

ANALYSE DES RISQUES LIES AUX EVENEMENTS CLIMATIQUES EXTREMES SUR LES INFRASTRUCTURES ET SERVICES DE TRANSPORT

NOTE DE SYNTHÈSE METHODOLOGIQUE ET EXEMPLE D'APPLICATION



Auteurs

Cette note a été rédigée par Julie Daunay et Violaine Lepousez (Carbone 4) et Marie Colin et Fabien Palhol (Cerema).

Elle résume les principaux éléments méthodologiques et résultats (anonymisés) de l'étude menée par Carbone 4 pour le compte du Cerema. Un rapport méthodologique complet est disponible auprès du Cerema.

Source photos p1 : DIR Med

Contact

Carbone 4 : communication@carbone4.com

Cerema : fabien.palhol@cerema.fr

Remerciements

Les auteurs de l'étude tiennent à remercier toute l'équipe projet à Carbone 4 et au Cerema, Stéphane Leroux à la DIR Med, ainsi que les agents de la DGITM qui ont suivi et contribué à l'étude : André Leuxe, Rémi Pochez, Khaled Guellati, Olivier Nouhen, Hélène Klich, et Marie-Thérèse Goux.

A propos des auteurs :

Le **Cerema** (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) est un établissement public placé sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de la Cohésion des territoires. Le Cerema a pour mission d'apporter un appui scientifique et technique renforcé, pour élaborer, mettre en œuvre et évaluer les politiques publiques de l'aménagement et du développement durable, auprès de tous les acteurs impliqués (État, collectivités territoriales, acteurs économiques ou associatifs, partenaires scientifiques).

Carbone 4 est un cabinet de conseil spécialiste des enjeux climatiques. Créé en 2007 par Alain Grandjean et Jean-Marc Jancovici, Carbone 4 accompagne les acteurs publics et privés vers une économie bas-carbone et résiliente au changement climatique. Depuis l'origine, la raison d'être de notre cabinet est de faciliter la compréhension des déterminants de la transition climatique, de porter ces enjeux à la connaissance de tous et de les « remonter » à des niveaux de décisions élevés et d'embarquer les acteurs dans le changement en les dotant de diagnostics et d'outils opérationnels adaptés, et en déployant nos compétences en matière de prospective et de co-construction de scénarios.

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

La France s'est dotée d'un **Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC)** en 2011. **Les infrastructures et services de transport sont au cœur des réflexions**, car très sensibles aux impacts du changement climatique ; leur exploitation et leur gestion à moyen et long terme est « climato-dépendante ». Le volet infrastructures et systèmes de transport du PNACC comprend donc un objectif de construction d'une **méthodologie d'analyse de risque de ces réseaux face aux impacts du changement climatique**. Le **Cerema a élaboré cette méthodologie** appelée « **L3¹** » et a souhaité la tester sur plusieurs réseaux de transports français. **Carbone 4 a mené une de ces applications** en 2017 et a proposé des pistes d'améliorations pour l'application future de cette méthode à d'autres réseaux de transport. **Nous décrivons ici les grands principes méthodologiques, résultats et principaux enseignements de cette étude.**

La zone test choisie est **le réseau routier exploité et entretenu par la Direction interdépartementale des routes de Méditerranée (DIR Med)**. Il est composé de plus de 750 km de réseaux routiers et 1000 ouvrages d'arts, sur **une aire géographique couvrant 9 départements**.

L'étude a été suivie par un **comité de pilotage composé du Cerema, Carbone 4 et DIR Med ainsi que différents membres de la Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer (DGITM)** du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire.

Ce type d'analyse aboutit à **des cartes des niveaux de risques** croisant des enjeux liés aux infrastructures et aux services de transport sur l'ensemble du réseau routier, pour plusieurs événements climatiques, avec une vision actuelle et une vision prospective (intégrant l'évolution des événements climatiques dans le futur). **Ces résultats sont utiles à deux titres :**

- pour mieux arbitrer sur les **budgets d'entretien** des sections de route et sur des ouvrages d'art selon leur niveau de risque actuel : des ajustements à la hausse pourraient être réalisés pour les systèmes identifiés comme les plus à risque,
- et pour mieux anticiper les **budgets d'investissements** qui pourraient être alloués ou ré-évalués en priorité.

Ces analyses de risques liés aux événements climatiques extrêmes associés au changement climatique sont **une approche très utile aux gestionnaires d'infrastructures pour définir leur politique d'investissement, dans une optique d'optimisation des dépenses**. Elles doivent faire partie des considérations globales des acteurs des réseaux de transport, au même titre que l'adaptation aux

¹ Analyse des risques liés aux événements climatiques extrêmes sur les infrastructures, systèmes et services de transport – Recueil de concepts – Rapport d'étude – Version d'avril 2015, dit L3

nouveaux usages (économie, évolutions démographiques, tourisme...) ou aux nouvelles mobilités (smart city, véhicules autonomes...).

LES GRANDES LIGNES METHODOLOGIQUES

Définition et cadre d'analyse

Schématiquement, **un réseau de transport peut être décomposé en systèmes** : ouvrages d'art, ouvrages en terre, gares, ports, aéroports, écluses, chaussées, quais, caténaires... **Les événements climatiques extrêmes** sont ici entendus comme des événements climatiques exogènes aux réseaux de transport. **Ils impactent les réseaux de transport, qui ont une vulnérabilité physique** plus ou moins forte en fonction des caractéristiques de leurs composants, de leur résistance, de leur comportement, etc.

Pour un réseaux de transport, les enjeux sont le **maintien de ses fonctionnalités**, à savoir notamment la performance (temps de trajet) et la connexion liés aux déplacements. Ces enjeux sont également appelés **vulnérabilités fonctionnelles**.

Cette analyse du croisement entre événements extrêmes et vulnérabilités physiques (ou fonctionnelles) des systèmes de transport est appelée **analyse de la criticité physique (ou fonctionnelle)**. **L'analyse croisée des criticités physique et fonctionnelle est appelée analyse de risque**.

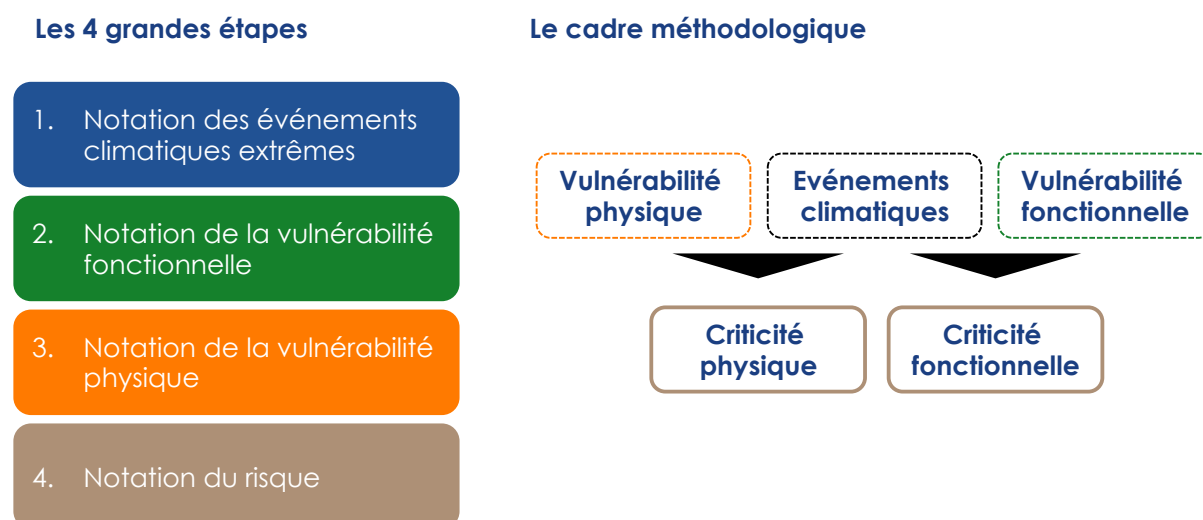


Figure 1 Le cadre méthodologique principal de l'analyse de risque selon le L3

Application à la DIR MED

11 événements climatiques extrêmes ont été étudiés, à travers plus de 15 variables climatiques qui permettent de capturer l'évolution de l'intensité, fréquence ou durée de chacun des événements (voir annexe pour la liste des événements climatiques).

Pour étudier la distribution spatiale historique de ces événements et leur évolution future, plusieurs bases de données ont été utilisées : **le portail DRIAS** pour les variables climatiques, le portail BDI pour les inondations, le portail Georisques pour les mouvements de terrain, etc. **Les projections futures de ces événements sont analysées aux horizons 2021-2050 et 2071-2100 pour 3 scénarios du GIEC (RCP 2.6, 4.5 et 8.5).** Les données ont été consolidées, analysées et cartographiées par Carbone 4.

L'objectif étant d'aboutir à des notes de risque de 1 à 16, les informations climatiques sont consolidées puis cotées sur une échelle de 1 à 4 (4 étant le niveau le plus élevé de l'événement climatique sur la région considérée).

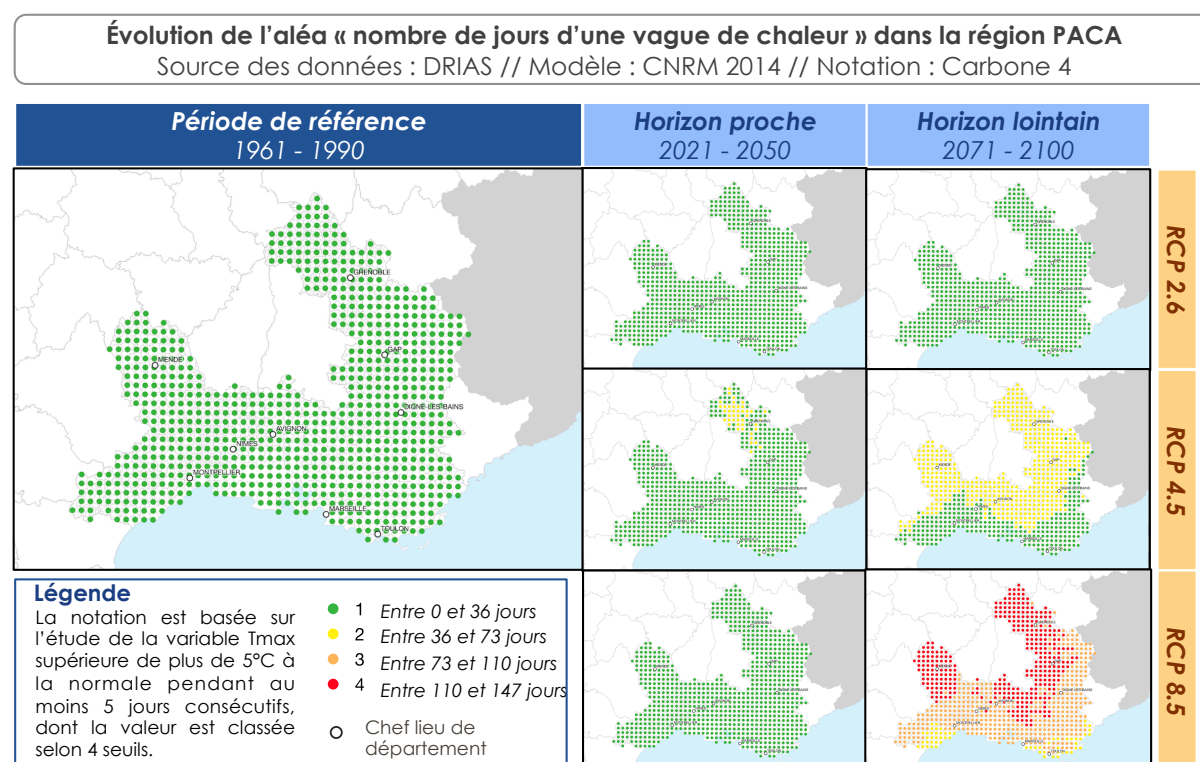


Figure 2 Exemple de notation cartographiée des événements climatiques sur la zone d'intérêt (source Cerema/Carbone4)

Pour la **vulnérabilité physique**, il a été nécessaire de lister les systèmes qui composent le réseau : sections de routes, ponts, etc., et de construire **des profils de vulnérabilités pour chacun de ces systèmes**. Pour chaque événement climatique et chaque système, le niveau de vulnérabilité est coté de 1 à 4 (4 correspondant à un niveau d'impact potentiel très élevé nécessitant une reconstruction/redimensionnement, donc des travaux conséquents). Pour chaque système, ont été identifiées des **caractéristiques techniques** dont la présence ou l'absence engendre des niveaux différents de vulnérabilité. Par exemple pour la route, le niveau d'étanchéité du revêtement va influencer sur l'importance des impacts potentiels dus aux précipitations. **9 facteurs de vulnérabilités** ont été retenus pour

l'ensemble des systèmes et événements climatiques de la zone d'application (les facteurs de vulnérabilité sont à adapter au type de réseau et à ses caractéristiques techniques).

Des notes de vulnérabilités de 1 à 4 sont donc obtenues pour chaque section du réseau en fonction du type de route, du type d'ouvrages d'art présent et de plusieurs de leurs caractéristiques techniques.

Les profils de vulnérabilités ont été co-construits par le Cerema, Carbone 4 et la DIR Med. Les données techniques ont été fournies par la DIR Med. Les analyses et cartographies sont réalisées par Carbone 4.

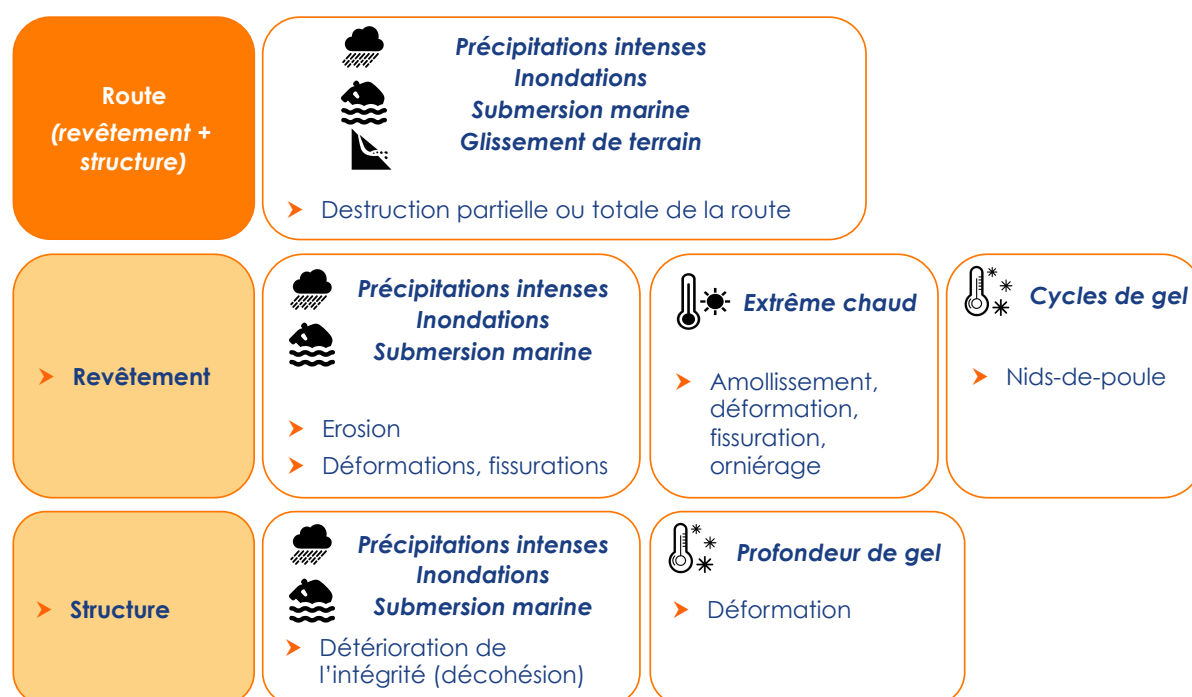


Figure 3 Exemple de dommages potentiels sur les systèmes de la route, pour plusieurs événements climatiques (source Cerema/Carbone 4)

Pour la **vulnérabilité fonctionnelle**, plusieurs méthodes ont été testées. La méthode retenue combine **deux composantes** : le **risque de coupure du trafic** du fait de l'impact direct de l'événement climatique (ex. inondations) et/ou de l'impact indirect du fait de la vulnérabilité physique du système (système très dégradé) et **l'enjeu économique de la section routière considérée**.

Les informations sont ensuite notées de 1 à 4. Pour chaque section, les données collectées auprès de la DIR Med ont été analysées et cartographiées.

L'analyse de risque repose ensuite sur le croisement des informations d'événements climatiques et de vulnérabilité. Les notes résultantes sont donc comprises entre 1 et 16, et sont spécifiques à chaque tronçon et à ses caractéristiques propres : localisation et type de système sous-jacent.

Pour chaque événement climatique et chaque système étudié, les cartes mettent en évidence les sections présentant un niveau de risque élevé actuellement et illustrent le niveau de risque général du réseau. Ces informations sont très utiles pour partager une vision spatiale du niveau de risque à la fois sur les infrastructures et sur les fonctions du réseau. Les cartes prospectives permettent de se projeter sur l'évolution à moyen et long terme de ce risque et d'identifier les tronçons où les dommages pourraient être plus élevés dans le futur. Ces cartes permettent également d'alimenter le dimensionnement des budgets d'entretien et d'investissement et les processus opérationnels sur le terrain.

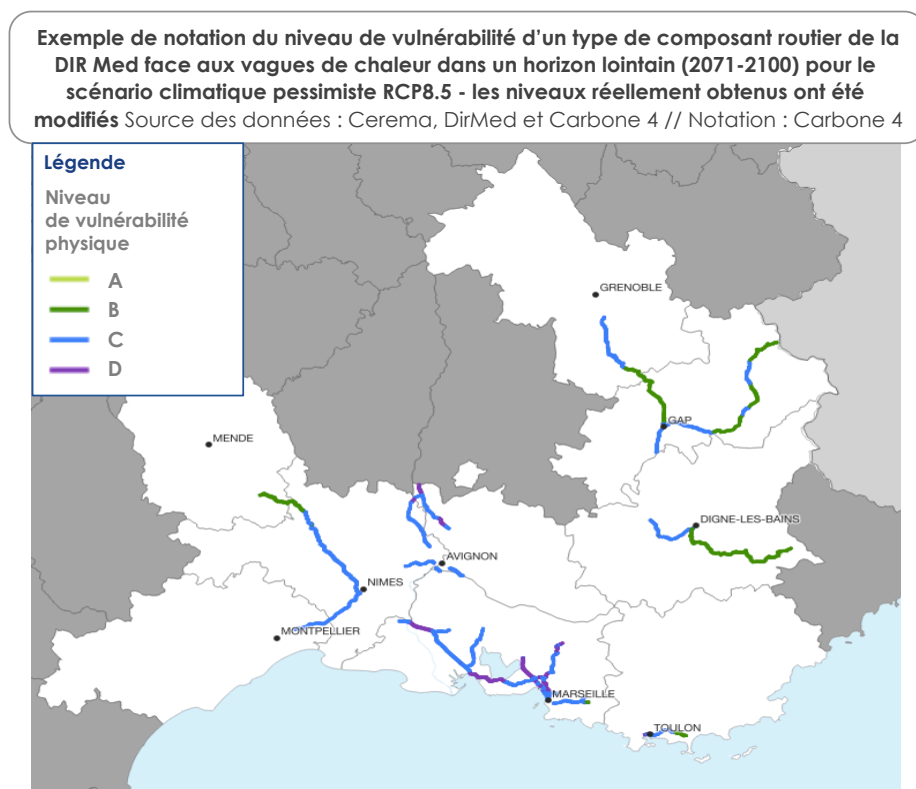


Figure 4 Exemple de carte de synthèse de la vulnérabilité physique pour le réseau avec valeurs illustratives (source Cerema/Carbone4)

PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

L'analyse menée à partir de la méthodologie L3 a permis d'évaluer les **niveaux de criticités physique et fonctionnelle pour les réseaux routiers** de la DIR Med. L'ensemble des résultats (sous forme de cartes PDF, SIG et excel) est fourni au Cerema et à la DIR Med qui pourra les exploiter de manière plus détaillée.

Un ensemble de recommandations a été fourni pour faire évoluer la méthodologie L3 et la rendre **accessible aux gestionnaires qui souhaiteront réaliser une analyse de risque sur leurs réseaux ou ouvrages**. Elles sont recensées dans un rapport dédié.

Les partenaires de l'étude ont également émis des recommandations vis-à-vis du manque d'informations sur l'évolution des événements climatiques indirects de type

inondations ou mouvements de terrain. Ces événements climatiques sont très impactants et résultent surtout d'une combinaison de différents paramètres climatiques, ainsi leur évaluation nécessite des modélisations plus poussées qui aujourd'hui ne couvrent pas l'ensemble du territoire français.

Enfin la réalisation de cette étude a nécessité de combiner des compétences multiples : en infrastructures et en services de transport, en données climatiques, et en traitement de données.

ANNEXES

Evénements climatiques extrêmes étudiés et variables associées

	<i>Evénement climatique extrême</i>	<i>Variable identifiée pour approcher l'événement</i>	<i>Caractérisation</i>
1	Extrême chaud de la température maximale	Extrême chaud de la température maximale quotidienne (°C) = 90ème centile des TXi (Tmax quotidienne du jour i)	Intensité
2	Nombre de jours anormalement chauds	Nombre de jours anormalement chauds (température maximale supérieure de plus de 5°C à la normale) – NBJ	Fréquence
3	Nombre de jours d'une vague de chaleur	Nombre de jours de vague de chaleur (température maximale supérieure de plus de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs) - NBJ	Fréquence + durée
4	Extrême froid de la température minimale	Extrême froid de la température minimale (10ème centile de la température minimale) - °C	Intensité
5	Nombre de jours anormalement froids	Nombre de jours anormalement froids (température minimale inférieure de plus de 5°C à la normale) - NBJ	Fréquence
6	Nombre de jours d'une vague de froid	Nombre de jours de vague de froid (température minimale inférieure de plus de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs) – NBJ	Fréquence
7	Précipitations intenses	Nb de jours de fortes précipitations (cumul de précipitations >= 20 mm) – NBJ	Fréquence
8	Précipitations moyennes des jours pluvieux	Précipitations quotidiennes moyennes en ne retenant que les jours pour lesquels les précipitations excèdent 1 mm / jr – mm / jour	Intensité
9	Périodes de sécheresse	Période de sécheresse (maximum de jours consécutifs avec cumul de précipitations < 1 mm) – NBJ	Intensité + durée
10	Nombre de jours de gel	Nombre de jours de gel (température minimale <= 0°C) – NBJ	Fréquence
11	Nombre de jours sans dégel	Nombre de jours sans dégel (température maximale <= 0°C) – NBJ	Intensité
12	Nombre de jours de chutes de neige	Nombre de jours de chutes de neige > 20 cm - NBJ	Fréquence
13	Feux de forêt	Indice Forêt Météo (IFM) – indice de niveaux	Occurrence spatiale

14	Vent fort	Nb de jours où le vent maximal est supérieur à 120 km/h – NBJ	Intensité
15	Inondations	Nb de jours de fortes précipitations (cumul de précipitations >= 20 mm) – NBJ	Intensité + durée
		Localisation des zones inondables – indice de niveaux 0-1	Occurrence spatiale
16	Submersion marine	Topographie (données MNT)	Occurrence spatiale
		Élévation du niveau de la mer	Intensité
17	Glissements de terrain	Nb de jours de fortes précipitations (cumul de précipitations >= 20 mm)	Intensité + durée
		Localisation des glissements de terrain	Occurrence spatiale

Les systèmes composant le réseau routier de la DIR Med

