

Adaptation au changement climatique

Stratégie de SNCF Réseau



Résumé

Le ferroviaire est l'un des modes de transports les plus respectueux de l'environnement : à ce titre, l'ambition de SNCF Réseau est de favoriser l'usage du train dans tous les déplacements. Le réseau ferré, de plus en plus sollicité, est aussi de plus en plus soumis, comme toutes les infrastructures, à l'instabilité croissante du climat. Les travaux scientifiques montrent en effet que l'Europe et la France font partie des régions de la planète les plus exposées au changement climatique.

Gestionnaire d'un réseau nativement exposé aux saisons et aux intempéries, SNCF Réseau a d'ores et déjà commencé à adapter ses pratiques et fait le choix, face à l'instabilité climatique croissante, de passer d'une logique d'adaptation « réactive » à une logique d'anticipation pour conserver un haut niveau de performance et minimiser l'impact des événements météorologiques sur la qualité de service.

► Une analyse prospective des risques

Le scénario de référence proposé par le ministère français de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires fixe un cadre réaliste et prudent, en postulant un réchauffement moyen de +4 °C en France à l'horizon de la fin du siècle.

À ce scénario de réchauffement sont associés des aléas climatiques plus fréquents et plus intenses, même s'ils restent difficiles à « probabiliser ».

Dans ce cadre, SNCF Réseau a conduit des premières études de vulnérabilité qui indiquent que les aléas les plus critiques portent sur les perturbations du cycle de l'eau – inondations, alternance sécheresses/pluies – et leur effet sur les ouvrages en terre, ainsi que sur l'élévation des températures et son impact sur les systèmes électriques.

► Adapter l'exploitation, la maintenance, les actifs

L'instabilité climatique fait déjà sentir ses effets. Elle affecte la qualité de service offerte aux clients, elle détériore certains actifs et elle impacte les conditions de travail des agents. Elle exerce aussi une pression à la hausse sur les dépenses de maintenance en nécessitant un renforcement de la surveillance du réseau, un traitement plus intensif de la végétation, un entretien à la fois préventif et curatif.

Dans un tel contexte la stratégie de SNCF Réseau se fonde sur l'ordre de mérite : exploiter tout le gisement des actions à faible coût, avant d'envisager des mesures plus coûteuses ou complexes.

Il existe en effet dans les vingt prochaines années une marge importante d'actions « sans regrets » ou à faible coût additionnel :

- En adaptant l'exploitation du réseau, par exemple en ralentissant la vitesse des trains en période de canicule pour réduire les risques d'incidents, ou en stoppant localement les circulations en cas d'avis de tempête ;
- En saisissant l'opportunité de la montée en puissance du renouvellement et de la modernisation du réseau pour : incorporer des composants plus résilients à l'occasion des cycles normaux de régénération, digitaliser le réseau, réduire le nombre d'équipements électroniques en extérieur et donc limiter la surface d'exposition aux risques, concevoir des nouvelles infrastructures plus résilientes, faire évoluer l'organisation du travail, etc.

Le rétrofit des installations existantes est la solution potentiellement la plus coûteuse. La question se posera surtout pour des ouvrages à durée de vie très longue qu'il faudrait adapter, en particulier du fait de leur vulnérabilité au cycle de l'eau.

Une résilience absolue, visant à maintenir 100% des fonctionnalités actuelles, semble difficilement accessible, techniquement et financièrement.

Si l'objectif stratégique est bien de développer l'usage du train dans les prochaines décennies, à raison de la contribution qu'il apporte à l'atténuation du changement climatique, il y aura nécessairement des adaptations à faire dans les fonctionnalités du réseau.

In fine, face à des mouvements de grande ampleur comme la montée des océans accélérant le phénomène d'érosion du trait de côte et menaçant les infrastructures, mais aussi d'une évolution probable des usages du réseau en lien avec le dérèglement climatique (choix de localisation, de tourisme, développement du télétravail, etc.), il s'agira de définir collectivement avec les financeurs le niveau de service et de résilience à atteindre sur la base d'une analyse coûts-bénéfices et des capacités financières pour y parvenir.

► Territoires et filière

La stratégie d'adaptation de SNCF Réseau se décline en trois parties :

- L'évaluation des risques ;
- Les objectifs stratégiques de moyen terme ;
- Une feuille de route 2024-26.

La démarche reste « ouverte » car l'efficacité de l'action de SNCF Réseau dépend pour une large part de l'action des collectivités territoriales, de l'interface avec d'autres réseaux (de transports d'énergie, de télécoms, etc.), des innovations de la filière industrielle.

Dans ce contexte, SNCF Réseau s'attache à mobiliser l'ensemble de la filière ferroviaire pour partager une vision commune des enjeux de l'adaptation de l'infrastructure et de ses composants au changement climatique.



	Introduction	5
01	Les risques liés au changement climatique	6
	L'évaluation du changement climatique aujourd'hui	7
	▶ L'impact sur la qualité de service	7
	▶ L'impact sur les infrastructures	8
	▶ L'impact financier : coûts directs encore limités mais pression sur les dépenses de maintenance.....	8
	Les risques à venir	9
	▶ Les risques d'un réchauffement de +4 °C à l'horizon 2100	9
	▶ Tendances de fond et phénomènes extrêmes	10
	Focus sur 5 risques affectant le réseau ferré	12
	▶ Des phénomènes relativement bien compris	12
	▶ Des phénomènes plus difficiles à étudier et à modéliser.....	13
	L'investissement continu dans la connaissance des impacts futurs sur le ferroviaire	15
02	La démarche stratégique d'adaptation	16
	L'adaptation de l'entretien et de la surveillance	17
	▶ Ce qui est déjà mis en œuvre	17
	▶ Le traitement de la végétation	18
	▶ Les pistes pour aller plus loin	18
	▶ Protéger les collaborateurs, développer les compétences.....	19
	L'adaptation de l'exploitation et des fonctionnalités du réseau ...	20
	▶ Conforter la stratégie de prévention.....	20
	▶ Pour le futur : adaptation de la demande et des fonctionnalités du réseau	21
	L'adaptation des actifs	22
	▶ L'enjeu du renouvellement et de la modernisation	24
	▶ L'enjeu des normes	26
	▶ Les marges de rétrofit.....	27
	L'ordre de mérite des actions	29
03	Feuille de route et gouvernance	30
	Feuille de route 2024-2026 du programme « Adaptation au changement climatique » : amplifier l'action	31
	Une gouvernance ouverte aux partenariats	33
	▶ Les territoires	33
	▶ La filière du réseau ferroviaire	34
	▶ D'autres gestionnaires	34
	▶ Les entreprises ferroviaires.....	34



Introduction

Le changement climatique est désormais tangible. Canicules et inondations récentes ont joué le rôle de « sonnerie du réveil » partout en Europe. Dans un tel contexte, la France a décidé en 2023 de se doter d'une stratégie et d'une Trajectoire d'Adaptation au Changement Climatique (la TRACC) pour faire face à un réchauffement attendu de +4 °C à l'horizon 2100. Pour s'y préparer, le Gouvernement a annoncé la rédaction en 2024 du 3^{ème} Plan National d'Adaptation au Changement Climatique. SNCF Réseau s'inscrit dans cette démarche portée par le ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires en élaborant sa propre stratégie d'adaptation, alimentée par les rapports du GIEC et d'autres travaux français et internationaux⁽¹⁾. L'objectif est de préserver un haut niveau de performance, y compris en matière de sécurité des personnels, et de minimiser l'impact de l'instabilité croissance du climat sur la qualité de service.

Le chemin de fer est, de longue date, exposé aux saisons, aux aléas climatiques et aux intempéries. Des actions importantes ont déjà été engagées par SNCF Réseau pour en maîtriser les conséquences : adaptation des pratiques d'exploitation et de maintenance, **conception plus résiliente des grands composants de l'infrastructure** (rails et caténaires, mais aussi signalisation) **et lignes nouvelles**. L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des aléas climatiques oblige cependant à une nouvelle mobilisation et à adopter une démarche à la fois plus prospective et plus systématique de la gestion des risques, afin d'intégrer l'exigence de résilience dans ses politiques techniques, ses référentiels et, *in fine*, dans sa stratégie d'entreprise.

La présente note :

- 01** Présente l'analyse des risques climatiques de SNCF Réseau ;
- 02** Définit les grands axes de sa démarche stratégique ;
- 03** Expose sa feuille de route opérationnelle et une gouvernance consolidée.

(1) On peut citer notamment : Rapport particulier sur l'adaptation au changement climatique de la Commission de l'économie du développement durable (ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires) ; Strategic Note on Climate Change Adaptation for European Infrastructure Managers (plateforme européenne des gestionnaires d'infrastructures ferroviaires, PRIME) ; Rapport du Rail Accident Investigation Branch britannique sur le déraillement de Carmont en Écosse en 2020 (RAIB).



01

Les risques liés au changement climatique



L'évaluation du changement climatique aujourd'hui

L'infrastructure ferroviaire est particulièrement concernée par la nécessité d'adaptation notamment pour deux raisons :

► Le réseau est étendu

27 000 km de lignes | 2 200 postes d'aiguillage

Une forte exposition aux intempéries

80%

des voies en remblai ou déblai

28 500

ponts-rails

1 750

tunnels ou tranchées couvertes

► Le réseau est plus âgé que dans les pays voisins, ce qui accroît la vulnérabilité de ses composants.

► L'impact sur la qualité de service

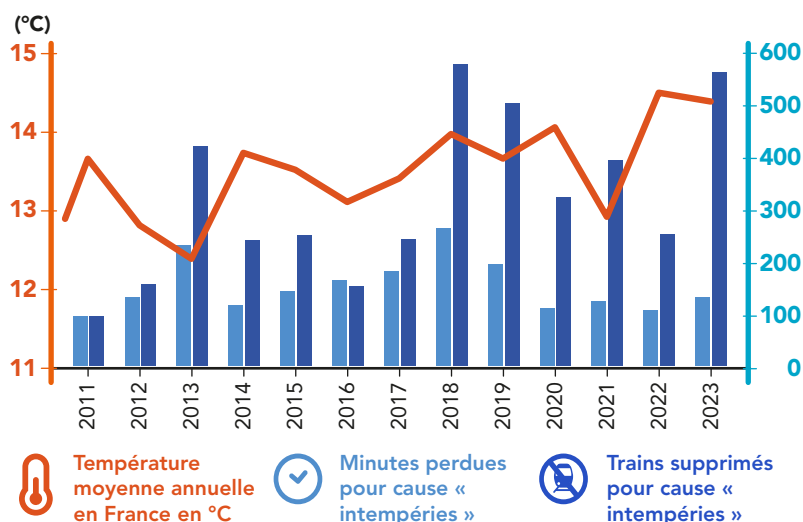
L'accroissement de la concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère entraîne l'augmentation en intensité, en fréquence et en durée de certains aléas météo directs (températures, précipitations) et induits (inondations, sécheresses, mouvements de terrain, etc.), avec des conséquences sur la capacité à produire un service optimal.

L'instabilité climatique a d'ores et déjà des impacts visibles, quoiqu'encore contenus, sur l'exploitation (ralentissements, suppressions de trains, interruption des services).

Cause « intempéries » : entre 2011 et 2023, l'analyse de la base de données des incidents fait ressortir :

+35% Une augmentation (+35%) des minutes perdues ;

TRAINS SUPPRIMÉS
x5 Une multiplication par plus de cinq des trains supprimés avec cependant une forte volatilité.



En dix ans, entre 2014 et 2023, les intempéries ont causé en France 4,6% de l'ensemble des retards et 5,6% des suppressions de trains, par rapport à l'ensemble des incidents (toutes origines confondues : entreprise ferroviaire, gestionnaire d'infrastructure, causes externes incluant les intempéries, etc.).

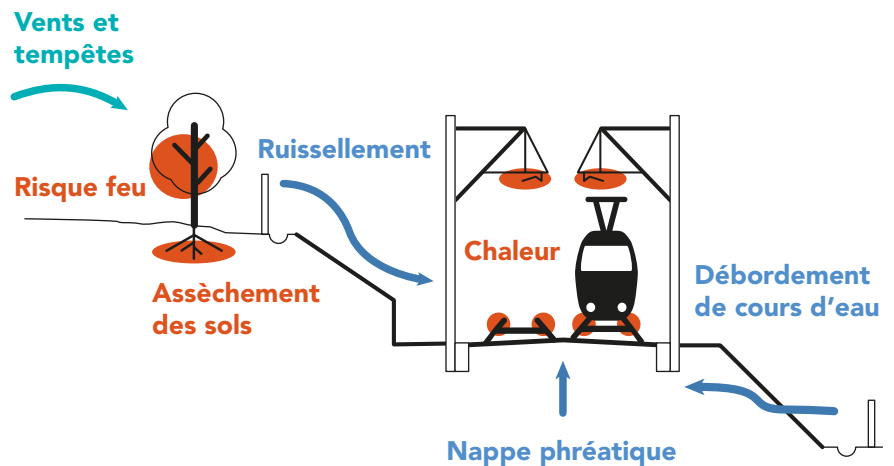
On notera que les statistiques d'incidents ne suivent pas directement la courbe de l'augmentation brute des températures (graphique 1), du fait des actions d'exploitation et de maintenance déjà engagées pour en minimiser les impacts.

Graphique 1 : mise en regard de l'augmentation des températures 2011-2023 et de l'impact des intempéries sur les services ferroviaires en France (base 100).
Source : SNCF Réseau



► L'impact sur les infrastructures

Le dérèglement climatique peut provoquer des défaillances physiques de l'infrastructure (graphique 2). Cela peut aller des chutes d'arbres sur la voie ou la caténaire en cas de vents violents jusqu'à des risques de déformation de la voie pendant les vagues de chaleur ; mais aussi des coulées de boue causées par des fortes précipitations ; la rupture d'ouvrages en terre en cas de crue torrentielle ; des inondations par remontée de nappes ; des défaillances des équipements de signalisation par forte chaleur ; des événements aux conséquences multiples comme la tempête Alex dans les Alpes-Maritimes (Vallée de la Roya) en 2020 ; etc.



Graphique 2 : un réseau nativement exposé aux effets du climat

► L'impact financier : des coûts directs encore limités mais une pression sur les dépenses de maintenance

Le coût direct des aléas climatiques reste relativement contenu. Il représente 32 millions d'euros en 2022.

Ce coût direct agrège :

- Les dommages sur les actifs (coûts mesurés dans les déclarations aux assurances).

FRANCHISE PASSÉE DE

6M€ à 20M€

On notera que le durcissement des conditions d'assurance se traduit par une hausse du niveau de la franchise pour ce type d'événement ;

- Le coût estimé des interventions de maintenance corrective, traduisant toutes les « petites » réparations des installations endommagées ;
- Les pertes d'exploitation subies – et donc les pertes de recettes – liées à la suppression des trains à court terme (les pertes de recettes de plus long terme, une fois que les sillons sont retracés mais que la capacité complète peut ne pas avoir encore été récupérée, sont plus difficiles à suivre puisque factuellement cela revient à un service nominal).

Ce coût direct ne représente toutefois qu'une partie seulement du coût induit par le changement climatique. Celui-ci se matérialise en effet par une pression à la hausse sur les coûts de maintenance et d'exploitation, à travers notamment :

- Une sollicitation croissante des dispositifs de surveillance ;
- Un traitement plus intense de la végétation, lié à **une pousse plus longue** : ces dernières années, par rapport aux références historiques, on estime une pousse de printemps dans les emprises ferroviaires anticipée de 15 jours environ et des chutes de feuilles elles-mêmes retardées d'une durée similaire.

EN 2023

210M€

Le traitement de la végétation représente désormais le premier poste d'entretien du réseau ;

- Des dispositifs d'alerte temps-réel météo.





Les risques à venir

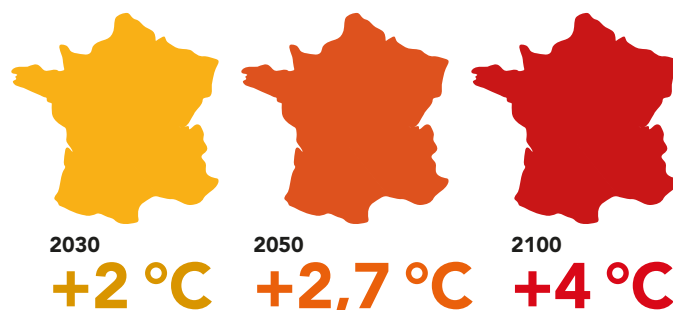
SNCF Réseau a conduit dans les dernières années plusieurs études de vulnérabilité sur certains axes (études finalisées sur l'Axe Seine et l'Arc languedocien, en cours de lancement sur la LGV Nord, la Bretagne et l'axe Dijon - Modane) et au niveau national pour identifier les principaux aléas (nombre de jours à plus de 35 °C, de crues centennales, de pluies décennales, etc.) et leur impact sur le réseau. Ces études ne constituent pas en elles-mêmes des expertises techniques du comportement des équipements mais elles permettent une première évaluation des risques.

► Les risques d'un réchauffement de +4 °C à l'horizon 2100

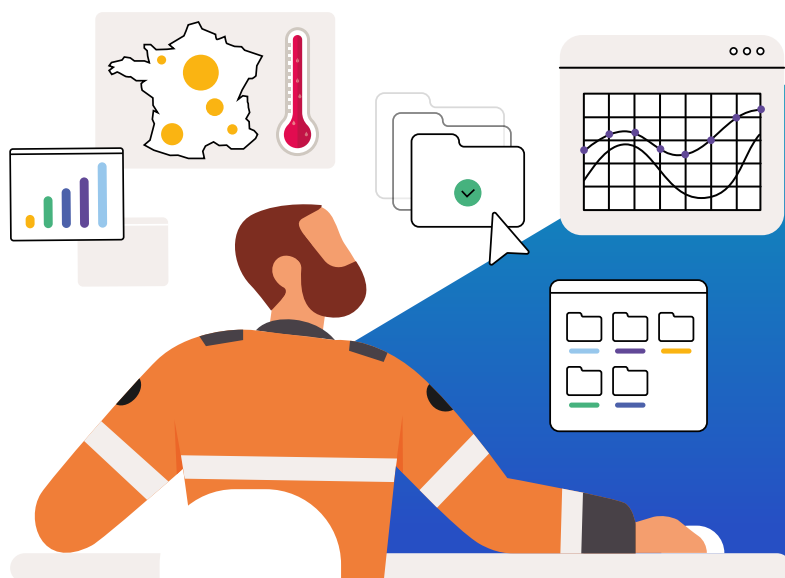
Même dans le cas du scénario climatique le plus optimiste, respectant les accords de Paris de 2015, les effets du changement climatique se feront ressentir au moins jusqu'à la fin du siècle et sans doute au-delà.

La prudence recommande d'anticiper des scénarios moins favorables, quels que soient les efforts des États. L'ampleur du réchauffement climatique futur en France et en Europe dépend en effet pour une large part des politiques publiques d'atténuation simultanément mises en œuvre par les différentes régions du monde.

En l'état actuel, la trajectoire du ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, que SNCF Réseau prend en référence, estime que le monde s'oriente vers un réchauffement de l'ordre de +3 °C à l'horizon 2100 – correspondant pour l'Europe et la France à +4 °C. SNCF Réseau s'inscrit pleinement dans cette référence prudente.



L'augmentation de température actuelle est de +1,7 °C. Source : ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires





► Tendances de fond et phénomènes extrêmes

Le réchauffement climatique conduit à la fois à une dérive des tendances moyennes (élévation des températures, hausse du niveau de la mer, recul du trait de côte, etc.) et à des phénomènes extrêmes plus intenses et/ou plus fréquents. Ces effets sont tous les deux susceptibles d'avoir un impact sur les composants du système ferroviaire.

S'agissant des phénomènes extrêmes, une étude de la Caisse Centrale de Réassurance, en partenariat avec Météo France, estimait dès 2015 qu'en l'absence de mesures d'adaptation, les dommages assurés en France, tous secteurs confondus, pourraient augmenter, d'ici 2050, avec une forte disparité régionale.

DOMMAGES ASSURÉS
EN FRANCE

+50%

DOMMAGES ASSURÉS
EN BRETAGNE

+60%

Phénomène par phénomène, les estimations dans une France à +4 °C en 2100 publiées par le ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires prévoient que, par rapport à la moyenne 1976-2005 prise en référence :

- **Les vagues de chaleur** estivales vont devenir plus intenses, plus fréquentes et plus longues.

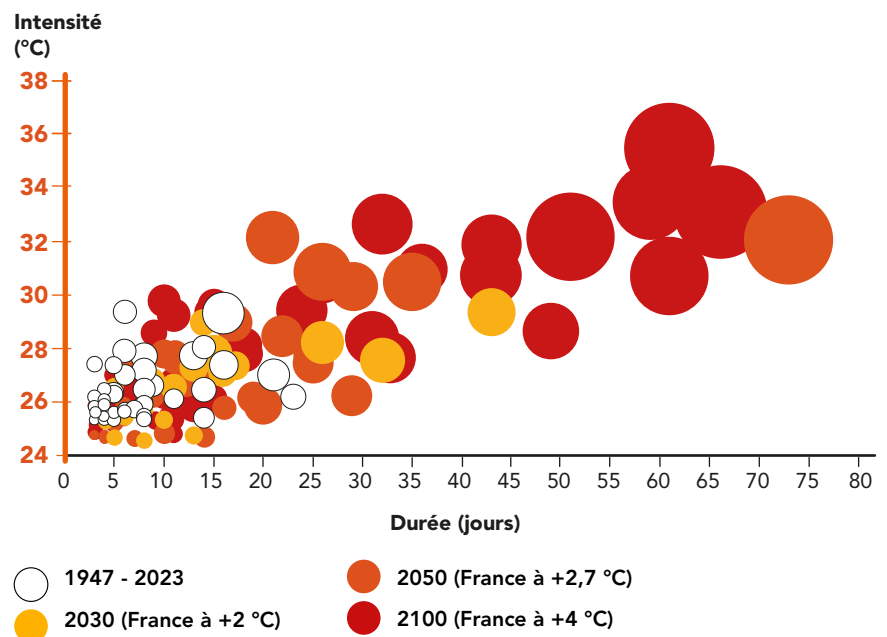
D'ICI 2100 : JUSQU'À

2 mois

CLASSÉS « VAGUE DE CHALEUR »

Lors de la canicule de 2003, 16 jours avaient été classés « vague de chaleur » (graphique 3), ce qui pourrait devenir un phénomène presque normal ;

- La tendance sera bien entendu inverse pour **les vagues de froid et les avalanches ;**



Graphique 3 : vagues de chaleur en France métropolitaine d'ici 2100.
Source : Météo France pour le ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, janvier 2024



- ▶ L'évaporation, en augmentant l'humidité de l'air, devrait conduire à une hausse **des précipitations**, qui devrait causer une augmentation **des inondations** et notamment des « épisodes cévenols » ;
- ▶ Le nombre de jours classés sécheresse (au sens agricole du terme) devrait augmenter d'ici la fin du siècle, en raison de la plus forte évaporation (et non de moindres précipitations) (graphique 4) ;

JOURS CLASSÉS SÉCHERESSE

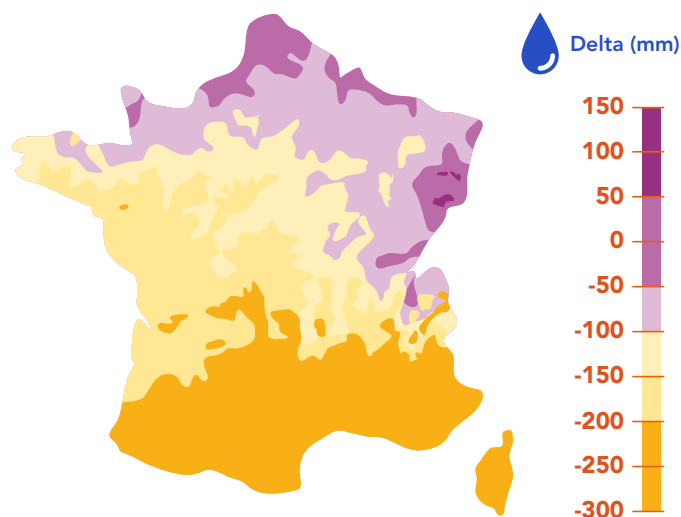
+1 mois

PAR AN

- ▶ Les deux effets – vagues de chaleur et sécheresses – conduiront à une augmentation des **feux de végétation** avec une multiplication des risques dans les régions méditerranéennes d'ici 2100 ;

RISQUES DE FEUX DE VÉGÉTATION

x3



Graphique 4 : une ressource en eau qui diminue d'ici 2100. Source : Météo France pour le ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, Janvier 2024

- ▶ La tendance est beaucoup plus difficile à estimer pour le régime des **tempêtes**. Les modèles du GIEC anticipent au niveau mondial une baisse de leur fréquence globale, mais une augmentation des événements les plus extrêmes. Dans tous les cas, ce phénomène qui peut fortement impacter les services ferroviaires reste difficile à modéliser et à prévoir.



Focus sur 5 risques affectant le réseau ferré

Les études conduites par SNCF Réseau envisagent **une quinzaine d'événements climatiques redoutés**, dont certains sont très spécifiques à certaines zones – comme les avalanches ou les éboulements liés au dégel du permafrost – et étudient la façon dont ils peuvent impacter l'infrastructure ferroviaire. L'étude nationale réalisée par SETEC à la demande de SNCF Réseau, portant sur l'ensemble du réseau ferré national, analyse la vulnérabilité à **5 aléas majeurs**, à la fois présents sur une large partie du territoire métropolitain (donc ni les avalanches, ni le recul du trait de côte, etc.) et avec le potentiel pour détruire certains actifs ferroviaires (dont les tempêtes ont été a priori écartées).

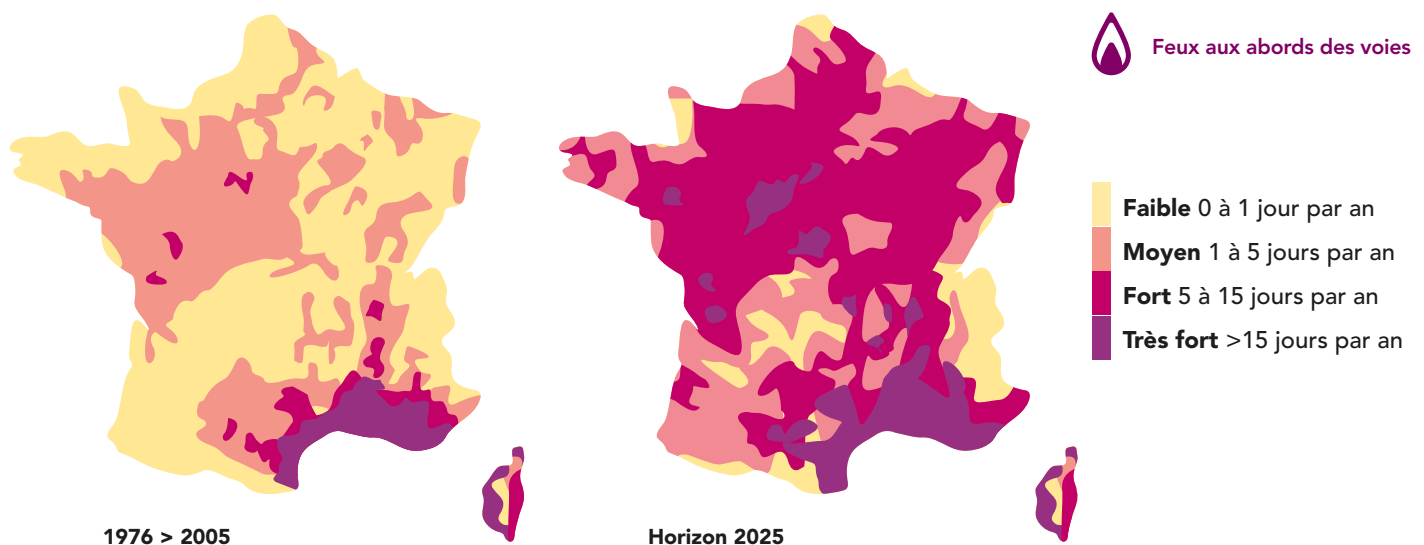
► Des phénomènes relativement bien compris

1/5 Des fortes chaleurs, pour les risques qu'elles font courir aux personnels mais aussi aux équipements électriques (par exemple défaillance d'équipements de signalisation en surchauffe, risque d'arrachement de la caténaire par perte de tension mécanique, etc.) **et à la voie.**

TEMPÉRATURE DU RAIL

+ de 60 °C

2/5 Des feux de végétation, pour les risques qu'ils engendrent sur l'exploitation (interruption de circulation systématique en cas de feu proche des voies) et les dégâts potentiels sur les installations (graphique 5).



Graphique 5 : évolutions probables des feux aux abords des voies par rapport à pré-1990 dans une trajectoire mondiale à +4 °C. Source : étude SETEC, 2022



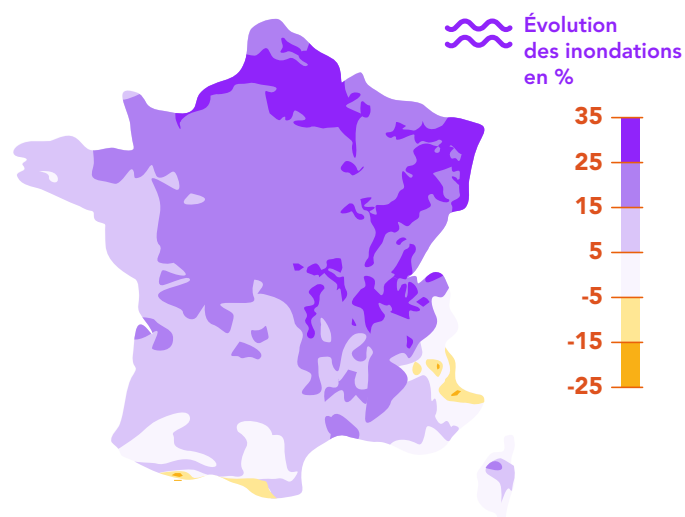
► Des phénomènes plus difficiles à étudier et à modéliser

3/5 Des inondations par débordement de cours d'eau, pouvant provoquer des glissements de terrain ou emporter un talus ou une couche de ballast ou encore créer des affouillements au niveau de certains ouvrages d'art (photo ci-contre).

4/5 Des inondations par ruissellement, parce que les fortes perturbations du régime des précipitations – alternance plus longue sécheresses/pluies – et l'occupation du sol aggravent les dégâts potentiels sur l'infrastructure (là encore, glissement de terrain, mais aussi gares souterraines inondées, etc.).

7 000 km de lignes en France sont en zone inondable par ruissellement ou par débordement (graphique 6).

 **1 quart**
DU RÉSEAU EN ZONE INONDABLE



Graphique 6 : des inondations qui s'aggravent d'ici 2100. Source : Météo France pour le ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, janvier 2024



Crue de l'Aa en Hauts-de-France en 2023

5/5 Des Retraits et Gonflements des Argiles⁽¹⁾, parce que ce risque peut générer des atteintes et dégâts importants sur les structures (fissuration et tassement des sols avec des impacts sur les ouvrages et bâtiments), même s'il est loin d'être le premier responsable des problèmes de géométrie des voies. Dans le domaine des ouvrages en terre, ce n'est d'ailleurs pas le seul risque lié à l'alternance chaleur/pluie : il faut citer également la fissuration des remblais eux-mêmes, la dessiccation des sols, le tassement, les phénomènes de tôle ondulée au niveau de la voie.

(1) RGA. Quand il pleut, les argiles (et certaines en particulier) gonflent et sont meubles. Lors des périodes de sécheresse, elles se rétractent et fissurent : l'alternance des deux phénomènes fait se déformer les sols et déstabilise les structures situées au-dessus. Il peut alors se créer des fissures qui favorisent l'infiltration des eaux de ruissellement. Ce sont les remblais qui sont les premiers touchés. L'ampleur de l'impact potentiel de ce phénomène reste cependant un sujet de recherche. Il est encore mal connu et on risque d'attribuer beaucoup de problèmes de voie mal compris aux Retraits et Gonflements des Argiles si l'on ne fait pas d'analyse technique plus fine. Notons que pour la sécheresse des sols on pense aux périodes de faibles pluies mais il faut incriminer aussi la baisse du niveau des nappes, la végétation, le pompage par des tiers, etc.



Ces 5 phénomènes analysés dans l'étude nationale ne couvrent pas l'ensemble des sujets, on peut citer au moins deux autres types d'événements qui peuvent avoir des impacts considérables même s'ils sont a priori plus localisés (la mer) ou un peu moins destructeurs (le vent) :

- **L'élévation du niveau de la mer** pourrait monter, selon le scénario TRACC.

+ 65 cm

EN 2100

Ce phénomène peut conduire à des effets de marées, d'embruns, de créations de marécages mettant en risque les ouvrages en terre, dans une proportion encore en cours d'évaluation mais probablement bien plus importante que la submersion en tant que telle qui ne concerne que quelques zones ciblées ;

- Pour le régime **des vents et tempêtes**, on manque de capacité de modélisation pour estimer l'influence du changement climatique, quelle que soit la référence retenue ⁽²⁾. S'agissant des vents, l'impact sur la qualité de service peut en tout état de cause être majeur, en fonction de la végétation susceptible d'être renversée sur la voie. Notons que pour certains experts, le changement climatique pourrait avoir peu d'effet sur le nombre de tempêtes mais, augmenter leur puissance individuelle ;

L'encadré ci-après résume les grands impacts de chacun des 5 principaux aléas pris isolément, en notant qu'ils tendent à se cumuler par zone géographique. Le risque principal porte sur la qualité de service. L'âge des infrastructures est de ce point de vue un facteur aggravant : une installation ancienne, même bien entretenue, reste plus fragile face aux agressions de l'environnement : un fil de contact usé a une épaisseur diminuée : le passage du courant l'échauffe plus ; comme il est plus fin, il est plus fragile et l'opération consistant à retendre la caténaire peut le casser.

La qualité de service est plus généralement impactée par les mesures prises pour garantir la sécurité des circulations : ralentissements de la vitesse des trains mais aussi interruption des circulations si nécessaire, en cas notamment d'avis de tempête. À terme, le maintien d'un haut niveau de fiabilité passe à la fois par un approfondissement des connaissances des impacts, une surveillance renforcée et le renouvellement ou le renforcement d'actifs critiques.

Les 5 principaux aléas identifiés par l'étude nationale et leurs impacts



Hausse des températures : ensemble du territoire

- Sur l'ensemble du système et sur les conditions de travail
- Impact non linéaire (température du rail)
- Risque de baisse d'étiage pouvant impacter certains ouvrages sur pieux bois en fondation aquatique



Incendie aux abords des voies : extension au nord de la Loire

- Sur les installations de signalisation et télécommunications
- Sur la voie selon le niveau de maîtrise de la végétation



Inondations par ruissellement : ensemble du territoire

- Principalement sur la superstructure et les ouvrages en terre
- Impact aussi sur la signalisation électrique en zone inondée



Inondations par débordement : ensemble du territoire

- Principalement sur la plateforme et les ouvrages en terre



Retrait et Gonflement des Argiles (RGA) : Sud-ouest de la France et Bassin Parisien principalement

- Principalement sur les bâtiments, la plateforme ou sur les ouvrages d'art
- Peut impacter la géométrie de la voie

(2) La référence de SNCF Réseau est la Trajectoire d'Adaptation au Changement Climatique (la TRACC) choisie par la France. Cependant, de nombreuses données techniques associées ne sont pas disponibles à ce jour, nécessitant pour les illustrations de s'appuyer sur les scénarios 4.5 et 8.5 du GIEC.



L'investissement continu dans la connaissance des impacts futurs sur le ferroviaire

L'ampleur et les effets du changement climatique sont aujourd'hui mieux cernés grâce aux travaux de synthèse des connaissances effectués par le GIEC.

On s'attend à une augmentation de l'intensité, de la fréquence et des impacts des principaux aléas météorologiques sur le réseau ferroviaire.

Comme indiqué plus haut, cela concerne aussi bien des événements extrêmes comme les vagues de chaleur ou les inondations que les tendances de fond à l'image de la hausse du niveau de la mer ou de la température moyenne.

Des « angles morts » subsistent cependant, dans une France allant vers +4 °C en 2100, sur l'impact des aléas climatiques liés au cycle de l'eau. Les pathologies sur les ouvrages centenaires liés à l'alternance des périodes de sécheresses et de fortes précipitations et à la dessiccation des sols, aux inondations par ruissellement ou par débordement, doivent faire l'objet **d'études ouvrage par ouvrage**. Dans ce contexte, la connaissance du lien entre précipitations et défaillance des actifs reste imparfaite car l'état exact des systèmes souterrains, naturels ou construits, n'est pas toujours connu avec précision et chaque cas est particulier (il faut modéliser les sites un par un). Pour ne citer qu'un exemple, les ouvrages en terre sont protégés des effets des ruissellements par des systèmes hydrauliques du type fossés, passages sous-voie, canalisations, etc. Ces installations sont souvent anciennes et difficiles d'accès. Elles ont été construites sans horizon de renouvellement – la politique de maintenance doit donc détecter et corriger les désordres au fur et à mesure.



Au-delà de l'évaluation des risques au niveau français, synthétisée dans l'étude nationale réalisée pour SNCF Réseau, des études territoriales terminées (Vallée de la Seine, Arc languedocien) ou en cours de lancement à l'initiative du programme national (la LGV Nord) ou des entités territoriales (la Bretagne, l'Axe Dijon - Modane, PACA, etc.) permettront de mieux caractériser les vulnérabilités locales, en prenant en compte quand c'est possible l'historique des ouvrages.



02

La démarche stratégique d'adaptation



Pour passer de la connaissance à l'action, la stratégie d'adaptation de SNCF Réseau se fonde sur trois axes (graphique 7) :

- ▶ L'adaptation de l'entretien et de la surveillance ;
- ▶ L'adaptation de l'exploitation (gestion de crise et adaptation des fonctionnalités du réseau) ;
- ▶ L'adaptation des actifs, c'est-à-dire de la conception des infrastructures.

Ces leviers doivent être utilisés par ordre de mérite (meilleur rapport coûts-bénéfices) et peuvent être combinés entre eux.

Axe 1
Adaptation de l'entretien et de la surveillance



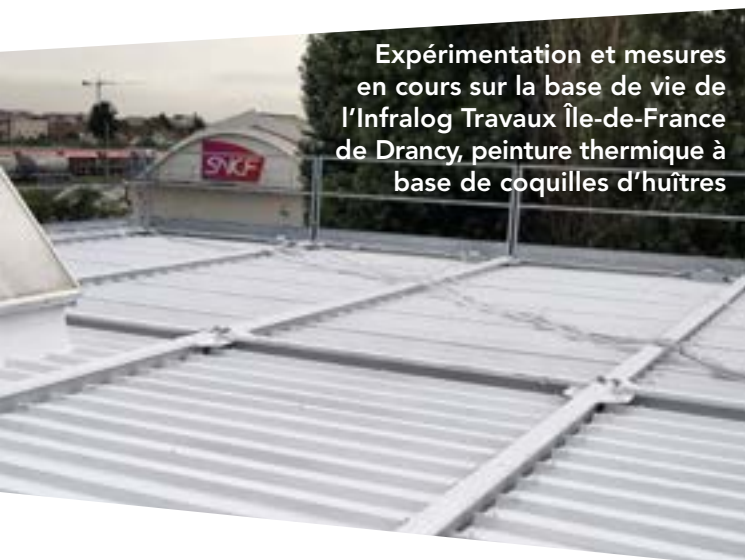
Axe 2
Adaptation de l'exploitation et des fonctionnalités du réseau

Axe 3
Adaptation des actifs

Graphique 7 : le triangle de l'adaptation de l'infrastructure

L'adaptation de l'entretien et de la surveillance

Les règles d'entretien et de surveillance font partie de la première ligne des actions engagées. Celles-ci permettent d'apporter de la résilience dans la mesure où le changement des conditions climatiques peut entraîner un vieillissement prématuré des composants et une augmentation des incidents.



Expérimentation et mesures en cours sur la base de vie de l'Infralog Travaux Île-de-France de Drancy, peinture thermique à base de coquilles d'huîtres

▶ Ce qui est déjà mis en œuvre

Un certain nombre d'actions a déjà été mis en place pour faire face en particulier aux vagues de chaleur :

- ▶ L'anticipation de la saison chaude par les équipes de maintenance au début de chaque année permet de préparer les installations à une éventuelle vague de chaleur ;
- ▶ La peinture en blanc des éléments de signalisation (photo ci-contre) permet une baisse de température ;

-5 °C

EN MOYENNE À L'INTÉRIEUR DES INSTALLATIONS TRAITÉES

- ▶ **Le renforcement de la maîtrise de la végétation aux abords des voies ;**
- ▶ La réduction des étincelles quand elles risquent de provoquer des feux. **La suppression progressive du meulage pendant l'été est engagée.** Les soudures électriques réalisées par certains trains-usines réduisent le besoin de soudures aluminothermiques, plus risquées en termes de départ de feu potentiels.



► Le traitement de la végétation

La maîtrise de la végétation aux abords des voies est un enjeu majeur pour réduire les départs ou la propagation des feux, les chutes d'arbres, les feuilles sur la voie, les heurts de gibier et les accidents du travail. Dans ce domaine, les standards définis par SNCF Réseau s'inscrivent dans des réglementations nationales, qui elles-mêmes évoluent et auxquelles le réseau ferroviaire doit se conformer.

La loi du 10 juillet 2023 visant à renforcer la prévention et la lutte contre l'intensification et l'extension du risque incendie augmentera fortement, dans les deux ans à venir, **les Obligations Légales de Débroussaillage (OLD)** sur l'ensemble du territoire. Ces obligations exigeantes imposant une mise à distance des ligneux et un entretien annuel vont dans le sens du maintien d'une végétation compatible avec l'exploitation ferroviaire et d'une stabilisation de milieux résilients aux changements climatiques.

Une plateforme bien entretenue est un obstacle à la propagation des feux



► Les pistes pour aller plus loin

Une première famille d'actions porte sur le déploiement ambitieux, voire la généralisation, des actions qui sont aujourd'hui au stade de projets pilotes.

- Cela peut concerner le renforcement de **l'entretien des ouvrages hydrauliques et du traitement des ruissellements**. Ce dernier point nécessite de travailler en partenariat avec les riverains concernés (notamment les agriculteurs) ;
- En France, **la température qui permet de neutraliser les contraintes de dilatation / rétractation des rails est de 25 °C sur tout le territoire**. La modification de ce paramètre température est aujourd'hui possible dans des cas exceptionnels mais pourrait être déployée plus largement.

Une seconde famille d'actions porte sur l'étude, le développement et le déploiement de solutions innovantes d'entretien et de surveillance, notamment :

- De nouvelles méthodes de traitement de la végétation ;
- De nouvelles démarches pour réduire le risque d'étincelles pouvant entraîner des départs de feux ;
- Des solutions de surveillance par satellite des ouvrages en terre et des ouvrages hydrauliques face au risque inondation.



► Protéger les collaborateurs, développer les compétences

Si l'impact du changement climatique – sur le réseau, les installations et les projets – est évident, la culture de mainteneur et d'exploitant ferroviaire de SNCF Réseau rappelle que le changement climatique est un phénomène transverse qui impactera l'ensemble de l'entreprise et d'abord ce qui en fait sa première richesse et sa force : les femmes et les hommes, leur travail et leurs compétences.

L'impact le plus évident est l'augmentation du nombre de jours de forte chaleur.

Le rafraîchissement des chantiers en extérieur tout comme des locaux de travail sera donc un enjeu important. Sur les chantiers, l'adaptation au risque chaleur passe par des solutions collectives (brumisateurs, ombrières, adaptation des horaires de travail) ou individuelles (équipements de protection individuels). Dans tous les cas l'enjeu de l'approvisionnement en eau fraîche sera central.

Les plans d'amélioration de qualité de vie et des locaux devront aussi tenir compte du besoin d'isolation et de confort thermique et d'une potentielle évolution des normes de travail.

Le changement climatique se traduit aussi par des vents violents ou des pluies torrentielles pouvant impacter les conditions de travail voire la sécurité du personnel (déplacement dans les emprises, chutes d'arbres, déplacement en véhicule routier sur routes inondées, etc.).

Le développement d'outils numériques permettra de cibler au mieux les interventions humaines juste nécessaires pour assurer la sécurité des circulations pendant ces événements. L'utilisation des alertes météo pour organiser la production, au travers de contrats spécifiques avec Météo France, est un atout existant qui pourra être valorisé en ce sens.

L'adaptation du réseau nécessitera parfois une évolution des systèmes, des outils et des procédures et il conviendra d'anticiper les formations métiers adéquates.



1. Modifier les normes ou plages de réglages des actifs quand cela est possible
2. Utiliser des systèmes d'alertes pour intervenir juste avant ou juste après une dégradation
3. Renforcer les actions de surveillance ou d'entretien pour les actifs vulnérables
4. Développer des outils innovants pour augmenter l'efficacité des opérations comme la mise en service de capteurs intelligents (IoT)





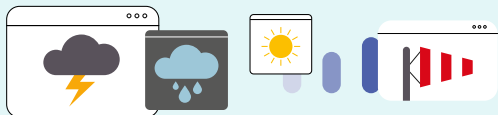
L'adaptation de l'exploitation et des fonctionnalités du réseau

Les mesures d'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'exploitation peuvent prendre deux formes : des mesures de gestion de crise – qui sont déjà en place aujourd'hui – et des mesures plus durables.

► Conforter la stratégie de prévention

Les mesures d'exploitation en temps réel sont la « première ligne » d'adaptation, basée en grande partie sur une vigilance météo et des outils digitaux.

Les mesures de gestion de crise doivent chaque fois que possible anticiper le risque de quelques heures. On peut citer la vitesse des trains ralentie pendant les épisodes de fortes chaleurs pour préserver la voie sur les secteurs vulnérables à la déformation et pour limiter les risques d'enfourchement des pantographes sur des caténares détendus.



Les actions développées avec Météo France pour maîtriser le risque lié au changement climatique

Deux actions clés pour anticiper les risques ont été construites avec **Météo France** :

- Des alertes spécifiques pour que la **gestion de crise SNCF** devance en temps réel les phénomènes comme les vents violents ;
- **Des prévisions météo anticipées** qui ont participé à réduire considérablement les déformations de voies en prévoyant les besoins de surveillance des zones sensibles. Elles permettent aussi de décaler les horaires pour éviter quand c'est possible le travail en extérieur aux heures les plus chaudes de la journée.



Limitation temporaire de vitesse

Les mesures peuvent aller jusqu'à la suppression volontaire de circulations pour limiter les risques de trains bloqués (dispositif « Stop circulation » en partenariat avec Météo France, en cas de très fortes précipitations ou de tempêtes annoncées), préserver les installations ou simplement parce qu'une section n'est plus exploitable du fait de risques trop importants (glissement de terrain, etc.).

Il est aussi parfois possible de détourner les trains par un autre itinéraire pour contourner une difficulté, ou encore, de façon plus anecdotique, fournir l'accès en cas d'incident à des voies permettant le stationnement de « rames glacières » en gare pour offrir une zone fraîche aux clients.



► Pour le futur : adaptation de la demande et des fonctionnalités du réseau

Pour l'avenir, une résilience absolue, visant à maintenir 100% des fonctionnalités actuelles, semble difficilement accessible, techniquement et financièrement. Si l'objectif stratégique est bien de développer l'usage du train dans les prochaines décennies, à raison de la contribution qu'il apporte à l'atténuation du changement climatique, il y aura nécessairement des adaptations à faire dans les fonctionnalités du réseau.

Les fonctionnalités du réseau ont vocation à évoluer selon deux considérations :

- **Les évolutions probables de la demande de transports dans un monde à +4 °C : il y aura certainement une demande de « plus de trains », mais aussi des changements temporaires ou permanents des choix de transport liés aux fortes chaleurs, ainsi que des évolutions plus durables des habitudes de déplacement (changement de destinations touristiques, choix de localisation des entreprises et des ménages, développement du télétravail en cas d'intempéries, etc.).** SNCF Réseau ouvre la réflexion sur cette dimension avec une première étude lancée en 2024 ;
- La capacité à offrir un service résilient à un coût économique raisonnable. L'évaluation visera à préciser les termes de l'arbitrage entre les coûts d'adaptation et la qualité et la permanence du service offert.



Viaduc de Niolon



L'adaptation des actifs

Le réseau ferré national est conçu pour résister aux intempéries. Par exemple, pour prévenir les risques liés à la foudre, les installations sont prévues pour se mettre en sécurité et provoquer l'arrêt des trains si elles ne sont plus capables de fonctionner.

De même, les ouvrages hydrauliques anciens ont été construits en s'appuyant sur l'expérience des crues historiques, et les plus récents sont dimensionnés sur la base des crues centennales (ouvrages transversaux) ou décennales (ouvrages longitudinaux), ce qui leur donne un haut niveau de résistance vis-à-vis des conditions actuelles. De nombreux ouvrages en terre sont également équipés de capteurs et suivis par un logiciel dédié.

Les Longs Rails Soudés (LRS)

Les rails sont historiquement posés en « barres normales » reliées entre elles par des éclisses où le rail peut coulisser pour se rétracter ou se dilater en fonction des températures. C'est d'ailleurs le passage des roues du train sur les espaces entre les rails successifs qui crée le « tac-tac » typique des anciennes voies. Cette technologie n'est pas compatible avec des vitesses élevées et est très coûteuse en entretien, notamment pour que la voie soit exploitable en période de forte chaleur.

Il a donc été décidé à **partir des années 50 de poser les voies en « longs rails soudés »**, qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de kilomètres dont le principe de pose contraint les dilatations de l'acier.

EN FRANCE

25 °C

CONTRAINTES NULLES DANS LE RAIL

Quand la température ambiante monte, surtout en plein soleil, le rail peut dépasser 45 °C, voire 60 °C, mais les efforts liés à l'absence de dilatation sont repris par le système d'attaches/traverses/ballast et le système est à l'équilibre. Les règles de conception et de maintenance sont là pour que dans ce cas, les trains puissent toujours circuler à la vitesse habituelle.

Cette technologie aujourd'hui déployée sur 85% du réseau français a permis des gains significatifs à la fois en termes de coût mais aussi de résilience, même si elle n'était pas nécessairement conçue pour cela au départ.



Joint éclissé



Soudure électrique

Elle permettrait au rail, le moment venu, en augmentant la température de référence, de mieux supporter des températures élevées – mais sans agrandir la plage de fonctionnement – et donc en prenant le risque d'augmenter les ruptures de rails en cas de grand froid.

NB : l'augmentation de la température de référence est déjà appliquée aujourd'hui dans des cas particuliers et très localisés.



En revanche, pour tenir compte des conditions futures, l'adaptation ou le remplacement des actifs ferroviaires doivent être envisagés.

La Caténaire Simple, Renforcée, Régularisée (CS2R)

Les trains électriques sont alimentés par le courant de la caténaire, capté par le pantographe situé au-dessus du train.

En France, ce courant peut avoir deux tensions.

1 500 V **25 000 V**

COURANT CONTINU

COURANT ALTERNATIF

Sur les 16 000 km de lignes électrifiées (soit environ la moitié du réseau français), toutes les voies récentes sont en 25 000 Volts, mais encore **plus d'un tiers (5 700 km) est en 1 500 Volts.**

Une caténaire est composée d'un fil de contact soutenu par un câble porteur, éventuellement doublé d'un porteur auxiliaire, avec des fixations de taille variable et des contrepoids assurant une tension pour que le fil de contact reste rectiligne.

La caténaire 1 500 Volts est plus fragile face aux vagues de chaleur car les contrepoids ne sont que sur le fil de contact : le porteur et le porteur auxiliaire n'en ont pas (on dit qu'ils ne sont pas régularisés). Or, quand la chaleur dilate le métal des porteurs, il est difficile de maintenir la planéité du fil de contact et on court le risque que l'archet du pantographe passe au-dessus, arrachant alors la caténaire sur plusieurs kilomètres, avec un impact majeur sur la qualité de service. La seule solution pour maîtriser ce risque est aujourd'hui de ralentir les trains. Avec la multiplication des canicules, cette situation peut devenir systématique.

SNCF Réseau, avec ses partenaires industriels, a donc conçu récemment une caténaire 1 500 Volts dite CS2R, équipée d'un seul porteur qui est régularisé, tout en ajoutant d'autres innovations (par exemple elle est plus résistante mais aussi plus légère et consomme donc moins de matières premières). Elle est aujourd'hui déployée sur un site pilote et est envisagée pour les futures régénérations complètes de caténaires 1 500 Volts.



Le double appareil tendeur régularisant les fils de contact et le porteur sur la caténaire CS2R (entre Tarbes et Montréjeau)

La CS2R est bien adaptée pour les grosses opérations de renouvellement comme le remplacement de la caténaire « midi » très ancienne et peut être déployée sous réserve d'un calcul économique dans d'autres cas.



► L'enjeu du renouvellement et de la modernisation

SNCF Réseau augmente à compter de 2023 ses investissements de régénération et de modernisation du réseau. Cette augmentation constitue une opportunité majeure pour l'adaptation au changement climatique.

L'adaptation des actifs doit se faire par ordre de mérite. Les investissements peuvent ainsi être hiérarchisés en commençant par ceux qui ont le meilleur rapport coûts-bénéfices, qui nécessitent le moins d'investissement au départ et/ou dont l'impact est le plus significatif, et en formant les différents maîtres d'ouvrages pour que cette logique soit intégrée dans leur travail et partagée le cas échéant avec les financeurs externes dès le stade de l'émergence.

Le renouvellement des actifs, tout en les rajeunissant, permet de déployer les technologies et les normes les plus récentes. C'est cette étape qui apporte les gains les plus importants en matière d'adaptation de l'infrastructure au changement climatique.

Dans le programme très important de montée en puissance de la régénération de la voie, le principe d'utiliser les technologies les plus récentes est déjà acquis : on parle de « **régénération améliorative** », ce qui a aussi un bénéfice en termes d'atténuation des émissions. Le niveau de résilience doit toutefois être confirmé au cas par cas. Cette action « sans regret » au point de vue de l'adaptation au changement climatique offre aussi l'opportunité d'intégrer des composants plus résilients dans les opérations futures.

Ces démarches se combinent avec celles déjà citées sur l'entretien et la surveillance des actifs, ainsi que la chaîne d'approvisionnement, pour une résilience globale puisque la régénération reste par définition morcelée.

La modernisation se concentre aujourd'hui sur le déploiement de la Commande Centralisée du Réseau (CCR), du système européen de gestion du trafic des trains ERTMS (European Rail Traffic Management System) et du système de communication FRMCS (Future Railway Mobile Communication System, destiné à remplacer le GSM-Rail). Elle permet d'améliorer l'exploitation, notamment en cas de crise car les voies en ERTMS sont par nature banalisées (les trains peuvent rouler sur chaque voie dans les deux sens). Par ailleurs, ces technologies sont conçues avec moins d'équipements au sol, qui sont autant de points sensibles en moins en cas d'inondation ou d'incendie aux abords des voies.

Notons *a contrario* que cette démarche a tendance à concentrer les installations de commandement qui se doivent alors d'être particulièrement résilientes. Cela doit être mis en œuvre à tous les niveaux, par exemple en choisissant l'emplacement d'une Commande Centralisée du Réseau dans une zone la moins exposée possible aux inondations ou autres intempéries.





À court terme

Les actions suivantes pourront permettre d'orienter les démarches d'adaptation des actifs dans la bonne direction :

- ▶ Définir un label permettant d'évaluer si les projets de régénération et de modernisation sont résilients face au changement climatique (ce label pourra être étendu aux projets de développement) ;
- ▶ Travailler sur l'éco-conception des composants, à la fois par un travail avec les fournisseurs, en particulier la filière ferroviaire française et par l'intégration des nouvelles exigences éventuelles dans les référentiels techniques.

À moyen terme

Les pistes d'adaptation des actifs au changement climatique sont nombreuses. Parmi elles, sous réserve de validation au cas par cas du rapport coûts-bénéfices, on peut citer :

- ▶ **La vérification et, si nécessaire, le traitement du système hydraulique des plateformes quand cela peut être intégré aux renouvellements voie-ballast de type train usine**, en profitant de la présence du chantier sur place. C'est a priori l'action la plus prioritaire, sous réserve d'études et de financements ;
- ▶ La mise en place, lors des opérations de régénération, d'électronique renforcée plus résistante à la chaleur, à l'humidité, aux micro-organismes et/ou aux amplitudes de température. Cela passe soit par sa conception intrinsèque, soit par la façon dont elle est mise en œuvre, par exemple avec des boîtiers étanches et des procédures de maintenance adaptées (on parle parfois d'équipements « tropicalisés » par analogie avec les matériels destinés à fonctionner dans des toutes sortes d'environnements, comme les radios militaires). C'est déjà le cas pour les postes d'aiguillage informatiques de type ARGOS, via la conception des guérites ;
- ▶ Le déploiement de la caténaire CS2R au moment des opérations de régénération importantes de caténaires 1 500 Volts.



► L'enjeu des normes

À côté de la rénovation et de la modernisation du réseau, les nouvelles lignes doivent être conçues plus résilientes, en adaptant notamment le tracé ou le dimensionnement des ouvrages. Les surcoûts éventuels associés dépendent de la localisation géographique du projet. L'exemple de référence dans ce domaine est le Contournement de Nîmes et Montpellier (CNM) pour lequel les services de l'État ont renforcé les exigences tout au long de la phase de conception.

Les normes et les technologies les plus récentes produisent en effet, à dire d'expert, une infrastructure a priori résiliente aux premières hausses de températures (à l'horizon 2040-2050). En revanche il n'est pas certain aujourd'hui que l'ensemble du catalogue technique actuel permette une résilience face à +4 °C en 2100. Cela concerne

en particulier les plages de fonctionnement des installations (température et hygrométrie particulièrement pour l'électronique de signalisation) qui devront être étendues mais aussi la résilience dans la durée aux pics de températures plus fréquents qui peuvent fatiguer les systèmes.

De nouvelles normes sont déployées, concrètement, lors des cycles normaux de renouvellement ou de la construction de nouvelles infrastructures. Notons cependant que de nombreuses problématiques, de nature locale, ne se résoudront pas et ne doivent pas être résolues en imposant une norme nationale ou internationale au coût très élevé, alors qu'elles ne concernent réellement que des situations qui doivent être traitées au niveau du territoire.



Ouverture de type viaduc interrompant un remblai pour donner de la transparence hydraulique (CNM, plaine du Vidourle)

Transparence des remblais : le Contournement de Nîmes et Montpellier (CNM)

La ligne mixte (voyageurs et fret) de 80 km prolongeant la LGV Sud-Est entre Nîmes et Montpellier a été inaugurée en 2017. Située dans une région très exposée aux intempéries, la ligne a été conçue pour être résiliente aux inondations.

12 VIADUCS

ont été intégrés dont l'ouverture permet de laisser passer de grandes quantités d'eau là où un ouvrage en terre type remblai pourrait être emporté par une inondation.

Les différentes étapes de la conception du projet et de la concertation (enquête publique, etc.) ont même conduit à renforcer le niveau d'exigence.

La résilience est là : quand les inondations de septembre 2021 ont obligé à fermer les routes et la ligne ferroviaire historique, les trains continuaient à circuler sur le CNM, même si les remblais ont aussi été endommagés.

Cette résilience n'est pas considérée comme acquise, car le risque lui-même évolue. Ainsi sur l'année 2023, environ 1,12 M€ ont été consacrés à des études de résilience de cette ligne ou à des expérimentations.



► Les marges de rétrofit

Le rétrofit, la solution potentiellement la plus coûteuse, dépend de la durée de vie des actifs et de leur usage. Comme le rappelle l'encadré ci-après, la durée de vie des composants est généralement longue mais variable, avec des horizons de régénération souvent compatibles avec la prise en compte de l'instabilité climatique future.

Durée de vie moyenne variable des actifs ferroviaires

Signalisation digitale et contrôle commande moderne

Supérieur à 30 ans

- Durée de vie compatible avec la trajectoire climatique (avec régénération à mi-vie)
- Actifs nativement moins exposés

Signalisation électrique et électromécanique

Supérieur à 60 ans

- Vulnérable à la chaleur mais en cours de remplacement par la signalisation digitale

Signalisation mécanique

Parfois supérieur à 100 ans

- Peu vulnérable (mais très peu performant)

Télécoms

Supérieur à 20 ans

- Durée de vie compatible avec la trajectoire climatique, donc a priori pas de rétrofit nécessaire
- Actifs nativement moins exposés

Catenaire

Supérieur à 60 ans

- 25 000 Volts : peu vulnérable spécifiquement
 - 1 500 Volts partiellement régularisée : vulnérable aux hausses de température
- Le catalogue caténaire dispose déjà d'une solution régénérative (CS2R), mais dont le rythme de déploiement reste à fixer

Ouvrages en terre et ouvrages hydrauliques

Construits pour 100 ans, sans horizon de régénération, sauf cas particulier

- Actifs estimés « à mémoire d'homme » et, pour les plus récents, dimensionnés pour des crues centennales pour les ouvrages traversants et crues 1,8 x crue décennale pour les ouvrages longitudinaux
- Très sensibles à des facteurs exogènes (climat, changement d'occupation des sols à proximité des emprises ferroviaires, animaux fouisseurs, cavités naturelles ou anthropiques, etc.)
- Il n'est pas exclu de tout reconstruire (en cas de désordres locaux sur les ouvrages hydrauliques notamment) pour redonner de la marge d'action

Ouvrages d'Art

Supérieur à 100 ans

- Vulnérabilité nécessitant parfois une étude ad hoc
- Les structures d'assises peuvent avoir les mêmes vulnérabilités que les ouvrages en terre (ci-dessus)

Plateformes

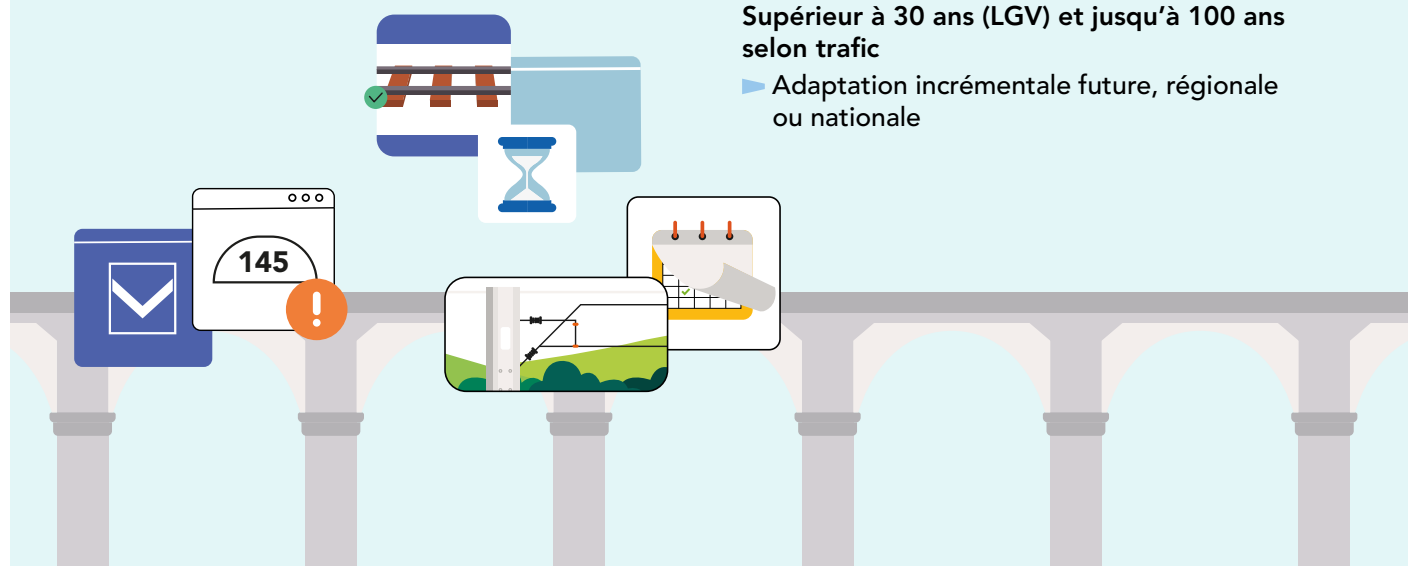
Construites pour 100 ans minimum sans horizon de régénération systématique

- Vulnérabilité à l'eau dépendant grandement du système hydraulique et dans une certaine mesure des sollicitations appliquées par les circulations (contraintes vibratoires)

Rails

Supérieur à 30 ans (LGV) et jusqu'à 100 ans selon trafic

- Adaptation incrémentale future, régionale ou nationale





Viaduc de Cize-Bollozon

Il est possible, par une évaluation économique et financière :

- ▶ De planifier les actions d'adaptation en fonction des chroniques naturelles de renouvellement, pour bénéficier des effets de la régénération sans passer par un rétrofit spécifique et coûteux, quitte à utiliser des mesures d'exploitation, de surveillance et d'entretien pour « tenir » l'actif sans rétrofit jusqu'à la date prévue de régénération (exemple : augmentation de la fréquence des visites et remplacement préventif de composants électroniques d'un poste de signalisation dans les dernières années de la vie opérationnelle de l'installation) ;
- ▶ De créer des marches incrémentales de résilience : ainsi, **il n'est pas utile de concevoir aujourd'hui un équipement télécom résistant aux conditions de 2100, puisqu'il aura été renouvelé deux à trois fois d'ici-là**. On peut donc envisager de déployer une solution plus frugale à ce stade tout en continuant à travailler sur la conception résiliente à long terme ;
- ▶ D'identifier les cas où il ne sera pas possible d'éviter le rétrofit car la durée de vie naturelle de l'installation est trop longue, ou sans horizon de renouvellement, et la conception initiale trop fragile par rapport aux aléas du XXI^{ème} siècle. Cela peut concerner des infrastructures lourdes comme **le réseau hydraulique d'un ouvrage** mais aussi des norias de remplacement de pièces sensibles aux intempéries (demande mise en place sur l'Axe TGV Atlantique).

Dans l'analyse par type d'actifs, la priorité porte sur l'ensemble constitué par les ouvrages en terre, les plateformes et les systèmes hydrauliques face aux risques liés à l'eau. En effet, ils sont particulièrement critiques du fait :

- ▶ **De leur durée de vie : ils ont été construits généralement pour 100 ans mais sans horizon de traitement ou de renforcement prévu.** Les interventions se font parfois en préventif (domaine rocheux, domaine meuble, cavités) mais aussi souvent en fonction des désordres détectés, donc par définition toujours en rétrofit ;
- ▶ **Des difficultés pratiques d'accessibilité et donc de surveillance, en particulier pour les ouvrages hydrauliques qui sont souvent enterrés ;**
- ▶ **Des difficultés de modéliser le cycle de l'eau globalement ;**
- ▶ Des conséquences économiques importantes : exemple récent du talus de Bédarieux - Millau, emporté par un « épisode cévenol » en 2023.

COÛT DE RÉPARATION

10 M€

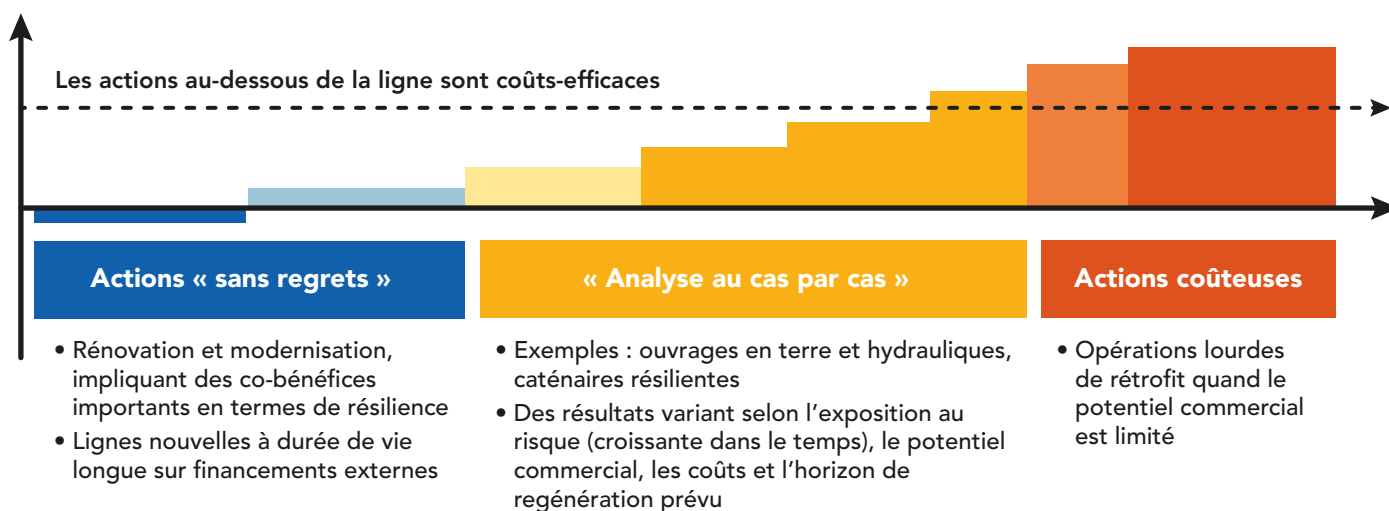
La seconde priorité en termes d'actifs est la résilience des composants électriques, notamment de signalisation. La question n'engage a priori pas la sécurité (en cas de perturbation, le système se met en sécurité) mais a un impact potentiel majeur en qualité de service.



L'ordre de mérite des actions

Au total, si l'on prend en compte l'ensemble des actions possibles d'adaptation (mesures d'exploitation, mesures d'entretien et de surveillance, adaptation des actifs par des investissements sur lignes nouvelles et sur réseau existant), on peut dessiner un ordre de mérite. Le graphique 8 en donne une illustration de principe, qui fera ultérieurement l'objet d'estimations chiffrées.

Ratio COÛTS par unité de BÉNÉFICES



Graphique 8 : agir et investir par ordre de mérite.

Cette présentation très schématique permet de faire ressortir trois points clés :

- ▶ La rénovation et la modernisation du réseau sont des actions sans regret du point de vue de l'adaptation. Elles ont un coût considérable mais le surcoût spécifiquement lié à l'adaptation au changement climatique est souvent modeste (d'où leur position dans le graphique 8). Notons que pour le cas spécifique des ouvrages hydrauliques, cela reste des opérations complexes à monter car impliquant souvent les riverains et les élus locaux ;
- ▶ Les mesures d'exploitation et celles qui portent sur l'entretien et la surveillance sont les plus accessibles à court terme, mais ce ne sont pas des mesures sans coûts ;
- ▶ L'intégration des exigences de résilience en conception, *ab initio*, est toujours moins coûteuse que le rétrofit de tout ou partie du patrimoine existant.

L'ordre de mérite ainsi résumé est un ordre dynamique et non un ordre chronologique. Agir par ordre de mérite ne signifie pas faire preuve d'attentisme dans la mise en œuvre de certaines actions utiles à long terme mais :

- ▶ S'assurer, avant de déployer des actions coûteuses, d'avoir épuisé le potentiel des gisements d'actions « à faibles coûts » ;
- ▶ Favoriser, en partenariat avec la filière industrielle, l'éco-conception résiliente, pour minimiser les besoins ultérieurs de rétrofit ;
- ▶ S'appuyer au maximum sur les cycles normaux de rénovation pour introduire des éléments supplémentaires de résilience.



03

Feuille de route et gouvernance



Feuille de route 2024-2026 du programme « Adaptation au changement climatique » : amplifier l'action

La stratégie présentée en 2^{ème} partie se décline en feuille de route triennale. La première feuille de route porte donc sur les années 2024 à 2026. Elle vise à conforter la gouvernance et le pilotage du programme d'adaptation de SNCF Réseau, à progresser dans la connaissance et à amplifier les actions déjà engagées. Les grandes priorités de cette feuille de route sont présentées dans l'encadré ci-dessous.

Feuille de route 2024-26 : actions et mises en oeuvre

1 Structurer la gouvernance interne du programme « Adaptation au changement climatique » du réseau ferré

- ▶ Inclure l'adaptation au changement climatique à l'occasion de la prochaine révision du contrat de performance entre l'État et SNCF Réseau ;
- ▶ Intégrer systématiquement l'adaptation au changement climatique
 - Dans les commissions de gestion technique des domaines ferroviaires (règles de gestion d'actifs, de sécurité, de maintenance, par domaine) et les commissions de gestion de produits (rails, traverses, caténaires, relais de signalisation, etc.) ;
 - Dans le comité national des investissements et des engagements.
- ▶ Traduire la Trajectoire d'Adaptation au Changement Climatique dans un référentiel national intégré dans le système de références SNCF Réseau, et pouvant servir d'appui aux rédacteurs des référentiels techniques.

2 Améliorer les estimations chiffrées

- ▶ Faire une estimation la plus complète possible des coûts actuels des intempéries pour SNCF Réseau, en incluant les coûts indirects) ;
- ▶ Définir une trajectoire chiffrée d'évolution probable des impacts et de l'évolution des coûts pour SNCF Réseau, notamment en estimant la pression que la croissance des phénomènes météorologiques met sur les dépenses opérationnelles.





3 Réaliser un tableau de bord

- ▶ Élaborer dans ce cadre un tableau de bord comprenant :
 - Des indicateurs de résultats sur l'exploitation, pour suivre par exemple le nombre d'événements, de minutes perdues ou de trains annulés pour causes intempéries par rapport à une moyenne de référence ;
 - Une mesure des coûts des dommages et des pertes de recettes ;
 - Une mesure des efforts de SNCF Réseau pour déployer sa démarche d'adaptation (avancement du programme d'études de vulnérabilité, pourcentage des projets d'investissement ayant donné lieu à une analyse de résilience) ;
 - Une évaluation quantitative du patrimoine considéré comme « résilient » conformément au scénario de référence (linéaire de voie, nombre de postes ou de familles d'objets de signalisation, etc.).

Le tableau de bord prendra en compte les projets européens actuels d'intégration de l'adaptation au changement climatique dans les obligations de reporting des entreprises en matière de développement durable (Corporate Sustainability Reporting Directive ou CSRD).

4 Poursuivre les études de vulnérabilité

- ▶ Poursuivre les études techniques, en particulier pour les systèmes hydrauliques des ouvrages et la signalisation - ces études existent mais sans focus à ce jour sur le changement climatique ;
- ▶ Réaliser une étude prospective sur les scénarios d'adaptation de la demande de mobilité dans un monde allant vers +4 °C.

5 Développer les partenariats avec les territoires

- ▶ Identifier et nouer les partenariats porteurs au niveau territorial, notamment pour :
 - Approfondir les études de vulnérabilité ;
 - Collaborer avec la profession agricole et les autorités locales chargées de la gestion des milieux aquatiques et de la prévention des inondations.

6 Poursuivre les initiatives engagées pour adapter la maintenance et l'exploitation

- ▶ Évaluer les opportunités offertes par les nouvelles technologies pour adapter la maintenance ;
- ▶ Évaluer les évolutions possibles de l'organisation du travail rendues nécessaires par l'instabilité climatique.

7 Construire un outil d'évaluation coûts-bénéfices

- ▶ Se doter d'un outil permettant de mettre en regard le coût des différentes actions d'adaptation et la diminution du risque qu'elles permettent. Cette action doit s'intégrer dans la demande plus générale de gestion des actifs.

8 Créer un label pour les investissements résilients

- ▶ Créer un label « pour demain » au profit des investissements résilients face au changement climatique, interne dans un premier temps.

9 Développer les partenariats avec la filière industrielle

- ▶ Mettre à jour les référentiels techniques pour renforcer l'éco-conception résiliente des composants. Conforter l'éco-conception résiliente des produits, en partenariat avec les fournisseurs et la filière ferroviaire française ;
- ▶ Définir en amont avec la filière ferroviaire les niveaux d'exigence des appels d'offre en matière de résilience des composants.



Une gouvernance ouverte aux partenariats

Les processus de gouvernance et de pilotage par les risques du Groupe SNCF et de SNCF Réseau offrent un cadre pertinent pour concevoir et mettre en œuvre une stratégie d'adaptation et prendre les décisions nécessaires en acceptant une part d'incertitude.

Les démarches d'adaptation nécessitent aussi de développer les interactions avec les différents partenaires, au-delà de celles internes au Groupe SNCF :

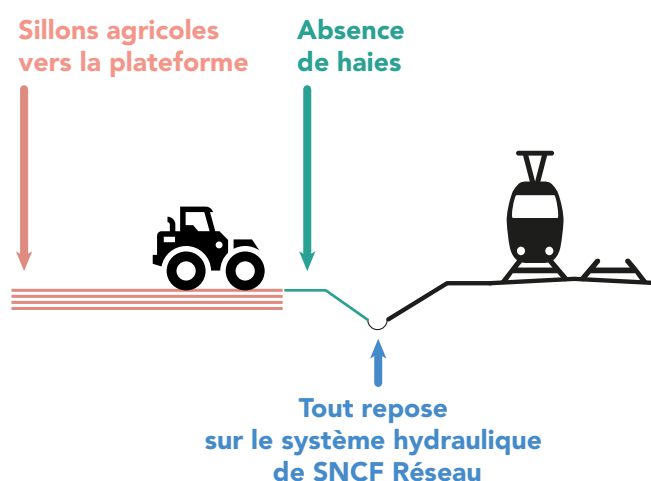
► Les territoires

La détermination du niveau d'ambition en termes de résilience au changement climatique est un sujet qui concerne en premier lieu les autorités organisatrices. Les actions d'adaptation conduites par SNCF Réseau peuvent aussi bénéficier à son environnement au niveau local – particulièrement s'agissant de sujets techniques comme la maîtrise des écoulements qui sont susceptibles de traverser les limites de propriété dans les deux sens. À l'inverse, certaines solutions permettant de conforter la résilience du ferroviaire seront à rechercher au-delà des emprises SNCF :

- **Suppression des arbres mettant en risque la caténaire ;**
- **Gestion des eaux, pour laquelle la meilleure réponse peut être de traiter un bassin (via les comités de bassins, les services territoriaux du ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, les autorités locales chargées de la prévention des inondations, les partenariats avec les agriculteurs, etc.) et non de surdimensionner les ouvrages SNCF ;**
- **Surveillance de l'usage des sols dans l'environnement proche des voies – le cas s'est déjà produit où l'imperméabilisation d'une parcelle riveraine a changé le système d'écoulement des eaux et a provoqué une inondation majeure sur une voie SNCF.**



Ruissellement agricole



Graphique 9 : situation de ruissellement d'origine agricole.



► La filière du réseau ferroviaire

Le premier objectif du travail déjà engagé avec les fournisseurs est de construire une vision partagée des priorités. La réflexion sur l'atténuation des émissions de CO₂ dans la fabrication de l'acier ou du béton est déjà bien avancée. La définition de solutions d'adaptation au changement climatique est l'étape suivante de ces échanges, autour de plusieurs dimensions :

- Caractériser les marges de résilience des composants actuels par rapport aux cahiers des charges ;
- Étudier la possibilité de définir des produits plus résilients (à la chaleur, à l'humidité, aux micro-organismes, aux amplitudes de températures) ;
- Proposer des dispositifs de surveillance innovants ;
- Travailler sur l'outillage et les équipements de protection individuelle, etc.

► D'autres gestionnaires

Notamment le réseau électrique, essentiel à l'activité de l'entreprise, mais aussi les routes, nécessaires pour que les agents puissent venir travailler, etc.

► Les entreprises ferroviaires

Elles déploient leurs propres mesures d'adaptation au changement climatique en interface avec le réseau ferroviaire. Ainsi, **les trains les plus modernes peuvent avoir des pantographes renforcés voire des dispositifs de raclage du givre**. Ils adaptent leurs systèmes de freinage pour éviter les étincelles. Ils peuvent aussi être renforcés contre un risque particulier, comme les Vélaros e320 d'Eurostar particulièrement protégés contre la neige à la suite du retour d'expérience d'un incident majeur fin 2009.





Contact : SNCF Réseau - Direction Générale Stratégie et Affaires Corporate
Réalisation : etcompagnie - RC 421 203 555 - Juillet 2024
Crédits photo : SNCF Réseau - Jean-Jacques d'Angelo - Yannick Brossard (Oc'via) -
Lionel Flusin & Jean-Christophe Verhaegen (CAPA Pictures) - Philippe Giraud -
Patrick Lazic - Hugo Pédel (Vue d'ici)

