

RÉSILIENCE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ENJEUX POUR LES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

Le changement climatique est devenu une réalité qui affecte de plus en plus les infrastructures de transport. Ses effets se font déjà sentir et mettent en lumière la problématique de l'adaptation de nos réseaux. Plutôt que de considérer les stratégies à mettre en œuvre comme des coûts subis, cet article présente un aperçu des bénéfices et des opportunités liés aux infrastructures résilientes.



© ARNAUD BOUJSSOU/TERRA

Les aléas, qu'ils soient d'origine naturelle ou non, affectent les différentes composantes des territoires (endommagements et destructions de réseaux, de bâtiments, d'espaces agricoles ou naturels...) et perturbent leurs fonctionnalités (transport et déplacement, habitat, vie sociale et économique, fonctionnalités écosystémiques...). Selon un rapport de 2020 du Forum économique mondial¹, la majorité des principaux risques actuels en termes de probabilité ou d'impact peut, d'une manière ou d'une autre, affecter fortement nos territoires et nos réseaux de transport. Il s'agit par exemple des conditions météorologiques extrêmes, de l'échec de l'action climatique, des catastrophes naturelles, des cyberattaques ou encore des pandémies...

Pour répondre à ces enjeux, il est nécessaire d'intégrer la résilience dans les modes de fonctionnement de tous les acteurs, quelle que soit l'échelle d'application.

Le mot résilience est issu des domaines de la physique, où il caractérise la résistance aux chocs d'un matériau, et de la psychologie, où il renvoie à la capacité d'un individu à se construire et vivre de

manière satisfaisante en dépit de circonstances traumatiques. Ce mot se retrouve aujourd'hui utilisé dans de nombreux autres domaines et sa définition a été étendue pour inclure beaucoup de concepts, parfois éloignés des définitions originales, selon les besoins des domaines dans lesquels il est employé. À la mode, il en est venu cette année à dépasser « durable » ou « environnement » dans les recherches sur internet et est parfois devenu un mot « fourre-tout ».

Pour autant, cela ne doit pas occulter les enjeux réels et concrets pour les acteurs des territoires et des réseaux de transport à s'approprier le concept de résilience et à l'utiliser au quotidien. La définition suivante semble intéressante pour apporter des bénéfices dans les pratiques : la résilience est la capacité de repousser, de se préparer, de prendre en compte, d'absorber, de se remettre et de s'adapter avec toujours plus de succès à des événements indésirables réels ou potentiels. Ces événements sont soit des catastrophes, soit des processus de changement dont l'issue est catastrophique et qui peuvent avoir des causes humaines, techniques ou naturelles².

AUTEURS

Fabien Palhol
Directeur de la Recherche
et du Développement – ITM
Cerema

Marie Colin
Responsable de projet
Résilience et infrastructures
Cerema

Cette définition assez complète renvoie à la notion de crise (catastrophe ; préparation, gestion et récupération). Pour traiter le sujet de la résilience des infrastructures de transport au changement climatique, cet article propose d'en avoir une lecture extensive, afin de prendre en compte les dimensions multifactorielles et multi-temporelles des risques et des réponses possibles. Il s'agit ici de pouvoir gérer au mieux les interdépendances et la complexité des territoires – et des infrastructures qui les desservent – qui accroissent les contraintes à prendre en compte (environnementales, sociales, économiques, sanitaires, technologiques...). Il s'agit d'intégrer dans les réflexions les évolutions prévisibles ou non : liées au changement climatique bien évidemment, mais cela peut s'appliquer à toutes les évolutions envisageables, comme celles liées au vieillissement, à l'émergence de nouveaux usages ou de nouvelles technologies, ou encore aux évolutions socio-économiques et sociétales.

LES INFRASTRUCTURES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les infrastructures de transport doivent aujourd'hui faire face à de nombreux événements climatiques extrêmes dont les effets, directs ou indirects (inondations, mouvements de terrain...), endommagent ou détruisent routes (photo 1), ouvrages d'art ou encore voies ferrées. Ces événements affectent également les fonctionnalités des réseaux à plus ou moins court terme alors même que ces infrastructures jouent un rôle clé pour les territoires en reliant les communautés, en façonnant leurs économies et en soutenant la libre circulation des biens, des personnes et des services.

On observe depuis le début du XX^e siècle une augmentation des catastrophes naturelles liées aux événements climatiques, mais aussi à l'accroissement des populations et de l'urbanisation dans les zones exposées aux risques. Selon une récente étude du Commissariat général au développement durable³, 180 événements naturels dommageables de classe 3 ou plus (au moins 10 morts ou plus de 30 M € de dommages matériels) ont été recensés en France entre 1900 et 2017 (figure 1). Parmi ceux-ci, neuf sur dix étaient liés aux conditions climatiques : environ deux tiers des phénomènes climatiques correspondent à des inondations et 20 % relèvent de phénomènes atmosphériques (cyclone, ouragan, tempête).

Au niveau international, selon les chiffres du Bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophes (UNISDR) les pertes économiques dues aux phénomènes météorologiques extrêmes ont augmenté de plus de 150 % au cours des 20 dernières années par rapport à la période 1978-1998, pour atteindre 2 245 Md \$. Si les effets de ces

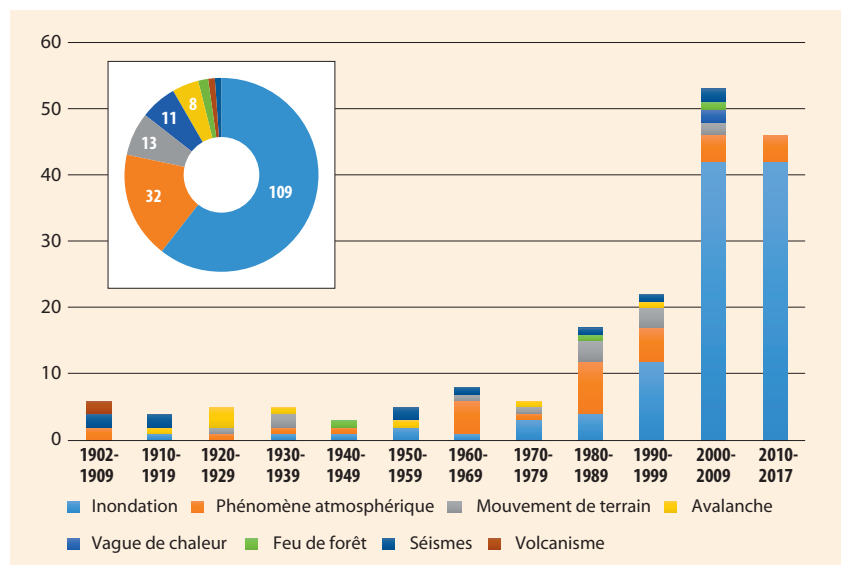
extrêmes climatiques sont encore relativement modérés en France, les exemples d'impacts à grande échelle se multiplient dans le monde. À titre d'exemple, suite aux dommages causés au réseau routier du Queensland en Australie entre 2010 et 2013 par les effets combinés des épisodes El Niño et La Niña, 8 741 km du réseau contrôlé par l'État ont dû être entièrement ou partiellement reconstruits pour un montant d'environ 4,5 Md \$.

Le manque d'infrastructures résilientes a des impacts sur les ménages et les entreprises. Les aléas – qu'ils soient d'origine naturelle ou non – endommagent les actifs et perturbent les fonctionnalités des infrastructures, ce qui a des répercussions importantes sur les utilisateurs et l'économie d'un territoire ou d'un pays. Selon les régions, les risques naturels sont à eux seuls responsables de plus de 70 % des perturbations.

-Photo 1-
Inondations, glissements de terrain... les aléas climatiques affectent déjà les territoires.



-Figure 1-
Nombre d'événements dommageables recensés en France depuis 1900 (les phénomènes atmosphériques rassemblent les ouragans, cyclones et tempêtes).



SOURCES : MTE/DGPR, BD GASPAR, DERNIERS ARRÊTÉS PRIS EN COMPTE, PUBLIÉS AU JO LE 24/09/2017 ; AFP ; CCR ; FFSA/GEMA ; METEO-FRANCE.

Impacts du changement climatique en Europe

Le changement climatique affecte déjà toutes les régions d'Europe, mais ces impacts ne sont pas homogènes. Les effets observés et prévus sur les conditions climatiques, l'environnement ou l'économie en lien avec le changement climatique ont été étudiés par l'Agence européenne pour l'environnement (EEA) pour les grandes zones biogéographiques représentées par la carte. Les informations reprises ici à titre d'exemples, qui concernent uniquement le territoire métropolitain, sont issues du rapport *Climate change, impacts and vulnerability in Europe* publié par l'EEA en 2017.

Zones côtières et maritimes :

- élévation du niveau de la mer
- augmentation de la température à la surface de la mer
- acidification de l'océan
- migration des espèces maritimes vers le nord
- augmentation des menaces et des possibilités pour la pêche

Région atlantique :

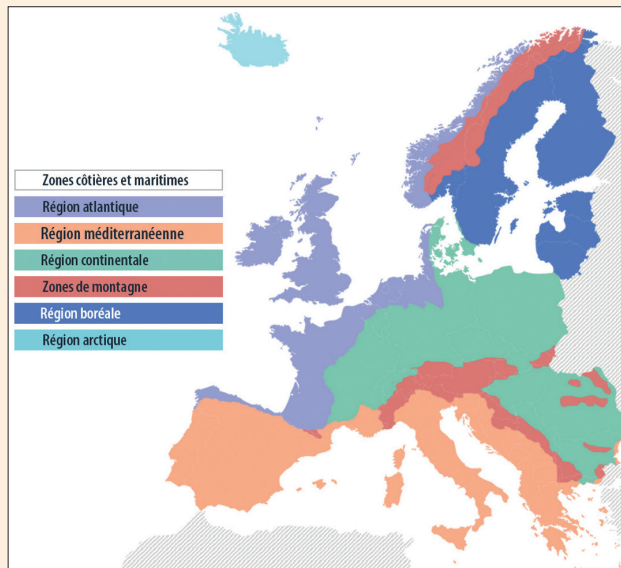
- multiplication des fortes pluies
- augmentation des débits fluviaux
- augmentation du risque d'inondation
- risque accru de dégâts causés par les tempêtes
- multiplication des intempéries

Région continentale :

- multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes
- réduction des précipitations en été
- risque accru d'inondations
- risque accru de feux de forêt
- augmentation des besoins en énergie pour le refroidissement
- réduction de valeur des forêts

Région méditerranéenne :

- multiplication des périodes de grande chaleur
- réduction des précipitations et des débits fluviaux
- risque accru de sécheresse
- augmentation du risque de perte de biodiversité
- risque accru de feux de forêts
- augmentation de la concurrence pour l'eau, des besoins pour l'agriculture
- baisse du rendement des cultures et conditions d'élevage plus difficiles
- impacts négatifs sur la plupart des secteurs économiques



Zone de montagne :

- augmentation de la température supérieure à la moyenne européenne
- risque accru de chutes de pierres et de glissements de terrain
- réduction du nombre et de la taille des glaciers
- déplacement des plantes et des animaux à des altitudes plus élevées
- augmentation significative du risque d'extinction d'espèces
- impacts possibles sur l'hydroélectricité

-Tableau 1-
Exemples d'effets directs et indirects liés aux impacts des aléas climatiques et du changement climatique sur les infrastructures de transport.

	Effets directs	Coûts d'adaptation	Effets indirects
Pour les entreprises	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de ventes • Retards dans les approvisionnements et livraisons • Augmentation des coûts d'usage 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des stocks • Choix de sites plus coûteux à proximité de clients ou d'autres infrastructures par exemple 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstacles à l'entrée sur les marchés et réduction des investissements • Réduction de la concurrence et de l'innovation • Incapacité de fournir des services et des biens à la demande • Diminution de la compétitivité sur les marchés internationaux
Pour les ménages	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des embouteillages et perte de temps • Augmentation des dépenses de carburant 	<ul style="list-style-type: none"> • Dépenses supplémentaires liées à d'autres modes de transport 	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution de l'air et impacts sanitaires • Accès limité aux emplois, aux marchés et aux services • Obligation plus forte de vivre à proximité des emplois, potentiellement sur des terrains inappropriés (imperméabilisation croissante...)

SOURCES : REINTSCHLER ET AL. ; OBOLENSKY ET AL.

Celles-ci peuvent se traduire de façons multiples :

- augmentation du coût de l'approvisionnement, car le changement climatique peut augmenter les coûts de fourniture d'un même niveau de service (via l'augmentation des kilomètres parcourus, le changement de mode de transport...);
 - risque de délaissement d'actifs, lorsque les investissements ne sont plus économiquement viables en raison des impacts physiques du changement climatique ou de l'effet des politiques de lutte contre le changement climatique;
 - dommages aux composants des réseaux d'infrastructures et perturbation de la fourniture de services, y compris les effets en cascade dans d'autres secteurs que le transport en raison des interdépendances;
 - augmentation des investissements nécessaires pour gérer les risques accrus de dommages à l'environnement ou aux usagers dus à la défaillance des infrastructures;
 - atteinte à la réputation des pouvoirs publics, du propriétaire ou de l'exploitant de l'actif.
- Indirectement, les risques naturels peuvent également affecter l'économie du pays : diminution de la compétitivité et de la productivité, baisse des

investissements et de l'innovation, externalités environnementales et sociétales... Quelques exemples d'effets directs et indirects et de coûts d'adaptation à ces perturbations sont présentés dans le **tableau 1**. Ces aléas peuvent toucher tous les gestionnaires d'actifs et réduisent l'efficacité économique et sociale de régions entières.

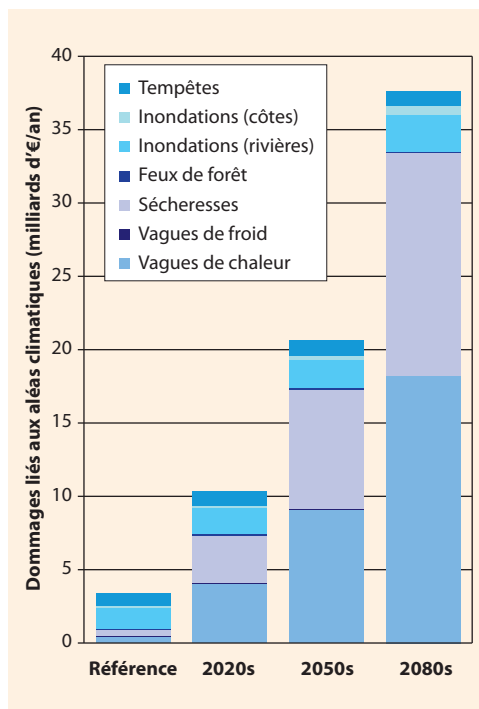
Le changement climatique va renforcer cette tendance qui constitue déjà une préoccupation mondiale majeure. Un rapport du Centre commun de recherche (JRC) de la Commission européenne montre que les dommages causés par les événements climatiques extrêmes aux infrastructures essentielles et aux investissements clés dans les secteurs de l'énergie, des transports et de l'industrie, qui atteignent aujourd'hui 3,4 Md € par an, pourraient tripler lors de la décennie actuelle, être multipliés par six d'ici le milieu du siècle et représenter plus de dix fois les dommages actuels d'ici la fin du siècle (**figure 2**).

Des investissements adéquats dans la résilience offrent donc la possibilité de réduire l'impact global des extrêmes climatiques et des conséquences du changement climatique, qu'elles soient futures ou déjà perceptibles. Mais à quel coût ?

BÉNÉFICES ET OPPORTUNITÉS DES INFRASTRUCTURES RÉSILIENTES

Au travers de plusieurs études récentes⁷, la Banque mondiale a évalué le coût de l'absence de résilience des infrastructures et des réseaux et la non-prise en compte du changement climatique. Que ce soit pour les travaux neufs ou les opérations de maintenance et de réhabilitation, cela s'avérera extrêmement coûteux : reporter à 2030 les actions en faveur d'une meilleure résilience des infrastructures au changement climatique pourrait ainsi générer un surcoût de plus de 2 000 Md € à l'échelle mondiale.

Ces études montrent aussi les bénéfices liés à une prise en compte rapide de ce besoin de résilience. Que ce soit pour les travaux neufs, pour les réhabilitations ou l'entretien, et quelle que soit la région du globe considérée, la résilience doit être anticipée par des actions préventives. Le renforcement des infrastructures et des réseaux constitue selon la quasi-totalité des scénarios évalués par la Banque mondiale (plus de 3 000) un investissement intéressant : les estimations suggèrent un gain (en économies ou dépenses évitées) allant jusqu'à 4 € pour chaque euro investi dans l'augmentation de la résilience des infrastructures (sur la base des conditions climatiques actuelles). La prise en compte des effets du changement climatique double ces bénéfices ! À cela s'ajoutent également les effets indirects évités sur les secteurs de l'économie dépendant fortement du secteur du transport.



-Figure 2-
Évolution au cours du XXI^e siècle des dommages liés aux aléas climatiques aux infrastructures critiques dans la zone EU+ (EU28 + Islande, Norvège et Suisse). Les pertes ne sont pas actualisées et sont exprimées en euros de 2010. Elles reflètent les effets du climat futur sur l'économie actuelle.

SOURCE : D'APRÈS EU-JRC : FORZIERI ET AL.

Ces études concluent toutes dans le même sens : renforcer les réseaux d'infrastructures semble être une solution attractive. Il s'agit d'un investissement urgent mais robuste, qui sera très vraisemblablement rentable, qui a une forte probabilité d'engendrer des bénéfices et qui ne peut pas générer de pertes massives, même dans les pires scénarios. Un autre avantage des actifs plus résistants est qu'ils facilitent souvent la maintenance tout en réduisant les coûts du cycle de vie. Même l'amélioration des conditions d'exploitation et de maintenance est intéressante en termes de résilience : un mauvais entretien peut augmenter de 50 % le coût en capital de l'infrastructure⁸, ce qui fait également de l'amélioration de la maintenance une solution résiliente et une option rentable.

DÉFIS À RELEVER

Il n'existe pas de description unique d'une infrastructure résiliente au changement climatique. Cela dépend en effet de trop nombreux paramètres propres au réseau et à ses composants, aux usages auxquels l'infrastructure doit répondre, mais aussi aux aléas auxquels le territoire est soumis.

Ainsi, une route de montagne desservant une vallée isolée n'aura pas les mêmes contraintes qu'une route côtière à fort trafic (**photo 2**).

Dans le cadre du projet de recherche européen Resilens (pour Realising European Resilience for Critical Infrastructure), la résilience est définie comme la capacité à survivre face à un avenir complexe, incertain et en constante évolution. Il s'agit d'une façon de penser à la fois aux cycles à court terme et aux tendances à long terme.

-Photo 2-

De plus en plus de routes côtières vont être soumises aux submersions marines, y compris en métropole. Ici, conséquences du passage de l'ouragan Irma.



© BATISTA DELGADO POINS / CEREMA

Par conséquent, un système résilient devrait englober la notion selon laquelle la résilience des infrastructures face aux catastrophes dépend de la capacité à réduire :

- les probabilités de défaillance des infrastructures ;
- les conséquences directes ou indirectes des défaillances, en termes à la fois de dommages et de conséquences économiques et sociales négatives ;
- le temps de récupération ou de retour à un niveau « normal » de performance fonctionnelle.

De même qu'il n'existe pas de description unique, il ne peut exister une manière unique ou universelle de rendre une infrastructure résiliente. Cependant, un premier point important à noter est que la prise en compte des impacts climatiques sur un composant individuel, tel qu'un ouvrage d'art ou une portion de route, est nécessaire mais pas suffisante pour garantir le fonctionnement fiable du système. De plus, quel que soit le gestionnaire concerné, les coûts d'adaptation peuvent être réduits en développant une approche systémique des infrastructures : en considérant non seulement l'actif, mais aussi le réseau dans lequel il s'insère et le service qu'il fournit aux utilisateurs.

La résilience des infrastructures et des réseaux peut être pensée à différentes étapes de leur cycle de vie :

- Pour les projets d'infrastructure, les efforts visant à garantir leur résilience doivent s'inscrire dans une approche stratégique de planification des réseaux d'infrastructures qui tienne compte des effets directs et indirects du changement et de la variabilité climatique.
- Pour les infrastructures déjà existantes, leur bonne gestion est la base essentielle de leur résilience (photo 3), mais des actions ciblées sont également nécessaires.

Malheureusement, aucune intervention ne peut à elle seule rendre tous les systèmes d'infrastructure plus résilients. Quelle que soit l'étape du cycle de vie des infrastructures d'un réseau, une première action consiste pour les gestionnaires à définir une stratégie de planification, d'exploitation et de maintenance appropriée de leurs actifs pour accroître la résilience et réduire les coûts sur l'ensemble du cycle de vie. Il est donc recommandé d'inclure un examen systématique de la résilience dans l'analyse coûts-avantages des dépenses liées aux infrastructures. Cela revient à identifier :

- les différents risques auxquels les infrastructures doivent s'adapter ;
- les données socio-économiques et environnementales pertinentes à collecter ;
- les avantages à court, moyen et long terme de l'adaptation, de manière transparente ;
- les solutions durables pour accroître la résilience d'un réseau : celles qui non seulement contribuent aux objectifs de développement durable (17 ODD), mais aussi augmentent spécifiquement la durabilité des actifs tout en leur permettant de rester adaptables à une série de changements possibles de l'environnement et des usages.

Il n'est pas nécessaire de rendre toutes les infrastructures de transport résistantes. La gestion du risque nécessite de trouver un équilibre entre la minimisation des impacts et les coûts associés. En se concentrant sur les fonctionnalités attendues d'un système, il est possible de hiérarchiser les actifs. La réalisation d'une analyse de la vulnérabilité et de la criticité – telle que proposée par le Cerema⁹ dans une méthodologie déjà éprouvée sur de nombreux réseaux – contribuera

à identifier les parties les plus critiques ou les possibilités de redondance et de définir les niveaux de risque acceptables et intolérables. C'est ensuite une approche réseau, adaptée aux différents risques identifiés, qui pourra mettre en œuvre les investissements les plus pertinents pour obtenir un réseau et donc un service résilient avec des effets positifs sur le rapport coût-bénéfice des investissements¹⁰.

Lorsque des adaptations sont nécessaires, elles peuvent être de deux ordres :

- Mesures d'adaptation structurelle : modification de la composition des revêtements routiers afin qu'ils ne se déforment pas à des températures élevées ; construction de digues ou utilisation de revêtements perméables pour réduire le ruissellement lors de fortes pluies... Les approches écosystémiques utilisant des infrastructures naturelles pour concevoir des mesures d'adaptation sont également des alternatives intéressantes à prendre en compte parallèlement aux mesures d'adaptation structurelles.

- Mesures liées au management (ou adaptations non structurelles) : modification du calendrier et de la nature des maintenances pour prendre en compte le résultat de la hiérarchisation des actifs ; investissement dans des systèmes d'alerte précoce ; modification de l'organisation des services du gestionnaire... Ces mesures peuvent également inclure un contrôle renforcé des actifs existants afin de réduire le risque de défaillance en cas de changement des conditions climatiques ou environnementales (combinaisons météorologiques inhabituelles, changements dans la végétation au bord des routes...).

Des travaux récents de l'Association mondiale de la route¹¹ fournissent des informations utiles sur les techniques et les outils d'évaluation de la vulnérabilité et de la criticité, de sélection et de suivi de mesures et des réponses d'adaptation, et sur les approches susceptibles d'inclure l'adaptation dans l'appréciation et l'évaluation.

À l'échelle d'un territoire ou du pays, des actions sont également possibles :

- Permettre la résilience par le biais des politiques en définissant une stratégie nationale à laquelle tous les projets d'infrastructure (travaux neufs ou réhabilitation) devront se conformer.

- Donner la priorité aux investissements dans les projets d'infrastructure dont la résilience a été prouvée et qui adaptent les actifs existants aux risques actuels ou prévisibles, améliorant ainsi leur résilience.

- Mettre en œuvre les actions de sensibilisation aux risques aux échelles locales ou régionales et aux conséquences économiques, sociales et environnementales du report de l'adaptation et des investissements en matière de résilience des infrastructures. Cela devrait par exemple contribuer à inclure le changement climatique dans les évaluations économiques des projets ou dans les passations de marchés.

- Fournir une base de ressources documentaires pour pouvoir comparer des projets et faciliter l'identification de solutions pertinentes. C'est l'objet par exemple du site www.adaptation-changement-climatique.fr développé dans le cadre du deuxième plan national d'adaptation au changement climatique (partenariat Ademe, Cerema, Météo France et Onerc).



-Photo 3-

La connaissance de l'état du patrimoine est un élément clé de toute stratégie de résilience des réseaux d'infrastructure.

Le développement d'une approche holistique de la résilience au changement climatique des infrastructures de transport nécessitera la prise en compte des projections climatiques disponibles et plus largement de la résilience dans les normes et textes réglementaires constituant la doctrine technique pour la conception, la construction, l'exploitation ou la maintenance. Ces documents devront être adaptés à minima aux risques identifiés ou prévisibles. Ces concepts doivent de même être intégrés plus largement dans la formation initiale ou continue des différents acteurs de la conception et de la gestion des réseaux d'infrastructures.

Enfin, il est essentiel de penser la résilience et l'adaptation dans un cadre plus large intégrant les mesures d'atténuation, qu'elles soient prises à l'échelle locale ou nationale, et ce afin d'éviter la mal-adaptation et la mise en œuvre de travaux ou de mesures non pertinentes, voire contreproductives.

CONCLUSION

Une approche prospective de la résilience au changement climatique des systèmes d'infrastructures contribue à anticiper et à prévenir un certain nombre de risques, même si nous ne pouvons pas en maîtriser les causes. L'objectif est double : éviter les futurs possibles mais indésirables, et provoquer les évolutions et ruptures nécessaires à l'émergence de futurs désirables. C'est ce qui permet d'avoir une vision stratégique, d'innover, et d'accompagner et faciliter la conduite du changement.

Que ce soit dans les domaines des réseaux de transport, de la mobilité, de l'aménagement du territoire ou du bâtiment, la définition large de la résilience développée dans cet article propose de créer un cadre d'analyse des projets d'investissement ou des plans d'évolution ou d'adaptation des territoires répondant aux attentes sociétales, notamment dans un contexte de relance économique devant accompagner une transition écologique.

Les enjeux de la résilience des infrastructures au changement climatique sont nombreux : il s'agit en effet de préserver un patrimoine essentiel à la mobilité du quotidien, à la circulation des marchandises et, plus largement, à un nombre important de services ou de fonctionnalités intimement liés à la stabilité de l'économie. Les solutions d'adaptation, qu'elles soient structurelles ou non, existent et il est

maintenant prouvé que de tels investissements ne se feront pas à perte. Les infrastructures résilientes au changement climatique sont l'assurance de pouvoir améliorer la fiabilité du réseau, d'augmenter la durée de vie des actifs et ainsi de protéger le patrimoine des gestionnaires.

C'est désormais aux différentes parties prenantes de se saisir de ces éléments et de les traduire en stratégies d'action aux différentes échelles du territoire.

Pour prendre en compte ces enjeux, le Cerema développe une démarche innovante : la gestion intégrée des patrimoines d'infrastructures (voir article page xxx). Il s'agit d'un ensemble de réflexions et d'actions qui mène vers l'adaptation et l'amélioration continue de la gestion d'un réseau. Cette approche propose aux gestionnaires d'actifs un cadre de prises de décision amélioré et un ensemble d'éléments de communication en interne, vers les décideurs et vers les usagers, fondé sur des données adaptées et des évaluations prenant en compte la dimension globale du réseau géré. ■

RÉFÉRENCES

1. World Economic Forum, *The global risks report 2020*, Geneva, 2020.
2. B. Scharte, D. Hiller, T. Leismann, K. Thoma, *Resilient Tech. Resilience by design: Strategy for the technology issues of the future*, Herbert Utz Verlag, München, 2014.
3. Commissariat général au développement durable, « Risques climatiques : six français sur dix sont d'ores et déjà concernés », Data-Lab, 2020.
4. J. Rentschler, M. Kornejew, S. Hallegatte, M. Obolensky, J. Braese, *Underutilized potential: the business costs of unreliable infrastructure in developing countries*, World Bank, Washington, DC, 2019.
5. M. Obolensky, A. Erman, J. Rozenberg, P. Avner, J. Rentschler, S. Hallegatte, *Infrastructure disruptions: impacts on households*, World Bank, Washington, DC, 2019.
6. G. Forzieri, A. Bianchi, M.A. Marin Herrera, F. Batista e Silva, C. Lavalle, L. Feyen, *Resilience of large investments and critical infrastructures in Europe to climate change*, EUR27906, AU-JRC, 2016.
7. Publications de la Banque mondiale disponibles à l'adresse suivante : <https://openknowledge.worldbank.org>.
8. J. Rozenberg, M. Fay, *Beyond the gap: how countries can afford the infrastructure they need while protecting the planet*, World Bank, Washington, DC, 2019.
9. Cerema, *Vulnérabilité et risques : les infrastructures de transport face au climat*, Collection Connaissances, Cerema, Bron, 2019.
10. A. Pavoine, N. Boussiouf, S. Hamlat, P. Jandin, « Contribution des matériaux de construction à la résilience des infrastructures de transport », RGRA n° 961, février-mars 2019.
11. PIARC (Association mondiale de la route), « Adaptation methodologies and strategies to increase the resilience of roads to climate change – Case study approach », 2019R25EN, PIARC, La Défense, 2019.