

Présentation – Etude :

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

Journée Départementale de la Donnée et de l'Intelligence Artificielle
Val de Marne
Vendredi 14 mars 2025.





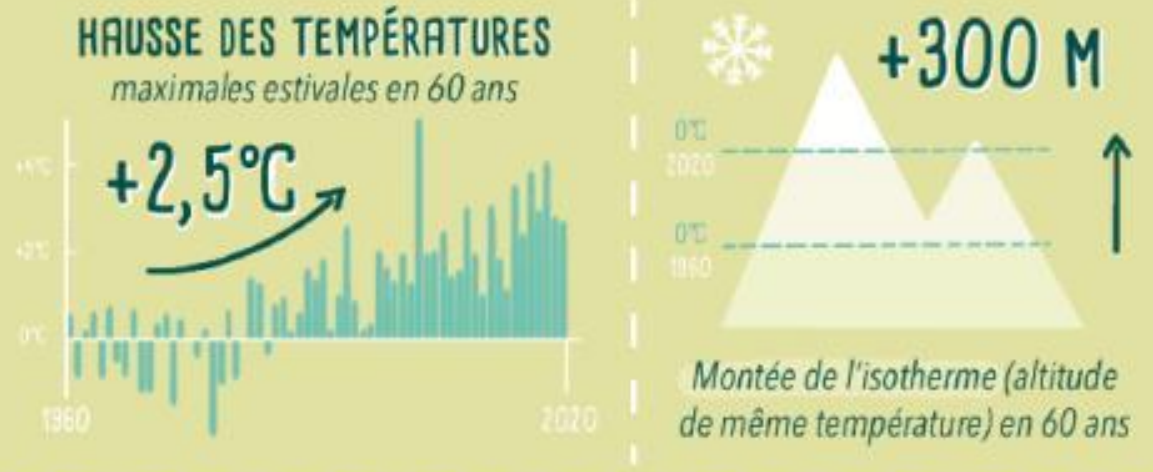
Préambule

1. Travail initié par Thibaut LIMON, Ingénieur au sein de la Mission Prospective de la Direction des Infrastructures et des Grands Equipements de la Région Sud Provence Alpes Côte d'Azur, qui a rejoint l'ADEME le 2 septembre 2024.
2. Action découlant de la délibération de juin 2023 relative à l'accord Etat/Région de mise en œuvre de la planification et déclinant la démarche ACoRS : Adaptation, Conversion, Report Modal, Sobriété.
3. Action suivie et accompagnée par DGITM et dont le caractère exemplaire est souligné dans le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique 3 (cf. mesure 30).
4. Co-pilotage DREAL / Région SUD avec cofinancement 50/50 (1M€)
5. Travail en cours : étude formellement lancée le 30 août dernier
 - ➡ Aucun résultat communicable à ce jour, même si quelques enseignements peuvent être d'ores et déjà tirés.

ÉVOLUTIONS PASSÉES (1960 à 2020)

Un constat

Les effets du changement climatique



ÉVOLUTIONS FUTURES (2050 à 2100)



+1,9°C

SCÉNARIO
OPTIMISTE

+5,5°C

SCÉNARIO
PESSIMISTE

Des perspectives partagées

Des évolutions et des impacts qui
vont s'accélérer et s'intensifier

-20% À
DE **-80%**
NEIGE

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

231 GLACIERS VONT
SUR 255 DISPARAÎTRE

+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



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
- Hiérarchiser 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

- **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...

Présentation générale



■ Caractéristiques

- **Etude recherche et développement**, confiée à un groupement piloté par le CEREMA, associant le BRGM et les sociétés HydroClimat et GeographR
- **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 des 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

Conseils départementaux Routes départementales



Métropole de Nice Côte d'Azur Routes métropolitaines

**MÉTROPOLE
NICE CÔTE D'AZUR**

DIRMed et Vinci Autoroutes Routes Nationales Autoroutes



SNCF Lignes ferroviaires et gares



Divers Gestionnaires des ports et des voies navigables



Aéroports Infrastructures aéroportuaires

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

10 étapes

Fin : oct. 2023

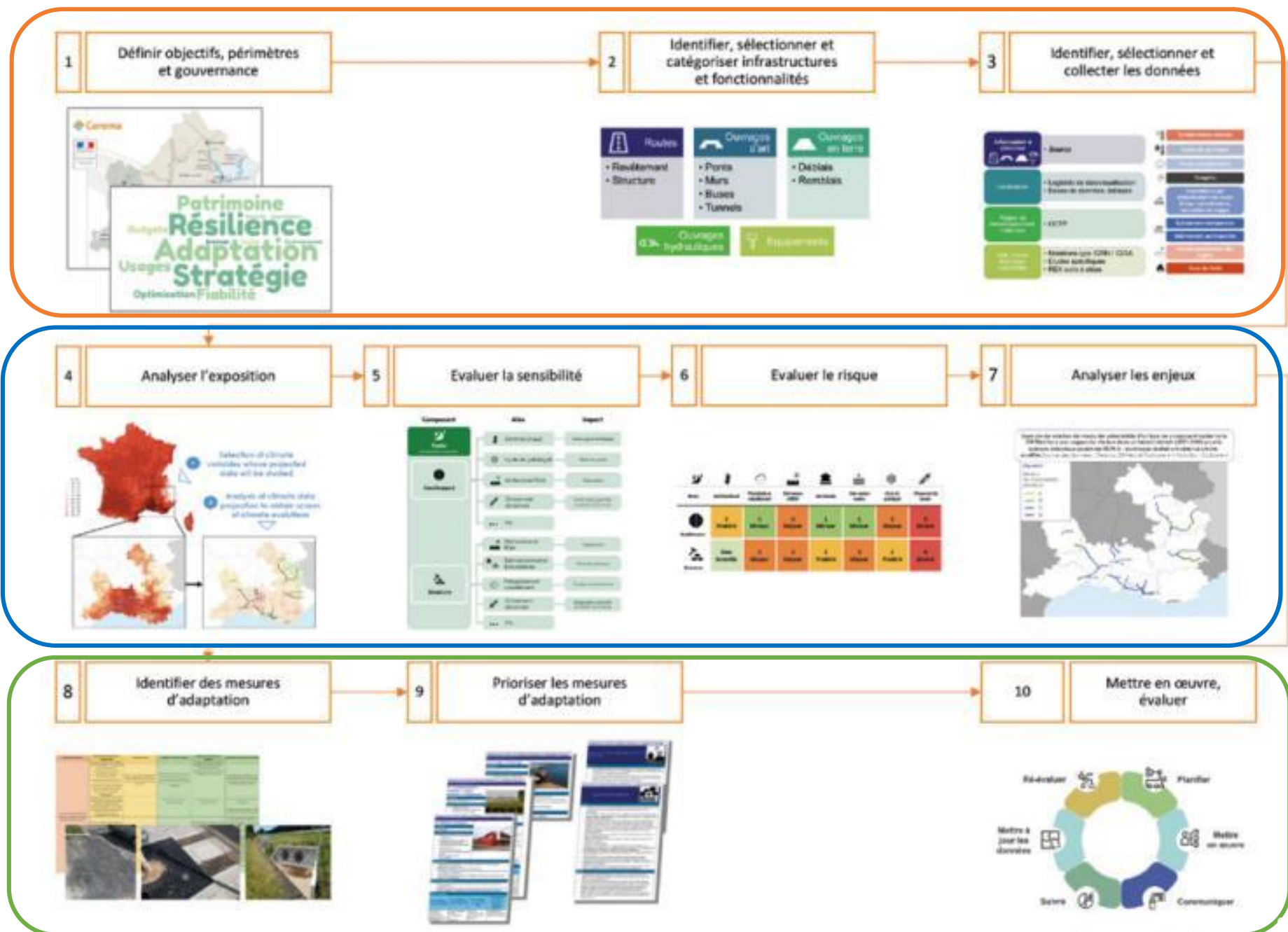
Cadrage

Été 2024 – Été 2026

Diagnostic
de vulnérabilité

2026

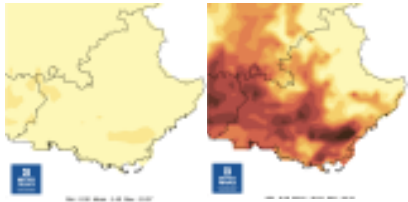
Plan d'actions
et
d'adaptation



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

...adaptée aux besoins et objectifs de l'étude

Étudier les aléas, leurs niveaux actuels et futur



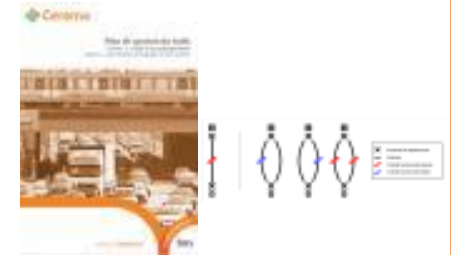
Collecter les données d'infrastructures et les homogénéiser



Qualifier la vulnérabilité physique des infrastructures



Qualifier la vulnérabilité fonctionnelle



Quantifier et hiérarchiser le risque physique



Hiérarchiser le risque fonctionnel

Section	Niveau	« Niveau »	Indicateur de vulnérabilité	Indicateur de résilience	Indice de vulnérabilité	Indice de résilience	Score de vulnérabilité
A7	Moyen	Intense	échange	échange	forte	Moyen	4
B4 B5	Moyen	Intense et échange	Intense - ED	échange - ED	Moyenne	Moyen	3

Synthétiser le risque climatique

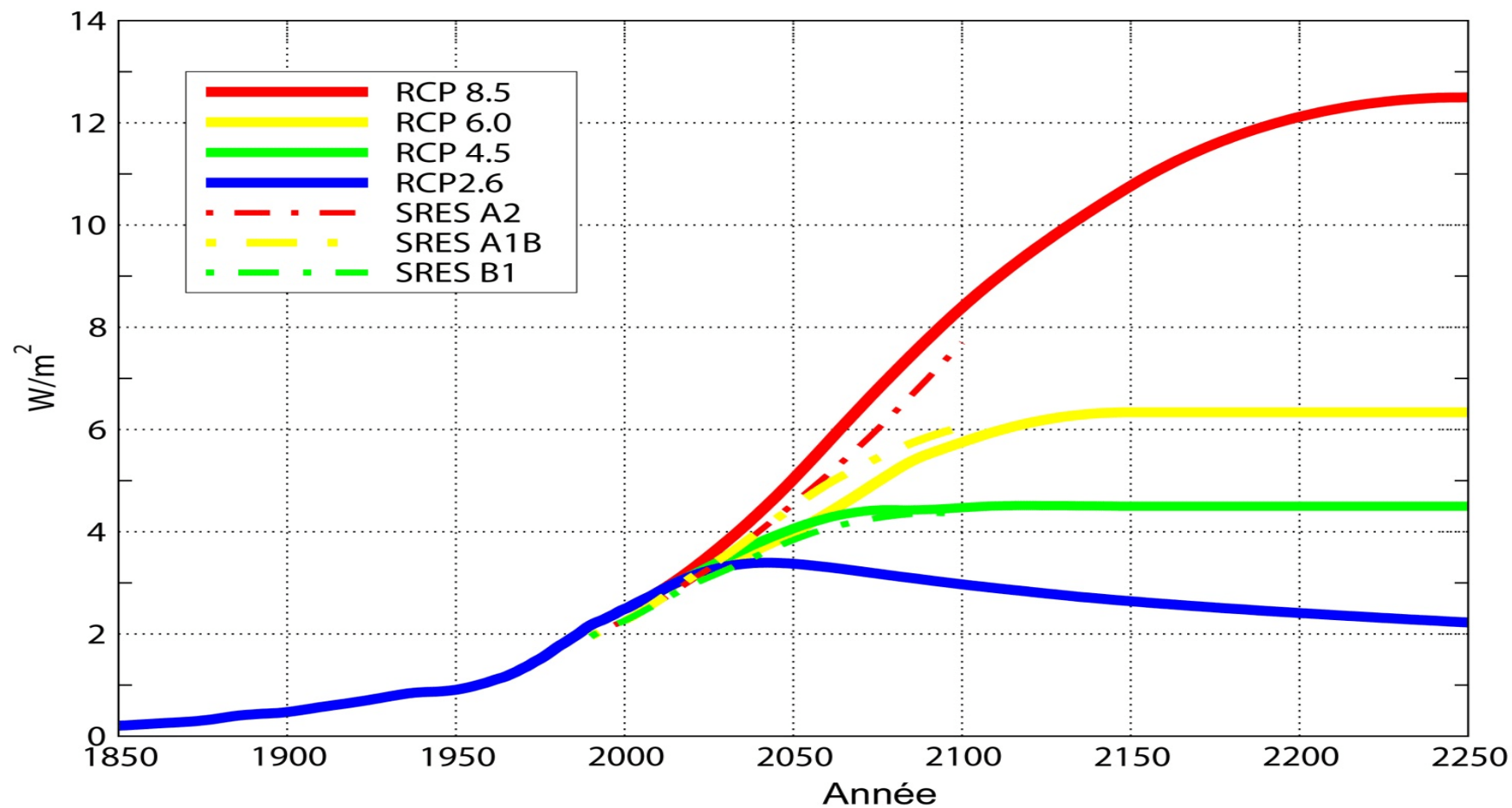


Étudier le risque territorial : faire le lien avec les enjeux présents sur le territoire

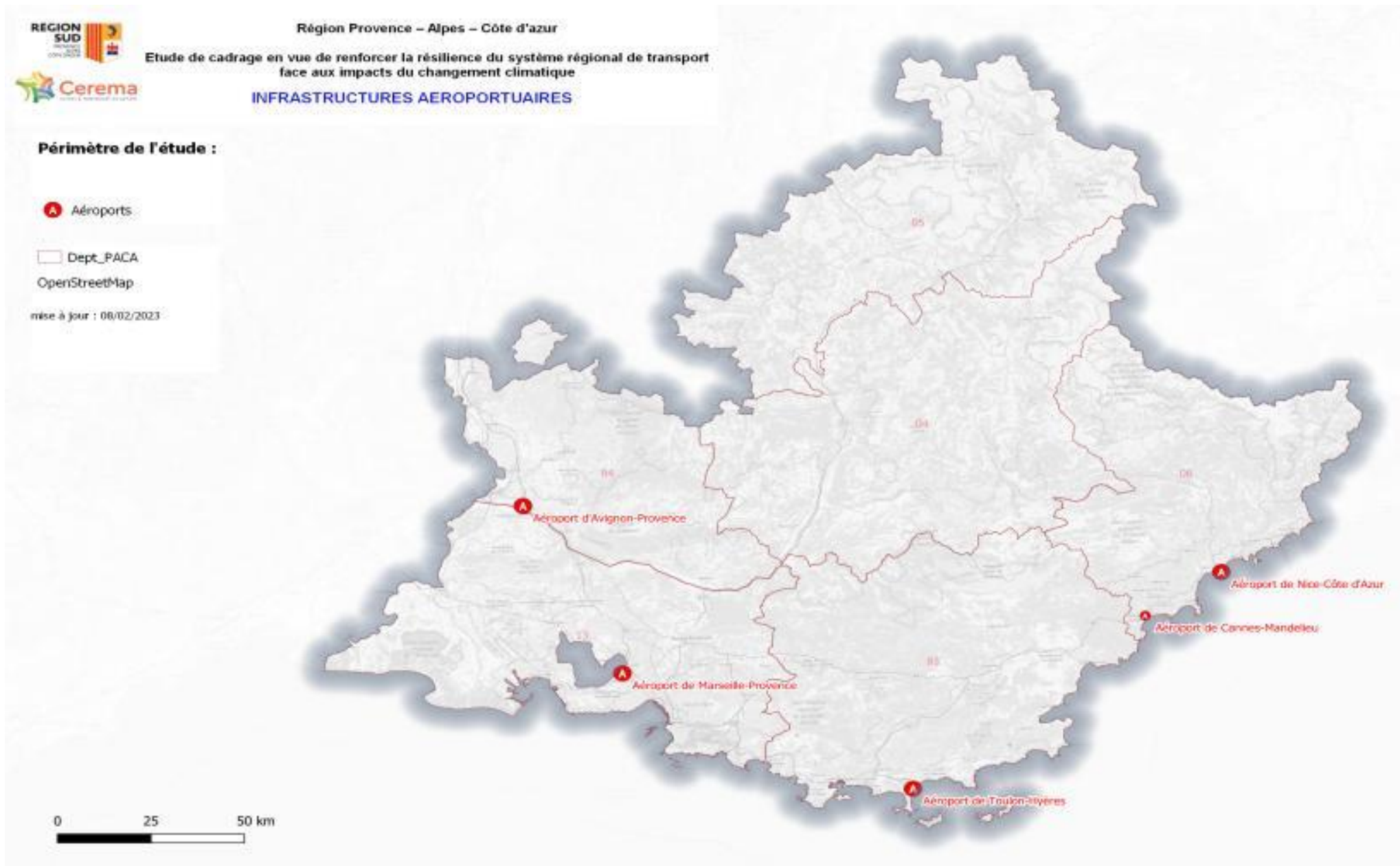




Les niveaux de réchauffement retenus pour l'horizon 2050 sont ceux construits sur la base du scénario du GIEC RCP 8.5



Infrastructures étudiées : Aéroports



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

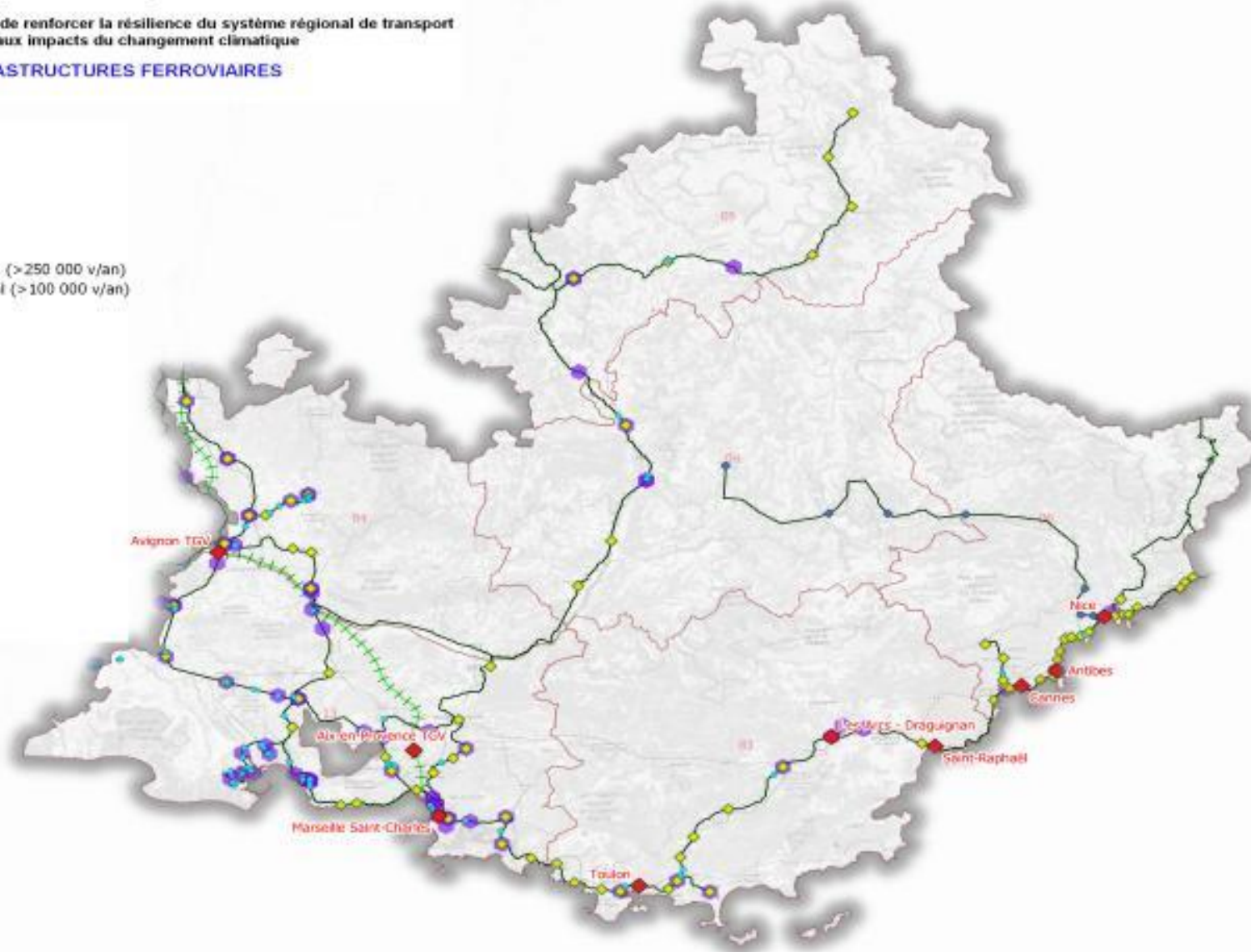
Installation Terminale Embranchée

- ◆ ITE en service

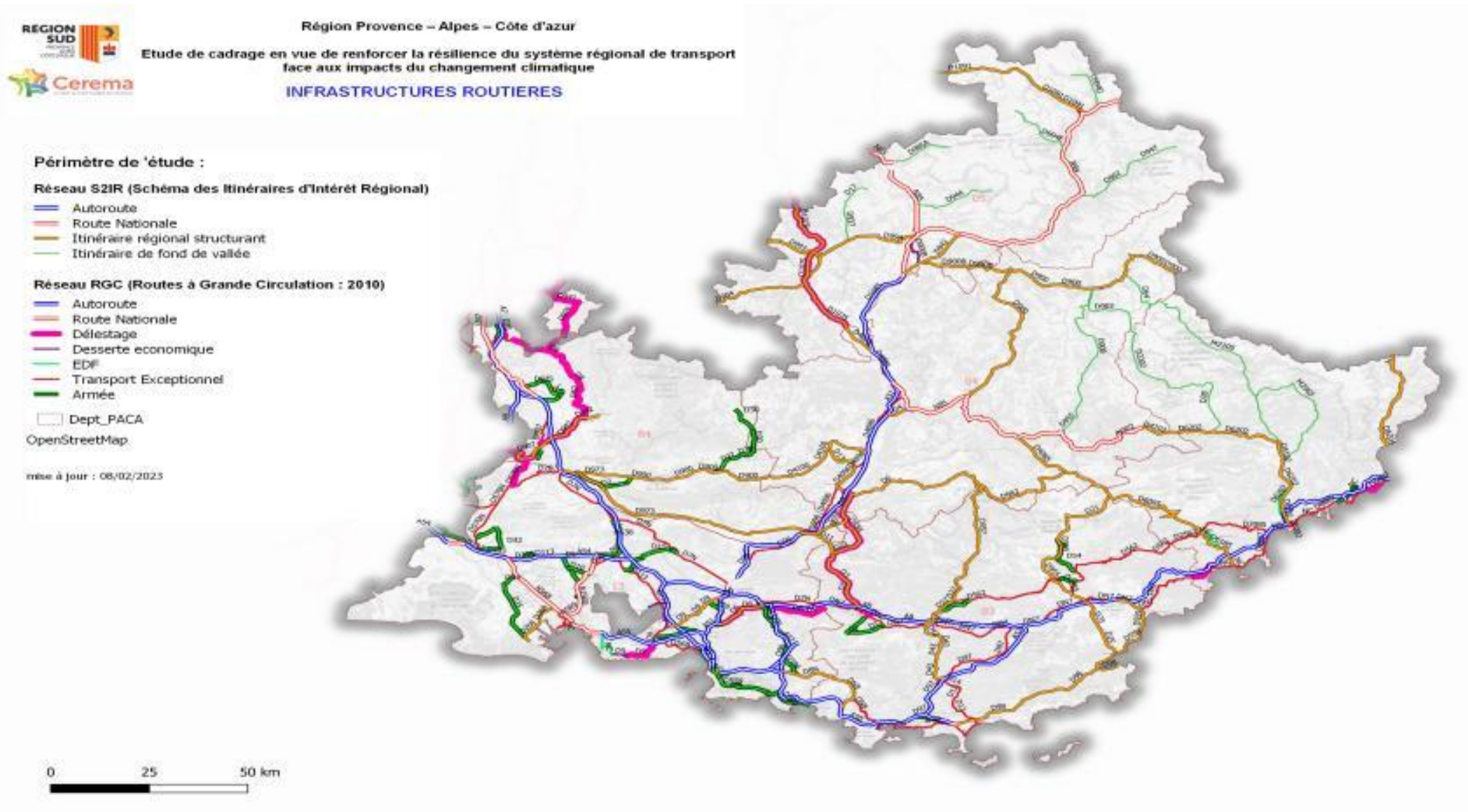
□ Dept. PACA

OpenStreetMap

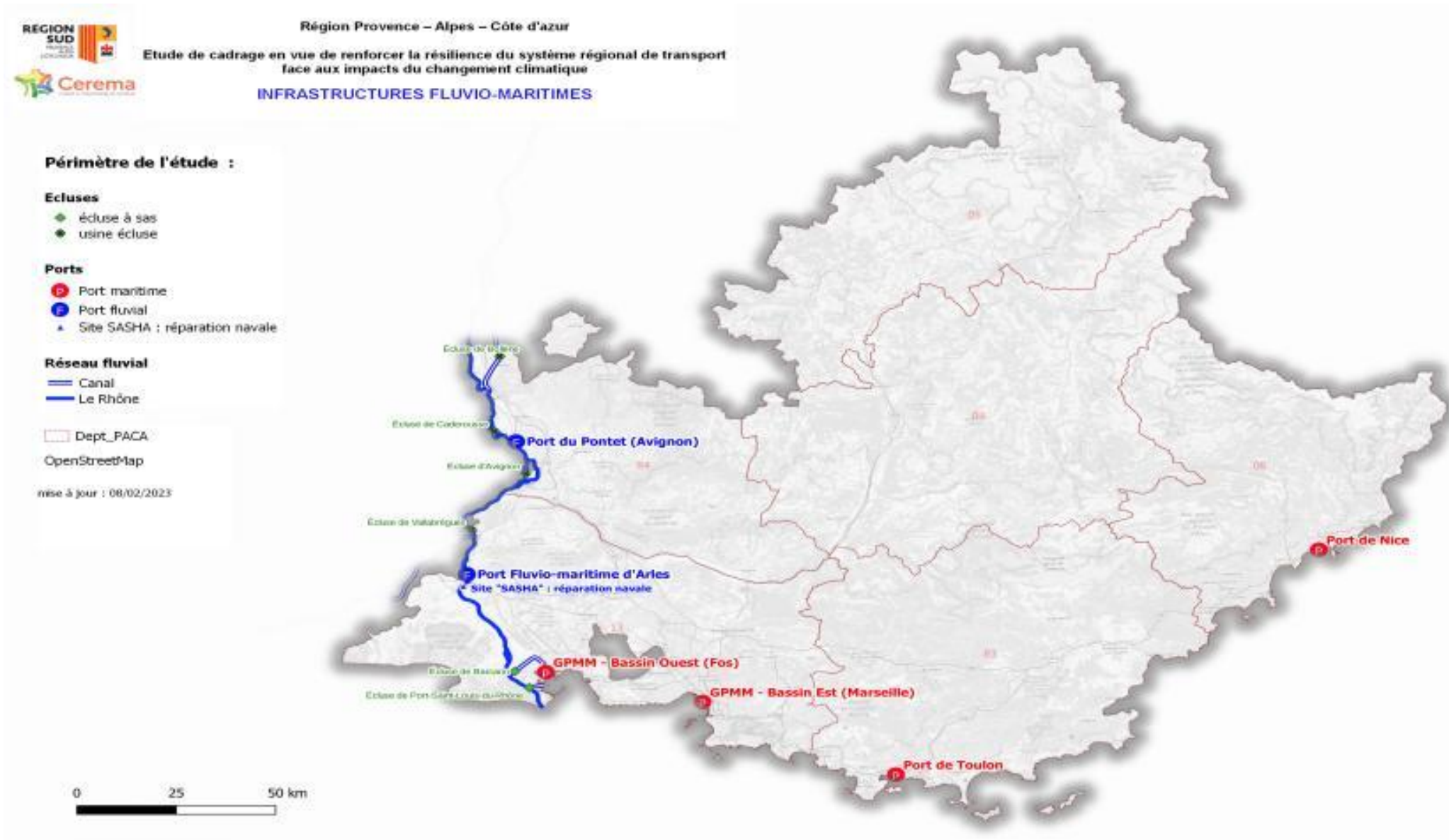
mise à jour : 08/02/2023



Infrastructures étudiées : Routières



Infrastructures étudiées : Fluvio-maritimes



Aléas étudiés

Avalanche « humide »



Mouvements de terrain (sur périmètre +)

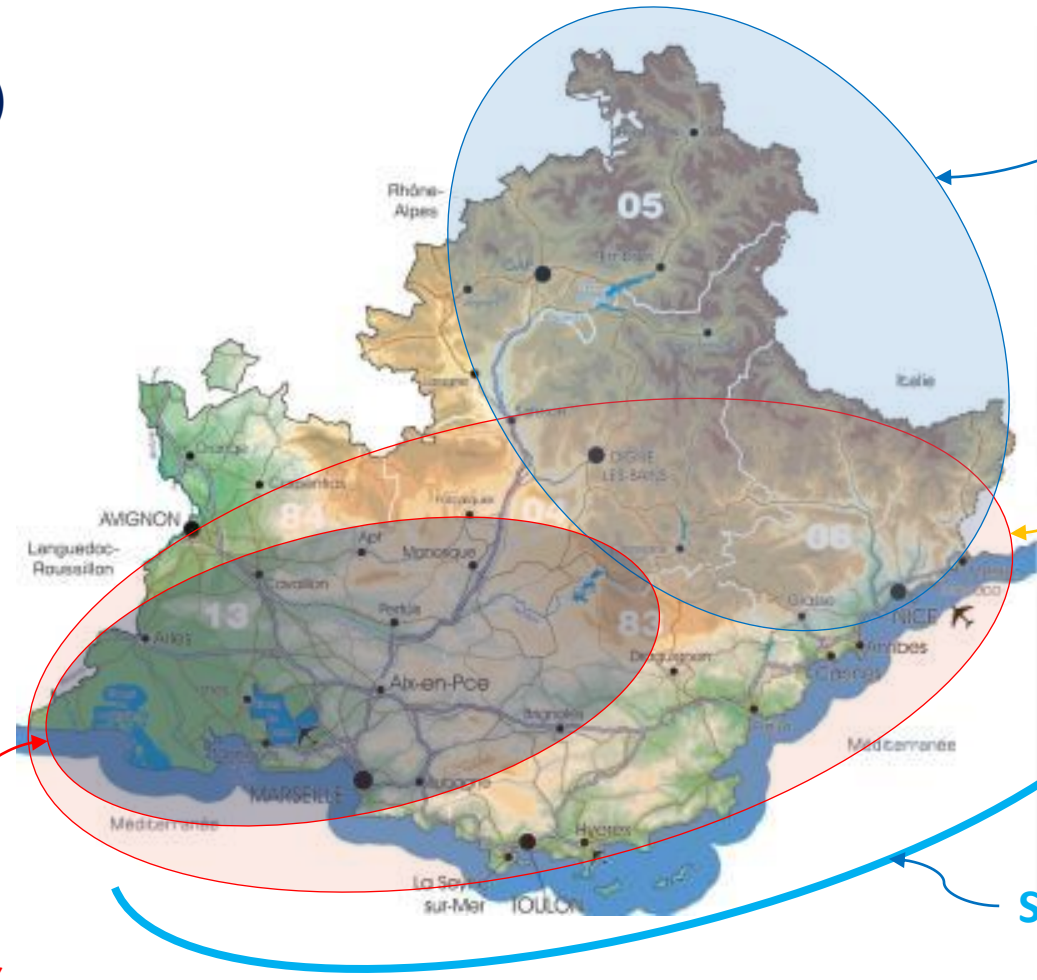
Pluies intenses
(de façon générale)

Mégafeux

Vague de chaleur

Incendie

Submersion marine



Aléas climatiques étudiés



Évolutions tendancielles

- Évolution des températures
- Évolution du régime de précipitations et enneigement
- Conditions de sécheresse
- Évapotranspiration
- Hausse du niveau marin
- Vent
- Retrait/Gonflement des argiles

Extrêmes

- Inondations (débordement / remontée de nappe / ruissellement)
- Submersions marines
- Feux de forêt
- Avalanches
- Mouvements de terrains par type (glissement, chute de bloc, effondrements liés à la dissolution du gypse ou au phénomène de karstification)
- Torrentiel
- Vagues de chaleur

➔ Identification d'indicateurs à partir desquels les infrastructures peuvent être impactés et de seuils à partir desquels les services de transport peuvent être dégradés

Elaboration des indicateurs d'aléas

Rappel Objectif : Etablir pour chaque aléa des indicateurs de risque physique afin de déterminer des seuils de vulnérabilité fonctionnelle.

- **Inondations (ruissellement, débordement de cours d'eau)**

- Récupération des couches d'aléa d'inondation (Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles, PPRI, etc.)
- Création d'une routine de calcul pour croiser les linéaires avec les infrastructures en zone inondable quelle que soit la couche d'aléa
- Calcul d'indicateurs d'exposition associés (pourcentage de tronçons coupés, longueur de tronçons coupés, etc...)
- Test d'une méthodologie par score pour hiérarchiser les itinéraires entre eux
- Besoin de données pluviométriques infra-journalières
- **Question à trancher dans le futur :** définition d'une zone test pour prise en compte de l'évolution des inondations ?

- **Inondations (remontée de nappe) (BRGM)**

- Récupération des couches d'aléa inondation par remontée de nappe
- Mise à l'échelle régionale et mise à jour de la carte nationale des zones sensibles aux inondations par remontée de nappe (maillage 250 x 250m) compatible à l'échelle régionale
- Croisement de cette carte de sensibilité avec le périmètre d'infrastructures => identifier les tronçons en zones à risque
- Prise en compte du CC : travail sur les événements passés et/ou développement d'indicateurs secondaires en fonction des projections climatiques.

- **Erosion torrentielle, avalanches**

- Récupération des données torrentielles (BD RTM) pour un premier croisement cartographique
- Récupération d'études de vulnérabilité à l'aléa torrentiel et avalanches

Elaboration des indicateurs d'aléas

- **Chutes de blocs**
 - Identification des itinéraires les plus susceptibles d'être affectés par des chutes de bloc
 - Calcul de l'aléa de propagation de la trajectoire des blocs pouvant arriver sur un linéaire d'infrastructures
 - Modulation des probabilités de départ des chutes de blocs à partir de facteurs climatiques déclencheurs (précipitation ; gel-dégel) spécifiques à PACA en quantifiant leur évolution avec le changement climatique
- **Affaissements / effondrements en lien avec la dissolution du gypse et des carbonates**
 - Gypse : croisement de la carte régionale de susceptibilité à la dissolution (échelle 1/100 000) avec le périmètre des infrastructures
 - Carbonates : évaluation de la susceptibilité à la karstification => approche préliminaire sans cartographie,
 - Prise en compte du CC : travail sur les événements passés et/ou développement d'indicateurs secondaires en fonction des projections climatiques
- **Feux de forêt**
 - Récupération couches SIG Inrae et ONF produites dans le cadre de la mission interministérielle « politique de prévention et de lutte contre l'incendie de forêt dans un contexte d'extension et d'intensification du risque dû au changement climatique »
 - INRAE : nombre de feux de forêt de plus de 20ha,
 - Croisement avec les masses de combustibles
 - Croisement cartographique de ces deux sources de données avec les périmètres et linéaires d'infrastructures
- **Retrait/gonflement des sols argileux**
 - Croisement des données d'exposition au RGA de la région avec le périmètre d'infrastructures
 - Analyse macro de la vulnérabilité (les grandes zones de végétation, bâtiments 1 étage) et en les croisant avec la carte d'exposition
 - Prise en compte du CC : en première approche, projection de l'indice SWI aux échéances de la TRACC



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 complexe.**

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

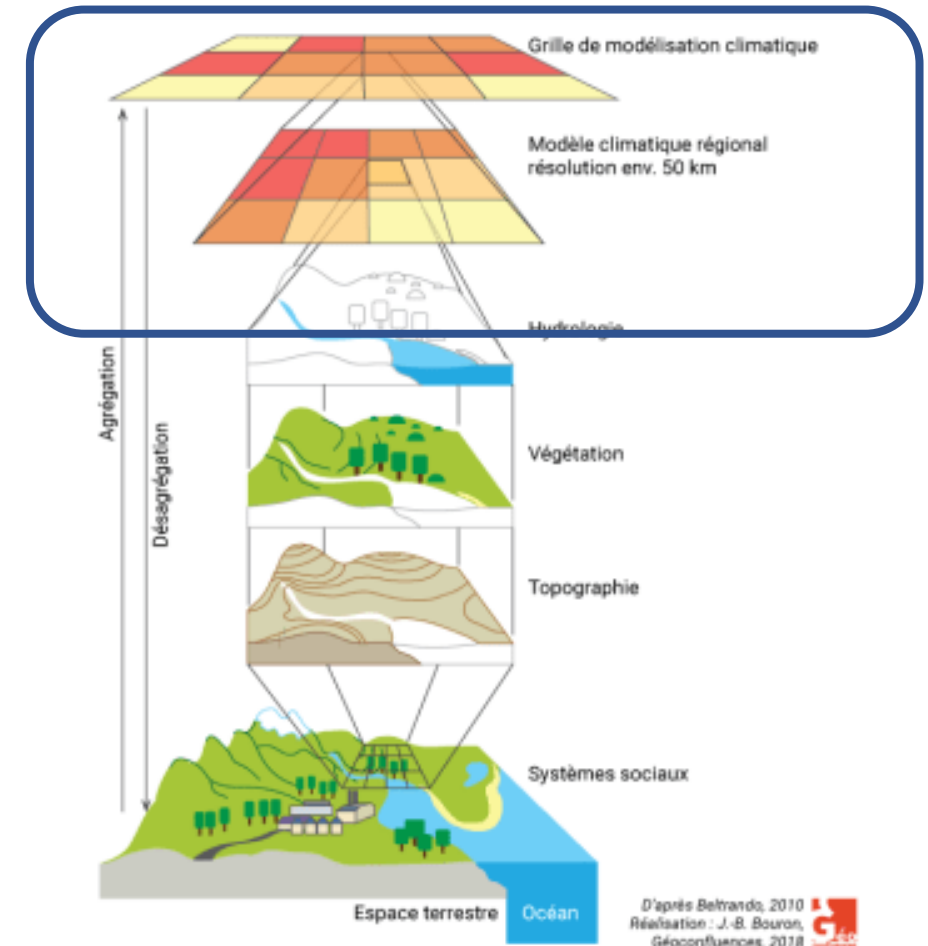
- Utilisation de données brutes issues de modèles climatiques
- Données disponibles en libre accès mais qui nécessitent une expertise pour les utiliser à bon escient.
- Données natives grossières (12km) et biaisées par rapport aux observations (ex. moins de jours de pluie et précipitations intense sous-estimées)

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).

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 ».



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



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, ennoisement par montée des eaux de la mer...)



Merci de votre attention