



# Etude de résilience au changement climatique du réseau VINCI Autoroutes

Albane HAGNERE / Thomas COQUEREL

Direction Technique de l'Infrastructure / Département Risque et Patrimoine

VIABILITÉ HIVERNALE & RÉSILIENCE DES ROUTES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE  
Chambéry, 26 et 27 septembre 2022



# VINCI Autoroutes face au changement climatique



Depuis 2006 | 11 Mds€ d'investissement

2018 | 400M€ de plan d'investissement autoroutier

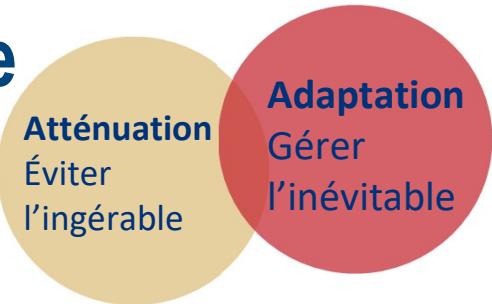
2015 | 2Mds€ plan de relance autoroutier

2010 | 700M€ de paquet vert autoroutier



# VINCI Autoroutes face au changement climatique

- Impacts du changement climatique sur les activités de la construction et de la concession



## RISQUES OPÉRATIONNELS SUR LA CONTINUITÉ D'ACTIVITÉ DUS AUX CHOCKS CLIMATIQUES PONCTUELS



Endommagement du matériel



Santé et sécurité



Rupture de l'activité et des chantiers

## RISQUES DE LONG TERME SUR L'ÉCONOMIE DES CONTRATS DUS À L'ÉVOLUTION LENTE DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES



Dépenses d'exploitation et de maintenance



Performance des ouvrages



Pénalités contractuelles



Inéligibilité aux « financements verts »



Désadaptation des infrastructures

## VINCI Autoroutes face au changement climatique

- Des conséquences immédiates pour les clients et les territoires desservis par nos infrastructures



## Se doter d'un diagnostic adapté:

Réseau



4 443 km

40 autoroutes

3 sociétés

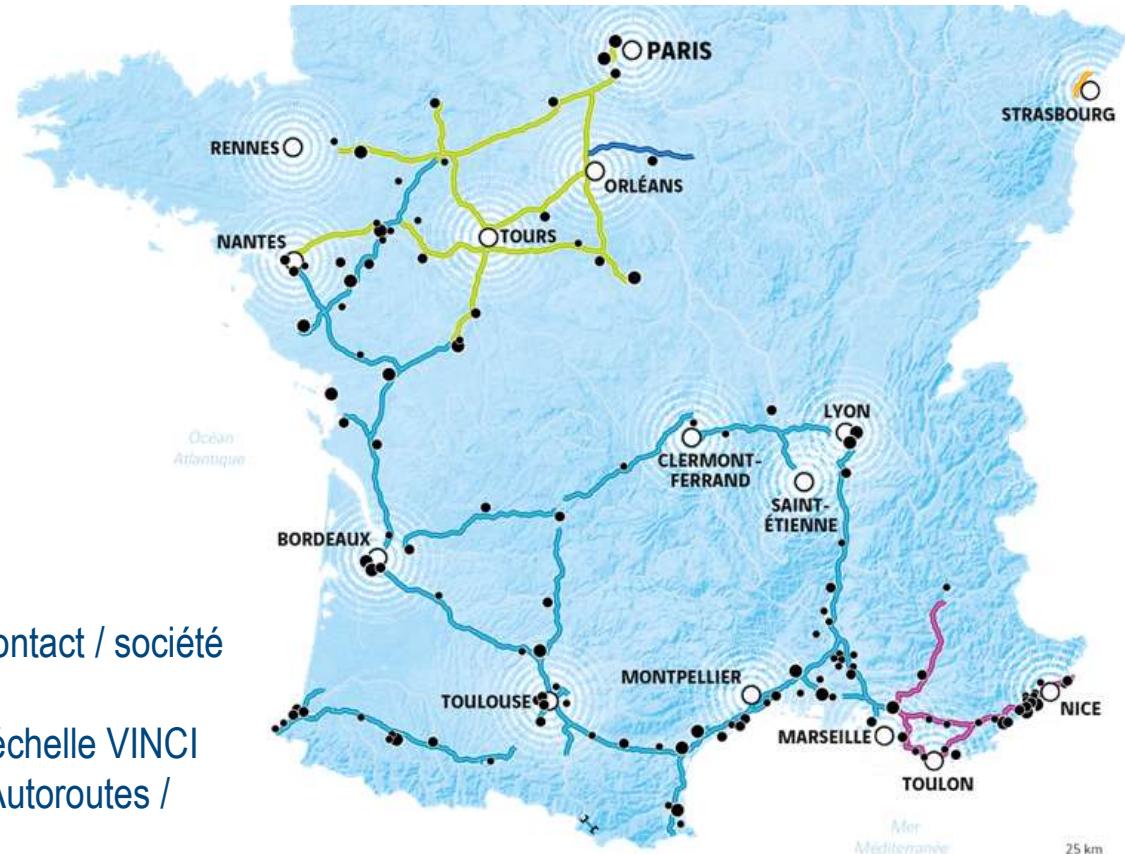


Durée étude : 1 an

avec les équipes de Carbone 4

Chez VINCI Autoroutes : 1 pilote d'étude + 1 point de contact / société

**Livrables** : Projet SIG / Rapport d'étude synthétique à l'échelle VINCI Autoroutes et pour chaque Sociétés Concessionnaire d'Autoroutes / Informations disponibles sous forme de tableau Excel



# Se doter d'un diagnostic adapté:

## ■ Liste des données réseau ASF

### ➤ Chaussées :

- Referentiel\_SIG\_SC\_VA.shp
- trafic PL 2018 ASF.xlsx
- ASF Structures homogenes\_20200625.xlsx
- ASF 2019-10-28 Geometrie.xlsx
- ASF Profils en long ARGUS.xlsx

### ➤ Ouvrages d'Art :

- ASF\_OUVRAGES\_ART\_20200624.shp
- ASF\_MURS\_SOUTENEMENT\_SUP\_2M\_20200624.shp

### ➤ Ouvrages Hydrauliques :

- ASF\_OH\_DE\_COLLECTE-EAU\_PLATEFORME\_20200624.shp
- ASF\_OH\_DE\_TRANSPARENCE\_HYDRAULIQUE\_20200624.shp

### ➤ Ouvrages en Terre :

- /

### ➤ Constructions

- Copie de Inventaire Batiments ASF - Mai 2020.xls
- ASF\_AUVENTS\_20200624.shp

### ➤ PPHM et signalisation :

- ASF\_PPHM\_20200624.shp
- ASF\_ECRANS\_ACOUSTIQUES\_20200624.shp
- ASF\_MAT\_ECLAIRAGE\_20200624.shp
- ASF\_PYLONES\_ET\_MATS\_RADIO\_20200624.shp
- Signalisation\_Verticale\_hors\_PPHM\_20200624.shp



# Se doter d'un diagnostic adapté

**Objectifs** Évaluation de la criticité climatique du réseau autoroutier VINCI Autoroutes

**Approche** Méthode L3 du CEREMA

**Périmètre**

- Évolution des évènements climatiques et de la vulnérabilité physique des différents composants de l'infrastructure
- Volet fonctionnel pour les sections les plus importantes

**14 types d'éléments de patrimoine (chaussées, PPHM, écran etc.)**

**46 caractéristiques techniques différenciant (matériau, pente etc.)**

**11 aléas climatiques**

**Étude pour 1 horizon historique, et 2 horizons futurs selon 2 scénarios**

# Se doter d'un diagnostic adapté

## Aléas



**Extrême chaud**



**Gel**



**Neige**



**Précipitations - ruissellement**



**Inondations – lente et nappe\***

(Fa : Zones inondables-crue centennale)



**Inondations – crue violente\***

(Fa : Zones inondables-crue centennale)



**Glissement de terrain\***

(Fa : Pentes >30%)



**Sécheresse**



**Retrait-gonflement des argiles\***

(Fa : Zones RGA)



**Feux de végétation\***

(Fa : Zones végétalisées)



**Submersion marine\***

(Fa : Zones submersibles –crue centennale)

## Horizons de temps

Horizon proche, centré sur 2035, basé sur l'intervalle 2021-2050

Horizon lointain, centré sur 2085, basé sur l'intervalle 2071-2100

## Scénarios

Scénario RCP 8.5 et RCP 4.5

## Sources

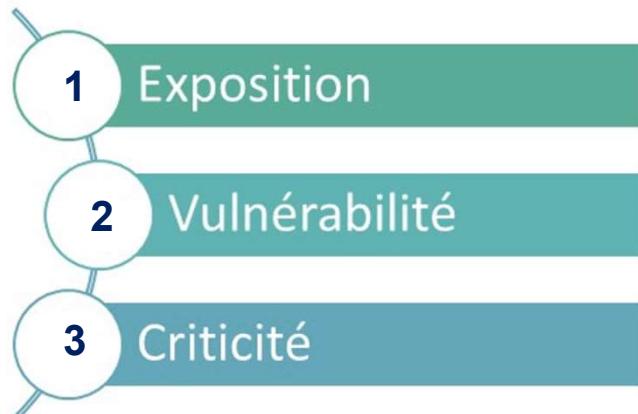
Modèles Eurocordex

World Road Association • Association mondiale de la Route • Asociación Mundial de la Carretera • [www.piarc.org](http://www.piarc.org)

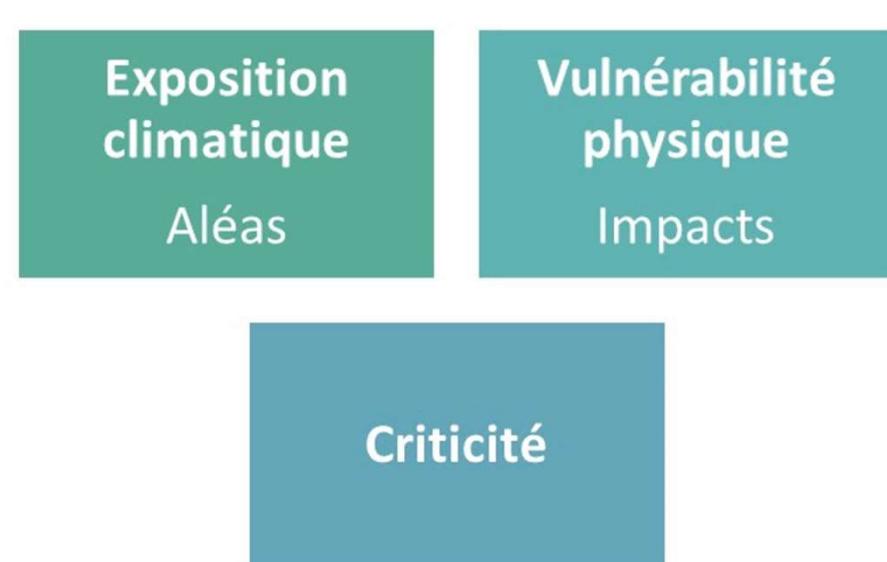
# Se doter d'un diagnostic adapté

Méthode L3 du CEREMA

3 grandes étapes



Cadre méthodologique



# Se doter d'un diagnostic adapté

## Sélection des variables climatiques

### Exposition



Glissement de terrain



Sécheresse



Retrait-gonflement des argiles



Feux de végétation

	Indicateurs climatiques retenus	Facteurs aggravants	Résolution spatiale (climat/Fagg)
Glissement de terrain	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Combinaison : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ EC ruissellement (cf. page précédente)</li> <li>▪ Information spatiale zones propices : si le PR est situé sur une zone à risque (fortes pentes le long de la route), la note est majorée de 2 points sur 10. Dans le cas contraire, la note est ramenée à 0.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pente &gt; 20°</li> </ul>	8km/75m
Sécheresse	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nombre de jours secs consécutifs (périodes de sécheresse) (fréquence)</li> </ul>		8km
Retrait-gonflement des argiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Combinaison : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ EC sécheresse (cf. ci-dessus)</li> <li>▪ Information spatiale zones argileuses : si le PR est situé sur une zone argileuse, la note est majorée de 1 point sur 10.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aléa RGA moyen ou fort</li> </ul>	8km/100m
Feux de végétation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Indice Feu Météorologique (IFM*, intensité)</li> <li>▪ Nombre de jours avec IFM &gt; 60 (fréquence)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zone végétalisée (forêt)</li> </ul>	8km/100m



# Se doter d'un diagnostic adapté

## Évolutions des températures

Notes créées à partir de l'analyse du **nombre de jours anormalement chauds et des extrêmes chauds de température**. Notes agrégées puis normalisées sur l'ensemble du territoire français, sur les trois horizons de temps et les deux scénarios climatiques.

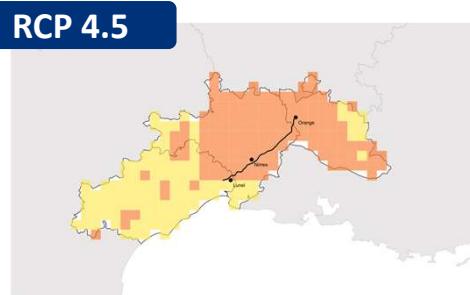
Exposition

### Situation de référence

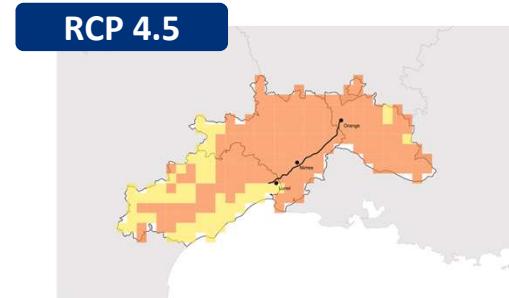


EC faible → EC fort

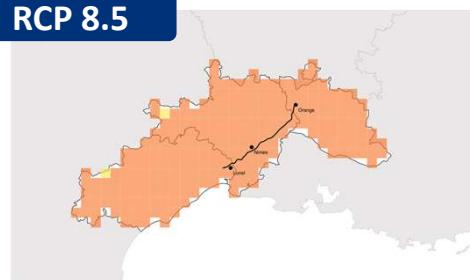
**Horizon proche**  
(2021-2050)



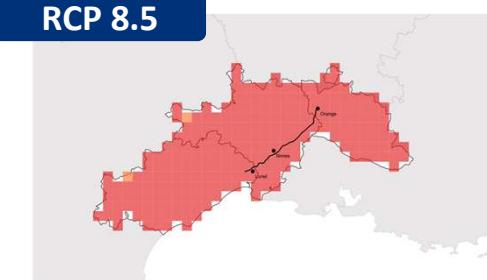
**Horizon lointain**  
(2071-2100)



RCP 8.5



RCP 8.5



# Se doter d'un diagnostic adapté

## Vulnérabilité physique

14 types d'éléments du patrimoine

Béments du patrimoine à étudier dans l'étude Nationale	Enjeu Fonctionnel
Ouvrages en terre	1
Chaussées	2
Ouvrages d'art	3
Murs de soutènement	3
Ouvrages de traitement des eaux de plateforme	4
Ouvrages hydrauliques (eaux extérieures)	5
Signalisation verticale	5
Eclairage	9
Pylônes	8
Auvents	10
Péages	10
Ecrans acoustiques	12
Aires de jeux	16
Bâtimens	16

# Se doter d'un diagnostic adapté

## Vulnérabilité physique

Exemple de valeurs pour l'élément Pont

Synthèse Impacts		OA_PONT	Extrême chaud	
Notes de vulnérabilité de référence	OA_PONT		2	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- dilatation thermique des joints de dilatation / joints de chaussée et des routes [2] et de l'ensemble des matériaux, générant ainsi des déformations ou des contraintes internes aux matériaux [8]</li> <li>- fissuration des bétons : gradient thermique entre l'intrados et l'extrados du pont, valable pour les ouvrages en béton ou mixtes, en particulier s'il y a du béton bilumineux sur le pont, qui est noir et chauffe plus vite [7]</li> <li>- câble de précontrainte peuvent connaître des surtensions [13]</li> <li>- risque de chevauchage suite à la dilatation des matériaux [13]</li> </ul>	

Extrême chaud	Extrême chaud 2	Note additionnelles
PAC01_PICE	Pas de joint de chaussée	Vulnérabilité nulle
PAC01_PIRO		
PSIDP_P5		Vulnérabilité moyenne <span style="color: yellow;">+2,0</span>
PSIDP_P6		<span style="color: yellow;">+2,0</span>
PSIDN_P5	Joint de chaussée présent et donc possibilité de mauvais dimensionnement face aux chaleurs. Désordre possible si il y a bulle suite à une trop forte dilatation des matériaux des ponts.	Vulnérabilité forte <span style="color: yellow;">+3,0</span>
PSIDN_P6		<span style="color: yellow;">+3,0</span>
PSIDA_P5		Vulnérabilité moyenne <span style="color: yellow;">+2,0</span>
PSIDA_P6		<span style="color: yellow;">+2,0</span>
PRAD		Vulnérabilité nulle <span style="color: yellow;">+1,0</span>
VIP	?	<span style="color: yellow;">+1,0</span>

## Vulnérabilité

### Description de l'échelle de la vulnérabilité

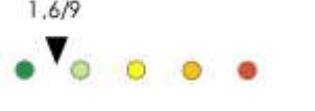
Niveau (d'après couleur)	Type d'impact	Description du type d'intervention de l'opérateur	Exemples
7 - 8 - 9	Critique	Destruction partielle ou totale du système, système inadapté ou système inutilisable nécessitant une reconstruction ou une relocalisation (gros travaux)	Route emportée, parcelllement détruit
4 - 5 - 6	Majeur	Dégâts importants qui nécessitent des aménagements complémentaires ou des travaux	Structure de la chaussée déformée, déformations
1 - 2 - 3	Mineur / modéré	Impacts mineurs palliés par une maintenance préventive / curative "classique" ou des travaux légers	Fissuration et craquelement des revêtements de la route
0	Pas d'impact	Pas d'impact identifié dans la littérature	

# Se doter d'un diagnostic adapté

## Comment les notes de criticités sont calculées

Exemple sur la catégorie Ouvrage d'art face aux inondations, pour l'horizon 2085, scénario 4°C

Criticité

Nom de l'étape	1. Calcul de l'exposition à l'aléa	2. Calcul de la vulnérabilité	3. Calcul de la Criticité
Processus	Collecte des informations d'aléa en fonction de la localisation	Collecte des informations de vulnérabilité en fonction du type et de ses caractéristiques techniques	Agrégation des 2 notes sur la base d'une moyenne géométrique inversée
1 <b>Ouvrage d'art n°1</b> A8 – PK 98,123 Type Pont	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aléa inondations : 1,7/9</li> <li>Présence d'une zone inondable : +2</li> <li>Aléa final : 3,7/9</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vulnérabilité de réf. : 5/9</li> <li>Sous-type PSIOM &gt; Vulnérabilité +2</li> <li><b>Vulnérabilité finale : 7/9</b></li> </ul>	<p>5,6/9</p> 
2 <b>Ouvrage d'art n°2</b> A8 – PK 101,522 Type Buse non hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aléa inondations : 1,2/9</li> <li>Pas de facteur aggravant</li> <li>Aléa final : 1,2/9</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vulnérabilité de réf. : 2/9</li> <li>Pas de sous-type</li> <li><b>Vulnérabilité finale : 2/9</b></li> </ul>	<p>1,6/9</p> 

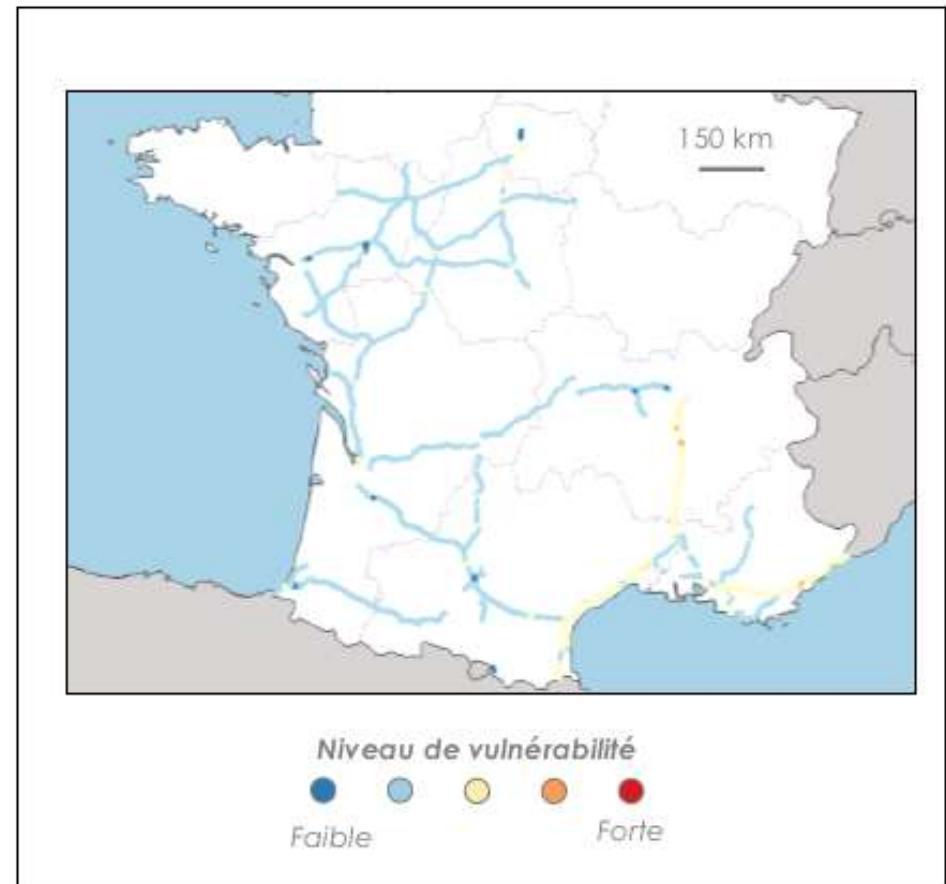
# Se doter d'un diagnostic adapté

## Exemple d'analyse

Chaussées / Vulnérabilité /  Extrême chaud

Type	Impacts attendus	Niveau de vulnérabilité de référence
Chaussée	Dilatation de tous les matériaux composants la chaussée [13]	
Couche de roulement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déformations transversales suite aux ramollissements des matériaux bitumineux, orniérage accru, d'une manière plus forte si le trafic des PL est important [13]</li> <li>- Orniérage dû à l'intensité du trafic [2] [13] : les zones de passage de poids lourds (bandes de roulement) sont plus exposées [11] [13] [7]</li> <li>- Ramollissement des chaussées en matériaux bitumineux surtout lors de vagues de chaleur prolongées avec une température qui reste élevée la nuit : orniérage, déformations [11]</li> <li>- Les routes en pente (&gt;5%) et exposées sud en matériaux bitumineux sont encore plus sensibles à l'orniérage [13]</li> <li>- Les joints des chaussées en béton peuvent se soulever [11]</li> <li>- les couches de roulement jeunes (moins d'une année) sont plus sujettes à l'orniérage et plus vulnérables aux canicules [13]</li> </ul>	1 à 4 : modéré à majeur
Structure (ensemble des couches situées sous la couche de roulement actuelle)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dilatation des bétons qui peuvent se mettre en butée et provoquer le soulèvement de la chaussée [13]</li> <li>- Déformations transversales suite à la dilatation des matériaux bitumineux, orniérage accru [13]</li> <li>- Diminution de la "durée de vie" de la structure, en raison de l'augmentation de sa température équivalente de dimensionnement [13].</li> </ul>	

Types d'impacts attendus en fonction des caractéristiques techniques



Note de vulnérabilité du réseau

# Se doter d'un diagnostic adapté

## Exemple d'analyse

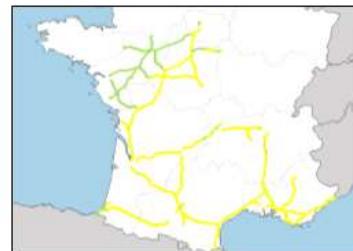
Chaussées / Criticité /



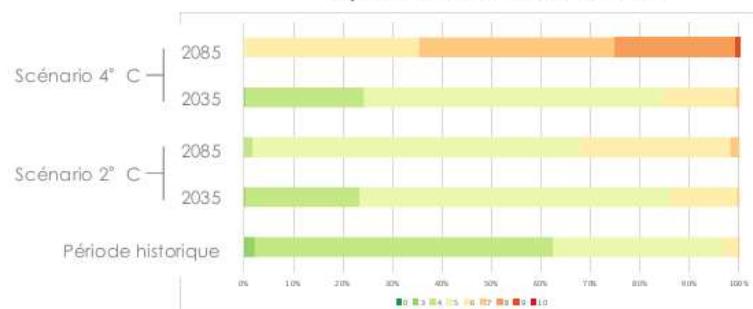
Extrême chaud



2035 selon le scénario 4 ° C  
(2021-2050 selon le scénario RCP 8.5)



Répartition des notes de criticité



Niveau de criticité

- Faible
- Moyen
- Forte
- Forte

2085  
selon le  
scénario  
2 ° C  
(2071-2100  
selon le  
scénario  
RCP 4.5)



2085  
selon le  
scénario  
4 ° C  
(2071-2100  
selon le  
scénario RCP  
8.5)



Source : Analyse Carbone 4 sur la base de données Vinci Autoroutes, CEREMA et autres (voir annexes techniques pour plus de détails).  
NB : Les notes de criticité sont calculées par moyenne géométrique pondérée des notes de vulnérabilité et d'exposition à l'atmosphère. Les notes de vulnérabilité sont établies en fonction de l'atmosphère. Les notes d'exposition climatique sont calculées par Carbone 4 à partir des prévisions climatiques de la base ORAS de Météo France principalement (voir annexes techniques). Le niveau de criticité potentiel, sur la base des données étudiées. Elle n'est pas liée pour une analyse technique plus fine du dimensionnement de l'ouvrage/élément.

## Ce que le diagnostic a mis en évidence...

- Le niveau de criticité du réseau routier national concédé pour plusieurs aléas climatiques à 2 projections RCP 4,5 et 8,5
- Impacts potentiels du changement climatique sur les différents éléments du patrimoine
- Une vision macro (de type screening) et plusieurs points de vigilance permettant d'éventuelles prises de décisions

## ... et perspectives

- Affiner les études :
  - avec des indicateurs climatiques adaptés aux différents éléments du patrimoine (ouvrages hydrauliques ...)
  - Prise en compte des effets de seuils
  - Assurer une projection de la fréquence et de l'intensité des crises à échéance 2035
- Défit du déploiement de la résilience au changement climatique sur le réseau stratégique national (court, moyen, long terme).

## Mais sans attendre :

# TOUS MOBILISÉS !

L'urgence écologique s'impose à tous. VINCI Autoroutes a décidé de prendre toute sa part à cet effort collectif sans précédent. Pour accompagner la transition vers l'autoroute bas carbone, nous nous engageons à réduire notre empreinte environnementale et à accélérer la transformation des usages de nos clients et partenaires, avec des objectifs volontaristes fixés à l'horizon 2030<sup>(1)</sup>.

## AMBITION ENVIRONNEMENT 2030



### CHANGEMENT CLIMATIQUE

- Réduire de 50% nos émissions de CO<sub>2</sub><sup>(2)</sup>, en transformant nos véhicules et nos bâtiments.
- Inciter les sous-concessionnaires à utiliser 40% d'énergie renouvelable sur les aires.
- Équiper 100% des aires de services avec des bornes de recharge électrique.
- Développer le covoiturage et les transports collectifs sur autoroute.



### ÉCONOMIE CIRCULAIRE

- Valoriser 100% des déchets courants d'exploitation et de nos chantiers.
- Réutiliser 90% des agrégats d'enrobés produits par nos chantiers.
- Inciter les sous-concessionnaires à mettre en place des aires 0 plastique à usage unique.
- Encourager les pratiques de tri de nos clients par des campagnes et des équipements adaptés.



### MILIEUX NATURELS

- Réduire de 10% la consommation d'eau, grâce au suivi et à l'optimisation des équipements.
- Bannir l'usage des produits phytosanitaires de notre réseau<sup>(3)</sup>.
- Éviter, réduire ou compenser l'impact de notre activité sur les écosystèmes.
- Instaurer un plafond de consommation d'eau sur 100% de nos grands chantiers.