

Diagnostic de vulnérabilité des infrastructures de transport aux effets du changement climatique en Région Sud et élaboration d'un plan d'action multi-partenarial

Rendez-vous Mobilités du CEREMA

Jeudi 25 septembre 2025

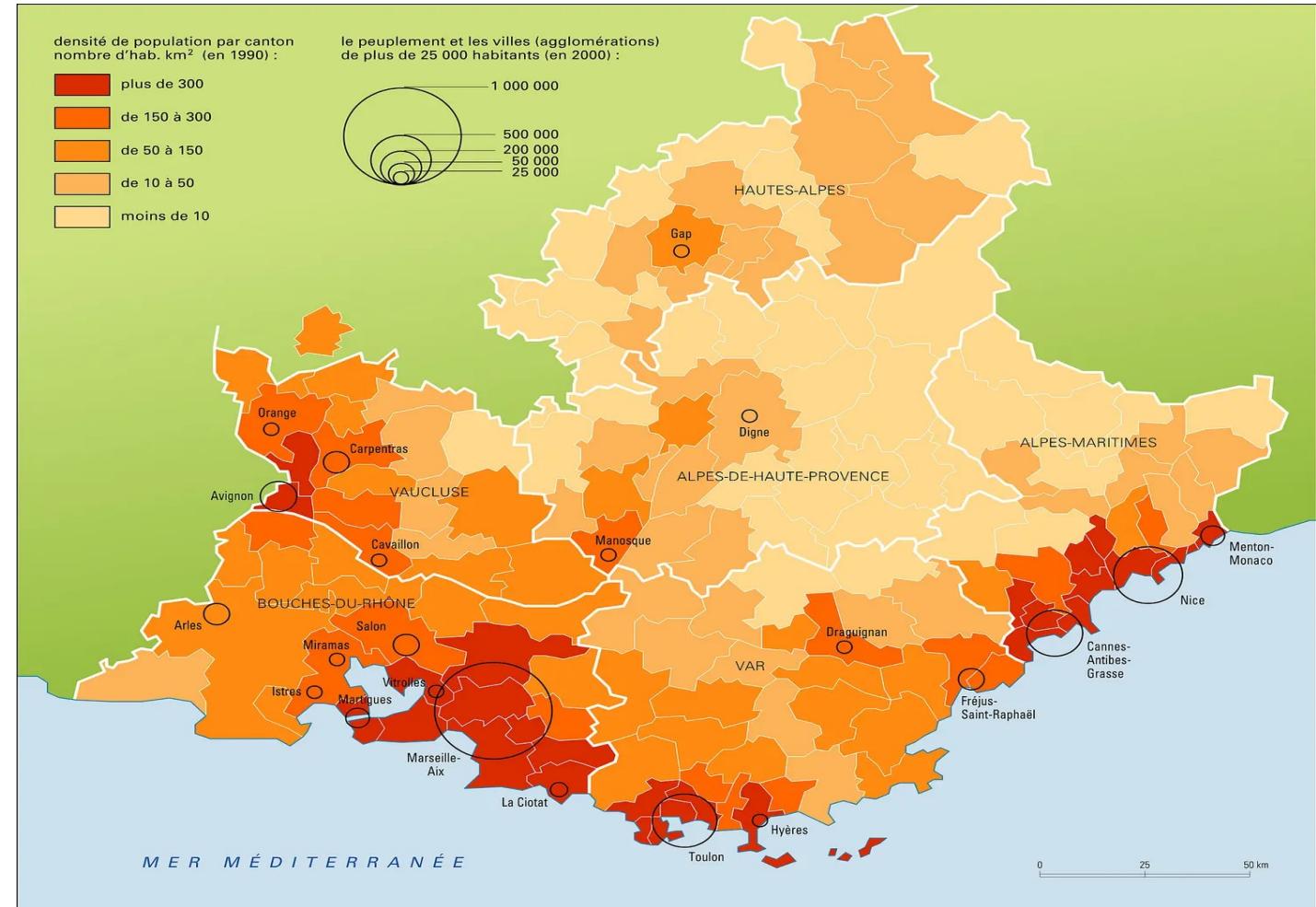




Contexte Régional

Région Provence Alpes Côte d'Azur ce sont...

5,1 millions d'habitants, dont 80% se concentrent sur la bande littorale et le sud du couloir rhodanien



Contexte Régional

Ce sont aussi...

- 47 650 km de routes dont 762 d'autoroutes
- 1467 km de lignes ferroviaires
- 3 aéroports et 17 aérodromes
- 3 principaux ports maritimes et 2 ports fluviaux
- 3 800 km d'aménagements cyclables





Contexte Régional

Région Provence Alpes Côte d'Azur c'est également...

- **85 millions de voyageurs accueillis dans les 200 gares**
 - **5,6 millions de passagers accueillis dans les 3 principaux ports**
-
- **15 557 millions de tonnes.kilomètres de marchandises transportés par la route**
 - **4 007 millions de tonnes.kilomètres de marchandises transportés par la voie ferrée**
 - **968 millions de tonnes.kilomètres transportés par le fleuve**
 - **40% de ces flux de marchandises sont des flux internes à la Région.**



Système régional de transport = Réseau sanguin de la Région



La Région Provence Alpes d'Azur c'est aussi cela...



Cependant, la Région Provence Alpes Côte d'Azur c'est aussi ceci...





Et cela ne devrait malheureusement pas s'améliorer. Bien au contraire



ÉVOLUTIONS PASSÉES (1960 à 2020)

HAUSSE DES TEMPÉRATURES maximales estivales en 60 ans



Montée de l'isotherme (altitude de même température) en 60 ans



HAUSSE DES ÉPISODES DE CANICULE

1947

1/3
DES ÉPISODES

> 2/3
DES ÉPISODES

2000 2020

+ de 3 jours consécutifs à +30°C de jour et +20°C de nuit

+22%
D'INTENSITÉ

Les épisodes méditerranéens sont de plus en plus violents

3 à 6 ÉPISODES/AN

C'est 2x plus qu'en 1960 : leur fréquence augmente !

PRÉCIPITATIONS



Tendance à la diminution



ÉVOLUTIONS FUTURES (2050 à 2100)

L'incertitude de ces prévisions dépend de nos futurs choix socio-économiques. Nous pouvons anticiper la réaction du climat avec précision, mais nous ne pouvons prédire la direction que prendront les actions humaines qui l'influencent...



+1,9°C
SCÉNARIO
OPTIMISTE

+5,5°C
SCÉNARIO
PESSIMISTE



-20% à
-80%
DE NEIGE

Associée à la hausse des températures, cette diminution de l'enneigement implique :

231 GLACIERS VONT DISPARAÎTRE
SUR 256

+7°C MAX

dans le pire scénario en été, entraînant une multiplication des vagues de chaleur



JUSQU'à 90 JOURS
DE CANICULE



+ D'1 MOIS SANS EAU

Dans 95% des cas, la durée moyenne des épisodes de sécheresse augmentera considérablement





➔ Elaboration et Mise en œuvre d'un Plan d'adaptation du système régional de transports

Juin 2023

Adoption de l'accord Etat/Région de mise en œuvre de la planification écologique et déclinant, dans le domaine des Mobilités, la démarche ACoRS : Adaptation, Conversion, Report Modal, Sobriété.

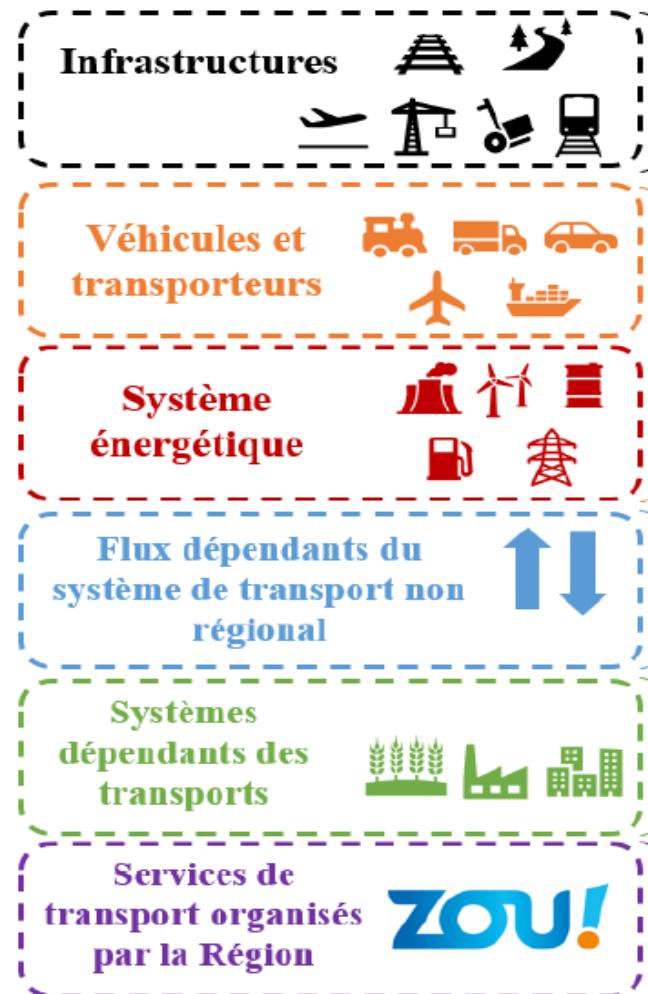
Objectif général

Adapter le système régional de transport pour le rendre résilient face aux crises

Volet 1

Étude de la vulnérabilité des infrastructures et services de transports d'intérêt national et régional face aux effets du changement climatique

Stratégie globale de résilience des transports face au changement climatique. Etat et Région partenaires pour la réalisation des deux premiers volets



Volet 1 – Evaluation prospective des risques physiques

- Identifier et localiser les risques pesant sur les infrastructures régionales
- Hierarchiser les infrastructures vulnérables (trafic, redondance des réseaux, isolement...)
- Identifier les facteurs de résilience et dégager des pistes d'action

Volet 2 - Evaluation prospective des risques de transition

- Identifier et qualifier les risques non physiques pesant sur le système de transport:
 - Énergie (sortie du pétrole)
 - Matériels de transport (approvisionnement, maintenance, nouvelles motorisations...)
 - Entreprises
 - ...
- Identifier les facteurs de résilience et dégager des pistes d'action

Volet 3 - Evaluation des risques liés au système de transport non régional

- Quantifier les flux actuels d'import / export par zone géographique et par filière
- Qualifier leur degré d'exposition prospectif
- Identifier les facteurs de résilience et dégager des pistes d'action

Volet 4 - Evaluation de l'exposition au système de transport

- Qualifier la résilience de certains systèmes « clés » à des chocs dans le système de transport

Volet 5 – Evaluation et mise en résilience des services de transport Zou!

- Assurer la continuité des services en cas d'aléas climatiques ou autres chocs / crises
- Conserver l'attractivité des services malgré les effets du changement climatique
- Maîtriser les incidences financières sur les services (surcoût exploitation / maintenance, pertes de recettes...)



Objectifs Généraux de l'étude sur la vulnérabilité

- **Créer et diffuser de la connaissance** (fine, fiable, homogène et comparable entre réseaux) à l'attention des acteurs régionaux (collectivités, gestionnaires réseaux, etc...) sur la vulnérabilité des infrastructures de transport d'intérêt national et régional aux effets du changement climatique
- **Fédérer les acteurs territoriaux et mobiliser les gestionnaires d'infrastructures** dans leur prise de conscience de l'importance de l'adaptation au changement climatique : montée en compétence, compréhension de leur vulnérabilité et de l'évolution de leur gestion patrimoniale,
- **Identifier et évaluer les risques** pesant sur le système de transport régional et **identifier les territoires exposés** au risque de coupure et/ou d'isolement,
- **Etablir un plan d'action d'adaptation**, en particulier pour les infrastructures les plus critiques, avec une première évaluation financière des actions prioritaires à mettre en œuvre... (cf. Action structurante n°1 des deux feuilles de route mobilités, supports du plan régional de transformation écologique et énergétique)
- **Adapter les politiques publiques régionales des mobilités** de l'État et de la Région : priorités, financements, contractualisation...



■ Caractéristiques

- **Etude recherche et développement**, confiée à un groupement piloté par le CEREMA, associant le BRGM et les sociétés HydroClimat et GeographR (débutée → 08/2024)
- **Coût** : 960 000 € + 15 000 € (mise à disposition « temps/homme » du BRGM)
- **Financement** : 50% / 50% Etat / Région.
- Réalisation **commune et coordonnée** : Région, Etat, gestionnaires d'infrastructures et de réseaux,
- Une étude sur les **infrastructures et les services**,
- Une étude sur tous les **modes de transports** : routiers, ferroviaires, maritimes, fluviaux et aériens,
- Première étude de ce type : multimodes et à l'échelle régionale,

■ Principaux livrables attendus (2025/2026)

- **Cartographie des risques physiques** pesant sur les infrastructures par aléa et niveau de réchauffement
- Hiérarchisation des infrastructures les plus sensibles (**physiquement et fonctionnellement**)
- **Plan d'actions multi-partenarial d'adaptation**

→ Démarche « pilote » au niveau national, au cœur des politiques publiques (cf. mesure 30 PNACC 3)



Gestionnaires de Réseaux Associés

Routes départementales et métropolitaines



MÉTROPOLE
NICE CÔTE D'AZUR



Routes Nationales et Autoroutes



Lignes ferroviaires et gares



Ports et voies navigables



Aéroports



**Une méthodologie CEREMA
Approche Systémique d'Adaptation
des Infrastructures de Transport**

10 étapes

Fin : oct. 2023

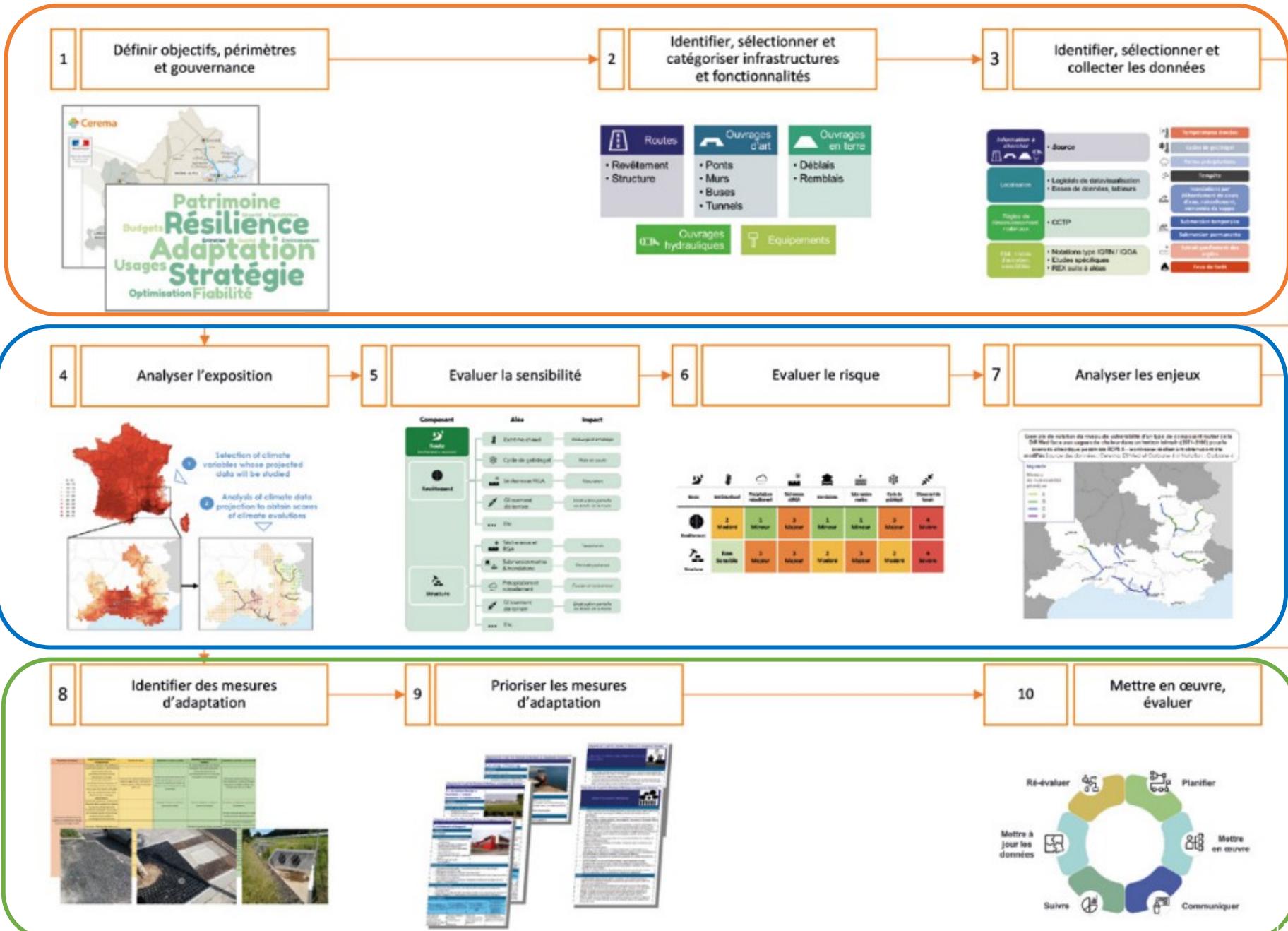
Cadrage

Eté 2024 – Eté 2026

**Diagnostic
de vulnérabilité**

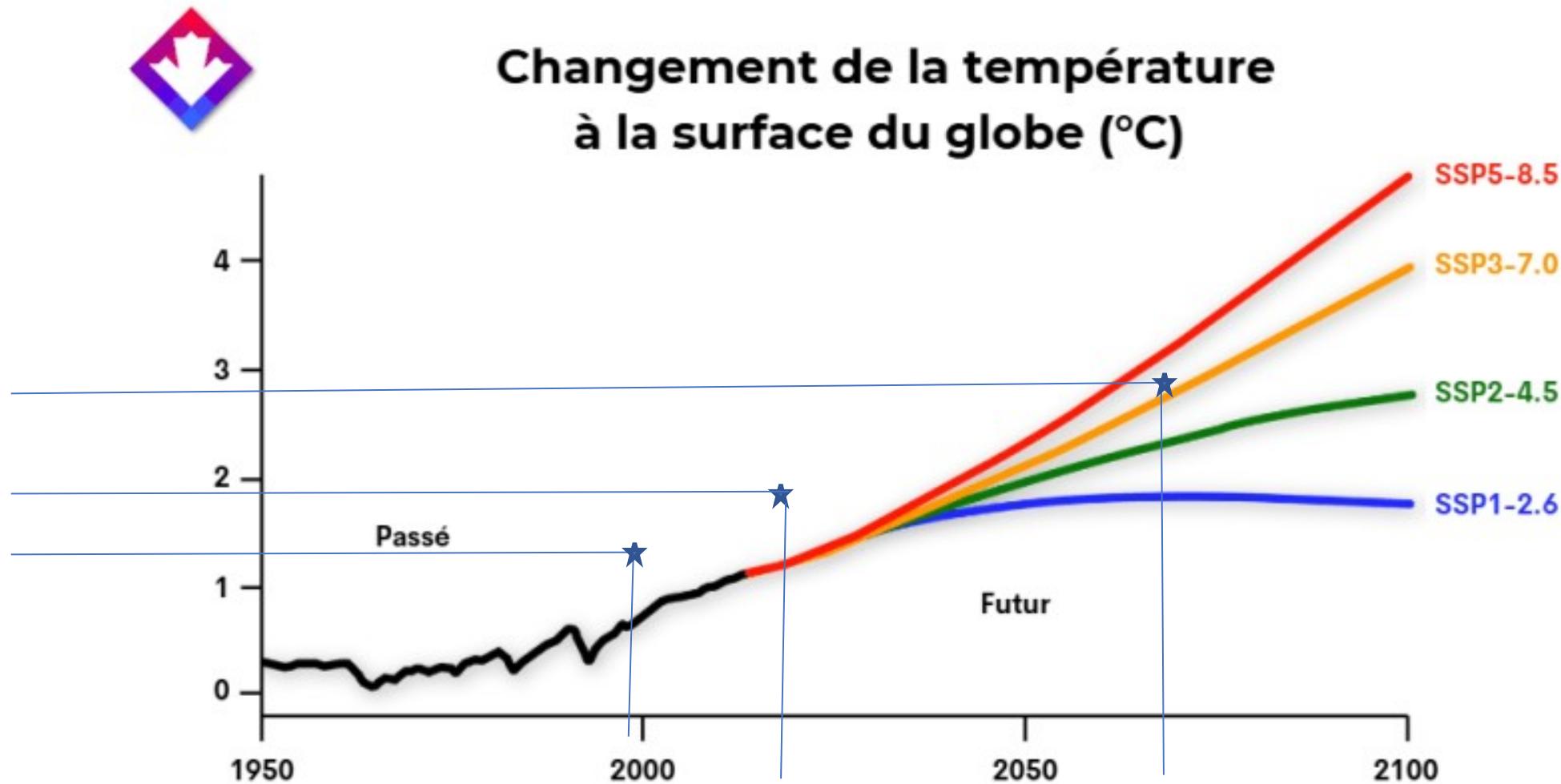
2026

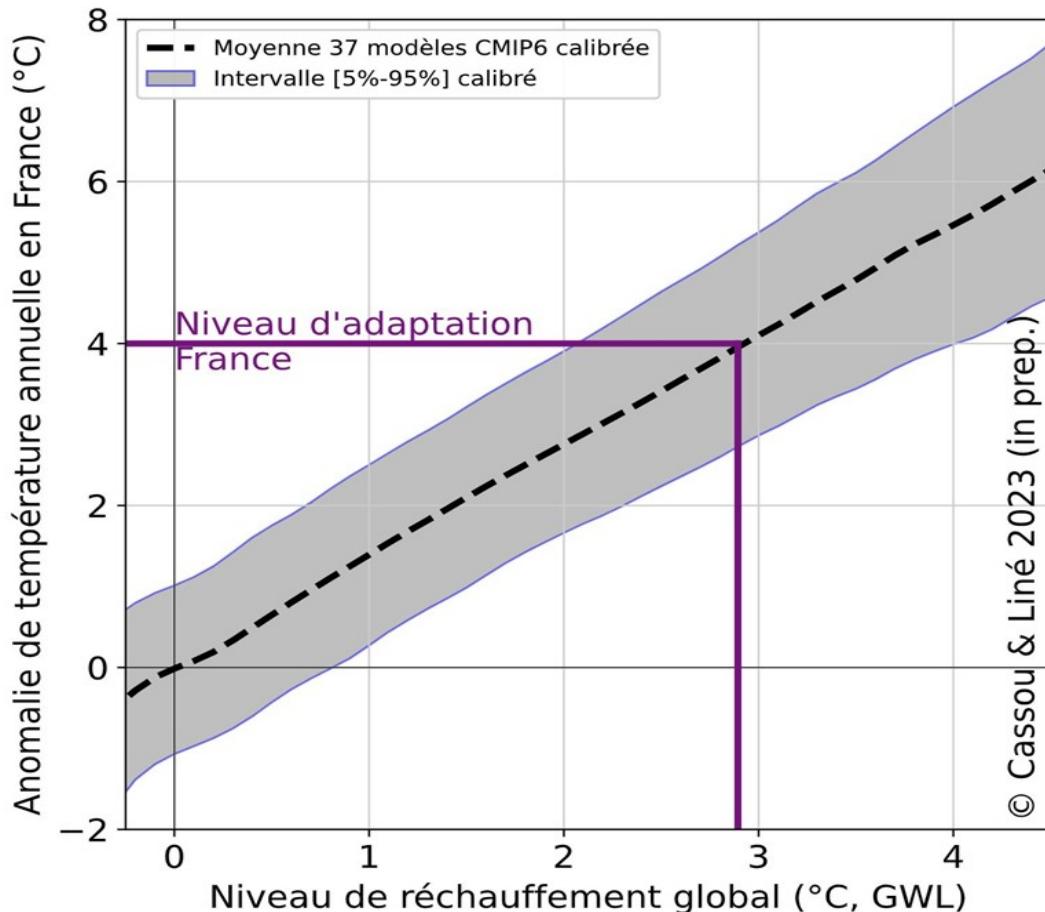
**Plan d'actions
et
d'adaptation**



(Source : Cerema, réalisé à partir de plusieurs sources dont Carbone 4, RTL, Setec)

Projections climatiques retenues pour l'horizon 2100 sont celles du scénario du GIEC SSP2 – 4.5 « Poursuite des politiques actuelles » conforme à la TRACC





Chaque fraction de degrés de réchauffement sur le globe a des conséquences importantes sur les extrêmes climatiques.

Température

Journée la plus chaude par décennie (+°C)



Sécheresse

Une sécheresse qui se produisait une fois par décennie se produira x fois plus

Précipitations

Occurrence des extrêmes pluvieux par décennie

Enneigement

Cyclones tropicaux

Infrastructures étudiées : Routières



Région Provence – Alpes – Côte d'azur

Étude de cadrage en vue de renforcer la résilience du système régional de transport
face aux impacts du changement climatique

INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES

Périmètre de l'étude :

Réseau S2IR (Schéma des Itinéraires d'Intérêt Régional)

- Autoroute
- Route Nationale
- Itinéraire régional structurant
- Itinéraire de fond de vallée

Réseau RGC (Routes à Grande Circulation : 2010)

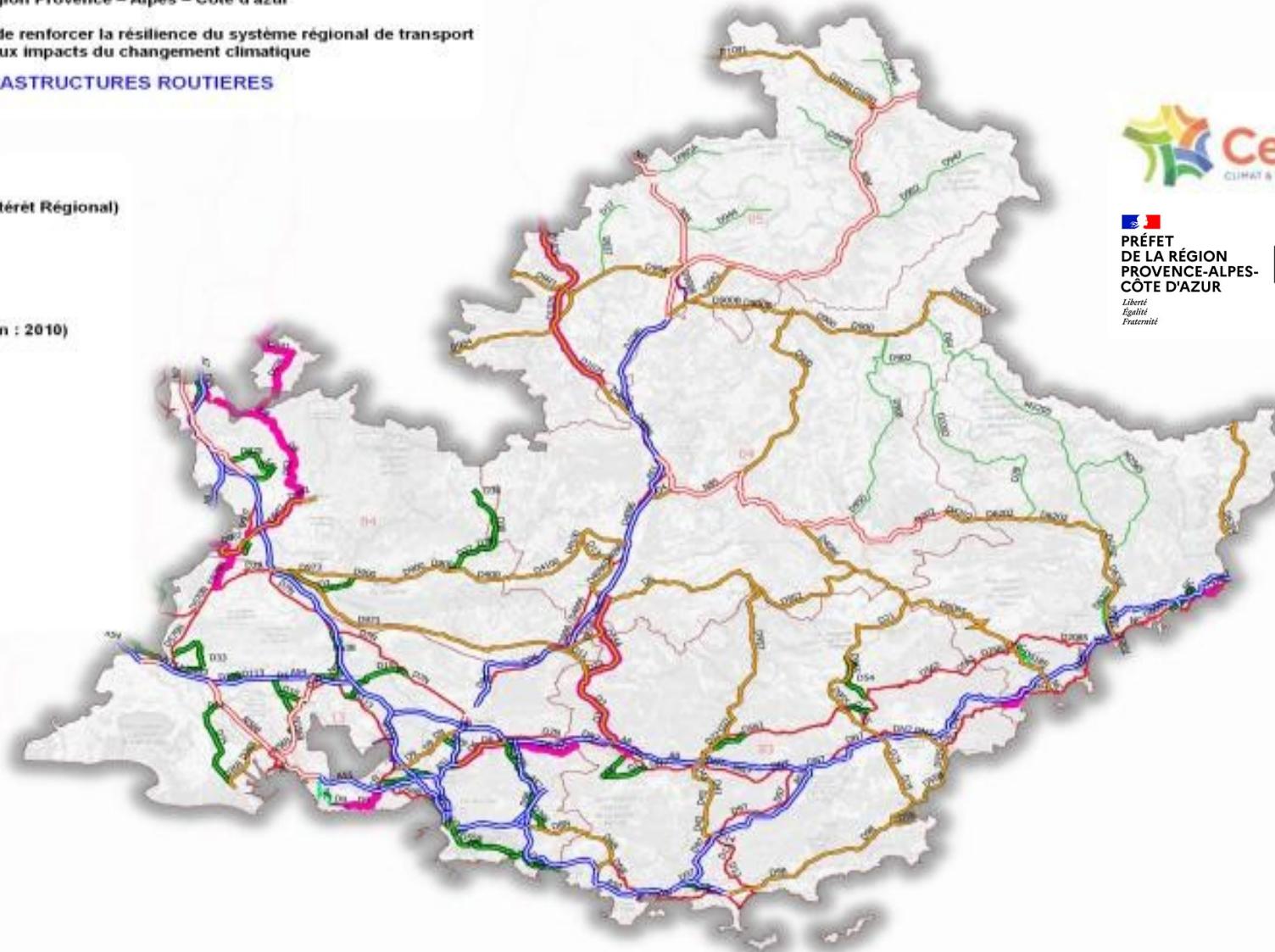
- Autoroute
- Route Nationale
- Délestage
- Desserte économique
- EDF
- Transport Exceptionnel
- Armée

Dept_PACA

OpenStreetMap

mise à jour : 06/02/2023

0 25 50 km



PRÉFET
DE LA RÉGION
PROVENCE-ALPES-
CÔTE D'AZUR

Liberté
Égalité
Fraternité

Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement

Infrastructures étudiées – Ferroviaires

Région Provence – Alpes – Côte d'azur

Etude de cadrage en vue de renforcer la résilience du système régional de transport
face aux impacts du changement climatique

INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES

Périmètre de l'étude :

Lignes ferroviaires

- Ligne LGV
- Autres lignes

Gares de voyageurs

- ◆ A : Gare de voyageurs d'Intérêt National (>250 000 v/an)
- ◆ B : Gare de Voyageurs d'Intérêt Régional (>100 000 v/an)

Gares du Chemin de fer de provence

- ◆ Principales gares

Autres gares

- Gares de Fret

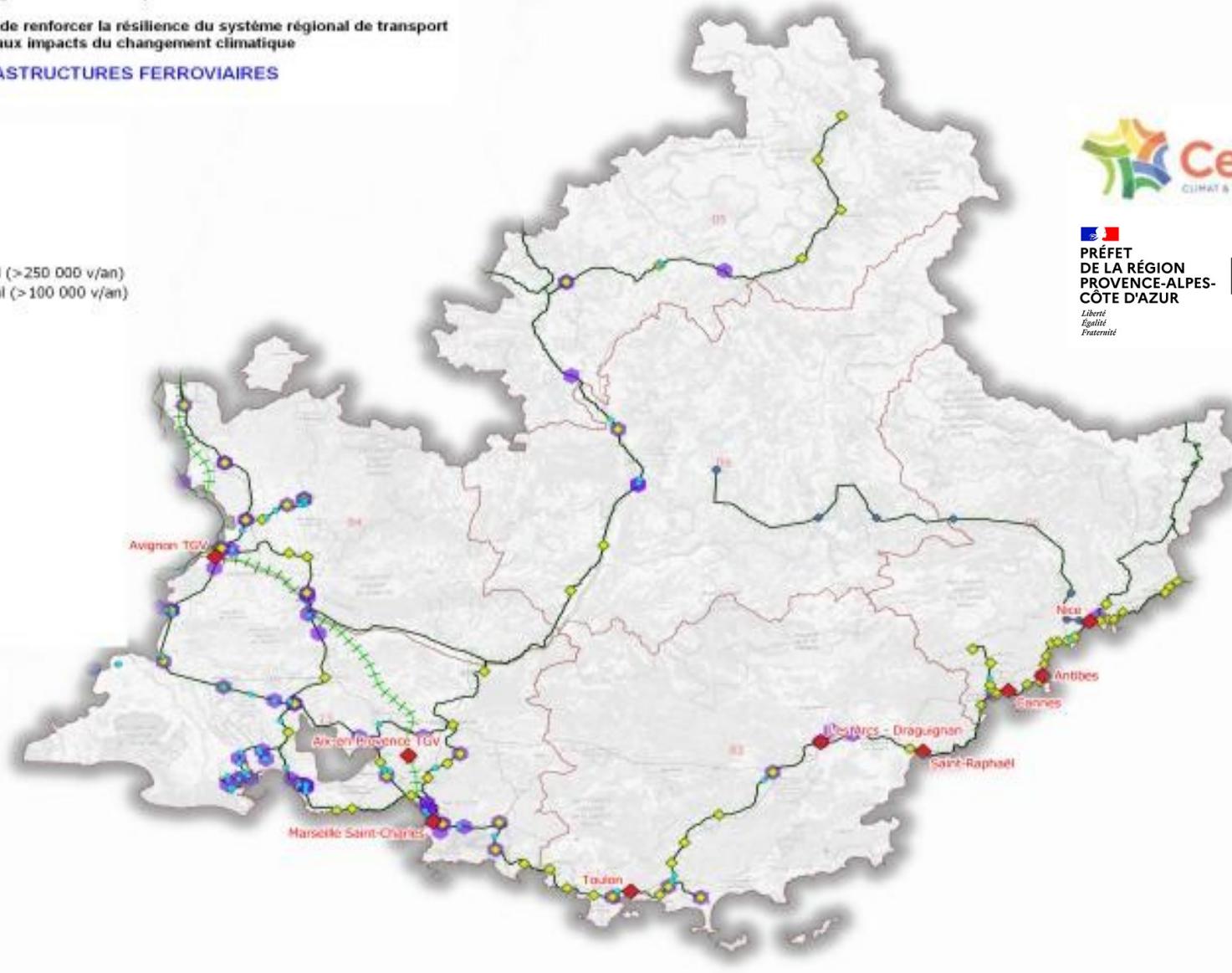
Installation Terminale Embranchée

- ITE en service



OpenStreetMap

mise à jour : 08/02/2023



PRÉFET
DE LA RÉGION
PROVENCE-ALPES-
CÔTE D'AZUR

Liberté
Égalité
Fraternité

Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement

Infrastructures étudiées : Aéroports

Région Provence – Alpes – Côte d'azur

le cadrage en vue de renforcer la résilience du système régional de transport
face aux impacts du changement climatique

INFRASTRUCTURES AÉROPORTUAIRES

Périmètre de l'étude :



Aéroports



Dept_PACA



OpenStreetMap

mise à jour : 08/02/2023



PRÉFET
DE LA RÉGION
PROVENCE-ALPES-
CÔTE D'AZUR

Liberté
Égalité
Fraternité

Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement



Infrastructures étudiées : Fluvio-maritimes

Région Provence – Alpes – Côte d'azur

Objectif de cadrage en vue de renforcer la résilience du système régional de transport
face aux impacts du changement climatique

INFRASTRUCTURES FLUVIO-MARITIMES

Périmètre de l'étude :

Ecluses

- écluse à sas
- usine écluse

Ports

- Port maritime
- Port fluvial
- * Site SASHA : réparation navale

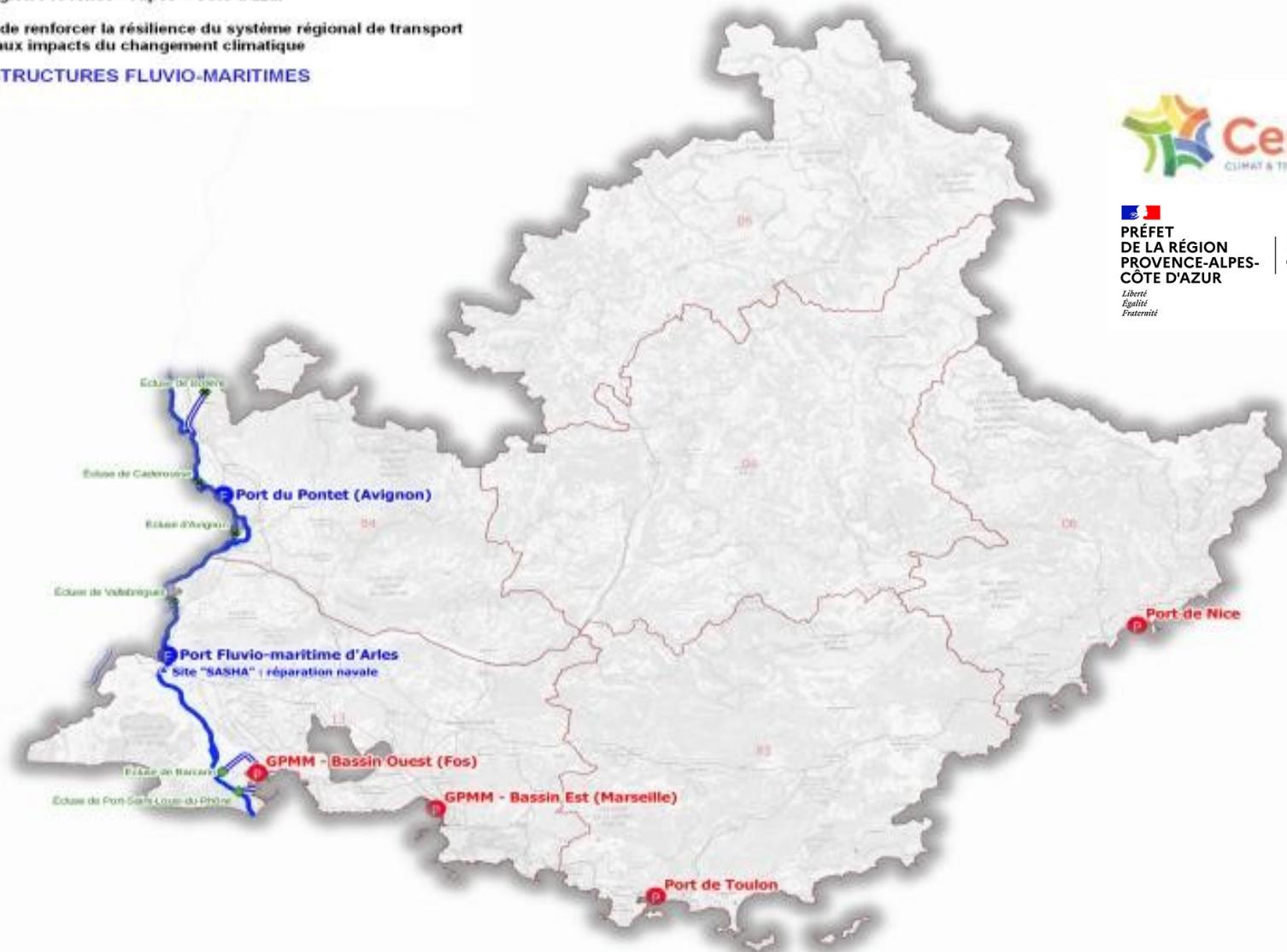
Réseau fluvial

- Canal
- Le Rhône



OpenStreetMap

Mise à jour : 08/02/2023



PRÉFET
DE LA RÉGION
PROVENCE-ALPES-
CÔTE D'AZUR

Liberité
Égalité
Fraternité

Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement

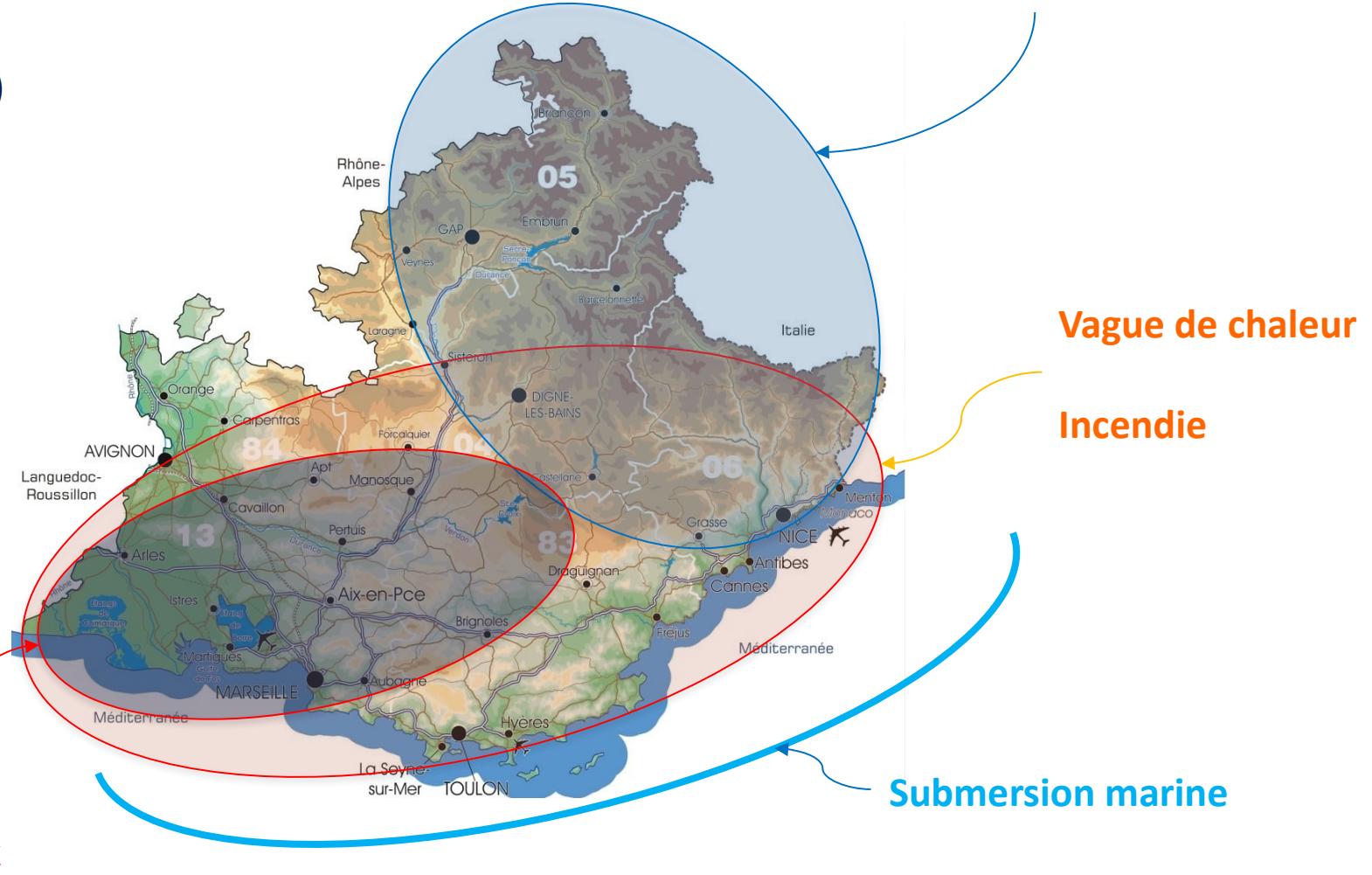


Aléas étudiés

Avalanche « humide »

Mouvements de terrain (sur périmètre +)

Pluies intenses
(de façon générale)





Des données disparates et difficiles à collecter

- Les gestionnaires sont concernés par la plupart des aléas. Ils identifient bien les impacts des aléas sur leurs infrastructures.
 - Certains gestionnaires disposent de bases de données, (cf. Toutatis chez SNCF Réseau), d'autres de rapports d'intervention (gestionnaires routiers, SNCF Gares et Connexions).
 - Certains d'entre eux manquent, parfois, de retours d'expérience du fait de la relative rareté d'événements extrêmes (ex. submersion marine...).
 - Impacts connus mais des difficultés à déterminer seuils d'alerte (ex. température et dilatation des rails...).
 - Impacts connus sur les infrastructures mais pas forcément sur les composants (ex. niveau d'humidité et caténaires...)
 - Des difficultés à préciser les seuils au-delà desquels la gestion de leurs infrastructures et/ou réseaux passe en mode dégradé voire n'est plus possible.
-
- ✓ **Des indicateurs pas toujours existants** et qui doivent donc être construits afin de déterminer les seuils de vulnérabilité des infrastructures (ex. chutes de blocs...)
 - ✓ **Une corrélation de l'apparition des impacts avec les niveaux atteints par les paramètres climatiques** doit être réalisée.
 - ✓ Un besoin de réflexion supplémentaire est identifié, en particulier sur certains réseaux et/ou infrastructures (ex. températures et dilatation des rails, précipitations et dimensionnement des ouvrages d'évacuation...).



La détermination d'un catalogue d'indicateurs d'aléas adaptés au système global de transports, indispensable pour la détermination des seuils d'intervention, est une étape longue et complexe.



Liste d'indicateurs

Indicateurs calculés	Utilité	Caractérisation d'aléa
Nombre d'évènements dans l'année en moyenne où $T_{min} \geq 25^{\circ}C$ pendant au moins 5 jours consécutifs	Orniérage	Fréquence
Nombre de jours où : $T_{max} \geq 35^{\circ}C$; $T_{max} \geq 25^{\circ}C$; $\geq 30^{\circ}C$; $\geq 34^{\circ}C$; $\geq 40^{\circ}C$; $\geq 42^{\circ}C$; $\geq 43^{\circ}C$; $\geq 45^{\circ}C$	Indicateur général, Dilatation des rails, orniérage, équipements électroniques	Fréquence
Nombre de jours avec précipitations \geq à 1mm ; 10mm ; 20 mm ; 50mm ; 100mm	Indicateurs généraux, à déterminer	Fréquence
Nombre de jours où ($T_{min} \leq 0$ et $T_{moy} \geq 0$)	Gel-dégel (chutes de blocs) et fissurations sur les chaussées	Fréquence
Valeur du 90ème percentile de la distribution annuelle de T_{max}	Indicateur général	Intensité
Température maximale atteinte sur la "période TRACC"	Indicateur général	Intensité
Vagues de chaleur (durée, sévérité, intensité)	Orniérage, dilatation des , conditions de travail	Durée, intensité
Cumul maximum de neige sur une année	Viabilité hivernale	Intensité
Cumul de précipitation par mois de l'année	Indicateur général	Intensité
Nombre de jours où humidité $\geq 80\%$ et $T_{max} \geq 30^{\circ}C$	Tropicalisation des équipements électroniques	Fréquence
nombre de jours avec vent $\geq 100km/h$	PMV, PPHM	
Température moyenne annuelle	Indicateur général	Intensité
Nombre de jours où : $[T_{max} > 45^{\circ}C \text{ et } (T_{max} - T_{min} \geq 20^{\circ}C)]$; $[T_{max} \geq 43^{\circ}C \text{ et } (T_{max} - T_{min} \geq 20^{\circ}C)]$ $[T_{max} > 40^{\circ}C \text{ et } (T_{max} - T_{min} \geq 20^{\circ}C)]$; $[T_{max} = 45^{\circ}C \text{ et } (T_{max} - T_{min} \geq 20^{\circ}C)]$	Dilatation des rails, ferroviaire	Fréquence



Liste d'indicateurs

Indicateurs calculés	Utilité	Caractérisation d'aléa
Nombre de jours avec Tmoy > 30°C	Seuil d'activité sédentaire	Fréquence
Nombre d'évènement dans l'année en moyenne où Tmax >= 33°C pendant 7 jours consécutifs	Orniérage	Fréquence
Nombre d'évènements dans l'année en moyenne où Tmin >= 20°C pendant au moins 5 jours consécutifs	Orniérage	Fréquence
Nombre d'évènements dans l'année en moyenne où Tmin >= 25°C pendant au moins 3 jours consécutifs	Orniérage	Fréquence
Premier jour de l'année où Tmax >35°C	Indicateur général	Moment d'apparition dans l'année
Vague de chaleur données par commune selon d'une part la méthode Hydroclimat et d'autre part la méthode Météo France	Indicateur général, chaussées	Durée
Maximum annuel de précipitation pour chacune des années	Indicateur général	
Nbr de jours de vent de travers > 50 km/h (25 noeuds) ; Nbr de Jours de vent > 130km/h	Ports, aéroports	Fréquence
Nbr de jours de vent au sol > 120 km/h		Fréquence
Nombre de jours où Tmin < 0°C	Gel	Fréquence
Nombre de jours où Tmax < 0°C		Fréquence
Moment dans l'année moyen où un cycle gel dégel apparaît (Tmin < 0°C et Tmoy > 0°C)		Moment d'apparition dans l'année
Durée et sévérité des évènements d'accumulation de chaleur ($I > 0$) où (Degrés-jour avec un seuil Tmoyen > 30°C). Un évènement étant caractérisé par une durée et une sévérité.		Durée, Intensité
Précipitation moyennes annuelles calculées sur les jours de pluie > 1mm	Indicateur général	Intensité

Point d'étape - Production des Indicateurs Climatiques

Objectif : « Objectiver le climat du futur au travers d'indicateurs climatiques – formules statistiques rendant compte de l'évolution d'un aléa entre la période de référence (1976/2005) et une période future (2006/2100) : Exposition.

Etape 1

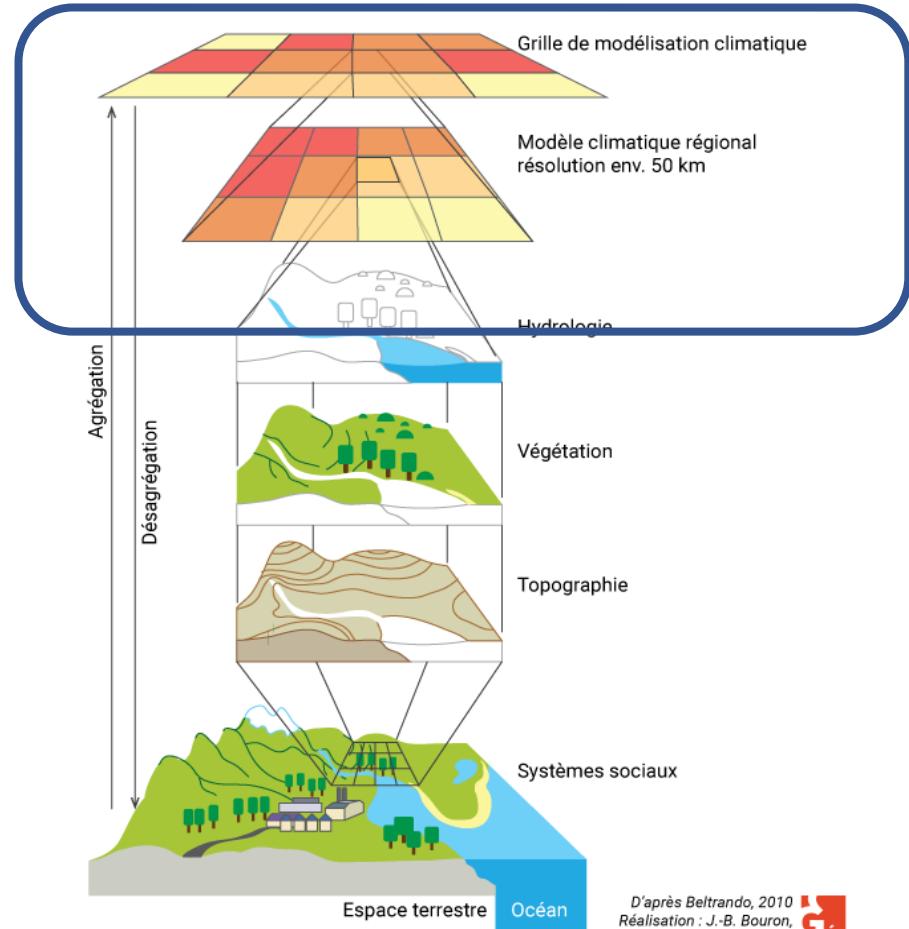
- Utilisation de données brutes issues de modèles climatiques
- Données disponibles en libre accès mais qui nécessitent une expertise pour les utiliser à bon escient.
- Données natives grossières (12km) et biaisées par rapport aux observations (ex. moins de jours de pluie et précipitations intense sous-estimées)

Etape 2

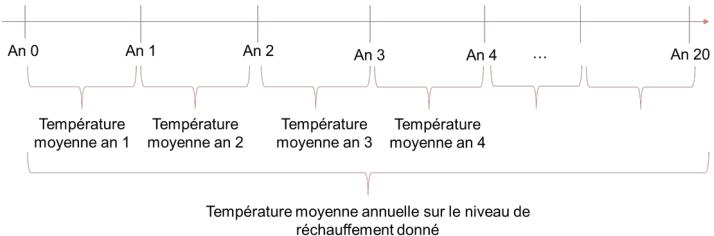
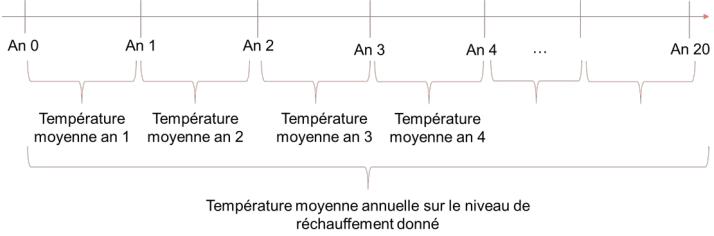
- Mise à l'échelle statistique et correction des données brutes par rapport aux observations par des méthodes de correction de biais (ex. CDF-t, ADAMONT)
- Cette étape permet de réduire la résolution spatiale des données climatiques (jusqu'à 1 km) et de coller les données climatiques aux observations (cohérence spatio-temporelle)
- Obtention d'une série temporelle corrigée entre 1976 et 2100 des variables climatiques (Hauteur de précipitations, flux de précipitation neigeuse, rayonnement solaire visible, rayonnement solaire infrarouge, vitesse du vent à 10m, température moyenne journalière, température maximale journalière, température minimale journalière, humidité relative). **En cours de réception par Cerema, avant analyse.**

Etape 3

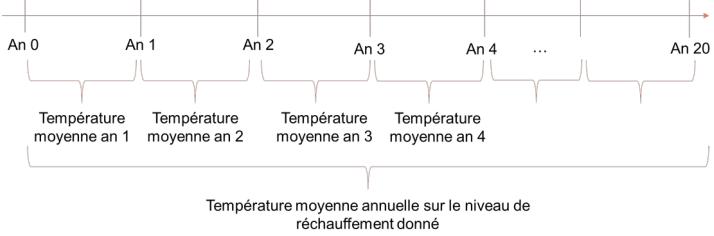
- Construction d'indicateurs climatiques
- Exemple : Indicateur « nombre de jour avec une température maximale au-delà de 35°C » à partir de la variable « température maximale ».



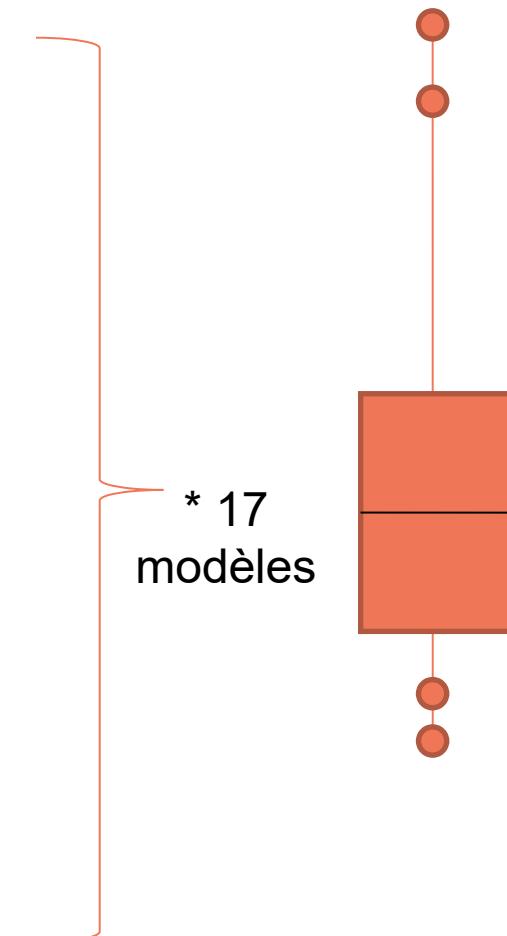
Pour chaque période



...



Pour chaque point de grille :

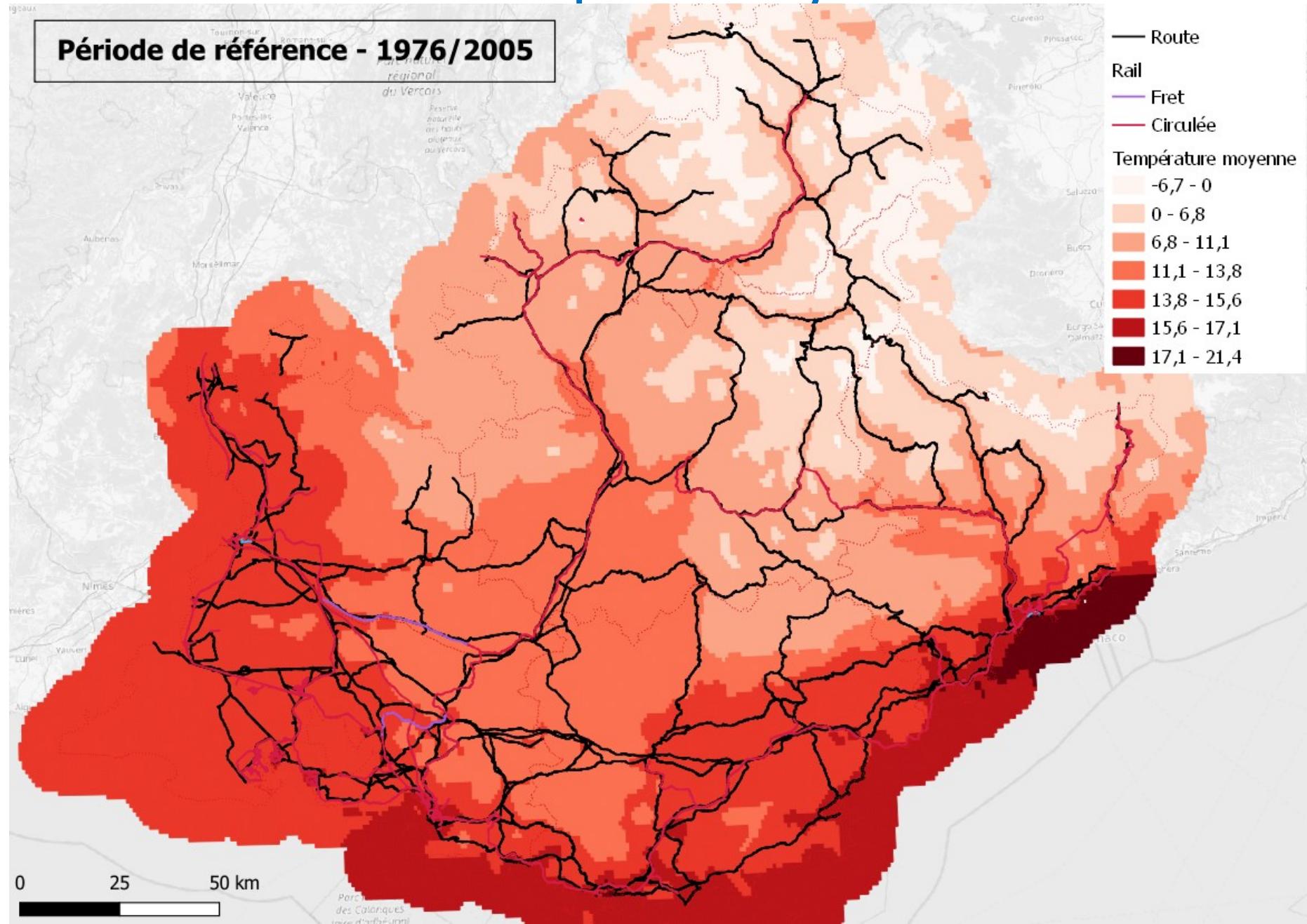


Médiane multi-modèles

Généralement utilisée (*mais masque les incertitudes différences entre les modèles notamment en cas de désaccord entre eux. Important notamment lorsqu'ils n'évoluent pas dans le même sens*)

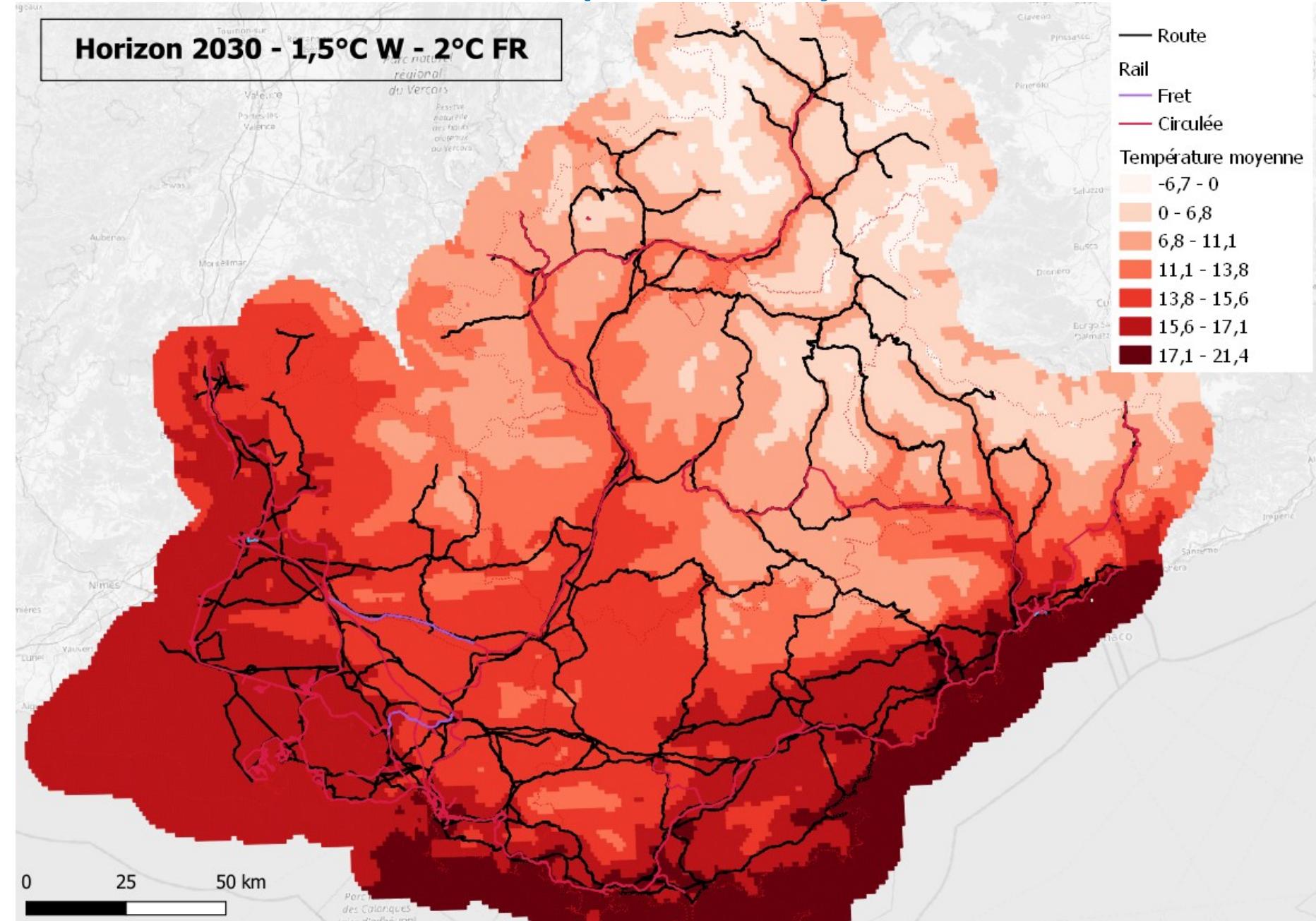


Indicateur : Température moyenne annuelle



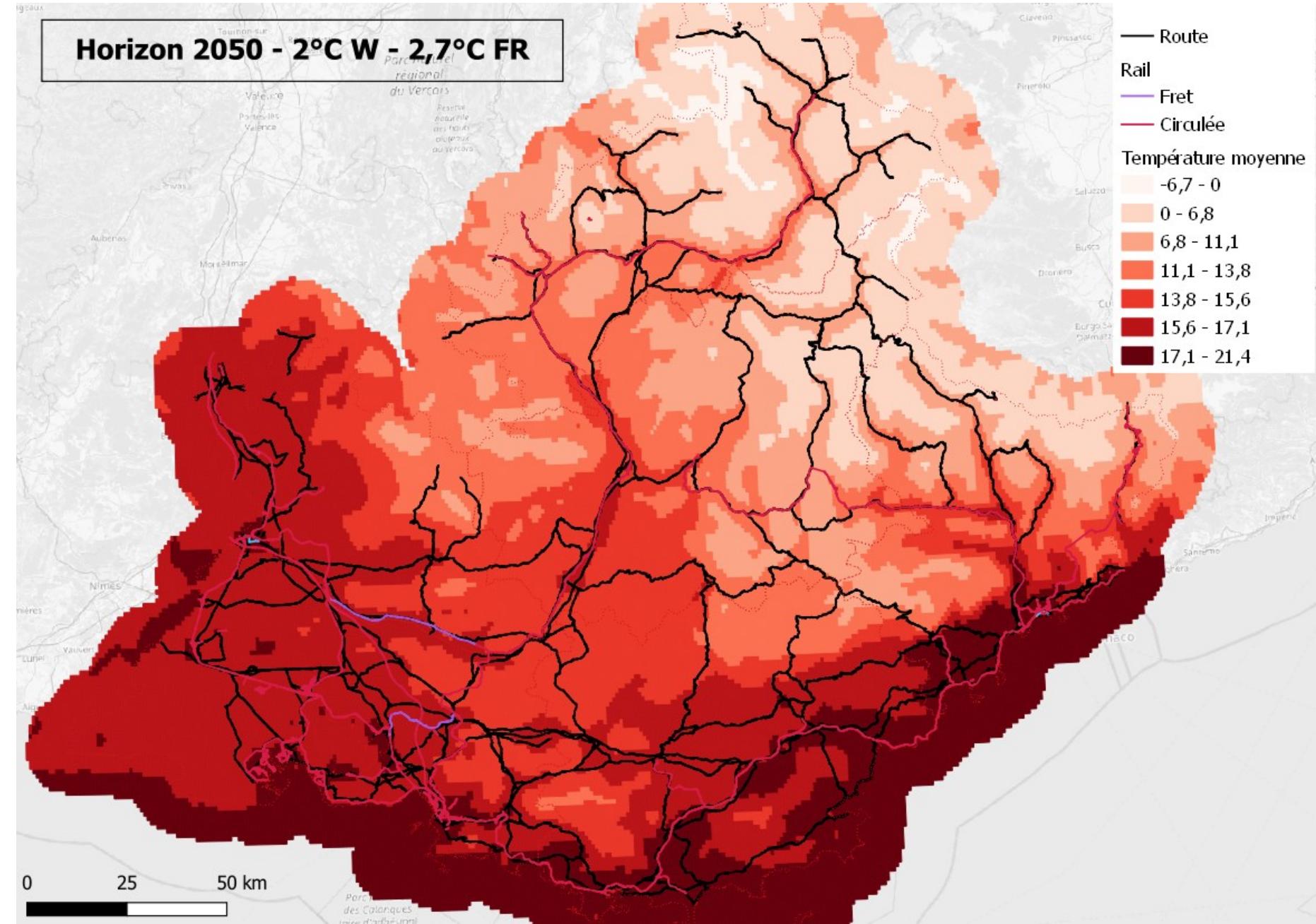


Indicateur : Température moyenne annuelle



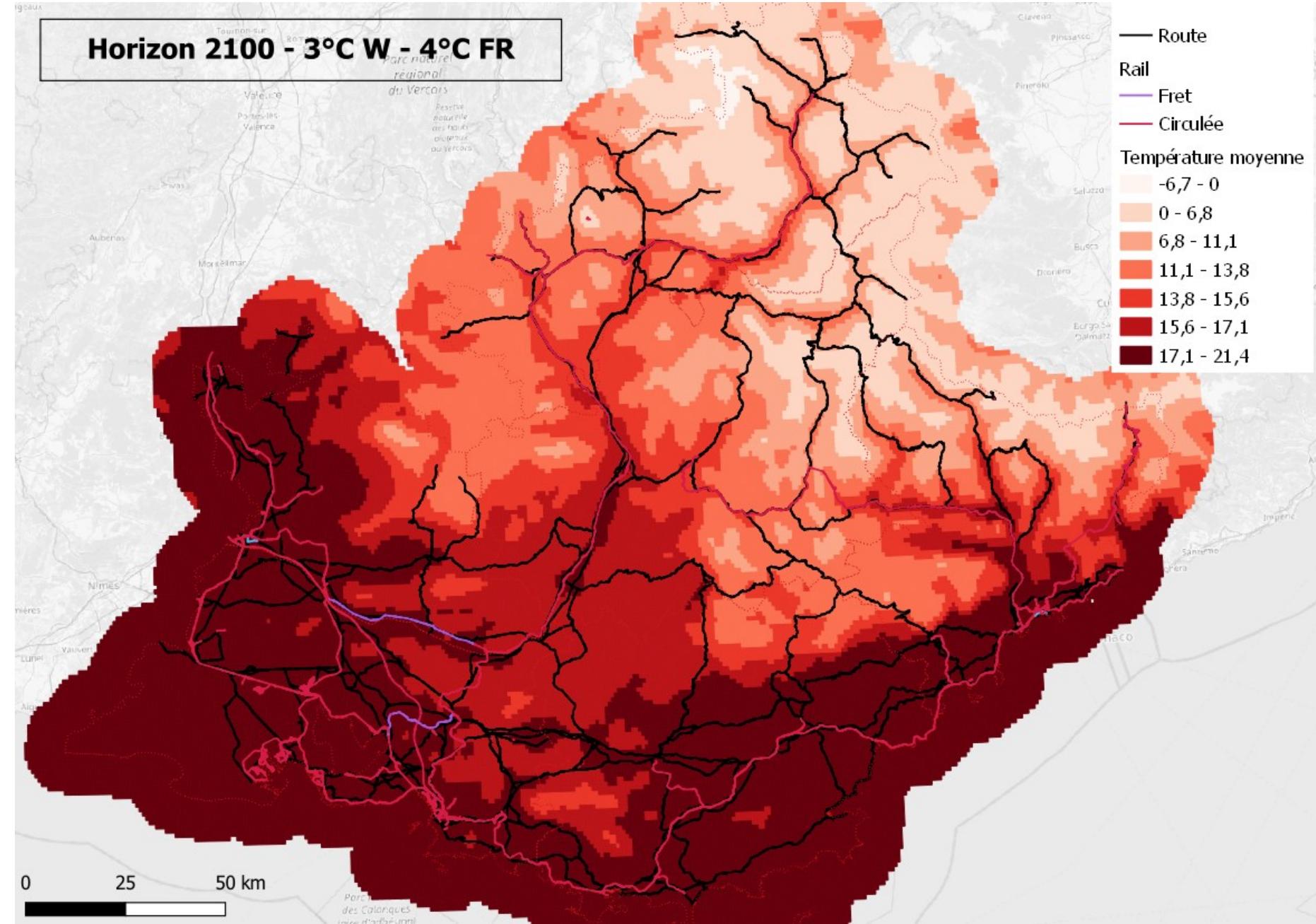


Indicateur : Température moyenne annuelle





Indicateur : Température moyenne annuelle





➡ Les incertitudes liées à la production des données climatiques

Méthodologie comporte néanmoins **certaines limites** :

Marges d'incertitudes liées à la variabilité naturelle du climat, hypothèses d'émissions de gaz à effet de serre et aux différences entre les modèles climatiques.

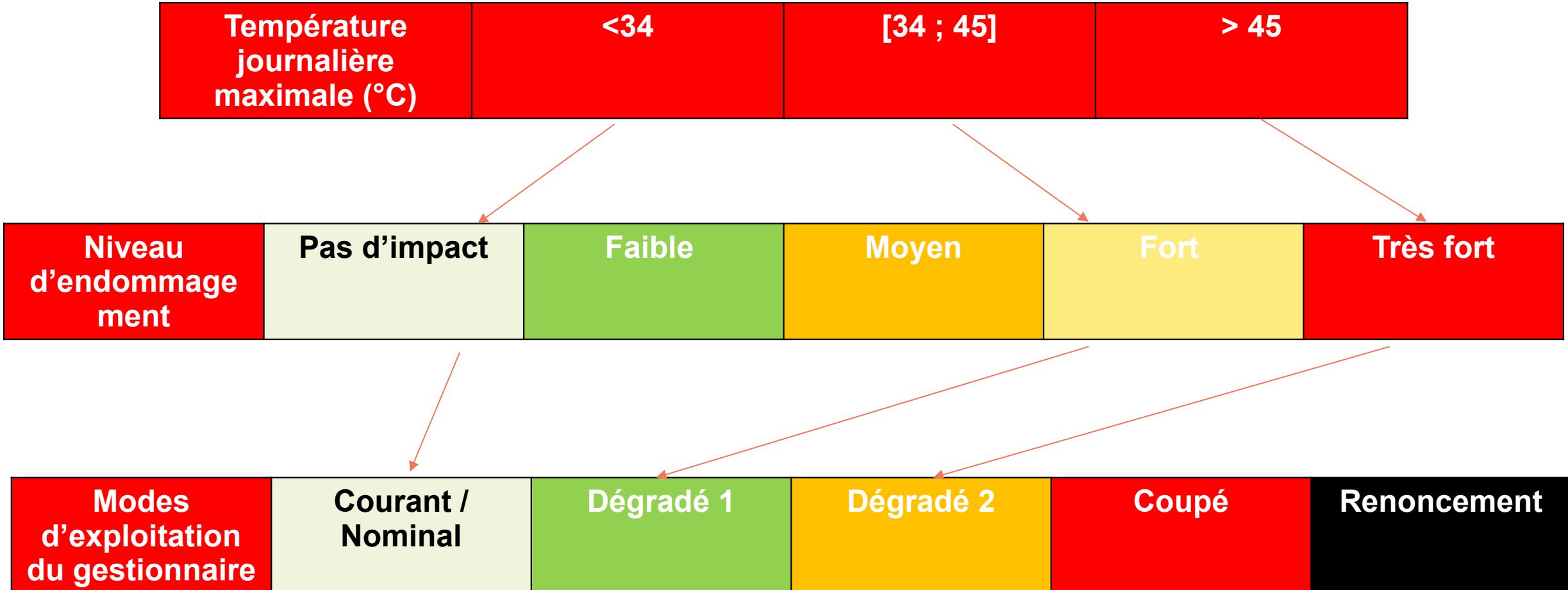
Dispersion accrue des données projetées, en particulier pour des variables sensibles comme les précipitations ou les températures à l'échelle régionale.

Prise en compte de cette incertitude à travers la **notion de consensus** pour l'analyse des résultats et l'identification des tendances prospectives :

- Consensus élevé : plus de 80% des projections climatiques de l'ensemble convergent vers la même tendance d'évolution, positive ou négative ;
- Consensus modéré : entre 66% et 80% des projections climatiques de l'ensemble convergent vers la même tendance d'évolution,
- Pas de consensus : consensus inférieur à 66% sur le signe d'évolution.

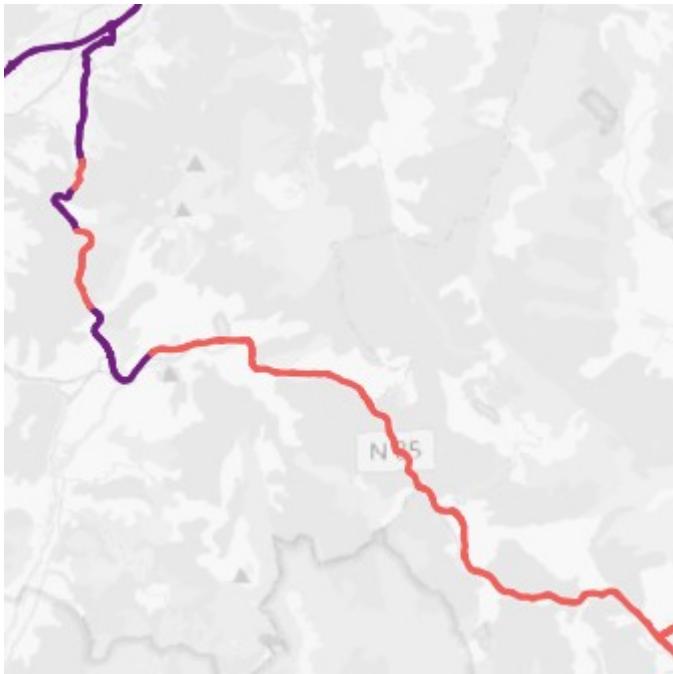
➡ Analyse de ces « seuils » de consensus pour chaque indicateur, préalablement à la validation du diagnostic de vulnérabilité et à l'élaboration du plan d'adaptation

Méthodologie d'évaluation du risque pesant sur les infrastructures



Exemple avec l'indicateur nombre de jours > 35°C

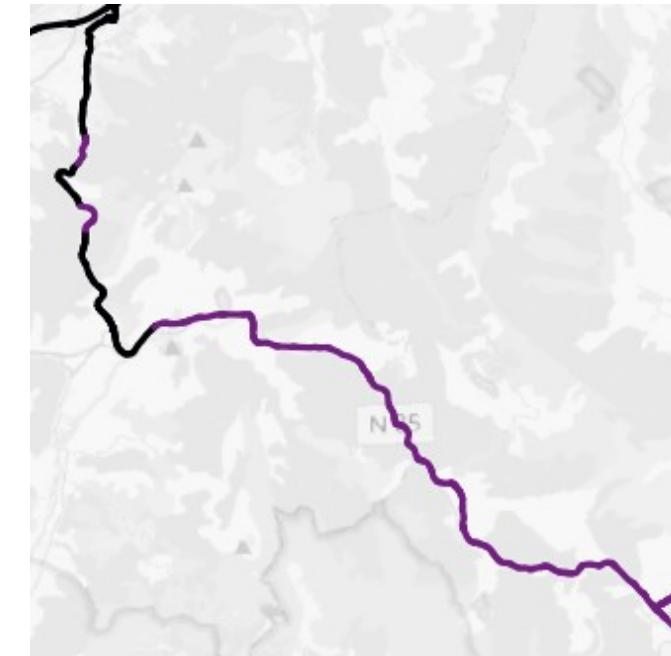
2030
1,5°C



2050
2°C



2100
3°C

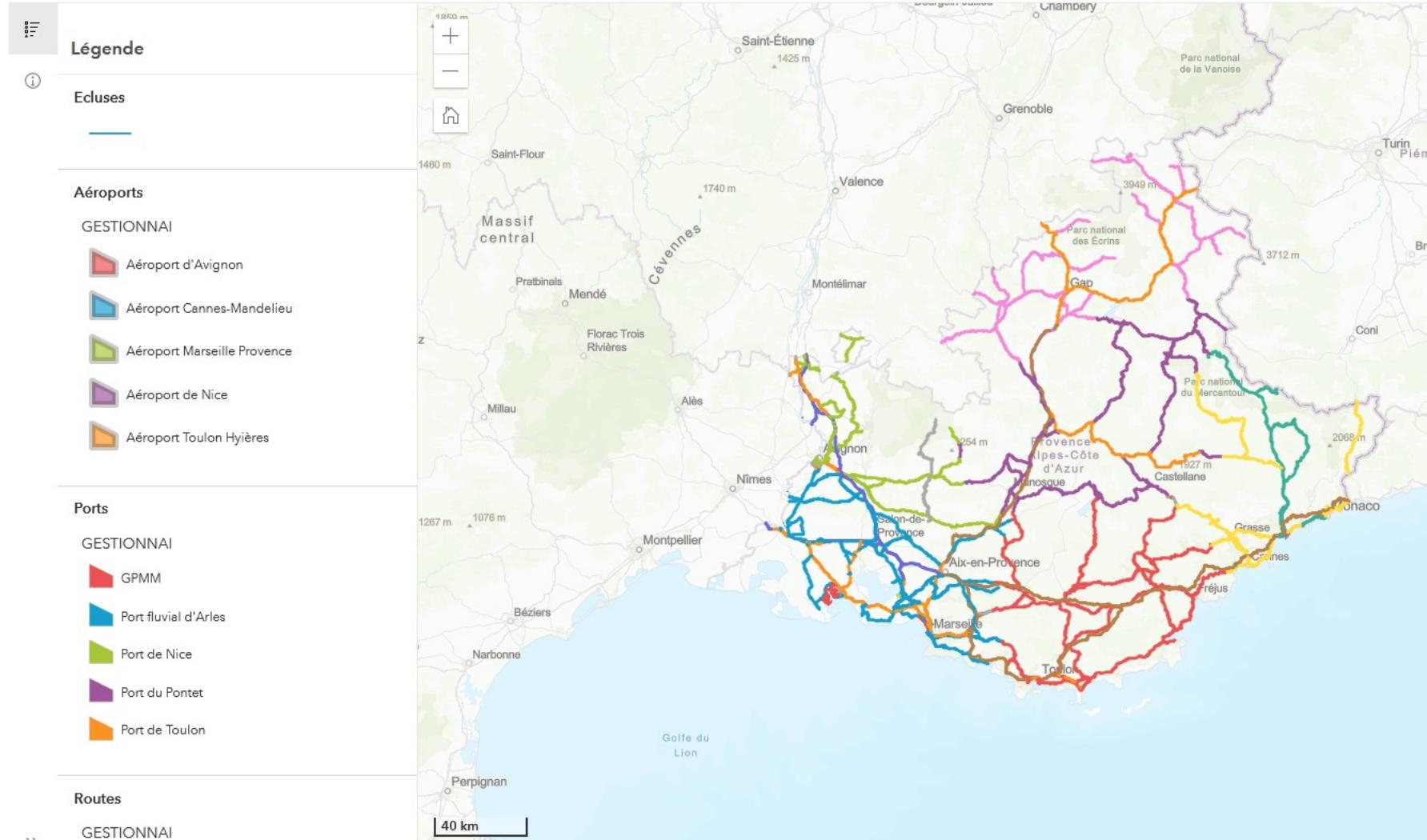


Nombre de
jours par
an > 35°C

- 0 - 1
- 1 - 7
- 7 - 30
- 30 - 53

Cartographie de rendu : CARTAGENE du CEREMA

périmètre routier résilience des infrastructures région sud





Enseignements

Un cadrage préalable précieux

- ✓ **Une première phase de cadrage Région/Cerema**
 - Atelier 1 « résilience » du 04 octobre 2022 : Sensibiliser et former à la construction d'une démarche de résilience territoriale
 - Atelier 2 « Fonctions et enjeux » du 07 novembre 2022 : Identifier les enjeux territoriaux gravitant autour du système de transport
 - Atelier 3 « Climat et Infrastructures » du 14 novembre 2022 : Cadrer le périmètre des infrastructures de transport et le périmètre des aléas climatiques à intégrer dans l'étude de vulnérabilité
- ✓ **Une seconde phase, avec l'ensemble des gestionnaires d'infrastructures d'intérêt national et régional du système régional de transport**
 - Formation « résilience » du 27 février 2022 : Former et initier à la résilience des infrastructures face au changement climatique
 - Atelier 1 « Périmètre et décomposition » du 14 mars 2023 : Définir le périmètre et la décomposition structurelle des infrastructures pour l'étude de la vulnérabilité physique
 - Atelier 2 « Fonctionnalités et Données » du 04 avril 2023 : Evaluer l'ensemble des données disponibles et définir les objectifs fonctionnels de chaque infrastructure
 - Atelier 3 « Adaptation » du 04 juillet 2023 : Présenter la note technique de cadrage pour l'étude de vulnérabilité et approfondir la notion de l'adaptation dans les transports



Une mobilisation indispensable des gestionnaires de réseaux

- L'Etat (via le préfet) et la Région (via le président du Conseil Régional) ont proposé, avant le lancement formel de l'étude, à chaque gestionnaire de réseaux et/ou infrastructures routières, ferroviaires, aéroportuaires, maritimes et fluviaux, la **signature d'une Charte d'Engagement** :

« La charte d'engagement a pour objet de fédérer les acteurs du territoire autour de la thématique de l'adaptation des systèmes de transport face aux défis du changement climatique. Les signataires de la charte s'engagent à travailler de manière collaborative en ce qui les concerne et en lien avec les autres démarches de ce type sur leur périmètre, sur l'étude de vulnérabilité des infrastructures et activités de transport, et à travailler sur l'élaboration de plans d'actions multi-partenariaux pour améliorer leur durabilité et résilience face aux effets du changement climatique. Ils s'engagent, également, à suivre et évaluer les progrès. [...] Cette charte n'a pas pour objet de formaliser un engagement financier des acteurs. »

- Contribution active via l'organisation régulière d'**Ateliers de travail** : 17 octobre 2024 (températures, sécheresse, vent et précipitations) ; 27 février 2025 (inondations par ruissellement, par nappes, submersion marine, ennoiement par montée des eaux de la mer...)



Suite et perspectives

- 1. Elaborer et valider un plan d'adaptation** du système régional de transports (2026/2027) avec identification et hiérarchisation des infrastructures et services prioritaires (« systèmes clés »)
- 2. Engager les premières actions d'adaptation** sur les infrastructures et/ou services définis comme prioritaires.
 - Rappel : Volet Mobilités CPER 21/27 – 15 millions d'euros pour actions d'adaptation des transports.
 - Quels financements pour mise en œuvre actions d'adaptation ? (cf. Conférence Nationale pour le Financement des Transports)



Merci pour votre attention

Contacts : **Région Sud** - David GRZYB – dgrzyb@maregionsud.fr
DREAL PACA – Arnaud VERQUERRE - arnaud.verquerre@developpement-durable.gouv.fr