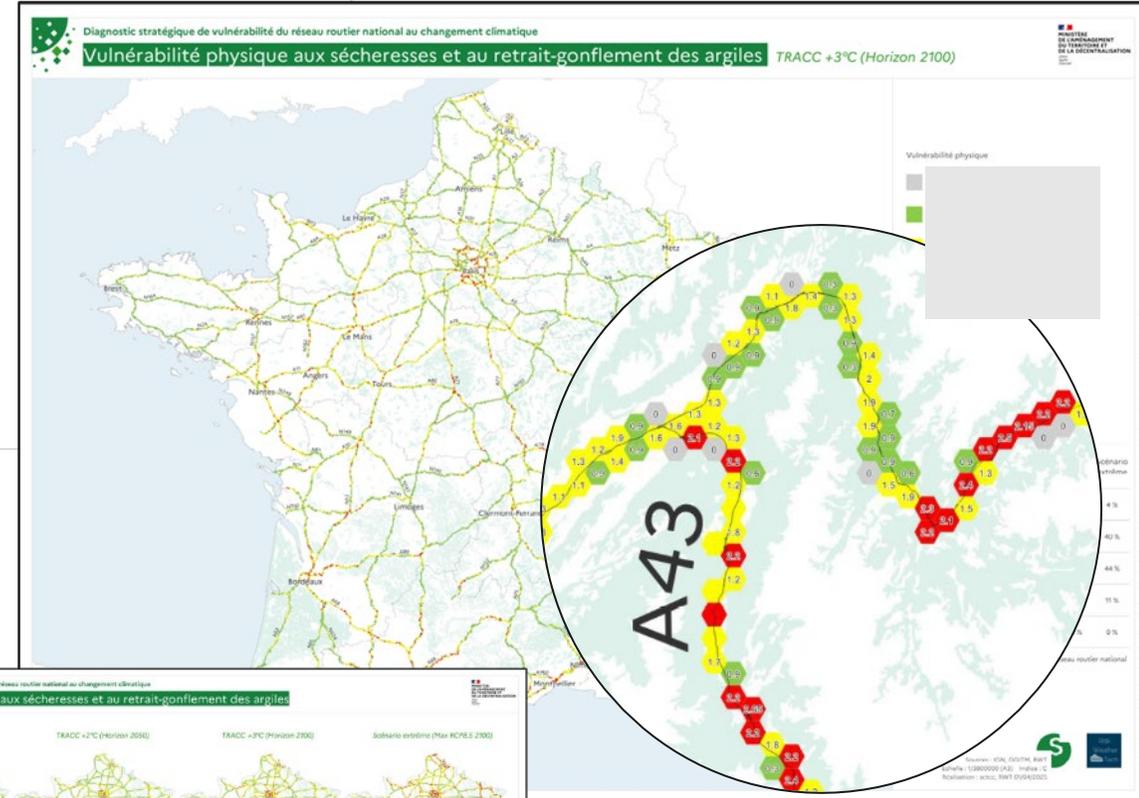
- 1
Sensibilisation et diagnostic
- 2
Étude des vulnérabilités
- 3
Stratégie et programmation
- 4
Mise en œuvre et suivi du plan d'action

Conseil stratégique, pédagogie, concertation

Identification des sous-systèmes impactés et caractérisation des criticités physiques (infrastructures) et fonctionnelles (organisation, disponibilité)

Construction de la trajectoire d'adaptation et de transformation des sous-systèmes identifiés

Volet opérationnel du plan d'action, suivi et mesure des effets et ajustements de la stratégie d'investissement et des solutions d'adaptation



RÉFÉRENCES SETEC À INTERNATIONAL

1

Sensibilisation et diagnostic

2

Étude des vulnérabilités

3

Stratégie et programmation

4

Mise en œuvre et suivi du plan d'action

Conseil stratégique, pédagogie, concertation

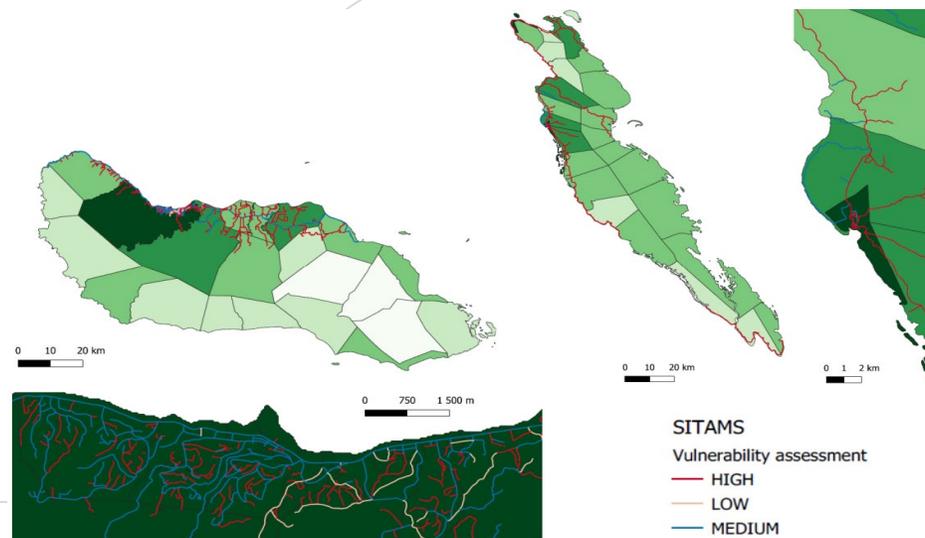
Identification des sous-systèmes impactés et caractérisation des criticités physiques (infrastructures) et fonctionnelles (organisation, disponibilité)

Construction de la trajectoire d'adaptation et de transformation des sous-systèmes identifiés

Volet opérationnel du plan d'action, suivi et mesure des effets et ajustements de la stratégie d'investissement et des solutions d'adaptation

Banque mondiale

EXPOSITION DU RÉSEAU ROUTIER AUX RISQUES CLIMATIQUES DANS LES ILES SALOMON



AFD

ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES À L'ÉTUDE D'IMPACT POUR LE PROJET KAMPAL JINJA EXPRESSWAY (KJE)



II. FOCUS MÉTHODOLOGIQUE : ANALYSE DE VULNÉRABILITÉS PREMIERE ETAPE DANS LA STRATEGIE DE RESILIENCE

FOCUS MÉTHODOLOGIE : ÉTUDES DE VULNÉRABILITÉS

Méthode ASAIT

1

Étude des projections climatiques

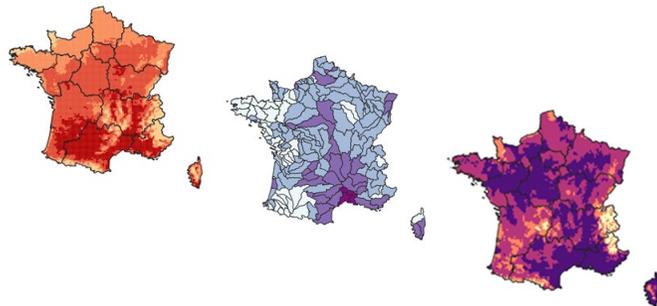
Trajectoire climatique

+ 2 °C Horizon moyen 2050

+ 3 °C Horizon moyen 2100

Une vingtaine d'aléas climatiques étudiés

Forte chaleurs, feux de végétation, retrait/gonflement des argiles, inondations par ruissellement ou débordement, submersion marine, etc.....



2

Analyse et notation des sensibilités physiques et fonctionnelles des infrastructures

Collecte de données

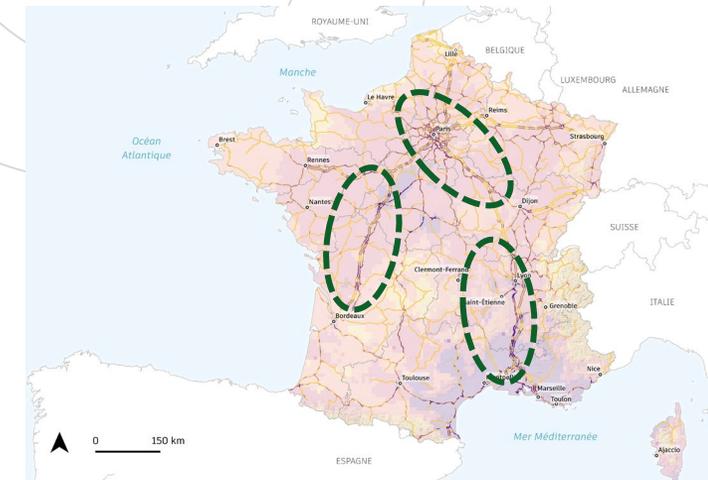
Benchmarks, capitalisations, expertises techniques spécifiques



3

Évaluation de la vulnérabilité physique et fonctionnelle

Définition des zones prioritaires d'adaptation



2
Étude des vulnérabilités

FOCUS MÉTHODOLOGIE : ÉTUDES DE VULNÉRABILITÉS

1

Étude des projections climatiques

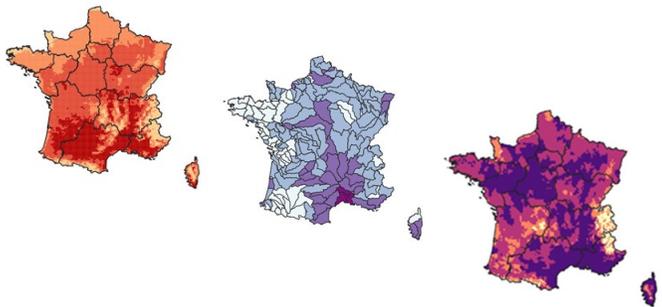
Trajectoire climatique

+ 2 °C Horizon moyen 2050

+ 3 °C Horizon moyen 2100

Une vingtaine d'aléas climatiques étudiés

Forte chaleurs, feux de végétation, retrait/gonflement des argiles, inondations par ruissellement ou débordement, submersion marine, etc.....



2

Analyse et notation des sensibilités physiques et fonctionnelles des infrastructures

Collecte de données

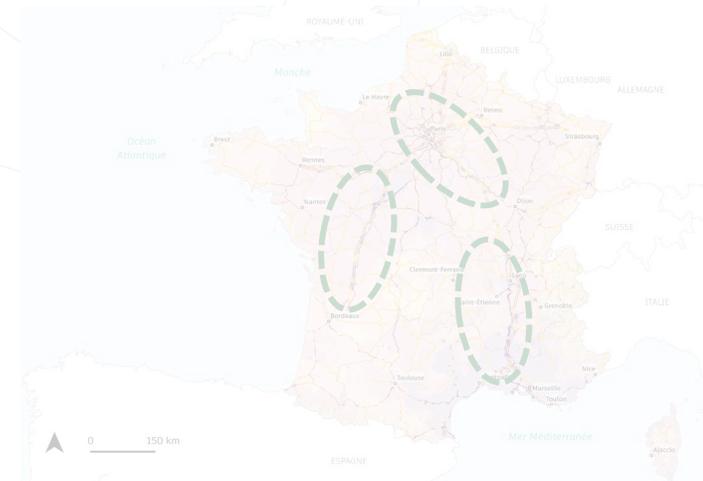
Benchmarks, capitalisations, expertises techniques spécifiques



3

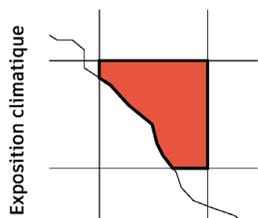
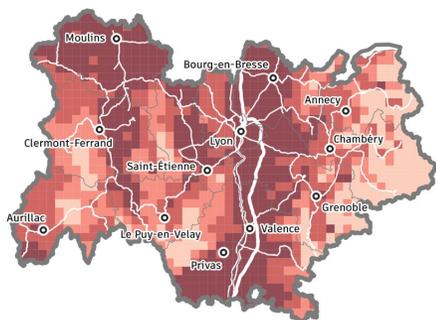
Évaluation de la vulnérabilité physique et fonctionnelle

Définition des zones prioritaires d'adaptation



ÉTAPE 1

NOTATION DES EXPOSITIONS CLIMATIQUES PAR ALÉA



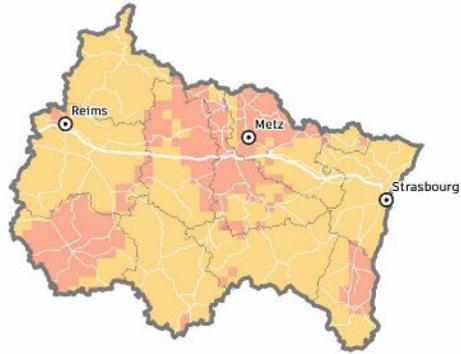
Aléa	Critères	Classe
CHAL	0 à 1 jour / an	1
	1 à 5 jours / an	2
	5 à 10 jours / an	3
	> 10 jours / an	4

Aléa	Construction	Classes	Critères	Résolution	Sources
Fortes chaleurs	Nombre de jours par an pour lesquels la température journalière maximale est supérieure à 35°C.	1	0 à 1 jour / an (absence de risque)	8km	CNRM-CM5-LR ALADIN63 RCP 8.5 / RCP 4.5
		2	1 à 5 jours / an		
		3	5 à 10 jours / an		
		4	> 10 jours / an		
Feu de végétation	Nombre de jours par an pour lesquels l'Indice Feu Météo (IFM) est supérieur à 40 (risque fort).	1	0 à 1 jour / an (absence de risque)	8km	CNRM ARPEGE-Climat v4.6 SRES A2 / B1
		2	1 à 5 jours / an		
		3	5 à 15 jours / an		
		4	> 15 jours / an		
RGA	Facteur d'évolution des sécheresses fréquence 1/25 ans multiplié par le niveau d'aléa argileux de la base argile du BRGM (en 3 classes).	1	< 0,5 (faible)	8km	CNRM ARPEGE-Climat v4.6 SRES A2 / B1
		2	0,5 – 1 (moyen)		
		3	1 – 2 (fort)		
		4	> 2 (très fort)		
Inondation par débordement	Évolution de la fréquence annuelle d'une crue centennale.	1	< 1,2 (< 20%)	11km	CNRM-CM5 RCA4 RCP 8.5 / RCP 4.5
		2	1,2 -1,5 (20% à 50%)		
		3	1,5 – 2 (50% à 100%)		
		4	> 2 (> 100%)		
Inondation par ruissellement	Évolution de la fréquence et de l'intensité d'une pluie décennale. Produit des deux évolutions fréquence * intensité.	1	< 2	5km	CNRM-CM5-LR ALADIN63 RCP 8.5 / RCP 4.5
		2	2 - 3		
		3	3 – 4		
		4	> 4		
Précipitations intenses/ extrêmes	Précipitations extrêmes quotidienne maximale en mm (Q99)	1	19,1 – 23,3 mm / jour	8km	CNRM ARPEGE-Climat v4.6 SRES A2 / B1
		2	23,3 – 28,6 mm / jour		
		3	28,6 – 35,0 mm / jour		
		4	35,0 – 92,3 mm / jour		

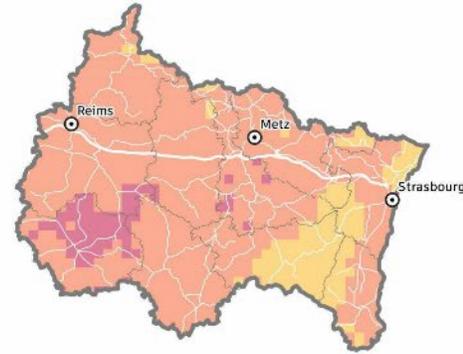
ETAPE 1

EXEMPLE LIVRABLE EXPOSITION

Période de référence

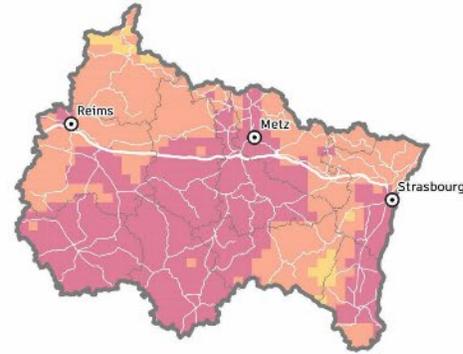


Horizon 2050

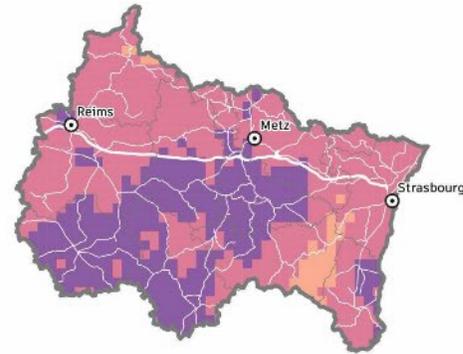
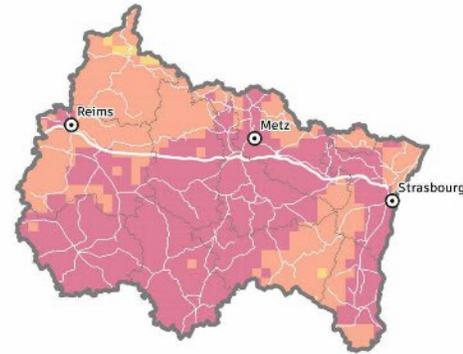


Scénario RCP 4.5

Horizon 2100



Scénario RCP 8.5



Sources : SNCF Réseau, IGN, Risk Weather Tech, setec, Euro-Cordex (Projet Jouzel, DRIAS-2020) : 12 modèles climatiques, Résolution 8km (fortes chaleurs, feux de végétation et retrait/gonflement des argiles), 5km (inondations par ruissellement), 11km (inondations par débordement), 2023
 Remarque : la lecture de l'avis au lecteur, de la méthodologie d'analyse et de ses limites est un préalable nécessaire à l'interprétation de cette carte.

FOCUS MÉTHODOLOGIE : ÉTUDES DE VULNÉRABILITÉS

1

Étude des projections climatiques

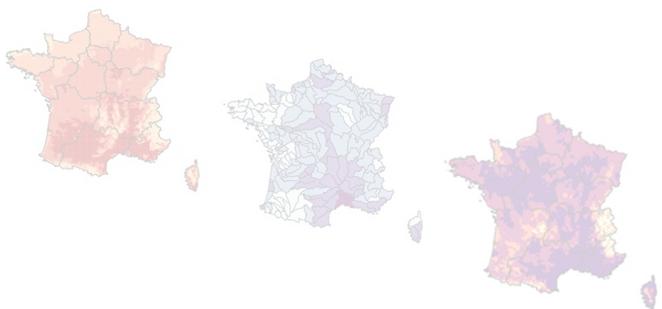
Trajectoire climatique

+ 2 °C Horizon moyen 2050

+ 3 °C Horizon moyen 2100

Une vingtaine d'aléas climatiques étudiés

Forte chaleurs, feux de végétation, retrait/gonflement des argiles, inondations par ruissellement ou débordement, submersion marine, etc.....



2

Analyse et notation des sensibilités physiques et fonctionnelles des infrastructures

Collecte de données

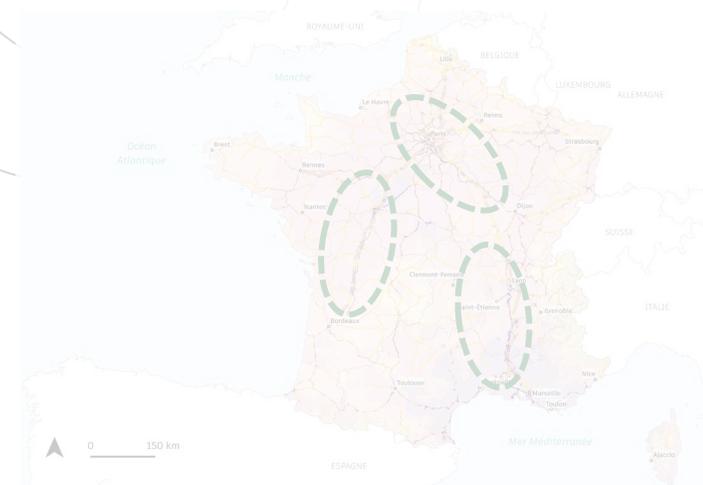
Benchmarks, capitalisations, expertises techniques spécifiques



3

Évaluation de la vulnérabilité physique et fonctionnelle

Définition des zones prioritaires d'adaptation



ÉTAPE 2 - NOTATION DES SENSIBILITÉS PHYSIQUES / FONCTIONNELLES

EXEMPLE SENSIBILITES PHYSIQUES RFN

Infrastructures de génie civil	Sources
Voies principales et voies de service essentielles à l'exploitation	Open Data SNCF + RGI
Ouvrages en terre Remblais déblais	RGI
Ouvrages d'art aériens Ponts rails et routes	RGI
Ouvrages d'art souterrains Tunnels	RGI
Gares Gares en cours d'exploitation	Open Data SNCF

Infrastructures de génie électrique	Sources
Installations de traction électrique (ITE) Lignes RFN électrifiées exploitées	Open Data SNCF
Équipements d'alimentation électrique (EALE) Sous-stations électriques	Open Data SNCF
Équipements de signalisation Postes d'aiguillage DéTECTEURS de boîtes chaudes Passages à niveau Circuits de voie	RGI
Équipements de télécommunication Stations radio fixes	RGI

Notes de sensibilité des infrastructures

Infrastructures	CHAL	FEUX	RGA	RUIS	INOND
Génie civil					
Voies principales et voies de service essentielles à l'exploitation (hors ouvrages)	2,5	2	2,5	3	2,5
Ouvrages en terre	0	1	3	3,5	3
Ouvrages d'art aériens	0,5	0,5	1,5	0	1
Ouvrages d'art souterrains	0	0	2	2,5	3
Gares et haltes (sous l'angle de l'accessibilité aux quais)	1	1	2	2,5	3
Somme sensibilité maximale à l'échelle d'une maille - Génie Civil	4	4,5	11	11,5	12,5

Notes de sensibilité des infrastructures

Infrastructures	CHAL	FEUX	RGA	RUIS	INOND
Génie électrique					
Installations de traction électrique (ITE)	3,5	3,5	3	3,5	3
Équipements d'alimentation électrique (EALE)	2,5	0	2	1	1
Équipements de signalisation	1,5	2,5	1,5	0,5	0,5
Équipements de télécommunication	3	3,5	0	1,5	3
Somme sensibilité maximale à l'échelle d'une maille - Génie électrique	10,5	9,5	6,5	6,5	7,5

FOCUS MÉTHODOLOGIE : ÉTUDES DE VULNÉRABILITÉS

1

Étude des projections climatiques

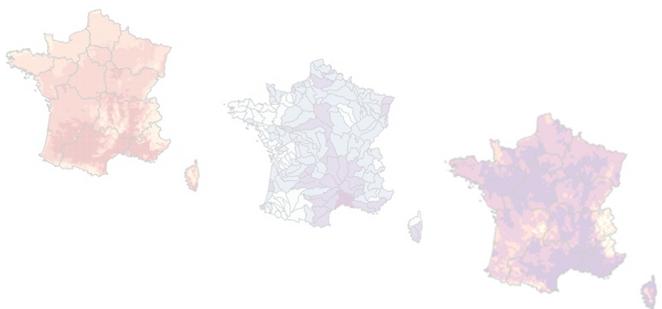
Trajectoire climatique

+ 2 °C Horizon moyen 2050

+ 3 °C Horizon moyen 2100

Une vingtaine d'aléas climatiques étudiés

Forte chaleurs, feux de végétation, retrait/gonflement des argiles, inondations par ruissellement ou débordement, submersion marine, etc.....



2

Analyse et notation des sensibilités physiques et fonctionnelles des infrastructures

Collecte de données

Benchmarks, capitalisations, expertises techniques spécifiques



3

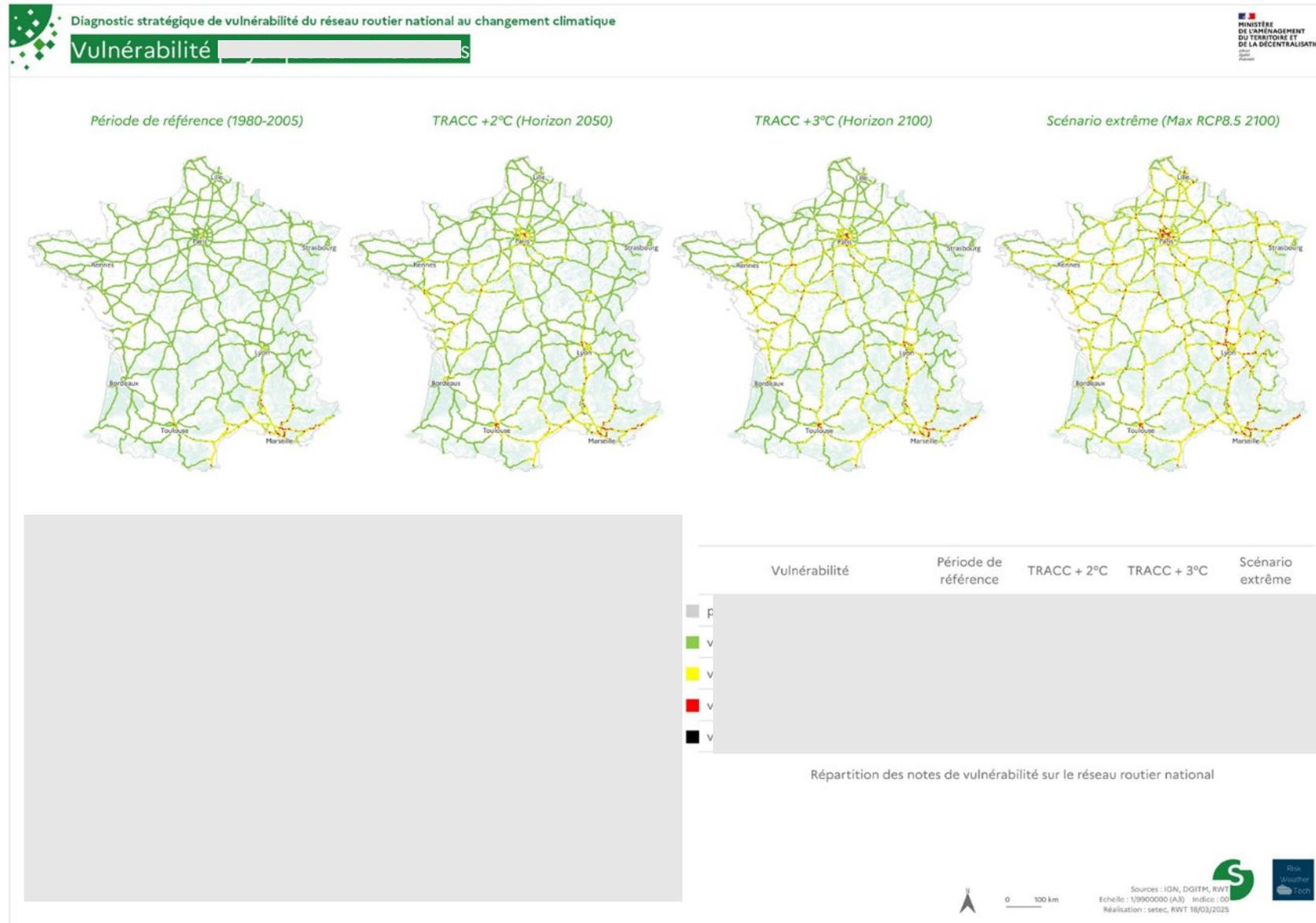
Évaluation de la vulnérabilité physique et fonctionnelle

Définition des zones prioritaires d'adaptation



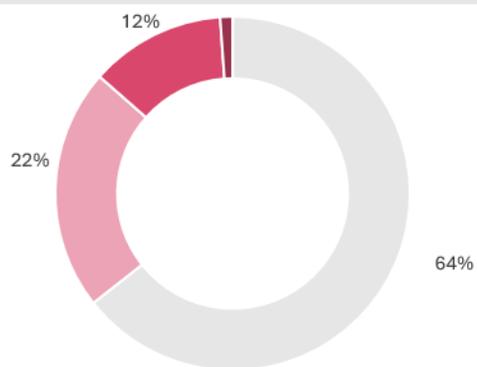
ETAPE 3 : CARTOGRAPHIE DES VULNÉRABILITÉS

Extrait étude RRN
CONFIDENTIEL



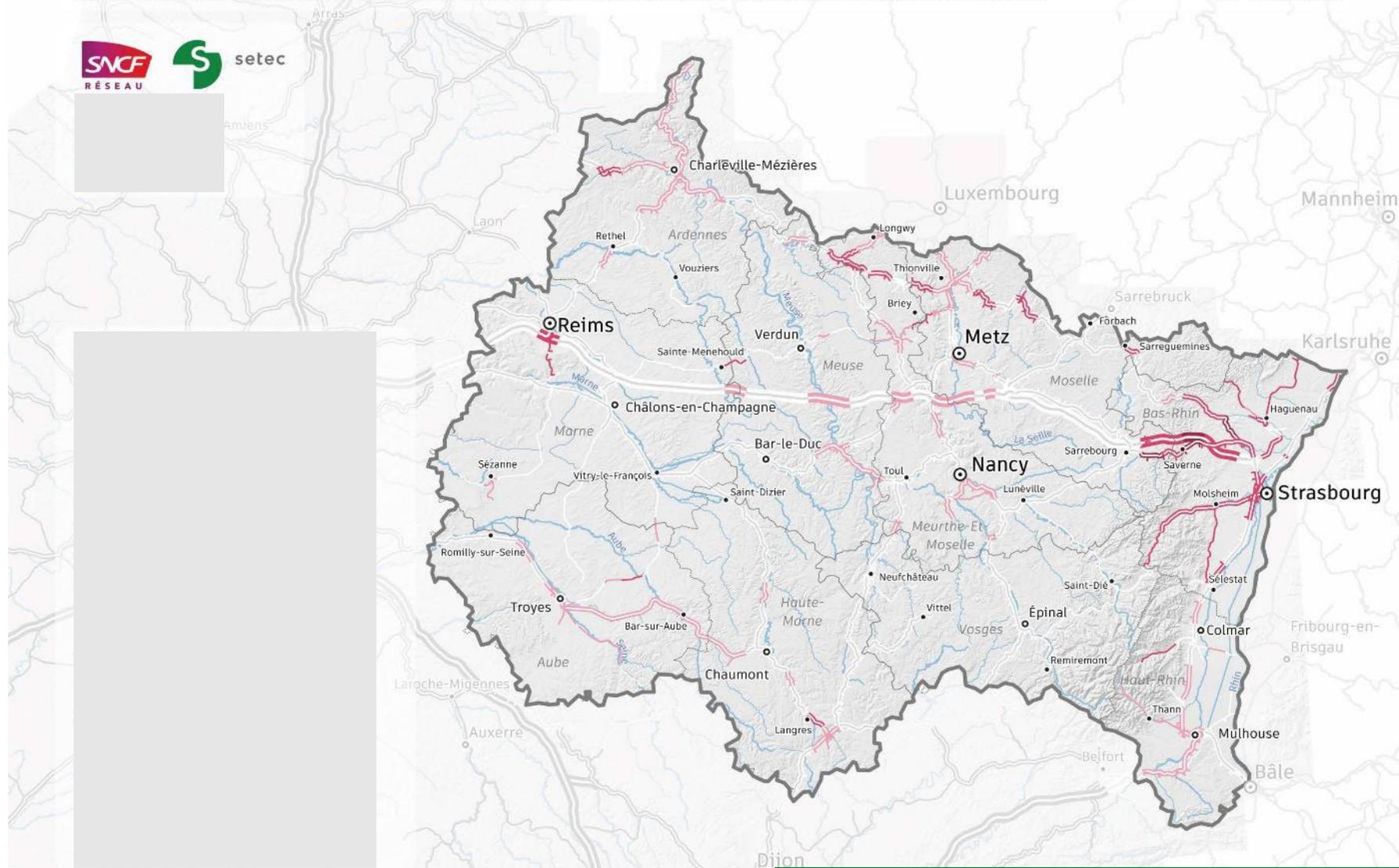
EXEMPLE DE CARTE DE SYNTHÈSE : NIVEAU DE RISQUE CUMULÉ

Extrait étude Zoom RFN grand est **CONFIDENTIEL**



ANALYSE DE LA RÉSILIENCE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU RÉSEAU FERRÉ GRAND EST – FOCUS SUR LES VULNÉRABILITÉS PHYSIQUES

SEPTEMBRE 2023

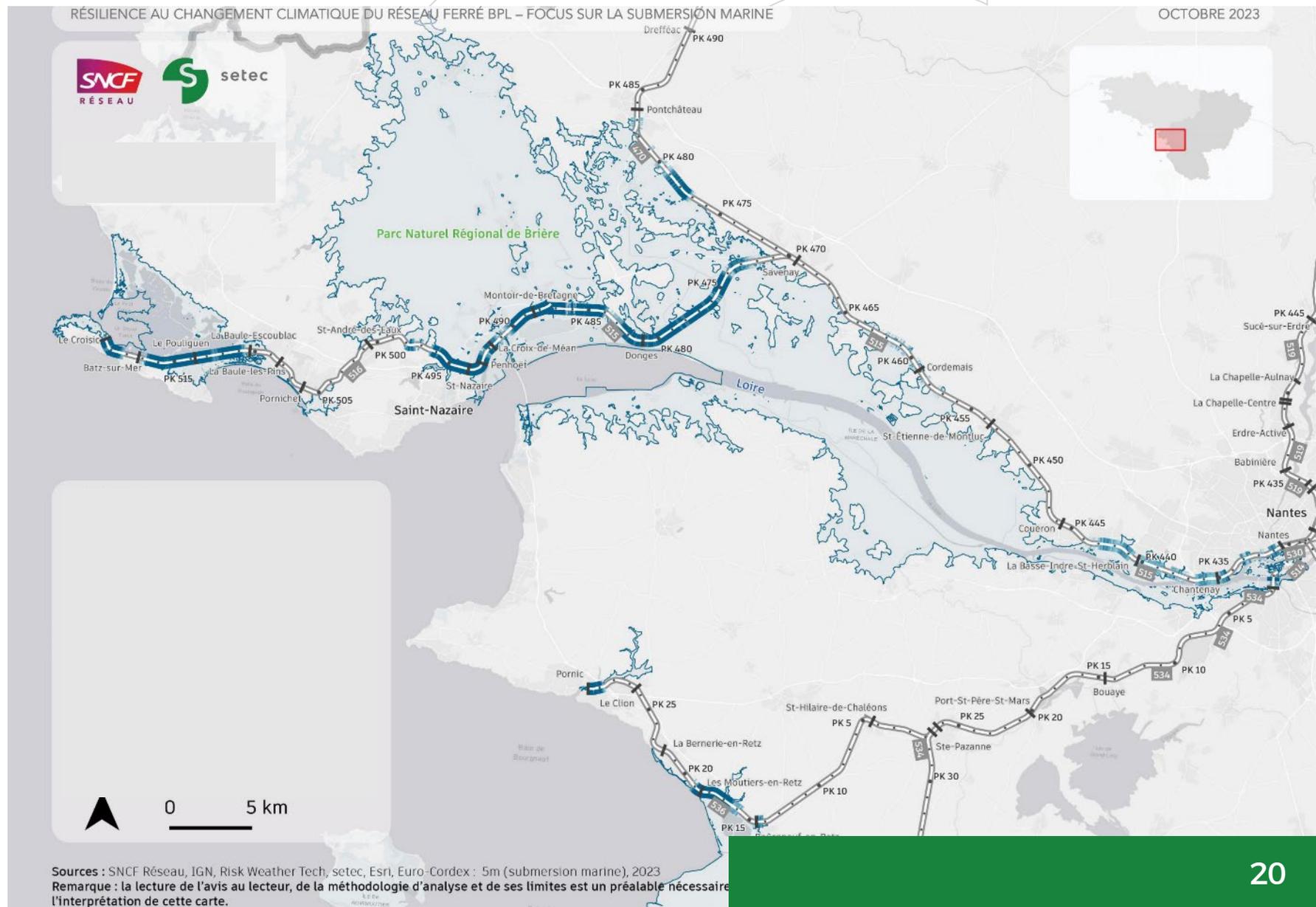


Sources : SNCF Réseau, IGN, Risk Weather Tech, setec, Euro-Cordex (Projet Jouzel, DRIAS 2020) : 12 modèles climatiques (argiles), 0.44° (inondations par ruissellement et débordement), 2C23
Remarque : la lecture de l'avis au lecteur, de la méthodologie d'analyse et de ses limites est un préalable nécessaire

EXEMPLE DE REPRÉSENTATION : EXTRAIT ATLAS CARTOGRAPHIQUE

Extrait étude Zoom RFN Bretagne Pays De la Loire **CONFIDENTIEL**

- ✓ Données météo (tempêtes)
- ✓ Données physiques (modèle numérique de terrain intégré)



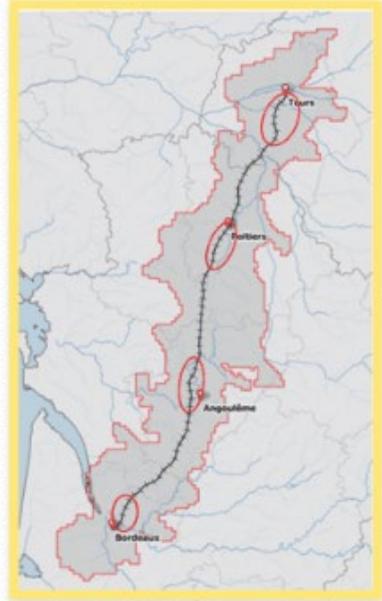
III. APRES LE DIAGNOSTIC : TRAVAIL SUR LES SOLUTIONS D'ADAPTATION

TRAVAIL COLLABORATIF

- Partage des résultats et de la méthodologie
- Consolidation des hypothèses
- Challenge des solutions trouvées grâce à la littérature / Benchmark international
- Retour d'expériences des événements passés et des solutions déjà en place
- Appropriation de la démarche pour la faire vivre et lui donner des suites



- Listing par zone des actions à mettre en place + phasage dans le temps (exemple du travail réalisé setec-cerema sur LGV Sud Atlantique)



Rail de Tours

Exposition

Ex phase

Classement

Moyens

Rail de Poitiers

Exposition

Ex phase

Classement

Moyens

Angoulême

Exposition

Ex phase

Classement

Moyens

Bordeaux

Exposition

Ex phase

Classement

Moyens

Vertical column of small colored cards with text, corresponding to the 'Tours' zone.

Vertical column of small colored cards with text, corresponding to the 'Poitiers' zone.

Vertical column of small colored cards with text, corresponding to the 'Angoulême' zone.

Vertical column of small colored cards with text, corresponding to the 'Bordeaux' zone.

Sud de Tours

Ts - PK 0 à 30

Justification du choix de ce secteur :

- Vulnérabilité très forte :

Points de vigilance :

- Présence d'appareils de voie (moins circulé)
- Présence de postes en ligne

Sud de Tours :

- Risque RGA (PK 0 à 30)
- Risque Feux (Foret sur les 0-20 kms)
- Risque submersion : débordement de la Vienne

Exposition	Horizon			
	Proche (2021 -2050)		Moyen (2046 - 2075)	
Scénario	RCP 4.5	RCP8.5	RCP 4.5	RCP8.5
	Yellow	Yellow	Red	Red
	Yellow	Yellow	Orange	Orange
	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	Red	Orange	Orange	Orange
	Green	Green	Green	Green
	Orange	Yellow	Yellow	Orange
	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

Infrastructures fortement vulnérables :

	Scénarios et horizons à très forte vulnérabilité*				Aléas - vulnérabilité maximale dans la zone										
	02-07	02-10	02-15	02-20											
Voies					Green	Orange	Yellow	Green							
Ouvrages d'art	X			X	N/A	Red									
Caténaires		X		X	Orange	Red									
Ouvrages en terre	X	X	X	X	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	N/A
Signalisation	X	X	X	X	Green	Orange	Yellow	N/A							
Energie		X		X	Green	Red									
Ouvrages hydrauliques	X	X	X	X	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Télécom					Green	Orange	Yellow	N/A	Green						
Bâtiments				X	N/A	Yellow									

*Face à au moins un aléa

Légende :

- Vulnérabilité en diminution
- Vulnérabilité en stagnation
- Vulnérabilité en augmentation

- Vulnérabilité faible
- Vulnérabilité moyenne
- Vulnérabilité forte
- Vulnérabilité très forte

Voies

Ouvrages en terre

Ouvrages hydrauliques

Ouvrages d'art

Energie

Caténaires

Signalisation

Télécommunications

Bâtiments

Extrait / Listing par zone des actions à mettre en place + phasage dans le temps (exemple du travail réalisé setec-cerema sur LGV Sud Atlantique)

En place

5- Programmes de dévégétalisation et d'adaptation de la gestion de la végétation aux abords des voies

0.0 en place (à fin 2020...)

11 - Utilisation des systèmes de chauffage pour augmenter la résilience face aux basses températures

1 en place pour ATV (et en 2021...)

1- Amélioration du suivi des aléas sur le réseau

1 finalisation

2 Vigiles Feux

4- Opérations d'entretien et de maintenance, Surveillance et réduction de la vétusté des ouvrages

1 surveillance régulière de...

2 OEB / visites régulières...

Court terme

1- Amélioration du suivi des aléas sur le réseau

1 Vigiles des plus petits...

2 Aléas POC (avril 2021...)

4- Opérations d'entretien et de maintenance, Surveillance et réduction de la vétusté des ouvrages

1 Quantité d'OT suivis par...

2 OT supplémentaires, volume 4...

3- Elaboration/renforcement des plans

1 Adhésion des collectivités...

2 Plans d'alarme et intervention...

21- Renforcement des infrastructures (bâle et OT)

1 Renforcement des OT (g...)

2 SA préopératoire, glissement...

13- Augmentation de la résilience au risque incendie

1 POC MCMV 30 - suite d...

Moyen terme

14 - installation de barrages, des digues ou de structures de rétention pour la protection d'infrastructures face aux mouvements de terrain et inondations

1 Construction des digues sur V...

13- Augmentation de la résilience au risque incendie

1 Utilisation plus globale d...

15- Réduction du risque de retraitements des argiles et les impacts associés

1 Visite technique et suivi...

23- Amélioration de la résilience des ouvrages d'art

1 Amélioration plus en détail...

1- Amélioration du suivi des aléas sur le réseau

1 finalisation et suivi des...

2 à ce jour par un type d'aléas...

IV. RETOUR D'EXPÉRIENCE



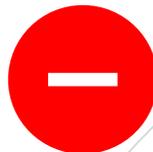
Le diagnostic stratégique, une étape fondatrice d'une démarche d'adaptation

- **Une appropriation des enjeux par les gestionnaires, les décideurs**
- **Une analyse de risque centrée sur la problématique climatique**
- **Une approche quantitative et qualitative permettant d'apprécier une hiérarchisation des enjeux**



A faire :

- **Préparer l'étude afin d'améliorer la pertinence du diagnostic : tri des enjeux / des données / des objectifs**
- **Vérifier la complétude et la fiabilité des données disponibles**
- **S'approprier le caractère relatif d'une analyse de risque et prioriser les sujets d'intérêts (financiers, fonctionnels, physiques) plutôt qu'une exhaustivité illusoire ;**
- **Avoir une équipe projet investie qui travaille au côté du bureau d'étude car les arbitrages sont nombreux**



A ne pas faire :

- **Projeter un diagnostic conclusif : ce premier état des lieux permet une hiérarchisation des sujets - la démarche doit continuer pour intégrer les autres paramètres (financiers, organisationnels etc...) : bref c'est une démarche continue / à continuer**
- **Ne pas associer assez les parties prenantes : plus que le résultat, l'animation du dialogue autour de ces questions est clé pour la prise en compte des enjeux (animation des référents, décideurs, personnels mais aussi partenaires)**
- **Ne pas accepter de décomposer la complexité : vouloir traiter des phénomènes dans leur ensemble n'est pas possible en une fois / il faut décomposer ce qui permet de consolider et clarifier les résultats intermédiaires**

MERCI

Pour votre attention

SETEC

Immeuble Central Seine
42-52, quai de la Rappée
75583 Paris Cedex 12, France

Tél : +33 06 49 47 29 32
Email : marinelericolais@setec.com

www.setec.fr

