

*Note d'information
Ouvrages d'art*

Impact du changement climatique sur les ouvrages d'art en France : conseils aux gestionnaires et concepteurs

Le climat évolue et de nombreux travaux scientifiques cherchent à établir les trajectoires prévisibles de son évolution et ses conséquences. Si l'impact des évolutions sur le vivant est évidemment majeur, cet impact sur les constructions constituées de matériaux inertes est moins évident à établir. Les ouvrages d'art sont implantés déjà de par le monde dans des régions aux conditions climatiques extrêmement diverses, ce qui laisse entrevoir *a priori* une bonne capacité d'adaptation. Cependant, les évolutions climatiques attendues sont importantes et nécessitent l'examen approfondi de la résilience des ouvrages d'art face à ces nouveaux défis. On trouvera ainsi dans la présente note des conseils permettant de mieux prendre en compte dès maintenant les effets attendus du changement climatique dans la gestion d'un patrimoine et les précautions de conception à retenir pour de futurs ouvrages.



Note n° 05 | Avril 2021



Crédit photo : © Pixabay

De nombreuses études sont produites sur la question du changement climatique. En ce qui concerne les évolutions climatiques, le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) publie régulièrement des travaux sur le sujet. Les sites <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/comprendre-giec> et <https://www.ipcc.ch/>, seront utilement consultés.

En ce qui concerne l'impact du changement climatique sur les infrastructures et réseaux de transport, nous pouvons citer les publications suivantes du Cerema : le rapport « Impacts potentiels du changement climatique sur les infrastructures et systèmes de transport, sur leurs référentiels de conception, entretien et exploitation, et besoins de précisions des projections climatiques » (dit livrable 1 du PNACC, volet transport) publié en 2015 : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/ONERC_PNACC_1_complet.pdf, ainsi que le rapport méthodologique « Vulnérabilités et risques : les infrastructures de transport face au climat », publié en 2019.

L'évolution du climat continue à faire l'objet de travaux importants qui affineront les prévisions disponibles au fur et à mesure des progrès obtenus sur la modélisation du climat et sur la connaissance des données sur l'émission de gaz à effets de serre et de son évolution.

1. Évolutions prévisibles du climat

La présente note s'inspire très directement des travaux issus du « livrable 1 du PNACC transport » publié par le Cerema en 2015. Ce rapport s'appuie lui-même sur des rapports scientifiques sur le changement climatique publiés antérieurement, en particulier les volumes 1 à 3 de la série « *Le climat de la France au XXI^e siècle* » publiés entre 2011 et 2012. De nouveaux scénarios climatiques ont été évalués depuis par le GIEC et publiés en 2013 et 2014.

La note n'évoque pas les évolutions possibles des risques naturels en lien avec le changement climatique : inondations, mouvements de terrain, évolutions des paramètres physico-chimiques de l'eau, etc. Or, les changements du climat à venir affecteront de façon certaine les risques naturels, les aggraveront probablement, ce qui aura des effets potentiels sur les infrastructures.

Les évolutions prévisibles sont les suivantes :

- **pour la température :**

- la température moyenne devrait augmenter sur l'ensemble du territoire métropolitain d'une valeur comprise entre 0,6 et 1,3 °C (plus forte dans le Sud-Est en été) d'ici 2050 selon les scénarios et pourrait atteindre d'ici 2100 2,6 °C à 5,3 °C en été pour le scénario de croissance continue des émissions (« Representative Concentration Pathways » 8.5 »),
- une augmentation du nombre de jours de vagues de chaleur en été, en particulier dans les régions du quart sud-est,

- une diminution du nombre de jours anormalement froids en hiver sur l'ensemble de la France métropolitaine, en particulier dans les régions du quart nord-est,
- les amplitudes thermiques quotidiennes devraient évoluer,
- il devrait y avoir de moins en moins de jours de gel du fait du réchauffement climatique ; cependant le nombre annuel de cycles gel / dégel peut de ce fait augmenter dans les zones de montagne. C'est ce qui est par exemple observé actuellement sur les viaducs de Sylans et de Glacières sur l'A40 dans l'Ain à partir des relevés de Météo France,
- les vagues de chaleur en été devraient aussi être en augmentation sur l'ensemble du territoire et ce, déjà à horizon proche ;
- **pour les précipitations :**
 - une tendance marquée à l'augmentation de la durée des sécheresses estivales semble identifiée dans toutes les régions,
 - les précipitations neigeuses devraient diminuer de façon très marquée au cours du siècle,
 - un renforcement des précipitations extrêmes sur une large partie du territoire, mais avec une forte variabilité des zones concernées,
 - les précipitations extrêmes devraient s'intensifier ;
- **pour le vent :**
 - les études prenant en compte les scénarii climatiques pour estimer les régimes futurs des vents restent très incertaines, notamment du fait du peu de données disponibles. Toutefois l'élévation de la température des océans suggère une augmentation de l'intensité des phénomènes. On observe une augmentation de l'activité des cyclones tropicaux dans l'Atlantique nord depuis les années 1970. Pour les Antilles, les événements de ces dix dernières années suggèrent une inflexion de la trajectoire des cyclones, conduisant à un accroissement de l'exposition des îles françaises aux événements cycloniques violents (Irma). Dans le cinquième rapport du GIEC (2013), les experts estiment que le nombre de cyclones pourrait baisser à terme, mais que les plus gros cyclones seront probablement plus puissants, avec des vents maxima plus élevés ;
- **pour le niveau de la mer :**
 - le rapport 2019 du GIEC précise que la hausse du niveau de la mer pourrait atteindre 30 à 60 cm environ d'ici 2100 si le réchauffement planétaire est limité à une valeur bien en dessous de 2 °C. Il pourrait atteindre 60 à 110 cm si ces émissions continuent d'augmenter fortement.

2. Impact des évolutions climatiques sur les ouvrages d'art (ponts et soutènements, ouvrages maritimes et fluviaux)

Tous les ouvrages de génie civil ne sont pas abordés dans la note. Ainsi, ne sont pas traités les remblais de grande hauteur, les tunnels, les barrages, les digues, les ouvrages de protection contre les risques naturels, etc.

Mise en perspective des actions contribuant au dimensionnement des structures

Les ponts sont d'abord dimensionnés vis-à-vis des effets de la gravitation et ils doivent avant tout résister à leur poids propre, au poids des charges routières ou ferroviaires et aux actions des terres pour les soutènements. C'est de loin l'action principale pour la grande majorité des ouvrages et parties d'ouvrages.

En premier lieu, il convient de rappeler que les Eurocodes intègrent des paramètres environnementaux et des charges d'exploitation plus sévères que ceux antérieurement fixés pour les ponts par les règlements français. En pratique, la prise en compte des Eurocodes a déjà eu des effets plus importants que ceux escomptés du fait du changement climatique.

Cet impact des Eurocodes concerne certains ponts plus que d'autres, tels les ponts à inertie fortement variable, les ponts à deux voies de circulation ou les structures de type bipoutres soumises dorénavant à l'effet de charges excentrées plus importantes.

Les données disponibles sur l'évolution du climat demeurent encore insuffisamment précises (hausse du niveau des océans, impact sur les vents extrêmes) ou complètes (nombre de cycles de gel/dégel, hygrométrie moyenne, gradient thermique) pour engager des études détaillées au cas par cas sur les ouvrages objet de cette note. Seuls les principes généraux sont donc ici abordés.

Le vent

Son effet est négligeable pour le dimensionnement des structures porteuses, sauf pour quelques cas particuliers où il devient dimensionnant : il s'agit des ponts avec de grandes portées, typiquement les ponts à haubans et les ponts suspendus (le pont de Normandie, le viaduc de Millau, etc.), mais aussi des ouvrages suspendus plus anciens, même avec de plus petites portées, qui sont souvent mal conçus sur le plan aérodynamique, et des passerelles qui sont particulièrement souples. Ces ouvrages, surtout ceux implantés en régions cycloniques, peuvent donc être impactés.

Cependant, des éléments secondaires et certains équipements de ponts courants peuvent aussi être dimensionnés par l'action du vent (écrans anti-bruit, écrans de protection, candélabres, Portiques Potences, Hauts Mâts, etc.), notamment en ce qui concerne les phénomènes de fatigue.

De manière générale, toute structure souple et/ou mal profilée est susceptible de réagir sous l'effet du vent et donc d'être endommagée. Les risques structurels liés aux effets du vent sont alors de deux types :

1. les instabilités aérodynamiques qui peuvent causer la ruine du pont, le sujet étant l'intensité moyenne du vent en cas de vents forts ou tempêtes ;
2. les vibrations qui peuvent générer de nombreux cycles de fatigue (tablier, haubans, câbles de suspension, etc.). Ces vibrations peuvent apparaître pour un large spectre de vitesses de vent, même relativement faibles, le problème étant alors celui de l'occurrence des phénomènes aérodynamiques associés, en particulier la turbulence et le détachement tourbillonnaire.

Le vent peut également avoir un effet sur l'exploitation des ouvrages s'ils sont situés dans un site sensible (vallée en site dégagé...). Ceci peut conduire à l'implantation d'écrans de protection...

De même, le vent peut avoir un effet sur l'exploitation des ouvrages portuaires en raison des vitesses maximales admissibles par les engins de manutention.

La température

Les matériaux utilisés en ouvrages d'art, essentiellement l'acier et le béton, se dilatent ou se contractent sous l'effet des variations de température. Les caractéristiques structurelles de ces matériaux sont en revanche assez insensibles aux changements thermiques dans la gamme des évolutions climatiques attendues. Seuls les bétons bitumineux des chaussées présentent des caractéristiques sensibles à la température, mais ils ne sont pas pris en compte dans la résistance de l'ouvrage.

Les conséquences de la variation attendue de 4 degrés pour une amplitude de température réglementaire de 70 degrés environ (dépendant du site et du matériau constitutif de l'ouvrage) telle qu'elle est actuellement prise en compte dans les calculs structurels, sont donc *a priori* faibles. Le cas échéant, elles peuvent être significatives pour certains ouvrages anciens dimensionnés avec des paramètres environnementaux moins sévères que ceux de l'Eurocode.

Pour évaluer l'impact de l'élévation de la température moyenne d'un ouvrage sur son fonctionnement, il convient de considérer l'impact structurel de ces dilatations :

- **ouvrages conçus avec appuis bloqués** : ponts encastrés sur piles, portiques et ponts à béquilles. Toutes les dilatations gênées conduisent à des efforts sensibles dans la structure mais ces augmentations devraient être limitées ;
- **ouvrages libres de se déplacer sur les appuis**. Si les appareils d'appuis sont imparfaitement réglés ou dimensionnés il y a un risque de dysfonctionnement voire de chute du tablier (par exemple, appareils d'appui métalliques à rouleaux de grande hauteur en limite de fonctionnement). Il peut également y avoir, localement, des efforts supplémentaires sur les fixations de ces appuis.

On doit également envisager un impact de l'évolution des températures extrêmes sur les conditions de fonctionnement des joints de chaussée. Comme les joints de chaussée sont remplacés régulièrement, le problème apparaît gérable. Cependant, la mise en butée des tabliers contre les murs garde-grève de leurs culées est à craindre pour beaucoup d'ouvrages existants pour lesquels le souffle des joints de dilatation est déjà insuffisant du fait de problèmes de dimensionnement, de mouvement des culées..., et en particulier pour les tabliers de grande longueur (variations de longueur importantes) ou les ponts mobiles (impossibilité de levage). On peut noter que pour les ouvrages en béton, le retrait qui se produit au cours de la vie de l'ouvrage compense pour partie l'augmentation de température.

Quoi qu'il en soit, on pourra adapter progressivement les joints et les appareils d'appui aux évolutions. Les appareils d'appuis doivent être surveillés lors des conditions de températures extrêmes et, le cas échéant, être remplacés préventivement en appliquant les règles de l'Eurocode pour le dimensionnement.



Crédit photo : © Thierry DEGEN - Terra

Lorsque les conditions d'exploitation le permettent et que l'ouvrage s'y prête, on pourra également rendre les structures existantes semi-intégrales.

L'augmentation des amplitudes thermiques quotidiennes peut avoir un impact plus significatif sur les structures sensibles aux gradients thermiques, tels que les grands ouvrages en béton précontraints surtout ceux dimensionnés avec des règles qui ne les prévoyaient pas...

Avec une augmentation durable de la température (augmentation de la température moyenne annuelle), il faut également s'attendre à une augmentation de l'effet du retrait. L'effet du retrait sur la dilatation de l'ouvrage est plus important que l'effet de la légère augmentation de température. Cet effet n'est potentiellement problématique que pour les structures dont la dilatation n'est pas libre ou pour les structures précontraintes, pour lesquelles il augmente les pertes.

L'évolution de la température moyenne pourrait également avoir un impact sur l'hygrométrie moyenne, donnée *a priori* non abordée dans les études climatiques disponibles. Ceci impacterait le retrait et le fluage du béton et en particulier les grands ouvrages en béton précontraint.

Enfin, pour les ouvrages renforcés par collages de matériaux, si la température de la structure approche voire dépasse la température de transition vitreuse de la résine, celle-ci se ramollit et le renfort relâche ses contraintes s'il en renfermait. Ce sujet est toutefois encore en débat.

Les ouvrages en eau sont moins concernés car l'eau tempère fortement les évolutions de température.

En fait, les effets les plus significatifs pourraient concerner les sols de fondations : l'alternance d'épisodes de sécheresse et de fortes pluies a un effet sur les caractéristiques des sols qui peut induire des problèmes particuliers pour les ponts (fondation sur argile soumise au phénomène de retrait-gonflement par exemple), en particulier les ponts en maçonnerie, et les ouvrages de soutènement. Les sécheresses importantes pourraient conduire à des tassements des appuis ou à des tassements de murs de soutènement qu'il conviendra de contrôler lors des visites d'ouvrages. L'eau dans le sol augmente la poussée sur les murs mal drainés.

A contrario, on peut espérer une amélioration de la durabilité des ouvrages en zone de climat rigoureux du fait de la baisse de nombre de jours de gel et donc du salage, mais inversement, la durabilité du béton peut être diminuée par une augmentation des cycles de gel/dégel en zone de montagne. En effet, l'accroissement du nombre de cycles de gel/dégel en zone de montagne implique des problèmes de plus en plus fréquents de chutes de blocs sur les routes et ouvrages. Cependant, cette donnée n'est pas abordée dans les rapports disponibles, l'impact dépendant de la position géographique et de l'altitude. Il en est de même de la stabilité de certains murs de soutènement du fait de l'altération des caractéristiques des sols soutenus ou de fondation.

De même, l'aléa de rupture fragile des anciens aciers de charpente métallique se trouve légèrement réduit par l'augmentation des températures moyennes. Cela ne doit pas conduire à un relâchement de la prise en compte de cet aléa, car une augmentation de quelques degrés ne compense pas des qualités d'aciers ayant parfois une température de transition largement au-dessus de la température ambiante.

Les précipitations

La baisse du nombre de jours de pluie est un élément favorable, notamment vis-à-vis de la corrosion.

- En revanche, l'augmentation d'épisodes pluvieux violents a un impact sur divers risques. Par exemple, sous l'alternance de périodes sèches et de fortes précipitations, si l'étiage s'accroît, les têtes des pieux en bois des anciennes fondations pourraient se trouver successivement saturées d'eau ou sèches, ce qui pourrait provoquer leur pourrissement.

Avec des événements plus extrêmes en termes de précipitation, les caniveaux déborderont ponctuellement, sans dommages pour le tablier cependant. L'assainissement pourra se trouver en incapacité d'évacuer les débits, ce qui pourra provoquer des stagnations voire des circulations d'eau sur la chaussée et des problèmes de sécurité pour les usagers.

Ce problème d'assainissement est partagé par les routes et les terre-pleins portuaires. Les murs de soutènement sont sans doute un peu plus sensibles à des précipitations ponctuelles intenses si leur drainage interne ne permet pas d'écrêter les pressions qu'ils reçoivent ou en cas de mise en pression de conduites d'évacuations internes. Des poussées hydrauliques excessives peuvent alors conduire à une rupture fragile, donc brutale, des murs de soutènement avec peu de signes annonciateurs.

De nombreux petits ouvrages hydrauliques pourront se révéler à terme insuffisants en termes hydrauliques. Pour la réparation de ces petits ouvrages, qui sera par exemple quasi-systématique dans les prochaines années pour les buses métalliques anciennes, il conviendra de s'interroger sur l'utilisation de renforts intérieurs dans le cas où la capacité hydraulique deviendrait trop limitée par rapport aux hypothèses actuelles de précipitations, rendant la capacité hydraulique de la buse nécessairement insuffisante à moyen terme. Les réparations aujourd'hui ne doivent pas provoquer les inondations de demain. Heureusement, la diminution de la section hydraulique peut souvent être compensée par la baisse de la rugosité du matériau de renfort.

L'insuffisance des réseaux d'évacuation des eaux induit aussi le risque de formation de cavités dans les remblais adjacents, ainsi que de glissements de terrain au sein de ces remblais.

- L'impact de pluies extrêmes sur les crues des rivières est un sujet d'importance, qui dépasse très largement le cadre des ouvrages d'art, mais qui peut bien sûr les impacter (mise en charge des ouvrages, piles et tablier, affouillements, embâcles et chocs de corps flottants ou de navires à la dérive).

Crédit photo : © Arnaud BOUISSOU - Terra



Inversement, les ouvrages par leur présence peuvent augmenter le risque d'inondation. L'accès aux ouvrages peut aussi être compromis et il s'agit alors d'un problème général de service aux usagers (axes routiers fermés), qui peut devenir un problème de sécurité civile. Vis-à-vis de ce problème, on rappelle que les points bas sur les routes sont toujours hors ouvrages. L'érosion de talus peut avoir lieu dès lors que l'eau ruisselle avec un débit important.

- On peut craindre également l'augmentation des risques de glissement de terrain susceptibles d'impacter les ouvrages.
- Du fait de possibles crues plus violentes, l'affouillement des appuis de ponts ou celui des murs de soutènement ou des ouvrages fluviaux (quais, barrages) augmentera dans certaines zones en fonction de la nature des sols, des fondations et de la vitesse du courant. Une surveillance accrue sera nécessaire. Dans certains cas, des travaux d'aménagement et de protection seront également à prévoir.

L'augmentation du niveau des océans

- L'augmentation du niveau de la mer pourrait avoir un impact sur les ouvrages de protection par diminution de l'effet du filtre bathymétrique en zone de faible profondeur qui augmenterait les hauteurs des houles incidentes et l'agitation dans les bassins portuaires.
- L'augmentation du niveau de la mer pourrait avoir un impact sur les soutènements en bord de mer et sur l'affouillement de certains appuis d'ouvrages à proximité du littoral, actuellement hors d'atteinte, mais qui pourraient se retrouver soumis à l'effet des vagues du fait de l'augmentation du niveau de la mer et des phénomènes de submersion. Le respect du tirant d'air sous l'ouvrage pourra conduire à devoir surélever certains ouvrages à proximité immédiate de la mer. Ce léger rehaussement est assez facile à réaliser, sauf pour les structures solidaires de leurs appuis (exemple Passage Inférieur en Cadre Fermé, Passage Inférieur en Portique Ouvert, Portique Ouvert Double) ou les structures particulières qui développent des réactions d'appui horizontales comme les voûtes, les arcs ou les ponts à béquilles. Tout dépend bien sûr de la hauteur de rehausse à assurer et des problèmes induits (raccordement des profils routiers notamment si zone urbaine avec ronds-points, gestion des écoulements des eaux de chaussée...). Pour les ouvrages sensibles au choc de navire, le niveau de l'impact sera légèrement modifié, ce qui peut rendre nécessaire une vérification de la stabilité des appuis et des fondations concernées.

Pour les ouvrages portuaires, les conséquences majeures portent sur :

- l'exploitation des quais : submersion des terre-pleins, accessibilité des bateaux, exploitation de l'outillage, écoulement des eaux pluviales ;
- sur l'aspect structurel, le dimensionnement des ouvrages de protection adaptés aux niveaux marins maximaux (digues) et aux caractéristiques de houles associées (hauteur, fréquence) ;
- les quais seront soumis à une agitation plus forte si le niveau d'eau s'accroît, qui modifiera les zones d'attaque des chlorures. En particulier les sous faces des quais sur pieux risquent d'être plus exposées aux chlorures ;
- pour les ouvrages fluviaux et portuaires les niveaux d'eau de part et d'autre de la structure exercent une grande influence sur le dimensionnement. Même en gardant le même différentiel, une remontée du niveau entraîne des différences significatives sur les moments et les efforts dans les tirants d'ancrage s'il s'agit d'un rideau de soutènement ou d'un quai poids par exemple. Les structures sur pieux sont moins sensibles à ce phénomène ;
- au-delà de la réduction du franc-bord d'un quai voire sa submersion, l'élévation du niveau du point d'impact lors de l'accostage va entraîner des efforts supplémentaires, etc.

3. Conséquences opérationnelles

Pour les ouvrages à construire, il conviendra d'utiliser pour leur dimensionnement les nouvelles valeurs extrêmes envisagées dès lors que celles-ci seront mieux identifiées. Il pourra être utile de moduler les évolutions en tenant compte du contexte propre à chaque région du fait que les évolutions attendues ne semblent pas homogènes (pourtour méditerranéen par exemple). Ces sujets devraient être abordés au niveau européen (Eurocodes). L'impact sera faible sur le coût de la construction des ouvrages neufs. On pourra privilégier l'emploi des ouvrages dits intégraux ou semi-intégraux lorsque les dimensions du franchissement sont compatibles avec leur emploi de façon à s'affranchir des joints de chaussée et des appareils d'appui moyennant la prise en compte de recommandations spécifiques compte tenu de la légère augmentation des dilatations thermiques.

Pour les ouvrages existants, les changements climatiques attendus auront globalement peu d'influence sur la résistance des structures porteuses. L'impact concernera en premier lieu les fondations, les soutènements et secondairement les équipements et les appareils d'appuis.

Les ouvrages dits courants (ponts cadres, ponts dalles) ainsi que les ponts en maçonnerie sont particulièrement robustes et peu sensibles au changement climatique. Seuls quelques ouvrages un peu particuliers peuvent être impactés.

Les ouvrages, par leur présence, peuvent augmenter le risque d'inondation et conduire à la fermeture d'axes majeurs (accès compromis aux ouvrages).

En abordant successivement les différents aléas, on peut proposer les analyses plus détaillées suivantes :

- les ponts sensibles au vent pourraient devoir être réétudiés. Il s'agit principalement de ponts à haubans ou de ponts suspendus avec un tablier du type bipoutre mixte (tablier mal profilé vis-à-vis du vent), notamment ceux situés hors de la France métropolitaine (zones cycloniques), voire des passerelles piétons très légères ou de forme et de conception sensibles. À noter que l'Eurocode 1 qui définit les actions à prendre en compte ne s'applique qu'aux ponts avec des portées inférieures ou égales à 200 m et ne couvre pas les cyclones de plus forte catégorie. Pour les ouvrages comportant des plus grandes portées, il convient donc de définir au cas par cas les charges et les méthodes de dimensionnement, ce qui conduit notamment à une étude du vent dans le site. L'effet du vent dans les territoires d'outre-mer devrait être traité par une méthode spécifique, adaptée aux incertitudes quant à l'évolution du climat cyclonique dans ces régions ;
- l'impact sur les chaussées et les joints de chaussée est à relativiser, car il s'agit d'équipements qui doivent être renouvelés régulièrement et peuvent donc être adaptés « au fil de l'eau ». Cependant, en cas de blocage intempestif des tabliers sur les culées, des travaux plus importants sont à envisager. Pour les chaussées, il pourra être envisagé, dans le sud de la France, de développer l'emploi de chaussées de couleur claire pour limiter les échanges thermiques ;
- l'impact sur le fonctionnement des appareils d'appuis est également faible mais parfois, ceux-ci sont dimensionnés très justes ou sont mal réglés. Il peut être utile de profiter d'une inspection détaillée périodique pour bien évaluer leurs conditions de fonctionnement, en particulier pour les appareils d'appuis métalliques. Le gradient thermique se trouvera aussi augmenté, ce qui pourra induire des fissures pour certains ouvrages en béton, voire dans quelques cas des désordres, notamment pour les ouvrages situés dans le sud de la France où l'on mesure déjà des valeurs de gradient thermique égales à celles définies dans les Eurocodes ;
- l'impact des évolutions climatiques sur la durabilité des chaussées et l'assainissement des routes est à analyser par les spécialistes du sujet. Il est probable que l'on devra augmenter la section hydraulique des collecteurs ou des corniches-caniveaux devant assurer l'assainissement du tablier.
- la surveillance des fondations des appuis en rivière est à renforcer, en priorité sur le pourtour méditerranéen et dans les territoires d'outre-mer exposés aux aléas cycloniques, en veillant également à procéder à l'enlèvement régulier d'éventuels embâcles. Les ouvrages offrant un gabarit hydraulique insuffisant seront à reconstruire. Les fondations sur pieux en bois ou sur argiles gonflantes seront aussi à surveiller.
- les digues portuaires en zone de faible profondeur seront impactées par la remontée du niveau de la mer.
- les quais portuaires seront potentiellement impactés par la remontée du niveau de la mer et nécessiteront une réévaluation des charges d'exploitation admissibles.

4. Conclusion générale

L'impact des évolutions climatiques sur les ouvrages d'art routiers ou fluviaux (tablier, appuis, murs, radiers) apparaît globalement mesuré. Pour les ouvrages routiers, l'impact de ces évolutions est à relativiser car l'impact d'éventuelles augmentations du tonnage des véhicules autorisés à circuler sur ces ouvrages et l'impact du vieillissement naturel des matériaux sont d'une plus grande acuité. Les exemples récents de ruine d'ouvrage (pont de Gênes, pont de Mirepoix) ne sont pas dus au changement climatique. Certaines structures particulières seront à surveiller ou à recalculer, mais des effets positifs sont aussi envisageables pour la durabilité des matériaux (diminution des cycles de gel, diminution de la corrosion, etc.).

L'impact des évolutions climatiques est cependant loin d'être négligeable avec une fréquence plus élevée de phénomènes extrêmes de type tempêtes automnales/hivernales, d'averses orageuses, de mini-tornades, de périodes de sécheresse. Ces aléas feront subir divers dommages aux structures : problèmes de ravinement, d'affouillement sur les fondations en rivière, problème de submersion des ouvrages côtiers, mise en butée de tabliers.

Les fondations sont plus sensibles que les tabliers aux évolutions attendues et on peut craindre des tassements d'appuis du fait de la sécheresse, des affouillements pour les fondations en rivièrre du fait d'évènements pluvieux extrêmes, le pourrissement des têtes de pieux en bois du fait de l'abaissement du niveau des nappes phréatiques. Une surveillance accrue sera ainsi nécessaire spécifiquement sur les fondations.

Les murs de soutènement apparaissent globalement plus sensibles aux effets du changement climatique que les ponts, notamment en zone de montagne du fait de l'altération des caractéristiques des sols soutenus ou de fondation. Une surveillance accrue sera là aussi nécessaire, y compris pour la vérification du bon fonctionnement de tous les systèmes de drainage (des barbacanes) pour éviter la poussée hydraulique en amont (effet barrage).

En zone de montagne, l'augmentation de certains risques naturels sur l'environnement proche des ouvrages (glissements de terrain, chutes de blocs, coulées de boue, laves torrentielles, etc.) est à analyser. En zone de haute montagne, les fondations des ouvrages d'art pourront être affectées en raison de la fonte du permafrost.

De nombreux petits ouvrages hydrauliques pourront se révéler insuffisants en termes de section hydraulique.

Il paraît pertinent de lancer des analyses de risques spécifiques vis-à-vis des ouvrages soumis aux crues pour les départements du pourtour méditerranéen, dans les territoires d'outre-mer exposés aux aléas cycloniques et pour les grandes agglomérations.

Le cas des ouvrages de protection contre la mer est évidemment spécifique puisque leurs fonctions et dimensionnements sont directement liés au niveau marin. L'impact sur les digues de protection en faible profondeur apparaît sensible.

L'impact de la remontée du niveau de la mer sur la stabilité des quais portuaires pourrait conduire à devoir réduire les charges d'exploitation.

Ces analyses corroborent la principale conclusion du groupe de travail de l'Association Mondiale de la Route (AIPCR) intitulé « Adaptation au changement climatique pour les ponts », publié en 2011, qui indique que « *Le risque le plus important lié aux incidences du changement climatique sur les structures de ponts semble être une augmentation de l'intensité et de la fréquence des fortes pluies provoquant inondations et affouillements autour des fondations des ponts* ».

Crédit photo : © Arnaud BOUISSOU - Terra



Résumé

La présente note vise à sensibiliser les gestionnaires d'ouvrages d'art aux impacts prévisibles du changement climatique sur la surveillance et la gestion du patrimoine en mettant en exergue les points de vigilance particuliers. La note vise aussi à permettre une meilleure prise en compte des évolutions du climat dans la conception des nouveaux ouvrages en mettant en évidence les règles de dimensionnement et de conception impactées.

Rédacteurs :

Laurent LABOURIE (Cerema) - laurent.labourie@cerema.fr
Fabrice DALY (Cerema) - fabrice.daly@cerema.fr
Marianne CHAHINE (Cerema) - marianne.chahine@cerema.fr
Jean-Jacques TRICHET (Cerema) - jean-jacques.trichet@cerema.fr
Pierre CORFDIR (Cerema) - pierre.corfdir@cerema.fr

Relecteurs :

David ZAMBON (Cerema) - david.zambon@cerema.fr
Emilie JEANNESSON-MANGE (Cerema) - emilie.jeannesson-mange@cerema.fr
Cécile BOUVET AGNELLI (Cerema) - cecile.bouvet@cerema.fr
Jean-Michel LACOMBE (Cerema) - jean-michel.lacombe@cerema.fr
Jean-Christophe CARLES (Cerema) - jean-christophe.carles@cerema.fr
Yann DENIAUD (Cerema) - yann.deniaud@cerema.fr
Patrick LOSSET (Cerema) - patrick.losset@cerema.fr
Christophe AUBAGNAC (Cerema) - christophe.aubagnac@cerma.fr
Renaud LEGLISE (Cerema) - renaud.leglise@cerema.fr
Didier GERMAIN (Cerema) - didier.germain@cerema.fr
Hervé DAVIS (Cerema) - herve.davias@cerema.fr
Eric DELAHAYE (Cerema) - eric.delahaye@cerema.fr
Fabien RENAUDIN (Cerema) - fabien.renaudin@cerema.fr

Crédit photo 1^{re} page :
Cerema

Collection
Connaissances
ISSN 2417-9701

© 2021 - Cerema
La reproduction totale ou
partielle du document doit
être soumise à l'accord
préalable du Cerema.

La collection Connaissances du Cerema

Cette collection présente l'état des connaissances à un moment donné et délivre de l'information sur un sujet, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Elle offre une mise à jour des savoirs et pratiques professionnelles incluant de nouvelles approches techniques ou méthodologiques. Elle s'adresse à des professionnels souhaitant maintenir et approfondir leurs connaissances sur des domaines techniques en évolution constante. Les éléments présentés peuvent être considérés comme des préconisations, sans avoir le statut de références validées.

Aménagement et cohésion des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment