

Réflexions sur la régénération, la modernisation et la résilience du système ferroviaire

Par Pierre-Alain ROCHE

Membre associé de l'Inspection générale de l'Environnement et du Développement durable (IGEDD)

Le présent article expose, sans prétention à l'exhaustivité, quelques-uns des défis des prochaines années qui concernent les infrastructures de transport ferroviaire, en insistant sur les enjeux de leur performance opérationnelle, mais aussi de leur robustesse et de leur résilience aux risques naturels en contexte de changement climatique. Des efforts sont engagés pour définir des stratégies d'investissement pertinentes, mais beaucoup reste encore à faire pour assurer la soutenabilité du système ferroviaire à moyen et long terme. Les sujets de financement ne sont pas traités ici car ils font l'objet de nombreuses discussions en cours au moment de la rédaction du présent article.

Introduction

Alors qu'une loi-cadre et une loi de programmation sont envisagées afin de définir les priorités du système ferroviaire français, cet article présente différents enjeux techniques que ces textes devront prendre en compte.

La régénération et la modernisation du réseau ferroviaire ne sont reconnues que depuis peu comme une priorité

Fort heureusement, les priorités en matière d'investissements ferroviaires, l'urgence de consacrer des moyens plus importants à ce patrimoine coûteux d'infrastructures ainsi que la consolidation des services de proximité et de fret se sont installées dans le discours politique, notamment sous l'impulsion du Conseil d'orientation des infrastructures¹ (voir Encadré 1 page suivante).

Les attentes concernant le réseau ferré sont fortes alors qu'une importante dette grise a été accumulée

Le gestionnaire du réseau ferroviaire français fait l'objet d'une sextuple injonction :

- permettre le report modal et faciliter les mobilités du quotidien : cela suppose d'accueillir plus de trains,

d'offrir un parcours plus fiable et plus confortable, et d'assurer la compétitivité (notamment par une politique tarifaire favorable à l'usage) ;

- réduire sa propre facture environnementale (énergie, eau, biodiversité, ressources minérales) selon une approche en analyse du cycle de vie ;
- contribuer à la résilience des territoires face au changement climatique en améliorant sa propre robustesse et sa résilience aux aléas naturels ;
- assurer l'interopérabilité européenne de réseaux gérés au niveau national, voire régional ;
- s'adapter sans dégrader excessivement le service aux clients durant les phases de travaux nécessaires ;
- rétablir son équilibre financier, notamment en améliorant la productivité.

La dette grise² accumulée pour le réseau ferroviaire est estimée à 60 Mds€. Il s'agit donc essentiellement d'un effort de rattrapage lorsqu'on évoque des besoins supplémentaires, d'abord pour éviter que la situation ne s'aggrave, mais aussi pour résorber l'écart par rapport à une situation soutenable à long terme.

¹ Constitué initialement comme un groupe de travail durant les Assises nationales de la mobilité en 2017, le COI a été pérennisé par la loi d'orientation des mobilités en 2019. Sa composition a été ajustée en 2025 : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/conseil-orientation-infrastructures-coi>

² Dette grise : somme de la dette budgétaire actualisée, liée au rattrapage des investissements qui n'ont pas été faits par le passé, et de la dette technique, liée à la dégradation des actifs en raison de ce sous-investissement (les besoins d'entretien superficiels deviennent structurels, générant des dépenses supplémentaires). À titre de comparaison la dette grise des 11 000 km du réseau routier national non concédé est estimée à 2,4 Mds€.

Encadré 1 : La priorité de la régénération et de la modernisation du réseau ferroviaire

La priorité accordée à la régénération et à la modernisation du réseau ferroviaire a été portée par le Conseil d'orientation des infrastructures et reprise lors de la conférence Avenir France Transports.

Le premier rapport du COI (COI, 2018) affichait la couleur : la politique routière et des voies navigables devait donner la priorité au maintien et à la modernisation de ces réseaux.

Le deuxième rapport du COI (COI, 2022) transposait ce même message au secteur ferroviaire, avec des enjeux financiers bien plus importants. Il a chiffré le besoin d'accélération de la trajectoire de régénération et de modernisation à 1,5 Mds€ (valeur 2018) par an, c'est-à-dire une augmentation progressive de 3 Mds€ (valeur 2018) en 2022 à 4,5 Mds€ (valeur 2018) en 2028 (soit environ 4,9 Mds d'euros en valeur 2028), et de stabiliser ce montant ensuite en le corrigeant de l'inflation. Dans ce rapport de 2022, le COI rappelait qu'il ne disposait pas d'éléments suffisants pour établir une trajectoire carbone des programmations proposées, ni pour évaluer la résilience des réseaux de transports.

La Conférence Ambition France Transports a conclu, le 9 juillet 2025 (AFT, 2025) dans le même sens :

« Le besoin en investissement pour la régénération et la modernisation du réseau structurant est estimé par SNCF Réseau à 1,5 Md€ par an (valeur 2028) supplémentaires à compter de 2028 par rapport aux 3,1 Mds€ investis annuellement en 2024^a. Ces investissements constituent un plancher pour stabiliser l'état du réseau structurant. Un montant inférieur pourrait occasionner des fermetures ou des ralentissements permanents affectant jusqu'à 10 000 km de lignes du réseau.

Du point de vue de la transition écologique, c'est avant tout la régénération et la modernisation du réseau ferroviaire qui permettront d'augmenter les trafics nécessaires au report modal depuis la voiture vers le train. Selon l'Autorité de régulation des transports (ART), un scénario tendanciel de maintien des investissements à leur niveau actuel, et donc de dégradation progressive de l'infrastructure, conduirait à des pertes de plus d'un quart des trafics ferroviaires globaux à l'horizon 2040. Au contraire, des investissements à hauteur de + 1,9 Mds€ (valeur 2028) par an permettraient une hausse de 36 % des trafics. Ces gains sont supérieurs à ceux générés par l'ensemble des projets de développement du réseau cumulés.

L'amélioration de la performance du réseau ferroviaire est également indispensable du point de vue de l'aménagement du territoire, puisqu'elle constitue la condition nécessaire pour désengorger les nœuds ferroviaires dans les grands centres urbains et développer les transports du quotidien.

Enfin, la régénération des lignes constitue le principal levier d'adaptation du réseau au changement climatique, puisqu'elle permet, à l'occasion de ces travaux, de renforcer leur résilience. »

La commande du ministre des Transports, adressée début juillet 2025 au COI, lui demandait, outre l'actualisation de la programmation proposée, un rapport sur les besoins financiers liés à la résilience.

^a Soit sur la période 2026-2031, [...] un besoin supplémentaire de 1,1 Mds€/an en euros constants 2025.

Encadré 2 : Le développement de technologies innovantes sur les portions de réseau à très fort trafic

Les RER franciliens, qui détiennent des records européens de fréquentation, nécessitent une exploitation modernisée de type CBTC (Communication Based Train Control), déjà mise en place sur quelques lignes de métro (lignes automatisées M1, M14 ou lignes à fort trafic M9, M13). Dès que l'on est sur le réseau ferré national (RFN) ouvert à différents types de circulation, ces systèmes d'exploitation, qui n'existent à ce stade qu'en milieu fermé dans le monde, sont difficiles à mettre au point. Le premier exemplaire d'un système NExTEO et d'un ATS performant sera opérationnel dans la partie centrale de la ligne EOLE en 2029. Le déploiement de systèmes analogues pour des lignes B et D du RER interviendra d'ici 2032, en lien avec la modernisation des parcs de matériel roulant (RER NG pour Transilien et MI20 pour la RATP).

Encadré 3 : Le développement de FRMCS et d'ERTMS ; il faut combler le retard de modernisation du réseau français

Le réseau de transmission est aujourd'hui exploité sous une norme GSM-R basée sur l'internet mobile 2G. Cette technologie a fait ses preuves, mais est désormais obsolète et difficile à maintenir. La nouvelle norme 5G de transmission ferroviaire européenne (Future Railway Mobile Communication System - FRMCS) sera déployée au mieux en 2035, sous réserve des financements nécessaires. L'hypothèse de réaliser ce déploiement, comme pour le GSM-R, par un contrat de partenariat serait de nature à réduire et fiabiliser le calendrier. Reste à trouver le financement.

Les standards européens d'exploitation – pour le contrôle des trains et la sécurité (ETCS - European Train Control System) et pour la gestion du trafic ainsi que l'optimisation de la performance d'occupation du réseau (ERTMS - European Railways Traffic Management System) – visent à remplacer les systèmes rigides de cantons fixes, où un train ne peut s'engager sur un segment du réseau que lorsque son prédécesseur en est sorti, par des cantons mobiles.

L'ERTMS aurait déjà dû être déployé sur une partie du réseau. En 2025, seules les LGV Paris-Strasbourg et Paris-Lyon et la ligne de FRET Grand Est sont équipées. Sous réserve du financement proposé par le COI, il serait possible d'atteindre 100 % d'équipement des 9 000 km du réseau structurant en 2040, l'objectif européen ayant fixé à 2030 cet objectif.

Des besoins croissants de circulation et de qualité de service pour des infrastructures vieillissantes et proches de l'obsolescence technique

La saturation du réseau demande des innovations techniques audacieuses

Certains réseaux franciliens sont saturés et la mise au point des systèmes performants d'exploitation qu'ils nécessitent est difficile (voir Encadré 2 page précédente). Ces performances, à la limite des possibilités techniques, permettent d'éviter des investissements encore plus coûteux et difficiles (le projet de doubler le tunnel ferroviaire reliant la gare de Châtelet-les-Halles à celle de Paris-Gare du Nord, emprunté conjointement par le RER B et le RER D, a ainsi été abandonné). De même, le développement d'ERTMS (voir ci-dessous) sur la ligne TGV Paris – Lyon permet d'éviter des investissements très coûteux dans de nouvelles lignes.

Accélérer la modernisation des transmissions et de la signalisation

L'accélération de la mise aux standards européens des systèmes de transmission et d'exploitation interopérables est également urgente et nécessite un effort d'investissement important (voir Encadré 3 situé ci-dessus).

La productivité dépend du déploiement des commandes centralisées du réseau (CCR)

Le déploiement de la CCR (voir Encadré 4 ci-contre) et de l'ERTMS peuvent être utilement jumelés, comme

c'est le cas pour le projet Haute Performance Marseille-Vintimille (HPMV) (cf. Encadré 5 page suivante).

Encadré 4 : Moderniser la commande des aiguillages, un enjeu majeur de productivité

L'amélioration de la productivité de l'exploitation, et donc la maîtrise des coûts des péages d'utilisation du réseau, dépend directement du déploiement d'un système modernisé de postes d'aiguillage. La concentration des commandes dans un nombre limité de postes informatisés est engagée de façon encore très modeste et « opportuniste » quand les postes obsolètes nécessitent de toute façon un remplacement. Aujourd'hui, seulement 15 % du réseau est équipé en CCR.

Une vraie stratégie industrielle suppose d'accélérer, et un objectif de 35 % d'équipement en 2032 est techniquement accessible. 61 % des postes d'aiguillage sont anciens et de technologies obsolètes générant des dépenses élevées de maintien en conditions opérationnelles. Il est également réaliste, si les moyens financiers le permettent de réduire ce taux à 52 % en 2032. Dans les deux cas, les efforts sont à poursuivre pendant une vingtaine d'années.

Encadré 5 : Les projets HPMV et LNPCA

Le projet Haute Performance Marseille-Vintimille (HPMV) et le projet LNPCA (Ligne Nouvelle Provence-Côte d'Azur) doivent permettre le développement des trois principaux Services Express Régionaux et Métropolitains SERM (Marseille, Toulon et Cannes-Nice) de la région Grand Sud.

Le projet HPMV, dont la première tranche démarre dans les Alpes-Maritimes, inclut la réalisation simultanée d'une commande centralisée du réseau et le déploiement d'un ERTMS de dernière génération, dite 2+ ou 3-, et doit se poursuivre par étapes jusqu'à Marseille. Il est couplé au projet LNPCA, qui inclut la modernisation des voies existantes (restructurations en gare, traversée souterraine de Marseille, suppression des secteurs de conflits d'exploitation par des dénivellations, etc.). Ces efforts combinés sont indispensables pour permettre le déploiement des offres prévues de transports régionaux intensifiés et des trois SERM situés le long du projet LNPCA. Le projet s'accompagne également de quelques travaux d'amélioration des débouchés hydrauliques des voies en remblai pour s'adapter aux risques hydrauliques accrus.

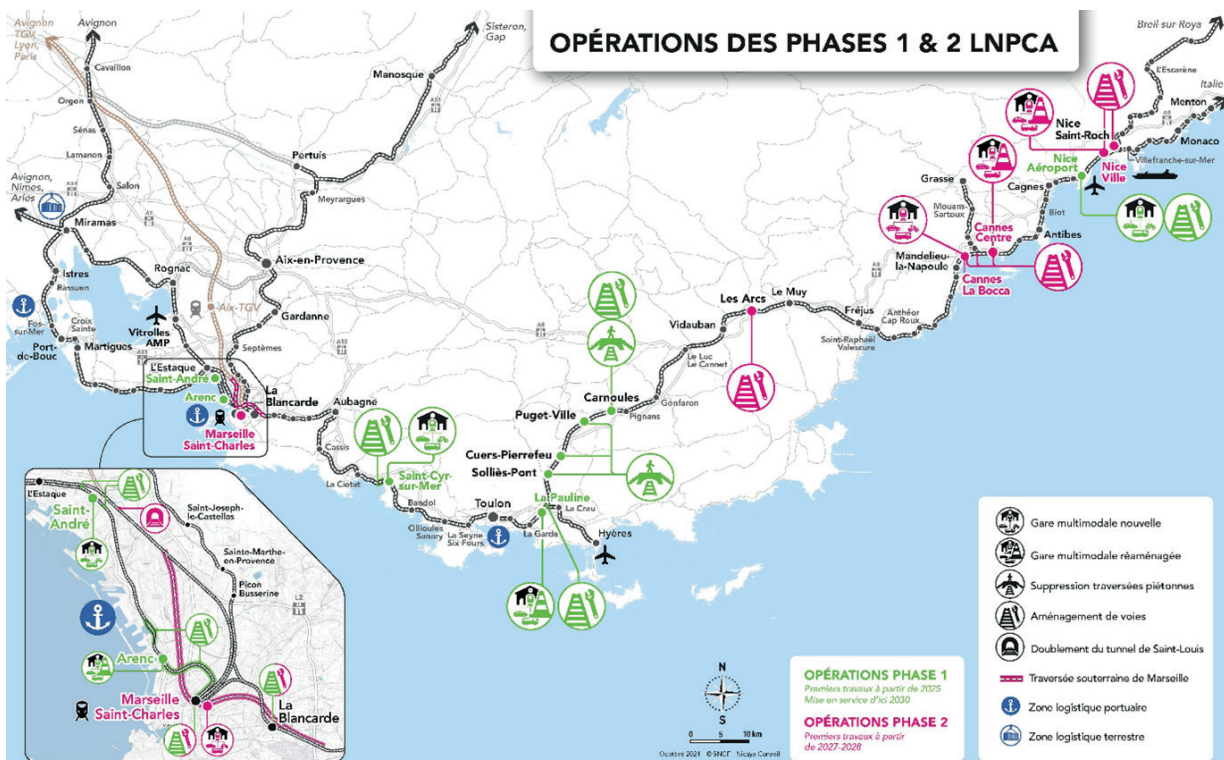


Figure 1 : Le projet LNPCA tel qu'il a été déclaré d'utilité publique et en cours de mise en œuvre ne comprend pas de ligne nouvelle (envisagée ultérieurement en phase 3 et 4 et n'ayant pas à ce jour fait l'objet de démarches de concertation). Il consiste à moderniser la ligne existante et à créer une traversée souterraine de Marseille (Source : carte du site internet du projet, https://www.lignenouvelle-provencecotedazur.fr/sites/lnpca.fr/files/2024-11/20241024_SNCFR_LNPCA_Carte_generale_pictos.jpg).

Le réseau électrique est dans un niveau de vétusté inquiétant

Comme l'ensemble du réseau³, les caténaires sont anciennes et les accidents sont fréquents (voir Encadré 6 ci-contre). Les technologies qui ont été

³ Hormis les lignes de mass transit (1 270 km) et de hautes performances (15 501 km) qui seraient maintenues en priorité, avec les moyens actuels, l'âge moyen du réseau principal passerait de 25 (resp. 35) ans à 39 (resp. 49) ans pour les voies plus prioritaires (17 133 km) (resp. les moins prioritaires (2 289 km)) d'ici 2040. La situation des lignes dites de desserte fine du territoire, qui contribuent à alimenter ce réseau principal, sont encore plus dégradées et leur sauvegarde dépend actuellement des moyens que les Régions pourront y consacrer.

Encadré 6 : Le confortement de la distribution électrique : vétusté et adaptation aux très fortes chaleurs

Les caténaires actuelles sont vieillissantes. SNCF Réseau chiffre à 6 410 km les caténaires à renouveler en urgence, sur un total de 36 685 km.

De surcroît, leur technologie est inappropriée face aux grandes chaleurs. De nouvelles technologies existent, mais elles restent coûteuses.

employées sont inadaptées à l'accroissement des températures.

L'accroissement des aléas naturels concernant les infrastructures ferroviaires

La stratégie d'adaptation du réseau au changement climatique a été adoptée par le conseil d'administration de SNCF Réseau le 27 juin 2024 et est disponible en ligne : <https://www.sncf-reseau.com/fr/developpement-durable/changement-climatique-strategie-dadaptation-sncf-reseau>.

Elle repose sur un diagnostic de la vulnérabilité du réseau, suivant une méthode prospective développée par le CEREMA, analogue à celle déployée pour le réseau routier national non concédé.

Les projections de hausse des températures estivales⁴ entraînent un fort accroissement des sollicitations liées aux très fortes températures, auxquelles les rails ne sont pas adaptés, tout comme les systèmes électroniques et les caténaires qui assurent l'alimentation des motrices. Associées à de faibles précipitations et à des vents soutenus, ces conditions accroissent également fortement les risques d'incendies aux abords des voies. Les tempêtes successives entraînent la fragilisation des arbres à proximité des voies (source la plus fréquente aujourd'hui d'interruptions de trafic).

L'eau reste sous diverses formes l'ennemi principal des infrastructures, par divers phénomènes qui se renforcent également : écoulements de versants (souvent qualifiés de ruissellement), assortis de boues voire constituant des laves torrentielles, crues des cours d'eau, parfois torrentielles et d'une violence renforcée, mais aussi occasionnant des inondations de vallées plus importantes et plus fréquentes, remontée des niveaux marins associée à des houles plus fortes, disparition du pergélisol par le réchauffement des températures hivernales, déstabilisant des versants abrupts en zone montagneuse et entraînant des mouvements de terrains de grande ampleur. Le retrait-gonflement des argiles menace un patrimoine bâti très important.

La protection du patrimoine n'est pas la seule entrée : il faut aussi corriger les effets de ces infrastructures sur les divers risques pour les territoires traversés

Le réseau subit les aléas tout en contribuant à l'aggravation de leurs effets, notamment lorsque les débouchés hydrauliques ne permettent pas une circulation adéquate de l'eau à travers les remblais accueillant les voies. Ces débouchés se retrouvent alors saturés par des flux dépassant largement les capacités prévues lors de leur conception.

⁴ Le Haut conseil pour le climat (HCC) souligne que la France est très exposée aux risques climatiques. L'Europe est le continent qui se réchauffe le plus vite et le réchauffement a atteint 2,2°C en France sur les 10 dernières années (HCC, 2024).

On ne part pas d'une situation optimale d'adaptation aux risques actuels, ce qui encourage à ne pas attendre

Tous ces risques existent dans le climat actuel, et les réseaux sont le fruit d'une histoire qui n'a pas toujours mis la robustesse aux aléas au cœur des préoccupations. Il serait erroné de croire que le changement climatique est la seule raison d'améliorer la résilience aux risques naturels. C'est donc dès à présent que des actions se justifient, pour corriger des vulnérabilités excessives, ce qui produit des effets immédiats. Mais ces actions doivent s'inscrire dans une prospective qui permette de s'assurer que les réponses sont appropriées à moyen et long terme.

À juste titre, la stratégie et son plan d'action de mise en œuvre privilégient les actions portant des bénéfices rapides à moindre coût

Le choix de priorisation des actions de cette stratégie est celui de privilégier celles ayant, à moindre coût, les meilleurs effets de levier sur l'amélioration de la régularité, et notamment la réduction des interruptions de trafic ou des occasions d'actionner les stratégies « stop circulations », qui font leurs preuves. Ce sont des exemples d'optimisation « minimax regret », pertinentes quand la probabilité de survenue d'un événement aux conséquences très lourdes (nombreuses personnes en danger ou en très grand inconfort, difficulté à intervenir due au blocage du réseau, etc.) est relativement élevée, et où l'on accepte *a priori* de dégrader le service pour l'éviter.

À ce titre, sont prioritaires les actions sur la végétation et sur la régénération des voies, des caténaires, des signalisations vétustes et fragiles. Nous nous concentrons ici sur les sujets plus lourds, de plus long terme, qui devront être pris en compte dans les prochains plans d'action.

L'adaptation à l'élévation des niveaux marins suppose de fortes anticipations

Comme le montre le cas du littoral languedocien (cf. Encadré 7 page suivante), certaines sections de réseau ne pourront durablement assurer leur service car elles sont submersibles.

La non-stationnarité des phénomènes hydrologiques appelle de nouvelles règles de dimensionnement

La non-stationnarité induite tant par les évolutions anthropiques affectant le bassin versant directement que par celle des entrées climatiques (et en premier lieu le régime des pluies) conduit à devoir abandonner le confort du recours à la méthodologie de l'hydrologie en conditions stationnaires (voir Encadré 8).

Cette non-stationnarité doit nous conduire à :

- établir des quantiles de crue « chronicisés » : Q_{p2025} , Q_{p2035} , Q_{p2045} , etc.

Encadré 7 : Accroître la résilience du réseau des basses plaines du Languedoc exigerait des efforts financiers considérables

Sur le littoral languedocien, par exemple, la voie ferrée principale, qui assure la liaison avec l'Espagne, est établie dans certaines sections sur des cordons littoraux qui séparent des étangs de la mer, voire traversent ces étangs ou des plaines très basses. Des scénarios très plausibles envisagent une remontée de l'ordre d'un mètre à l'horizon 2100. Actuellement, la remontée n'est « que » de 3 mm/an sur ce littoral, mais le cumul de la dilatation de l'eau liée à son réchauffement (de l'ordre de + 60 cm prévus en 2100^a) et de la fonte des glaces conduit à cette évaluation par le GIEC, dans l'un de ses scénarios. Pour ces sections, la sauvegarde à moyen terme du patrimoine passera par des travaux importants. Le projet de ligne nouvelle Montpellier – Perpignan (LNMP) apporte une réponse en cumulant les avantages de la grande vitesse, de la désaturation et de la mise à l'abri du risque de submersion, en accueillant le trafic de longue distance, fret et voyageur. C'est essentiellement la phase 2 de ce projet (Figure 1) qui concerne les tronçons de la ligne existante les plus exposés aux risques de submersion marine. Sa réalisation avant 2040, et en tout cas 2050, permettrait de réaliser de façon sereine la mise en sécurité de la ligne historique, qui serait dédiée au trafic de desserte locale des villes du littoral. Cette 2^e phase, en revanche, présente des effets environnementaux forts, difficiles à totalement éviter, et une socio-économie peu favorable, telle que calculée selon les méthodes classiques. Mais c'est sans compter avec la prise en compte de la prévention des risques : imagine-t-on que cet axe ferroviaire européen structurant soit abandonné, avec la ruine de la ligne historique par submersion, et que l'ensemble des trafics se reporte sur l'autoroute, par ailleurs déjà très chargée ? L'empreinte environnementale des travaux neufs (biodiversité, consommation d'eau et de ressources, emprises et émissions de carbone de la phase travaux) doit être prise en compte.

^a Pour l'instant, seuls ces 60 cm sont reconnus comme suffisamment établis, l'incertitude sur le calendrier et les effets de la fonte des glaces est incertain, mais la fourchette de ces effets se situe entre 40 cm et 2 m : les ignorer n'a pas de sens. Les études de vulnérabilité conduites par SNCF-Réseau sur cet axe ont été présentées aux acteurs locaux ; La nécessité de travaux importants, à définir, pour sauvegarder la ligne historique, est un socle consensuel. Le COI aura certainement à se prononcer lors de ses prochains travaux sur la pertinence d'accélérer le calendrier de cette opération, pour anticiper ces risques de submersion. Il semblerait logique cette urgence climatique rende cette opération plus urgente que d'autres.

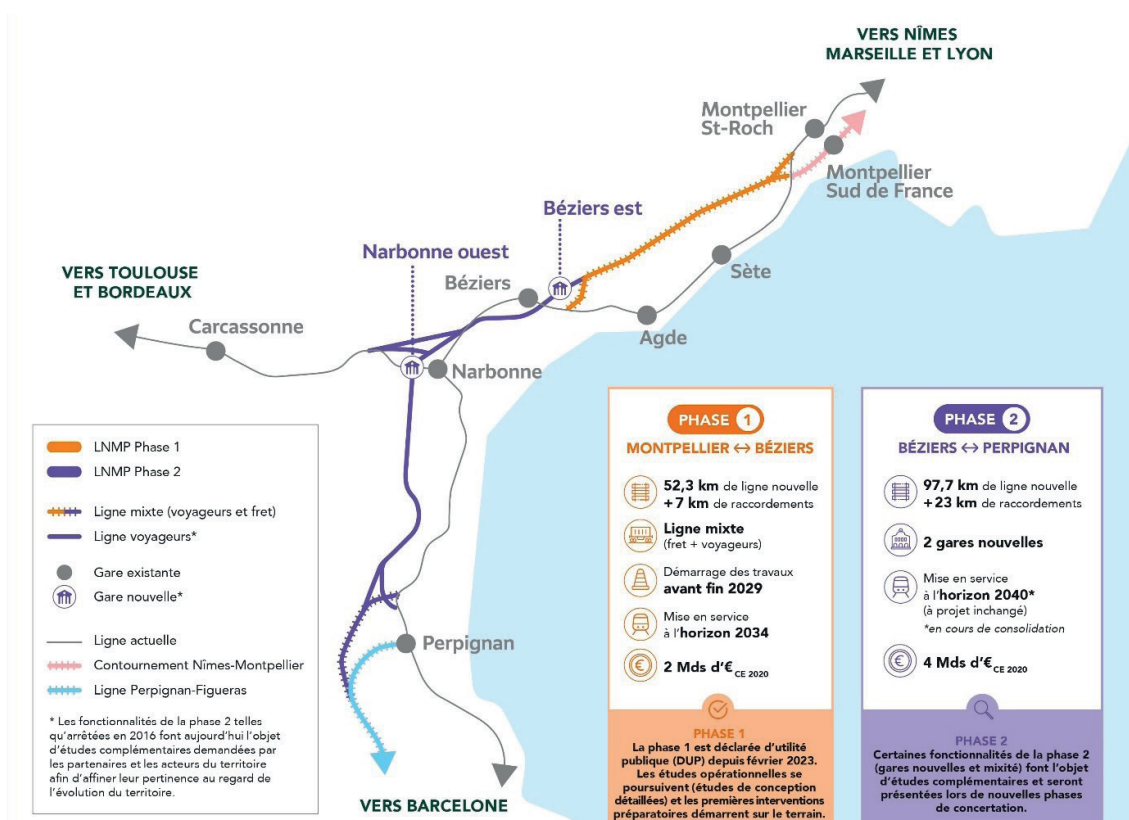


Figure 2 : Les deux phases du projet LNMP. Les zones exposées à la remontée des eaux de la ligne historique sont situées essentiellement entre Agde et Béziers et au Sud de Narbonne (Source de la figure : SNCF-Réseau). Commentaire de l'auteur.

Encadré 8 : La commodité décisionnelle de l'hydrologie stationnaire

Les règles de dimensionnement des ouvrages hydrauliques reposent sur des estimations de la probabilité annuelle que survienne chaque année un événement de crue dépassant un débit donné. Ce quantile (appelé « décennal » pour 1/10 chaque année, « centennal » pour 1/100, « millénal » pour 1/1 000) de la distribution statistique des crues est établi par diverses méthodes valorisant l'information historique, des débits et des pluies sur le bassin versant où se constitue l'écoulement donné. Sous l'hypothèse de la stationnarité (et même de l'ergodicité) de ces phénomènes, deux conséquences pratiques sont essentielles (Roche *et al.*, 2012) :

- La première est que chaque quantile peut être assorti d'une fourchette d'incertitude qui résulte des incertitudes de calage des paramètres de la loi de distribution statistique employée, qui résulte des incertitudes des mesures de débits et de l'échantillonnage des événements disponibles pour le calage. On peut donc indiquer, par exemple, que le débit centennal est de $Q_{100} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une fourchette d'incertitude à 90 % allant de $Q_{100 \text{ min}} = 400$ à $Q_{100 \text{ max}} = 700 \text{ m}^3/\text{s}$.
- La deuxième est que le lien entre un quantile annuel Q_p et la survenue dans un délai de N années d'au moins un événement dépassant ce quantile Q_p , résulte, la survenue d'une crue une année étant indépendante de celle de l'année suivante, d'un calcul très simple de probabilité : $\text{Prob}(Q > Q_p ; N) = 1 - (1 - p)^N$. Par exemple, en 30 ans, la probabilité qu'au moins une crue centennale intervienne est de 26 % (environ une chance sur quatre). On dispose ainsi d'estimations directes de risques pour toute la durée de vie de l'ouvrage prise en considération.

- rencontrer davantage de difficultés pour assortir cette estimation de quantile de sa fourchette d'incertitude, information pourtant très utile à la prise de décision ;
- devoir faire des simulations de nombreuses séquences de survenues d'événements pour établir les probabilités de survenue d'au moins un événement dépassant un débit donné dans un délai de N années.

Ces évolutions méthodologiques sont en cours et nous ne disposons pas actuellement d'une méthode recon-

nue par les autorités comme devant se substituer aux analyses stationnaires.

Ces non-stationnarités conduisent également à revoir les règles de conception, pour introduire plus de flexibilité : l'idéal économique serait de pouvoir dimensionner pour tenir compte d'aléas valables à court et moyen terme, mais de réserver, dès la conception, la possibilité de modifier l'ouvrage à moindre coût pour l'adapter à des aléas plus forts, dans 30 ou 50 ans.

La robustesse et la résilience des structures réticulées et redondantes : un sujet complexe

Le fonctionnement d'une infrastructure linéaire isolée est dépendant de la fragilité de ses maillons (segments de voies) les plus faibles. Plus le réseau est maillé, et c'est d'autant plus le cas lorsque l'on se situe sur des distances longues par rapport à l'échelle des événements perturbateurs, plus les options d'itinéraires alternatifs offrent une gamme de réponses, certes dégradées (en termes de délai et de qualité de desserte), mais bien meilleures que l'interruption pure et simple. C'est évidemment vrai des redondances entre modes, avec les alternatives routières également, ou fluviales, quand elles ne sont pas soumises aux mêmes aléas, mais il est fréquent que l'on jumelle celles-ci pour réduire leurs impacts cumulés, et qu'elles soient soumises aux mêmes risques.

Ceci conduit à une géographie de la vulnérabilité qui met l'accent sur les territoires présentant de faibles alternatives d'accès, et en tout premier lieu sur les vallées en montagne.

Ravaudage, infrastructures vitales et territoires locaux : trois stratégies à combiner

Ces effets d'échelle et de réseau, qui font que la fragilité du système s'apprécie différemment aux diverses échelles d'espace, conduisent à des arbitrages de programmation qui sont bien connus pour la régénération d'un réseau vétuste : faut-il concentrer les priorités sur les maillons les plus faibles (stratégie que l'on pourrait qualifier de « ravaudage »), traiter en priorité des itinéraires structurants à très forts trafics pour assurer une trame minimale robuste (stratégie qu'on pourrait appeler « des infrastructures vitales »), ou faire porter l'effort sur les zones où les alternatives sont les plus rares (stratégie qu'on pourrait désigner par « résilience des territoires locaux ») ?

Bien entendu le coût unitaire des opérations, qui peut varier fortement en ordre de grandeur, et la rareté des fonds disponibles sont également de puissants déterminants, et conduisent sans doute à ce que les stratégies optimales soient une combinaison de ces différentes approches.

Concilier empreinte et adaptation

L'adaptation des infrastructures, nécessaire à leur pérennité, est un des moteurs de l'investissement, et les orientations récentes en font l'un des moteurs prin-

cupaux. Elle se traduit par des actions qui, chacune, ont des effets environnementaux non négligeables :

- effets sur la biodiversité (flore et faune, destructions d'habitats) liés aux opérations de mise en sécurité végétale ;
- émissions de carbone et empreinte eau, ou plus largement empreinte environnementale des matériaux, des produits et des chantiers de régénération et de modernisation, voire des chantiers de mise en sécurité ;
- consommations d'énergie et d'eau de refroidissement des technologies numériques, y compris de l'intelligence artificielle.

Construire une trajectoire performante et adaptable, et éviter les fausses manœuvres

Il ne fait aucun doute (la Maurienne l'a récemment démontré, s'il fallait un exemple) que l'adaptation ne relèvera pas uniquement de l'anticipation préventive, mais devra aussi répondre à la nécessité d'intervenir de façon curative en cas de destruction. La stratégie communément appelée "build back better" est de bon sens : ne pas reconstruire à l'identique une infrastructure, un bâtiment ou une conception urbanistique qui a fait la preuve de sa vulnérabilité. Sa mise en pratique est cependant difficile, car l'urgence de rétablir les fonctionnalités pour un « retour à la normale » aussi rapide que possible est prégnante, et les alternatives ne sont généralement pas disponibles « sur étagère ». Il est essentiel de surmonter cette difficulté, car reconstruire à l'identique se révèle parfois une fausse manœuvre coûteuse à long terme.

De nouveaux développements de la décision publique

En théorie, les outils de la décision en avenir incertain (Alain Sauvant, 2023) apportent des cadres méthodologiques pertinents pour ces situations complexes, incertaines et dont les informations s'améliorent dans le temps (par exemple, la théorie bayésienne de la décision : pour s'y initier de façon ludique, on peut consulter l'exposé de Cédric Richard, accessible en ligne (Richard, 2011)). Ils sont cependant rarement utilisés à grande échelle par les pouvoirs publics en France sur des questions complexes. Déjà, une analyse coût-bénéfice (appelée socio-économie en France, dans le domaine des transports notamment) pourtant obligatoire à partir d'un certain seuil de dépense publique, n'est pas toujours menée avec la rigueur souhaitable.

Ces analyses peinent bien sûr à prendre en compte les valeurs difficiles à monétiser (la nature, notamment), et sont orientées vers la maximisation d'une espérance de gain collectif, ce qui peut se comprendre hors d'un contexte de risques majeurs. Mais des règles formalisant la minimisation raisonnable de risques relativement probables (de l'ordre d'une probabilité de survenue de 1/100 par an pour donner une idée) et aux conséquences importantes sont tout à fait envisageables, sans tomber dans les excès des straté-

gies *minimax regret*, qui consistent à minimiser « quoi qu'il en coûte » la probabilité de survenue du risque maximal qui est pertinente quand cette probabilité est forte ou les conséquences extrêmes (risque de ruine). De même, la question centrale de « la bonne date de déclenchement » est au centre des programmations : ce projet correspond-il à une anticipation souhaitable d'un risque futur compte tenu des incertitudes mais aussi des délais de sa réalisation ? Faut-il privilégier uniquement les *quick wins* immédiats, ou sacrifier une part de la capacité d'investissement pour des bénéfices plus lointains ? La décision est-elle mûre ou faut-il attendre quelques années pour l'éclairer par des éléments cruciaux plus précis (coûts, risques, impacts), selon une procédure de « levée de doute » ?

Le contexte actuel devrait, en toute logique, relancer le développement des pratiques décisionnelles.

Bibliographie

- COI (2018), « Mobilités du quotidien. Répondre aux urgences et préparer l'avenir (Philippe Duron, Pierre-Alain Roche *et al.*) », Rapport, 207 pages, https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/2018.02.01_rapport_coi.pdf
- COI (2022), « Investir plus et mieux dans les mobilités pour réussir leur transition (David Valence, Pierre-Alain Roche *et al.*) », Rapport de synthèse, 186 pages, Annexes 162 pages, https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/COI_2022_Programmation_Synthese%20-%20def_0.pdf
- Ambition France Transports (2025), « Financer l'avenir des mobilités (Dominique Bussereau, David Valence *et al.*) », Rapport, Juillet 2025, 180 pages, https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/20250709_Rapport_AFT.pdf
- HCC (2025), « Avis sur le plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC3) : une première étape pour garantir la résilience et la protection des populations », Mars 2025, <https://www.hautconseilclimat.fr/publications/avis-sur-le-plan-national-dadaptation-au-changement-climatique-pnacc-3/>
- SNCF-Réseau (2024), « Stratégie d'adaptation au changement climatique. Note stratégique », Septembre 2024, 36 pages, <https://www.sncf-reseau.com/fr/documents-institutionnels/note-strategique-sur-ladaptation-changement-climatique>
- SNCF Réseau (2025), « Adaptation des infrastructures ferroviaires au changement climatique : où en sommes-nous chez SNCF Réseau Occitanie ? », PPT présenté aux partenaires, 4 février 2025, Non publié.
- ROCHE P.-A., GAUME É. & MIQUEL J. (2012), *Hydrologie quantitative : processus, modèles et aides à la décision*, Springer-Verlag éd., 640 pages & 800 pages d'annexes.
- SAUVANTA. (2022), « Risques et incertitudes », *in Prospective 2040-2060 des transports et des mobilités : 20 ans pour réussir collectivement les déplacements de demain* (Pierre-Alain Roche, Dominique Auverlot, Alain Sauvant *et al.*), IGEDD-France Stratégie, Rapport principal et 6 fascicules spécialisés, <https://igedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/notice?id=Affaires-0011888&reqId=2945b398-e7e8-475b-a274-60479b0cd650&pos=3>
- RICHARD C. (2011), « Introduction à la théorie bayésienne de la décision. *Machine learning* », Université Côte d'Azur, <https://www.cedric-richard.fr/assets/files/ML-CO-Bayes.pdf>