

# Investir le futur

Rapport d'activité Innovation 2024  
du groupe SNCF





## Jean-Pierre Farandou,

Président du groupe SNCF

Le progrès est utile s'il est partagé et accessible à tous. Innover, c'est sortir du cadre, dépasser les solutions éprouvées pour surmonter les obstacles et relever les plus grands défis. Nous avons fait des choix technologiques stratégiques qui vont profondément transformer le transport ferroviaire.

La digitalisation est désormais au cœur de tous nos métiers, de l'exploitation à la maintenance, tandis que l'intelligence artificielle ouvre de nouvelles perspectives pour optimiser nos opérations et renforcer notre performance industrielle. Grâce aux avancées des batteries et à plus long terme, de l'hydrogène, nous accompagnerons les Régions dans le déploiement de solutions de mobilité décarbonées. Un autre enjeu considérable réside dans notre autonomie énergétique. Avec une consommation de 7 TWh, la SNCF est le premier consommateur d'électricité du pays. La création de SNCF Renouvelables en 2023 marque une étape décisive : d'ici à 2030, nous couvrirons 15 à 20% de nos besoins grâce à l'installation de 1 000 ha de panneaux solaires. Le photovoltaïque appliqué aux longs linéaires, le stockage et la gestion intelligente de l'énergie seront des technologies clés au service de notre ambition. L'innovation doit également répondre aux enjeux économiques auxquels le Groupe fait face dans

un contexte de concurrence accrue. C'est pourquoi nous avons adopté une approche où la technologie doit contribuer à «faire du ferroviaire moins cher», avec par exemple des trains moins énergivores, comme le futur TGV nouvelle génération. En concevant des systèmes de mobilité adaptés à tous les territoires, grâce à des projets tels que TELLi et DRAISY. En développant une expertise unique en maintenance prédictive afin de réduire le nombre de pannes et d'améliorer la fiabilité de nos infrastructures. À travers son engagement en faveur de l'innovation, la SNCF joue un rôle majeur dans le développement des territoires en collaborant étroitement avec des partenaires industriels locaux, tels que Texelis à Limoges pour le projet TELLi, ou Lohr pour le projet DRAISY. Ces collaborations avec les acteurs locaux sont un levier clé pour répondre aux besoins de mobilité et favoriser le dynamisme économique et technologique des territoires.

Innover, c'est sortir du cadre, dépasser les solutions éprouvées pour surmonter les obstacles et relever les plus grands défis. Nous avons fait des choix technologiques stratégiques qui vont profondément transformer le transport ferroviaire.

# Index des projets

## A

ACTIMOB ..... 60  
Adaptative ..... 55  
Affluence à bord ..... 62  
Affluence en gare ..... 62

## B

Biocarburants et hybridation ..... 10  
Borne interactive en gare ..... 41

## C

CARTOJOP, outil de prévision des flux pour la gestion en pré-opérationnel ..... 63

## D

DAC : attelage automatique et digital des wagons de marchandises ..... 45  
Date prévisionnelle d'arrivée (DPA) des trains de fret ..... 50  
Détecter les défauts télécoms ..... 40  
DRAISY ..... 59

## E

Économie d'énergie en dynamique avec le déflecteur "premier bogie" ..... 29  
Éco Clim TGV ..... 29  
Éco TGV Doors ..... 29  
Effarouchement sonore ..... 09  
Électrification partielle des lignes ..... 11  
Ensemencement choisi ..... 09  
ERTMS sur Paris-Lyon ..... 35  
ETCS Niveau 2 ..... 47  
Étude client SERM ..... 56

## F

FLEXY ..... 59  
FP1-MOTIONAL (MObility management multlmodal envirOnment aNd digitAl enabLers) ..... 46  
FP2-R2DATO (Rail to Digital automated up to autonomous train operation) ..... 46  
FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) ..... 37

## G

Ma Gare et Ma Gare + ..... 51  
Gestion des flux en gare par captation LiDAR ..... 51  
Green Power ..... 15

## I

IAMADOC : interroger les documents de maintenance ..... 41  
ICE H2 : moteur à combustion interne à hydrogène ..... 12

## J

JYVAIS ..... 60

## L

LIVE, au service de l'information voyageurs ..... 36

## M

Maintenance prédictive des matériels roulants ..... 43  
MARS LGV (Mobiles Autonomes de Reconnaissance en Sécurité) ..... 38  
MASIPRO (Mobilité Autonome en Site PROpre) ..... 60  
MINERVE ..... 34  
MOBIL'QUAI ..... 56  
Multilinguisme sur les canaux Transilien SNCF Voyageurs ..... 40

## N

NExTEO ..... 61

## O

Observatoire de la gestion des flux voyageurs ..... 52  
OPHELIA ..... 27  
OPTIGRAN ..... 28  
OPTIMA ..... 56  
OPTIPLACE ..... 52

## P

Passerelles standardisées ..... 08  
PHIL (Power Hardware in the Loop) ..... 14  
PLATIPUS : Analyse du patrimoine à risque – Parties sUbaquatiques et en Site aquatique ..... 31  
POIESIS ..... 55  
Predict ..... 34  
PrédiQA pour prévenir la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires .. 07  
PRIME ..... 44

## Q

Quais du futur ..... 57

## R

RACCOR-D pour un réseau à courant continu multidirectionnel, plus sobre et intégrant les énergies vertes ..... 25  
Radar pour les gares des SERM ..... 57  
Rail4Cities ..... 46  
Recharge rapide statique ..... 11  
REG'GAZ, optimisation du réchauffage des appareils de voie ... 16  
Régiolis H2 à piles à combustible .... 12  
Renaturer le foncier d'ICF Habitat ... 08

## S

SCOOT ..... 15  
Sevipav ..... 28  
Signalétique projetée à Paris-Nord ... 63  
Smart Station ..... 36  
Solarisation de la halle voyageurs d'Angoulême ..... 27  
Sous-stations 25 kV en courant alternatif mises en parallèle ..... 26  
Start & stop ..... 16  
STOLECT : Stockage d'énergie sous forme de chaleur ..... 26  
STC (Surveillance du réseau par les Trains Commerciaux) ..... 38  
SURFO, la SURveillance par la Fibre Optique ..... 44  
Symbiosis ..... 46

## T

TechLab Composites ..... 43  
TELLi ..... 58  
TGV nouvelle génération ..... 49  
Train à batteries ..... 10  
Train à hydrogène ..... 12  
Train hybride ..... 10  
Travelwise ..... 46  
TVP NG (Traversées de Voies par le Public Nouvelle Génération) ..... 50

## U

Usine 3D ..... 44

## V

Vidéo augmentée à la Sûreté Ferroviaire ..... 39  
VIESTA : vidéo intelligente en matière de sûreté ..... 41  
Vision artificielle à bord des trains ... 40

5GMED, connectivité train-sol ..... 37

## 04

L'écosystème de la recherche et de l'innovation au service de la croissance du ferroviaire

## 06

### ENJEU N°1

## Offrir aux clients une mobilité respectueuse de l'environnement

07 - Décarbonation et préservation de la biodiversité  
13 - La parole à **Lucian Balea**, Directeur Adjoint R&D de RTE  
14 - Efficacité énergétique

## 17

### Bienvenue demain !

18 - La parole à **Carole Desnost**, Vice-Présidente Technologies, Innovation et Projets Groupe  
20 - L'innovation au service de la mobilité du futur



## 24

### ENJEU N°2

## Développer la performance économique et industrielle

25 - Autonomie énergétique et économie des ressources  
31 - Résilience face au changement climatique  
35 - La digitalisation au service de la performance industrielle et économique  
40 - La puissance transformatrice de l'IA  
42 - La parole à **Laura Chaubard**, Directrice Générale de l'École polytechnique  
45 - Coopération approfondie entre le CNES et le groupe SNCF  
46 - L'Europe du rail

## 48

### ENJEU N° 3

## Accroître l'attractivité du ferroviaire et des modes collectifs

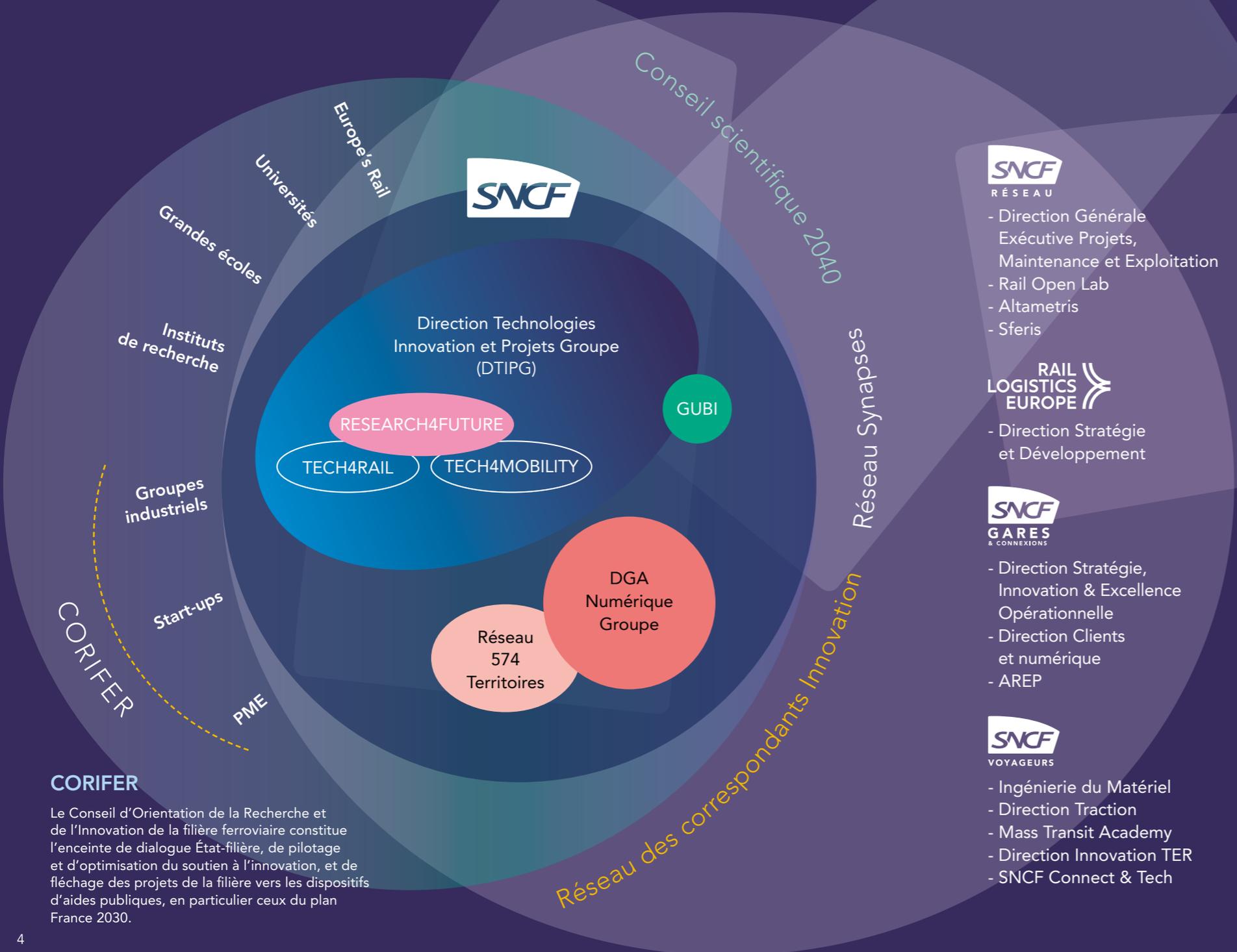
49 - Expérience clients  
53 - La parole à **Sylvie Landrière**, Directrice du Forum Vies Mobiles  
54 - Services Express Régionaux Métropolitains Innovants  
58 - Transports collectifs légers  
61 - Mass transit : l'héritage des Jeux de Paris 2024

## 64

Les grands chiffres Innovation et Recherche 2024

# L'écosystème de la recherche et de l'innovation au service de la croissance du ferroviaire

Les sociétés du groupe SNCF et leurs filiales pilotent des projets de recherche et d'innovation dans des domaines aussi différents que la digitalisation, la décarbonation, l'efficacité énergétique et le renforcement des mobilités dans les territoires. Ces projets sont également nourris par les expertises apportées par différents réseaux internes et les partenariats avec les mondes académiques et industriels.



## CORIFER

Le Conseil d'Orientation de la Recherche et de l'Innovation de la filière ferroviaire constitue l'enceinte de dialogue État-filière, de pilotage et d'optimisation du soutien à l'innovation, et de fléchage des projets de la filière vers les dispositifs d'aides publiques, en particulier ceux du plan France 2030.

## Réseau Synapses

Animé par la DTIPG, ce collectif compte 604 experts scientifiques et techniques appartenant à toutes les SA du Groupe. Labellisés par une commission de sélection pour une durée de 3 ans renouvelables, ils font vivre la recherche et l'innovation au sein de 6 clusters: Énergie, Développement durable, Sécurité Système, Maintenance, Optimisation des Ressources et Exploitation, Services & Expériences de Mobilité. Quelle que soit leur entité de rattachement, ils travaillent ensemble au sein de chaque cluster pour garantir une approche systémique. Le réseau Synapses assure la transmission de compétences et développe les expertises dans les domaines clés (intelligence artificielle, cybersécurité, génie civil, systèmes complexes, acoustique etc.) pour l'avenir du Groupe. Les experts Synapses sont impliqués dans de nombreux projets présentés dans ce rapport.

## Conseil scientifique 2040

Ce collectif rassemble des dirigeants stratégiques et techniques des sociétés et des filiales du groupe SNCF, dans le but d'éclairer sa gouvernance sur les enjeux et les technologies du futur, d'orienter la stratégie d'innovation et de recherche du groupe, et d'identifier des opportunités de différenciation et de diversification dans un contexte concurrentiel.

[CLIQUEZ ICI](#)

pour découvrir les équipes qui font vivre la recherche et l'innovation dans les sociétés du groupe SNCF

## Réseau des correspondants Innovation

Rassemblant des représentants des sociétés et filiales du groupe SNCF, ce réseau oriente les travaux de recherche et d'innovation en s'appuyant sur 2 nouveaux collectifs créés en 2024 au sein de la DTIPG:

- les Innovation Business Partners, qui les aident à traduire les besoins des sociétés et filiales en projets, dont ils suivent également le développement ;
- les Innovation Technology Leaders qui apportent leurs expertises sur les technologies émergentes (IA, robotique...) pour orienter les projets de recherche.

## Réseau « 574 Territoires »

Réparties sur l'ensemble du territoire, 7 maisons de l'innovation numérique sont au service du groupe SNCF. Ces lieux permettent d'être au plus près des équipes SNCF pour les accompagner dans la transformation numérique du Groupe, et de l'écosystème externe local pour mieux faire rayonner l'innovation numérique SNCF. Ce réseau s'appuie sur 3 piliers d'action: diffuser la culture numérique au sein du Groupe, accompagner des projets digitaux et favoriser leur scalabilité, nouer des partenariats externes dans les territoires, servant les enjeux du groupe SNCF.

## Guichet unique Brevets & Innovation

Le GUBI a pour mission de protéger les inventions des collaborateurs SNCF en accompagnant les différentes étapes du dépôt de brevets. Le GUBI gère le portefeuille de brevets SNCF et favorise sa valorisation dans le domaine industriel.



- Direction Générale Exécutive Projets, Maintenance et Exploitation
- Rail Open Lab
- Altametriz
- Sferis



- Direction Stratégie et Développement



- Direction Stratégie, Innovation & Excellence Opérationnelle
- Direction Clients et numérique
- AREP



- Ingénierie du Matériel
- Direction Traction
- Mass Transit Academy
- Direction Innovation TER
- SNCF Connect & Tech

# Offrir aux clients une mobilité respectueuse de l'environnement

## ENJEU

Le train est aujourd'hui la solution de mobilité capacitaire qui offre les meilleures performances écologiques. Un voyage en train, c'est entre 70 et 90 % d'émissions de gaz à effet de serre (GES) de moins que la voiture et l'avion. Or le train ne représente que 11 % du transport de voyageurs ou de marchandises. Plus la part du train augmente, plus la courbe globale des émissions de CO<sub>2</sub> diminue. Pour faire plus de trains, notre ambition est de renforcer nos atouts intrinsèques. Par exemple, environ la moitié de la flotte TER circule encore au diesel sur les lignes non électrifiées. Le groupe SNCF accompagne les Autorités Organisatrices de la Mobilité dans la recherche de solutions alternatives avec des projets de trains nativement décarbonés – à batteries, hybrides ou à hydrogène. Des efforts de recherche se portent également sur la conversion des moteurs d'engins de travaux et de manœuvre de fret. Nous innovons aussi en matière d'efficacité énergétique pour réduire autant que possible nos consommations, que ce soit en optimisant la conduite ou en utilisant des biocarburants. Offrir aux clients une mobilité respectueuse de l'environnement, c'est également réfléchir à une meilleure inscription des infrastructures et du foncier dans leur environnement. Conception frugale, qualité de l'air, traitement de la végétation ou encore préservation de la faune sauvage sont d'autres champs majeurs de recherche et d'innovation.

**« Pour réduire notre empreinte environnementale, le groupe SNCF agit sur 3 grandes priorités : la décarbonation de ses activités, le développement de l'économie circulaire, et la préservation de la biodiversité. Notre ambition est d'émettre -30 % de CO<sub>2</sub> pour nos activités de transport et - 50 % pour nos bâtiments à horizon 2030 par rapport à 2015, année de la signature des Accords de Paris. »**



**Muriel Signouret**  
Directrice RSE du groupe SNCF

## THÉMATIQUE

# Décarbonation et préservation de la biodiversité

Le changement climatique est l'une des causes principales du déclin de la biodiversité, son principal catalyseur est l'effet de serre. Les programmes d'innovation que nous développons pour décarboner nos activités contribuent par conséquent à réduire la pression sur la biodiversité. Avec nos activités quotidiennes sur

28 000 km de lignes, 3 000 gares, 12 M de m<sup>2</sup> de bâtis et plus de 100 000 ha, nous hébergeons et traversons une multitude d'écosystèmes. Nous devons développer des solutions innovantes pour protéger le patrimoine naturel, tout en veillant à la sécurité des agents et des circulations et bien sûr à la régularité des trains.

Au menu de ces innovations, une maîtrise de la végétation plus ciblée et respectueuse de l'environnement, des solutions d'effarouchement pour prévenir les heurts d'animaux, ou des aménagements permettant de restaurer les continuités écologiques terrestres et aquatiques.

## PrediQA

pour prédire la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines

**?** L'Ingénierie du Matériel SNCF Voyageurs a développé PrediQA, un outil de prédiction des concentrations de particules fines à 24/48h dans les stations souterraines, basé sur l'Intelligence Artificielle. Objectifs ? Mesurer les émissions en fonction des différents facteurs d'influence (fréquence de trafic, météo...) pour anticiper les pics de pollution et, à terme, informer les usagers sur leur trajet ou piloter la ventilation dans les gares pour maîtriser leur consommation énergétique.

**🎯** L'outil a été testé avec succès dans une station de métro en Suède dans le cadre du projet Rail4Earth de Europe's Rail. En Île-de-France, il s'appuie sur les relevés en temps réel de l'Agence d'essai ferroviaire et d'AirParif. La démarche s'inscrit dans la



Les concentrations de particules fines sont mesurées en continu dans des gares de la ligne E du RER.

politique Qualité de l'Air du groupe SNCF et sa trajectoire de maîtrise de la pollution aux particules dans les enceintes ferroviaires souterraines. Aujourd'hui, les concentrations de particules fines sont mesurées en continu dans 5 stations souterraines à la demande d'Île-de-France Mobilités : Sevran sur la ligne B du RER et Magenta sur la ligne E, Avenue Foch, Neuilly-Porte Maillot

et Porte de Clichy sur la ligne C. Dans le cadre d'un projet également financé par Île-de-France Mobilités, les stations Péreire-Levallois, Saint-Ouen, et Les Grésillons de cette même ligne vont être équipées de micro-capteurs à titre expérimental, en vue d'adapter le modèle à la prédiction de la circulation des particules entre ces 6 gares successives.



À Saint-Jean-de-Losne (21), le premier de série des nouveaux modèles de passerelles standardisées a été mis en place.

## Des passerelles plus économiques, plus écologiques

SNCF Gares & Connexions compte environ 2 800 petites et moyennes gares en France, d'où l'intérêt de développer des modèles standardisés de passerelles, qui soient plus économiques, écologiques, exploitables et élégantes, sans déroger aux normes ferroviaires ni aux règles de maintenance.

Chaque modèle de passerelle standard réduit de façon importante les quantités de matériaux utilisés (- 40% d'acier et - 80% de béton), jouant également sur la hauteur de franchissement (- 10%) pour réduire la longueur des escaliers : un plus aussi pour les usagers. Grâce à des éléments entièrement modulaires fabriqués en atelier, légers à transporter et à installer, soudés, la passerelle dispose d'un fort indice de réparabilité et se pose en moins de 6 heures.

Un catalogue des modèles de passerelles en 3D est à la disposition des bureaux d'ingénierie du groupe SNCF. Un premier de série (17 m) a été installé à Saint-Jean-de-Losne en 2023, un second (80 m) est en

travaux sur Nevers. Ces modèles facilement duplicables répondent à tous les besoins : mise en accessibilité, sécurisation, régénération, développement des SERM...

### Partenaires

État, région Bourgogne-Franche-Comté



**35 %**  
de réduction des coûts

**45 %**  
environ de réduction  
de l'empreinte carbone

**D'ici 5 ans**  
dans plus d'une trentaine  
de gares



**Julie Reiner**  
Secrétaire Générale  
de SNCF Gares & Connexions

« Face au défi climatique, les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre de SNCF Gares & Connexions sont mobilisés pour inventer de nouveaux modèles constructifs, plus sobres en ressources, moins émissifs en carbone, plus frugaux. Faire converger performance économique et environnementale oblige à développer des solutions innovantes, comme en témoigne l'exemple de la passerelle de Saint-Jean-de-Losne. »

## Effarouchement sonore

Préserver la faune sauvage et limiter les heurts d'animaux

**?** Retards et suppressions de trains, remise en état du matériel roulant, dédommagement des clients... les conséquences des heurts d'animaux sauvages ne sont pas négligeables. Plus de 2 600 heures sont perdues chaque année. Les collisions avec un grand mammifère peuvent nécessiter des réparations coûtant des milliers d'euros. Pour préserver la faune et prévenir les conséquences des heurts sur la maintenance et la régularité des trains, le groupe SNCF développe et teste des systèmes d'effarouchement sonore.

**🎯** Depuis septembre 2024, des hauts-parleurs installés à l'avant de 3 autorails TER en Auvergne-Rhône-Alpes diffusent des signaux d'alerte communs aux grands mammifères, à même de provoquer leur fuite. Ils sont déclenchés automatiquement, par géolocalisation, dans les zones les plus à risques. Des caméras à bord enregistrent les effets sur la faune. Ces signaux ont été élaborés dans le cadre d'une thèse CIFRE (Convention Industrielle de Formation par la Recherche\*), puis testés à la réserve zoologique

de la Haute-Touche (Museum National d'Histoire Naturelle). Autre principe testé sur les sections Oudon-Ancenis et Ecoflant-Tiercé (ligne Nantes-Sablé-sur-Sarthe), des balises avec hauts-parleurs installées le long des voies tous les 50 m émettent, juste avant le passage des trains des signaux d'alerte créés lors de la thèse CIFRE, ou des sons naturels (cri du geai, aboiement de chevreuil, trompes de chasse...). Une troisième solution de passages à niveaux pour la faune verra le jour en 2025 en Île-de-France.

\* Cofinancée par les SA SNCF, SNCF Voyageurs, SNCF Réseau et l'université de Saint-Etienne



Le dispositif d'effarouchement sonore, tout en préservant la faune, permet de diminuer les risques de collisions.



## Renaturer le foncier d'ICF Habitat

AREP a conçu en 2024 un outil de valorisation des données d'ICF Habitat (société immobilière du groupe SNCF), pour lui permettre de caractériser la couverture des sols et la végétation présente dans ses espaces fonciers. Objectifs : identifier le potentiel d'aménagement et de renaturation du patrimoine non bâti, adapter la biodiversité aux caractéristiques des sites, et réduire les coûts d'entretien des espaces verts. En mesurant et en comparant les opportunités d'amélioration, les risques de dégradations par artificialisation et les niveaux de connectivité écologique, l'outil détermine ainsi le potentiel de chacun des sites.



## Ensemencement choisi

ou comment contrôler la végétation sur les voies de service

**?** SNCF Réseau mène des expérimentations afin de réduire le recours aux produits phytosanitaires pour l'entretien des voies ferrées. L'utilisation d'alternatives s'avérant plus coûteuse, il s'agit notamment de prioriser celles limitant les fréquences d'intervention. L'ensemencement choisi est une solution destinée aux voies de service et aux triages. Elle a été testée à Villeneuve-Saint-Georges (94) en 2018 et Dole (39) en 2019, puis déployée sur 32 sites de triage, soit 42 ha, et quelques sous-stations électriques.

**🎯** Des semences, des matières végétales et organiques sont mélangées à de l'eau pour être pulvérisées (hydromulching) sur les voies. Ce mélange donne naissance à un couvert végétal permanent, ne nécessitant plus qu'une seule opération de fauche par an. Il a été sélectionné pour s'adapter aux milieux de type minéral, ainsi qu'aux contraintes de maintenance et d'exploitation des voies de service. En mars 2025, ces années de recherche et de travaux, menés en partenariat avec la société Natura'lis, ont donné naissance à une marque de produits baptisée Végérail.



Le TER Régional hybride a été expérimenté en service commercial pendant un an.

## Le train hybride

**?** L'expérimentation du TER Régional hybride, premier projet de décarbonation par modification de matériel roulant exploité par la SNCF, a duré un an. En service commercial d'abord en Occitanie, puis en Nouvelle-Aquitaine, dans le Grand Est et en Centre-Val de Loire, le train hybride a validé toutes les promesses : sécurité, fiabilité et tenue des horaires, économie de carburant de l'ordre de 20 % et autonomie de plus de 1 000 km.

**?** Le TER Régional hybride associe électrique, thermique et batteries. 2 de ses 4 moteurs diesel ont été remplacés par des batteries lithium-ion. Ces différents modes d'alimentation, caténaires/batteries, ou carburants/batteries, lui confèrent toute son autonomie. Les batteries stockent l'énergie de freinage pour la réutiliser au démarrage.

La prochaine étape consiste à affiner le système de gestion de l'énergie, en intégrant les possibilités de recharge à venir sur le parcours pour aller jusqu'à 30 % d'économie de carburant. L'idée est de puiser l'énergie dans la batterie au lieu de consommer du gazole si, au bout de quelques kilomètres, la présence d'une caténaire permet de la recharger. L'IA pourrait utilement contribuer à cette optimisation.

### Partenaires

Régions Occitanie, Nouvelle-Aquitaine, Grand Est, Centre-Val de Loire, Alstom, CAF



Jusqu'à  
**30 %**  
d'économie  
de carburant



## Les biocarburants, partenaires de l'hybridation

L'exploitation du TER Régional hybride a aussi été l'occasion de tester des biocarburants et de valider leur performance en exploitation : le HVO, huile végétale hydrotraitée, en Occitanie, avec Dyneff ; le B100, huile estérifiée issue de colza français avec SAIPOL en Nouvelle-Aquitaine et avec Bolloré Energy dans le Grand Est. Pour ces circulations, des solutions d'avitaillement provisoires ont été mises en place. Le couplage du TER hybride aux biocarburants a permis d'augmenter la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de sortir des énergies fossiles. Aucune incidence n'a été relevée sur le fonctionnement ou les performances de la rame hybride.

## Le train à batteries

**?** Le train à batteries est une solution robuste et économiquement pertinente pour décarboner l'exploitation d'une ligne non électrifiée. Il permet de baisser les émissions de CO<sub>2</sub> de 85 % et élimine les émissions d'oxyde d'azote (NOx). Chargées sous caténaires, les batteries peuvent aussi récupérer et stocker l'énergie de freinage et la réutiliser au redémarrage, pour une économie d'énergie d'environ 20 %. Sur voies non électrifiées, elles offrent une autonomie d'au moins 80 km.

**?** 2 autorails bi-modes sont passés en 100 % électrique, après remplacement de leurs moteurs diesel par des batteries lithium-ion. Testées à Crespin et au Centre d'essais ferroviaires d'Alstom à Bar-Le-Duc, et sur le réseau ferré national (bruit, compatibilité électromagnétique, traction, performances énergétiques), ces rames doivent encore subir des investigations approfondies afin de démontrer que les batteries ne présentent pas de risques de sécurité. 2 autres seront modifiées en 2025, 1 en 2026, avant de circuler en service commercial dans les régions partenaires.

### Partenaires

Régions Auvergne-Rhône-Alpes, Hauts-de-France, Nouvelle-Aquitaine, Occitanie, Sud, Alstom



**Yann Harcouet**  
Responsable de programme pour la décarbonation du matériel roulant TER – SNCF Voyageurs



Le premier train à batteries, le B82775, a été testé à Crespin, au Centre d'essais ferroviaires d'Alstom de Bar-Le-Duc, et sur le réseau ferré national.

## 2 SOLUTIONS COMPLÉMENTAIRES AU TRAIN À BATTERIES

### L'électrification partielle des lignes

Cette solution consiste à n'électrifier qu'une partie de ligne, en évitant les tronçons de voies comprenant des infrastructures complexes, comme les ponts et les tunnels, qui génèrent des coûts d'installation et d'entretien importants. Sur ces tronçons, le train circulerait sur ses batteries. Les lignes aujourd'hui exploitées avec des trains à motorisation diesel pourraient ainsi basculer en traction 100 % électrique.

### La recharge rapide statique

Pour permettre aux trains à batteries d'enchaîner des circulations de manière robuste, la Direction Technologies Innovation Projets Groupe continue d'étudier les verrous technologiques de la recharge à forte puissance à l'arrêt, sous 1500 V courant continu. Objectifs : réduire le temps de recharge des trains à batteries pour augmenter leur disponibilité commerciale, élargir le périmètre d'exploitation et éviter de coûteux travaux d'électrification en ligne.

« La décarbonation de nos 1000 TER qui circulent chaque jour en consommant du diesel est une priorité. Pour cela, nous explorons toutes les options technologiques disponibles, à court, moyen et long terme. Le train hybride est un 1<sup>er</sup> succès et nous souhaitons aller encore plus loin avec les trains à batteries ou les trains à hydrogène. »

## LES TECHNOLOGIES H2

## ICE H2

Un moteur à combustion interne, mais à hydrogène

**?** Le moteur à combustion hydrogène fonctionne sur le même principe qu'un moteur consommant du diesel. La technologie intéresse de plus en plus d'industriels et a atteint une maturité suffisante pour être expérimentée en milieu ferroviaire. Ses atouts : il n'émet pas de CO<sub>2</sub>, son coût d'achat est inférieur à celui des piles à combustible, sa durée de vie est la même qu'un moteur diesel et peut être prolongée par des opérations de maintenance. Principalement constitué d'acier, il fait très peu appel aux métaux rares et résiste aux environnements agressifs (impuretés, poussières...). Ce moteur étant utile pour des applications qui demandent beaucoup de puissance, et donc des quantités d'énergie très importantes, le projet ICE H2 vise à décarboner en priorité les flottes d'engins qui évoluent sur des lignes non électrifiées pour le fret, la maintenance et les travaux.

**?** Les quantités d'énergie nécessaires à ces engins impliquent un emport d'hydrogène sous forme liquide, moins volumineux, mais devant être maintenu à une température de -253°C. Avec ICE H2, il s'agit d'étudier la faisabilité d'un tel projet, en procédant d'abord par simulation, avant d'envisager tests et prototypes. Le partenariat est en cours de montage avec l'IRT Railenium.



La chaîne de traction à hydrogène se compose de piles à combustible, qui produisent l'énergie à partir de l'hydrogène stocké dans des réservoirs spécifiques.

## Régionalis H2 à piles à combustible

**?** Ce projet propose avec l'hydrogène (H2) une alternative entièrement décarbonée à la traction thermique. Il contribue également au développement d'un écosystème autour de l'hydrogène bas-carbone, en accompagnant les Régions partenaires dans leurs appels d'offre pour définir les solutions de distribution adaptées à leurs propres besoins.

**?** La chaîne de traction des trains à hydrogène se compose de piles à combustible, qui produisent l'énergie électrique utilisée par les moteurs entraînant les rames à partir d'hydrogène stocké dans des réservoirs spécifiques. Ces piles fonctionnent de concert avec des batteries, qui apportent une puissance supplémentaire en phase d'accélération et permettent de récupérer l'énergie de freinage.

Les trains à hydrogène ont une autonomie de 600 km. En 2024, l'assemblage de la rame de pré-série du train à hydrogène a été finalisé à Reichshoffen. Les essais de validation et d'homologation suivront en 2025, avec, en parallèle, le lancement de la production de 11 Régionalis H2 de série qui suivront la rame de pré-série.

## Partenaires

Régions Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche-Comté, Grand Est, Occitanie, Alstom

Ce projet est financé par l'État dans le cadre de France 2030 opéré par l'ADEME.

La parole à Lucian Balea,  
Directeur Adjoint R&D de RTE

## Quels sont les enjeux de décarbonation et de transition énergétique en France ?

Pour soutenir la décarbonation de l'économie française, la part d'électricité dans la consommation énergétique du pays devra passer de 25 à 55%, d'ici 2050. Un investissement de 100 Mds€ sur 15 ans sera nécessaire pour y parvenir. Parmi les grands chantiers : renforcer la colonne vertébrale du réseau à très haute tension, raccorder et répondre à la demande des nouveaux consommateurs (industrie, datacenters, mobilité...), intégrer la production des installations d'énergies renouvelables qui se multiplient et, bien sûr, renouveler nos infrastructures vieillissantes en intégrant la nouvelle donne liée au changement climatique.

## Comment l'innovation peut-elle y contribuer ?

240 M€ seront consacrés à la R&D entre 2025 et 2028 : 30% de plus qu'auparavant dans un contexte de multiplication et d'accélération des problématiques auxquelles il faut répondre. Nous développons de nouvelles méthodes de simulation, d'optimisation et d'évaluation des risques pour affiner nos trajectoires d'investissements et cibler nos actions de gestion des actifs. Nous concevons de nouvelles solutions d'infrastructures ou inventons de nouveaux outils de gestion des flux et des équilibres du système électrique, y compris en tirant parti de capacités de modulation d'usages et de flexibilité énergétique. Nos travaux portent aussi sur la résilience de nos actifs face au changement climatique : inondations,

canicules, sécheresses, incendies sont des risques majeurs à prendre en considération. Enfin, notre stratégie industrielle est traversée par des questions d'acceptabilité des infrastructures par le public, d'insertion paysagère et de préservation de la biodiversité. L'anticipation des risques d'approvisionnement en matières et technologies en cette période de tensions géopolitiques est un autre sujet.

## La SNCF va devenir productrice d'énergie solaire. Quels défis pose la multiplication des sources de production ?

Cela demande d'intégrer ces nouveaux producteurs en préservant la stabilité du réseau et la qualité de l'électricité, et ce à moindre coût. En cas de forte production locale, nous devons être capables de résorber les excédents d'énergie à l'échelle française, voire européenne, ce qui suppose une interconnexion solide. En outre, le photovoltaïque est connecté au réseau au moyen de convertisseurs à électronique de puissance, dont les comportements diffèrent des alternateurs conventionnels et ne procurent pas intrinsèquement les effets stabilisateurs et autorégulateurs de ceux-ci, nécessitant de repenser les dispositifs qui assurent le bon fonctionnement et la sûreté du réseau. Enfin, il est nécessaire de développer des modèles pour prévoir les niveaux de production des parcs de panneaux solaires. Nous concevons aussi des automates qui surveillent l'état du réseau et ses capacités de transit, pour réguler les productions en temps réel, en vue de dimensionner au plus juste les besoins en infrastructures nouvelles.

## THÉMATIQUE

## Efficacité énergétique

La crise énergétique mondiale a mis en évidence l'importance cruciale de la sécurité énergétique. Dans ce contexte, le groupe SNCF s'était fixé comme objectif de réduire sa consommation de 10% entre 2022 et 2024. Plus de 80 solutions ont été recensées, hiérarchisées et investiguées. Plus des 3/4 d'entre elles ont été déployées ou accélérées. Elles relèvent autant de solutions

techniques que de gestes métiers, à l'image des efforts de réduction des consommations hors production, comme Start & Stop ou des mesures d'éco-stationnement. À lui seul, le « baisser panto » des trains, en dehors des opérations d'entretien, a permis une économie de 54 GWh en 2024, soit 1 600 t de CO<sub>2</sub> évitées! Le déploiement de l'écoconduite, favorisée par l'outil d'aide

à la conduite Sirius Next et le développement des projets de réutilisation de l'énergie de freinage des circulations, y participent également. À ces mesures s'ajoutent les efforts déployés pour les futurs matériels roulants comme l'aérodynamique du TGV nouvelle génération, les trains légers TELLi, DRAISY, FLEXY..., et sur le patrimoine industriel et immobilier.

## PHIL (Power Hardware in the Loop)

Mieux gérer l'énergie grâce aux trains hybrides



Les performances des batteries et des supercondensateurs ont été évaluées en conditions normales et dégradées.

? Pour tester les performances des batteries et supercondensateurs de trains hybrides sur les trains franciliens, sans avoir à transformer de rame, un banc de test reproduisant une chaîne de traction hybride a été développé par l'Ingénierie du Matériel SNCF Voyageurs.

En 2024, les réactions des batteries et supercondensateurs ont été modélisées sur la base de données d'exploitation enregistrées en Île-de-France. Puis, leurs performances réelles ont été évaluées en conditions normales et dégradées à partir de simulations élaborées depuis 2017. Leur intégration a permis d'aboutir à une optimisation de la chaîne d'énergie dans toutes les configurations.

Plusieurs gains ont été identifiés: en lien avec Smartilien, projet de récupération embarquée de l'énergie de freinage, 30% d'économies d'énergie (par rapport à un parcours entièrement effectué sous caténaire 1 500 V courant continu), 25% sous caténaire 25 kV courant alternatif. Le recours aux batteries et supercondensateurs permet également de freiner à 100% en électrique en gare, préservant ainsi

les garnitures de freins, premier poste de dépenses de maintenance du matériel en Île-de-France, et évitant les émissions de particules fines.

## Partenaires

Île-de-France Mobilités, FEV, Alstom, Agence d'essai ferroviaire



**Le recours aux batteries et supercondensateurs permet de freiner à 100% en électrique en gare**



**Bruno Langlois,**  
Directeur Développement de l'Ingénierie du Matériel de SNCF Voyageurs

« Depuis 15 ans, nous nous efforçons d'améliorer l'efficacité énergétique des matériels roulants. Cette politique a pris une nouvelle dimension sous l'effet de la crise énergétique et de notre volonté de proposer un transport toujours plus décarboné. Nous intégrons ces exigences dans les cahiers des charges des matériels neufs et apportons des améliorations sur les matériels existants par des dispositifs techniques ou par une adaptation des gestes métiers. Nous travaillons également sur les problématiques d'effacement afin de soulager le réseau. »

## SCOOT

Des matériaux composites pour alléger les sièges des trains OUIGO et Transilien

? Les trains étant soumis à des limites de masses à l'essieu strictes, l'optimisation du poids des sièges est un impératif. Réduire la masse des sièges, c'est potentiellement transporter plus de passagers, plus de batteries et plus d'éléments de confort, tout en réduisant les consommations d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub>.



L'Ingénierie du Matériel SNCF Voyageurs et la Direction Technologies, Innovation et Projets Groupe de SNCF ont lancé en 2022 le projet SCOOT (Siège Composite Optimisé OUIGO et Transilien). Les pièces en magnésium ou métalliques étant arrivées à leurs limites en termes de résistance, SCOOT développe de nouveaux sièges en matériaux composites pour alléger leur masse jusqu'à 30%, tout en conservant leurs caractéristiques et designs actuels.

## Greenpower

Réduire les consommations d'énergie de traction et de stationnement des trains de marchandises

? Les consommations d'énergie liées aux activités de Rail Logistics Europe (RLE) représentent 60% de ses émissions globales de CO<sub>2</sub>. RLE souhaite donc accompagner ses filiales dans la réduction de leurs consommations. RLE table notamment sur 5% d'économie d'énergie dans ses activités européennes grâce au déploiement d'actions d'efficacité énergétique, d'écoconduite et d'écoconduite.

Hexafret, et Captrain France. Depuis fin 2024, l'outil d'aide à la conduite Sirius Next, déjà déployé par SNCF Voyageurs, est également utilisé par les 1 200 conducteurs et encadrants d'Hexafret, Sirius Next ayant été adapté aux spécificités du transport de marchandises. En 2025, le projet s'étendra à l'ensemble des filiales européennes de RLE et va également promouvoir l'utilisation des biocarburants pour réduire l'empreinte carbone des trafics.



En 2022, pour ses filiales françaises, le groupe a lancé Greenpower, programme de réduction de l'énergie dépensée en traction (qui pèse plus de 90% des consommations d'énergie) et en stationnement. Greenpower repose sur 4 piliers: la mesure des consommations; la promotion de l'écoconduite; la diffusion de bonnes pratiques en matière d'éco-stationnement; un accompagnement managérial des équipes concernées. Des indicateurs de mesure ont été formalisés pour Fret SNCF, devenu



**Objectif de la trajectoire énergie-climat de RLE:**

**30%**

**de réduction de la part des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux consommations d'énergie d'ici 2030, par rapport à 2022**

## REG'GAZ

Le système clé en main qui optimise le réchauffage des appareils de voie

**?** Pour éviter les amas de neige ou la formation de givre sur les appareils de voie en hiver, ceux-ci sont réchauffés électriquement ou au moyen de réchauds à gaz. Plus performant, le dégivrage au gaz émet cependant beaucoup de CO<sub>2</sub>. Le projet REG'GAZ, lancé en 2023 avec le Rail Open Lab (voir p.30), vise à en limiter la consommation au strict nécessaire. Objectifs : diminuer les coûts liés au gaz et à la logistique, préserver le bon fonctionnement des appareils de voie (assèchement de graisses pouvant entraîner des déconrôles d'aiguilles avec des impacts sur la régularité), réduire l'empreinte de l'infrastructure sur l'environnement et limiter les risques ferroviaires pour les agents.

**?** REG'GAZ pilote et régule en autonomie la température de réchauffage. Un système d'information recueille en temps réel les données de température au moyen de capteurs en voie. L'allumage est programmé grâce à une appli web et enclenché via un automate. 2 prototypes sont déployés : sur un appareil de voie à Chamonix et à Paris-Gare de Lyon permettant de tester la régulation. Des plages et températures de consigne ont été définies : demain REG'GAZ propose d'utiliser les données d'opérateurs et stations météo.



Ce prototype de REG'GAZ, qui vise à éviter les amas de neige et la formation de givre sur les appareils de voie, teste la régulation de la température.

**Partenaires**  
SCLE SFE, TLTI, MOÏZ

## Start & stop

Pour une gestion intelligente de l'énergie dans les installations fixes de traction électrique

**?** SNCF Réseau déploie un catalogue de solutions qui permettront de rendre intelligente et automatique la gestion de l'énergie dans les installations fixes de traction électrique. Il s'agit notamment d'éviter les pertes à vide des transformateurs dans les sous-stations des lignes à faible densité de trafic, et d'en diminuer les nuisances sonores associées. Selon le type de transformateur et sa localisation, les gains seront plus ou moins importants, avec une économie moyenne correspondant à la consommation annuelle de 4/5 foyers.

**?** Un interrupteur statique Start & Stop, première des solutions du futur catalogue, a été conçu pour les sous-stations 1500 V courant continu. Il vise à contrôler et à mieux équilibrer les temps de production d'énergie et de consommation, coupant automatiquement le circuit et le remettant en marche en fonction des besoins. Un premier prototype a été installé dans la sous-station de Saverdun (Ariège), un second est en cours de montage à Venerque (Haute-Garonne).

**Partenaires**  
Région Occitanie, Soreel-Rehiko



# Bienvenue demain !

Nous sommes dans un futur proche. La révolution industrielle portée par la digitalisation et la décarbonation a profondément transformé le système ferroviaire et les mobilités collectives, qui lui sont désormais associées. Beaucoup moins d'émissions de CO<sub>2</sub>, plus de mobilités collectives dans les agglomérations et les territoires, des parcours clients fluides de bout en bout, des connexions renforcées avec l'Europe... Le report modal vers le ferroviaire est devenu un des principaux leviers de notre transition environnementale et sociétale. Signe des temps : prendre le train est devenu le premier des réflexes.



**-50%**  
environ sur les  
consommations  
et émissions de gaz  
à effet de serre



## Carole Desnost

Vice-Présidente Technologies,  
Innovation et Projets Groupe

L'innovation est depuis toujours dans l'ADN du groupe SNCF, et les nombreuses évolutions technologiques qui ont ponctué la croissance du ferroviaire ont permis d'optimiser notre performance industrielle et de satisfaire les attentes de nos clients.

Aujourd'hui, les nouvelles technologies accélèrent la transformation du ferroviaire pour développer une offre renouvelée, multimodale, décarbonée et accessible à tous, pour tous les territoires. Demain, le ferroviaire jouera un rôle essentiel dans les métropoles avec les futurs Services Express Régionaux et Métropolitains, tout comme en milieu rural, avec une nouvelle gamme de trains légers incarnée par TELLi et DRAISY.

La digitalisation, la décarbonation et la révolution de l'intelligence artificielle sont autant de transformations majeures. Elles portent nos efforts d'innovation et de recherche qui, avec des perspectives à court et moyen termes, visent à concilier hausse des mobilités et respect de l'environnement.

# Le train, champion incontesté des mobilités collectives et décarbonées de demain

Tous les projets partagent la même ambition : celle d'accélérer la modernisation du système ferroviaire et, plus que jamais, de mettre l'innovation au service de nos clients

Grâce à France 2030, la filière ferroviaire française dispose à présent d'une stratégie d'innovation ambitieuse et d'une feuille de route renforcée. Le nombre et la diversité des projets du CORIFER démontrent l'engagement et la vitalité de notre écosystème industriel. Tous les projets partagent la même ambition : celle d'accélérer la modernisation du système ferroviaire et, plus que jamais, de mettre l'innovation au service de nos clients. Ce travail collectif, qui regroupe une centaine d'industriels, d'académiques, d'instituts de recherche et de start-ups, commence à délivrer ses premiers résultats significatifs et permet, jour après jour, de confirmer la puissante expertise du ferroviaire français. Tout cela est rendu possible par l'appui

des opérateurs publics qui mettent en œuvre le plan France 2030 pour le compte du Secrétariat général pour l'investissement : l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), l'Agence nationale de la recherche, Bpifrance et la Caisse des Dépôts. L'innovation se renforce également à l'échelle européenne dans le cadre du programme Europe's Rail dans lequel nous sommes pleinement engagés. En associant des acteurs de l'ensemble de l'Union européenne, il favorise la création d'un espace ferroviaire commun, performant et capacitaire, à même de répondre à l'envie de mobilités décarbonées des Français et de tous les Européens. De nombreux investissements seront encore nécessaires pour achever la digitalisation

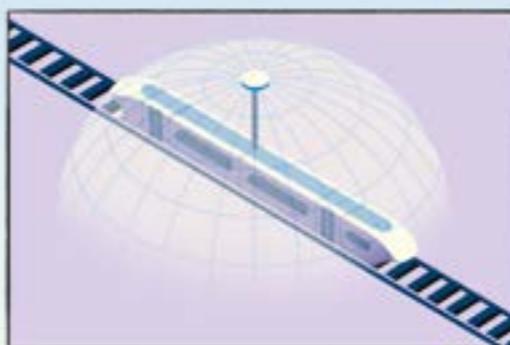
du système ferroviaire afin d'augmenter sensiblement la capacité du réseau ferré, qui pourra être obtenue progressivement grâce au déploiement de l'ERTMS, de la CCR et de l'ATO.

Toutes les évolutions présentées dans la fresque des mobilités du futur, à la page suivante, sont le fruit des collaborations qui animent les équipes du groupe SNCF et de leurs partenaires. Elles répondent aux besoins de tous nos clients, dans tous les territoires, dans un monde des transports qui va devenir pleinement concurrentiel.



### L'information client, partout et tout le temps

L'information voyageur ferroviaire s'intègre dans un écosystème des mobilités, fluide et interconnecté. Grâce à l'IA et à la gestion multimodale du trafic, les voyageurs disposent en temps réel d'une information personnalisée et contextualisée. Les incidents sont anticipés, les alternatives proposées automatiquement, et les trajets optimisés selon les préférences des voyageurs.



### Un système ferroviaire sous surveillance digitale

Le maître-mot : anticipation. Mobiles autonomes d'ouverture des lignes TGV, capteurs généralisés sur les installations fixes et les matériels roulants pour surveiller l'état du patrimoine ferroviaire, en prédictif et en temps réel. C'est tout un ensemble de mesures qui permettent de prévenir les incidents d'exploitation pour assurer la régularité des circulations.



### Une gestion des circulations centralisée et réactive

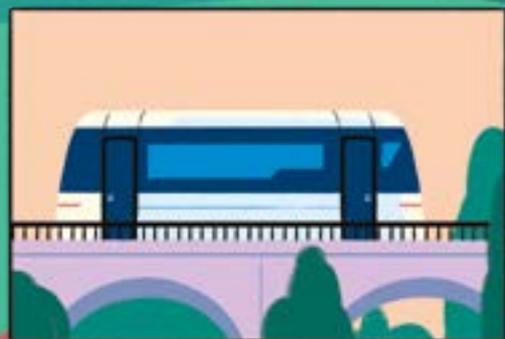
Toutes les circulations sont désormais pilotées à l'aide des technologies digitales, à commencer par l'ERTMS, qui permet d'augmenter le nombre de trains sur une même voie, en toute sécurité, tout en renforçant l'interopérabilité des réseaux européens.

Toutes les circulations sont gérées depuis les commandes centralisées du réseau, qui maillent l'hexagone pour assurer la fluidité des trafics et accélérer le retour à la normale en cas de situation perturbée.



### Davantage de trains, pour tous les usages et sur tous les territoires

Déplacements du quotidien, transports de marchandises et trajets longues distances : l'offre ferroviaire s'est considérablement renforcée. Grâce à la modernisation des infrastructures, à la digitalisation des opérations, les trains assurent une desserte fréquente et ponctuelle partout, y compris dans les zones périurbaines et rurales. Cette montée en puissance fait du ferroviaire un pilier majeur de la transition écologique.



### Des solutions adaptées à tous les territoires

Le ferroviaire est présent dans tous les territoires, jusque dans les zones les moins denses. Les nouveaux systèmes sont dotés des toutes dernières technologies, avec des matériels roulants 100% accessibles et largement décarbonés. Leur modularité leur permet de s'adapter aux besoins et à la fréquentation de chaque ligne. La maîtrise des coûts d'infrastructure et d'exploitation permise par ces systèmes a conduit les Autorités Organisatrices à augmenter l'offre et la fréquence de desserte pour offrir une alternative efficace à la voiture individuelle.



### Les mobilités collectives irriguent les métropoles et leurs bassins de vie

Les Services Express Régionaux Métropolitains desservent tous les bassins de vie des grandes agglomérations régionales. Train, bus, tram, métro, car express... toutes les mobilités convergent pour composer un maillage fluide autour des gares et des points d'arrêt. En semaine comme en week-end, les voyageurs ne regardent plus leur montre : ils savent que le prochain train arrive rapidement.



### Les télécoms et le spatial au service du ferroviaire

Les données satellitaires permettent une localisation ultra-précise, continue et en temps réel des trains, et une surveillance accrue des infrastructures. Côté télécoms, ces technologies offrent une couverture sans aucune « zone blanche ». Le déploiement du FRMCS (*Future Railway Mobile Communication System*) a renforcé l'interopérabilité des réseaux européens et permis le déploiement de nouveaux outils facilitant l'exploitation et garantissant la sécurité.



### Un mode résilient face au changement climatique

Ses effets font partie du quotidien, mais le groupe SNCF s'y était préparé : infrastructures et matériels roulants sont mieux adaptés aux phénomènes climatiques extrêmes. La résilience a été pensée pour maintenir un très haut niveau de service et de sécurité. Alors que les ruptures d'alimentation étaient la bête noire du ferroviaire, les solutions de stockage d'énergie garantissent l'autonomie de circulation et le maintien du confort à bord pour les clients.



### Un parcours en gare sûr et facilité

La fréquentation a considérablement augmenté. Grâce à l'intelligence artificielle, chaque gare peut prédire ses flux pour mieux accompagner les voyageurs en temps réel. L'analyse des données permet de faire évoluer les aménagements et services pour garantir sécurité et confort. Avec une signalétique accessible, intuitive, une vidéoprotection augmentée, les trajets sont plus fluides et sûrs, y compris pour les personnes à mobilité réduite et en situation de handicap.

### Une maintenance anticipée et robotisée

La généralisation des outils de prédiction des défauts a permis de baisser drastiquement le nombre de pannes. En intervenant avant le dysfonctionnement, les agents exercent leurs fonctions sans les urgences liées aux impératifs d'exploitation. Ils sont assistés par des robots multifonctions qui assurent les tâches les plus répétitives et pénibles. Leurs conditions de travail sont à l'image de la qualité de service : grandement améliorées.



### Le ferroviaire au cœur de la multimodalité

Signalétique, information, accessibilité, billetterie, fréquences et correspondances... tout est pensé et organisé pour fluidifier les trajets de bout en bout. Unique par sa capacité d'emport, le train est devenu la colonne vertébrale des mobilités, autour duquel s'agrègent tous les autres modes, du vélo au métro, en passant par le bus et toutes les formes d'autopartage.



### Place aux énergies renouvelables

Le groupe SNCF a progressivement développé sa propre production d'énergies renouvelables pour couvrir une partie de ses besoins en électricité. Cette production est assurée notamment par des panneaux photovoltaïques installés le long des voies, appuyée par des technologies de stockage et de récupération d'énergie et des solutions de gestion intelligente de la consommation. En soulageant le réseau électrique national, le groupe SNCF est devenu l'un des artisans du zéro émission nette en France.

# Développer la performance économique et industrielle

## ENJEU



Le ferroviaire et le groupe SNCF sont désormais dans un monde pleinement concurrentiel. Les appels d'offre qui s'ouvrent en région, comme l'arrivée de nouveaux opérateurs sur le réseau à grande vitesse, amènent à être toujours plus performants, industriellement et économiquement, pour être au service de la mobilité de tous. En dépit d'un contexte économique compliqué, le groupe SNCF continue d'innover avec ses partenaires pour rendre le mode ferroviaire plus attractif, flexible et multimodal. La diversité des territoires nous conduit à la diversité des solutions en considérant tous les besoins. Nous innovons au-delà des métropoles en inventant des solutions de mobilité repensées pour les territoires moins denses. L'autre enjeu est de préserver la souveraineté industrielle française et européenne, notamment face à leur dépendance à certaines matières premières et à certaines technologies de pointe.

À cet égard, la capacité des filières nationales à travailler ensemble pour concevoir le système ferroviaire de demain, notamment dans le cadre du programme Europe's Rail, est essentielle. Il s'agit de mutualiser les coûts de développement pour réaliser de véritables économies d'échelle, en s'appuyant sur les expertises d'autres industriels (spatial, aéronautique, automobile, éolien...) pour dépasser les limites d'un marché ferroviaire de petite taille, tout en soutenant l'activité des entreprises françaises, largement implantées dans les territoires.



**Vincent Delcourt**  
Directeur Stratégie  
& Performance Technologique,  
DTIPG SNCF

**« Autonomie énergétique et économie des ressources sont aujourd'hui des enjeux majeurs pour les entreprises et les États. Dans un contexte de tensions géopolitiques, de volatilité des marchés et de transition écologique, ces deux dimensions deviennent des leviers stratégiques pour la compétitivité du mode ferroviaire. »**

## THÉMATIQUE

# Autonomie énergétique et économie des ressources

Avec une consommation annuelle de 7 TWh, le groupe SNCF se positionne comme le premier consommateur industriel d'électricité en France. La fourniture en énergie, essentielle à l'exploitation des trains et des infrastructures, représente un enjeu majeur dans un contexte marqué par des instabilités croissantes. Pour sécuriser nos approvisionnements et garantir une énergie compétitive et

durable, nous adoptons une double stratégie : sécuriser les approvisionnements, en signant des contrats de long terme (PPA), et devenir producteur d'énergie solaire avec SNCF Renouvelables. En investissant dans la production d'énergie verte, la SNCF renforce son engagement en faveur de la transition et de la souveraineté énergétiques, tout en maîtrisant mieux ses coûts et son impact environnemental.

Pour accélérer cette ambition, nous travaillons également sur le développement de briques technologiques comme le photovoltaïque long linéaire, le stockage, la récupération d'énergie de freinage, la réduction des pertes, la supraconductivité... Mais l'électrification implique aussi des besoins en cuivre et autres métaux rares. Soutenir leur recyclabilité est devenu indispensable.

## RACCOR-D

Pour un réseau à courant continu multidirectionnel, plus sobre et intégrant les énergies vertes

**?** Ce projet de *smart grid* vise à transformer le réseau 1500 V courant continu en un réseau multidirectionnel intelligent car, faute de pouvoir être réinjectée dans le réseau, 5% de l'énergie émise est perdue. Il s'agit à la fois de récupérer l'énergie de freinage des trains et de la stocker dans des batteries installées dans les sous-stations, et de compenser les pertes en ligne par l'injection d'électricité produite par un parc solaire.

**🎯** RACCOR-D repose sur 2 « premières » mondiales : un convertisseur à courant continu assurant à terme une montée en tension entre 6000 et 9000 V, et un champ photovoltaïque à très haute tension, entre 6000 V et 9000 V également. Pour expérimenter le système dans son ensemble – couple convertisseur-batteries, connexion du

champ solaire à la sous-station, renvoi de l'énergie – une plateforme est en cours d'aménagement dans l'Aude. Les dispositifs de prévention des incendies pour le système de stockage fixe d'énergie ont été validés par arrêté préfectoral. Il servira de base pour le futur décret technique d'application sur le stockage à poste fixe de grande capacité.

### Partenaires

SCLE SFE, RTE, IRT Railenium, Institut national polytechnique de Toulouse (Laplace), JUNIA (L2EP Lille), CEA (sous-traitant principal)

Ce projet est financé par l'État dans le cadre de France 2030 opéré par Bpfrance.



**⚡ 8 à 10%**

**d'économie énergétique en moyenne sur un an. Les gains dépendant du trafic et de l'espace disponible, l'objectif est un retour sur investissement par site sous 10 ans.**

## Stockage d'énergie sous forme de chaleur

ou comment stocker à grande échelle et durablement des énergies renouvelables

Parvenir à stocker des énergies qui ne sont pas pilotables par nature (éolien, photovoltaïque) est un objectif pour le groupe SNCF, qui entend augmenter son autonomie énergétique. Le technicentre de Bretagne va accueillir sur son site un système de stockage breveté par Stolect, couplé à un parc photovoltaïque déployé par la SNCF sur 260 m<sup>2</sup> dans un premier temps. Les travaux sont en cours pour une mise en service prévue à horizon 2026.

Le système de stockage se fonde sur le principe de la « batterie de Carnot », à même de convertir une production intermittente (jusqu'à 5 MWh) en électricité « pilotable ». L'électricité est transformée en chaleur via des turbomachines (1 MW de puissance). La chaleur est stockée dans 2 réservoirs, au moyen de matériaux réfractaires (roches de basaltes et céramiques), puis reconvertie en électricité pendant la phase de déstockage. Atouts de ce système : il ne fait pas appel à des ressources

critiques, et la roche de basalte ne s'altère pas avec le temps, ce qui lui confère une durée de vie supérieure à celles des batteries au lithium (25 ans contre 8 ans).

**Partenaire**  
STOLECT



Le technicentre de Bretagne va accueillir un système de stockage breveté par Stolect.



**70%**  
de rendement  
attendu

## Le stockage d'énergie joue la carte du Groupe

Avec environ 7 TWh en 2024, le groupe SNCF est le premier consommateur d'électricité en France. Pour développer sa résilience face aux évolutions du marché de l'énergie, le stockage devient un enjeu clé. Débutés en 2024, les travaux visent à développer des solutions de stockage d'énergie au profit de SNCF Voyageurs, SNCF Réseau, SNCF Gares & Connexions, SNCF Immobilier, SNCF Renouvelables, en mutualisant les investissements pour parvenir à un modèle économique soutenable. 2025 sera consacrée à étudier les besoins de stockage de chacun, à inventorier et qualifier les solutions existantes (batteries, thermique...). À commencer par les batteries, qui apparaissent comme la solution la plus mature avec un rendement de l'ordre de 90%. Ces travaux seront menés en coopération avec l'Agence régionale Energie-Climat d'Occitanie (AREC), partenaire de cette initiative.

## Mise en parallèle des sous-stations 25 kV en courant alternatif

Améliorer l'alimentation et les performances énergétiques du réseau

**?** Une forte augmentation de trafic peut générer des chutes de tension sur le réseau ferroviaire et des déséquilibres sur les réseaux haute tension. Pour contrer ces effets, SNCF Réseau et ses partenaires dans le cadre du projet Rail4Earth (Europe's Rail) planchent sur le développement d'un réseau interconnecté de sous-stations 25 kV fonctionnant en parallèle, reposant sur des systèmes de transmission flexible en courant alternatif (FACTS en anglais). Objectif : améliorer la qualité de tension le long des caténaires, mieux répartir les demandes de puissances entre sous-stations et réduire les déséquilibres vis-à-vis de la haute tension. Les trafics pourraient ainsi être augmentés, sans modifier la puissance installée.

**🎯** La première étape consiste à valider d'ici fin 2026, la conception avec Siemens de 2 prototypes de convertisseurs, permettant la mise en parallèle des sous-stations dans un environnement numérique représentatif des conditions réelles. Le premier, plus mature industriellement, fait l'objet d'études pour trouver les meilleures stratégies de contrôle-commande ; le second sera soumis à des travaux de simulations pour valider ses architectures et lois de commande.

**Partenaires**

WP10 de Rail4Earth : Siemens Mobility, RFI, Trafikverket, CEIT, ProRail, ADIF, CAF



La halle à vélo de Paris-Gare du Nord, plus grand espace sécurisé de stationnement d'Île-de-France avec ses 1 186 places, et deuxième de France après Lyon Part-Dieu, a ouvert en juin 2024. Ses 567 panneaux photovoltaïques installés en toiture sur une superficie de 1 100 m<sup>2</sup> produiront jusqu'à 170 MWh d'énergie renouvelable à l'année. Une réalisation Île-de-France Mobilités, Altinnova, SNCF Gares & Connexions et sa filiale AREP.

## Solarisation de la halle voyageurs d'Angoulême

AREP mobilise ses expertises en conception, cartographie, data et modélisation, pour répondre aux ambitions de solarisation du groupe SNCF. En gare d'Angoulême, 840 panneaux photovoltaïques translucides doivent équiper 1 900 des 3200 m<sup>2</sup> de couverture de la grande halle voyageurs. De quoi assurer 40 % des besoins électriques du bâtiment.



OPHELIA ouvre la voie au développement de projets de panneaux photovoltaïques sur de grands linéaires.

## OPHELIA : exploiter les linéaires

Comment développer l'énergie photovoltaïque sur des surfaces de grande longueur et de faible largeur, telles que les abords des voies ferrées, les digues ou les pistes cyclables ? Pour répondre à cette question, la SNCF, pilote du projet pour sa partie ferroviaire, s'est associée à CNR, Nexans, Schneider Electric et SuperGrid Institute. AREP participe au projet au travers d'études d'identification du potentiel de développement du solaire linéaire sur toutes typologies de terrains.

Ce projet est financé par l'État dans le cadre de France 2030 opéré par l'ADEME.



**Emmanuel Mroz,**  
Directeur Général  
SNCF Renouvelables

« SNCF Renouvelables déploie son activité depuis début 2024. La préfiguration Voltaferro a permis de cerner les nombreux sujets à traiter. En premier lieu, l'identification des sites pouvant accueillir des projets. Plus de 500 ha ont déjà été analysés et près de 150 sont en phase d'étude environnementale pour 12 mois. Au regard de l'analyse de ces sites, les travaux de recherche et développement en cours apparaissent indispensables : RACCOR-D (voir p.25) pour la valorisation de la production ; OPHELIA et les technologies de stockage (ci-contre) pour s'adapter aux élongations dictées par l'infrastructure et optimiser et sécuriser les électrons... Les relations avec les élus et les administrations locales s'avèrent également cruciales et là encore, la taille et l'unité du Groupe jouent un rôle décisif. »

## Sevipav

Une seconde vie pour les matériaux de voie

**?** Chaque année, des matériaux dimensionnés pour les lignes intensément circulées sont remplacés. Ces opérations, dites de « suite rapide », sont réalisées par des trains-usines qui permettent de renouveler l'ensemble des composants d'une voie ferrée, en une seule intervention.

**🎯** Depuis 2025, une partie des voies renouvelées en suite rapide est déposée sans séparer les éléments. Il en résulte des tronçons de 18 m de long appelés « panneaux de voie », constitués de rails fixés aux traverses. Le projet

Sevipav a pour objectif de les préserver en vue de les réemployer sur des lignes à plus faible densité de trafic : lignes de desserte fine du territoire et voies de service. En limitant l'achat de matériaux neufs, l'ambition est de réduire les coûts de renouvellement de ces lignes tout en diminuant l'impact environnemental des chantiers. Sevipav repose sur l'identification et la validation des critères techniques qui permettent de classer les panneaux de voie en fonction de leur potentiel de réemploi. Ces critères offriront des garanties de sécurité et de fiabilité à long terme.

**Partenaire**  
Fondation FEREC



Jusqu'à  
**254t eqCO<sub>2</sub>**  
économisées par km de voie réemployée (par rapport à un circuit classique : extraction de ressources, production et transport de matériaux neufs sur chantier)

## OPTIGRAN

Réemployer encore plus de ballast



**?** Depuis 2022, SNCF Réseau valorise le ballast déposé des voies ferrées et le réemploie massivement, y compris sur des lignes à grande vitesse. Aujourd'hui, jusqu'à 65 % du ballast retiré lors des chantiers de suites rapides est remis en voie.

**🎯** Avec OPTIGRAN, SNCF Réseau compte retraiter jusqu'à 25 % de ballast en plus pour le réemployer sur les lignes de desserte fine du territoire et les voies de service. Avec de nombreux gains

En 2022, 100% du ballast renouvelé sur la ligne à grande vitesse Nord était issu du réemploi.

pour les chantiers concernés : une diminution de 25 % environ des extractions de ressources naturelles, une réduction des coûts d'achat de

matériaux neufs de l'ordre de 15 %, et des économies significatives en logistique, grâce au réemploi de ressources plus locales. L'augmentation du réemploi repose sur le retraitement du ballast, selon un fuseau granulométrique 20-50mm, contre 31,5-50 mm actuellement. Pour s'assurer du respect des exigences liées à l'exploitation des lignes, SNCF Réseau développe un outil de modélisation numérique et étudie le vieillissement du ballast 20-50 mm sur des voies d'essai.

**Partenaire**  
Fondation FEREC



**-15%**  
de coûts de  
retraitement à la  
tonne de ballast

**-16,7t eqCO<sub>2</sub>**  
en comparaison  
de l'emploi de ballast  
neuf 31,5/50

## Économies d'énergie sur les matériels roulants



Les rames TGV ont été équipées d'un système qui permet de les basculer à distance en mode éco.

### EN DYNAMIQUE AVEC LE DÉFLECTEUR « PREMIER BOGIE »

Comment améliorer le comportement aérodynamique au niveau du premier bogie d'une rame TGV ? En 2024, un déflecteur intégré à la tôle triangulaire sous cabine a été testé en service commercial pendant 2 mois. Il permet de dévier le flux d'air sous le bogie avec, à la clé, entre 0,6 et 1,5 % d'économies d'énergie réalisées. Ceci représente un gain annuel de près de 2 M€. Les tests ont permis de vérifier le comportement et les effets du déflecteur (tenue mécanique, rabattement des flux d'air vers le sol, prévention des envois de ballast, etc.). Après ces essais concluants, les tôles triangulaires, présentes en amont du premier bogie vont être remplacées sur l'ensemble du parc TGV.

### EN STATIONNEMENT AVEC ECO CLIM TGV ET ECO TGV DOORS

Les rames TGV ont été équipées d'un système informatique embarqué baptisé Lorient qui, grâce à une interface de traitement et à un module communicant, localise les rames TGV et permet de connaître à distance leur état technique. C'est également ce système qui commande les fermetures de portes et pilote la climatisation et la luminosité lorsque les rames ne sont plus en service commercial, avec un « mode ECO » qui peut être activé automatiquement ou manuellement. Il se déclenche lorsque la rame reste plus de 30 minutes en maintien de service, sans interaction (ouverture d'une porte, détection d'obstacle à la fermeture, etc.). L'éclairage à bord est alors réduit, la climatisation

varie en fonction des températures extérieures, sur des plages allant de 15°C à 28°C à bord et les portes se referment, accompagnées d'une signalisation visuelle et sonore.



**1%**  
d'économie d'énergie  
grâce à Eco Clim TGV  
et Eco TGV Doors

# Les grands partenariats industriels en 2024

3 nouveaux projets dirigés par le groupe SNCF ont été retenus en 2024 dans le cadre de l'appel à manifestation d'intérêt 2023 du CORIFER: MARS LGV (voir p.38), Mobil'Quai (p.56) et FLEXY (p.59). Sferis participe également à Simon (surveillance intelligente et maintenance optimisée des réseaux non structurants de type lignes de desserte fine du territoire), au sein d'un consortium mené par l'IRT Railenium. Au niveau européen, les avancées industrielles des projets ARGOS (avec les premières mises en service en 2025 de ces nouveaux postes d'aiguillage informatique) et Haute Performance Marseille-Vintimille (qui bénéficie de cofinancements européens, nationaux et régionaux) préparent le déploiement de l'ERTMS. Des applicatifs sont aussi développés pour les matériels roulants grâce au programme *Connecting Europe Facility*: pour certaines rames TGV, pour les liaisons du Grand Est avec le Luxembourg, Sud-PACA avec l'Italie ; et en préparation avec Railtraxx, filiale de Rail Logistics Europe, et Europorte pour les flux de marchandises avec la Belgique, l'Allemagne et le Luxembourg.

3 autres thèmes de recherche exploratoire ont démarré dans le cadre de l'appel à projet Europe's Rail (voir p.46).

**Le soutien de l'État français de 250 M€, via France 2030 au titre des AMI CORIFER 2021 et 2023, génère environ 700 M€ d'activités R&D pour la filière ferroviaire.**

Enfin, un nouvel accord de coopération sur l'innovation a été signé entre la DB et la SNCF, 8 ans après le premier. Il porte sur le système ferroviaire européen de demain, son architecture et ses différents modules technologiques, parmi lesquels les trains digitalisés, la localisation des trains par satellite, les futurs systèmes

de communication en 5G. Les 2 entreprises souhaitent progresser plus vite dans des domaines clés tels que le fret digital pour améliorer leurs échanges transfrontaliers ou l'énergie, pour faire face à l'instabilité des marchés en se concentrant sur la normalisation des trains à batteries et à hydrogène.

## Le Rail Open Lab, un accélérateur d'innovation sur le terrain

Le Rail Open Lab est l'association d'open innovation du réseau ferroviaire, qui regroupe une trentaine de membres industriels, start-ups et gestionnaires d'infrastructures. Le principe ? Des expérimentations en conditions réelles d'exploitation pendant 4 mois avec un retour d'expérience partagé à tous ses membres pour une montée en compétences collective. Parmi les succès 2024 : un tableau de contrôle optique digital pour aider à la manœuvre des trains de travaux de SNCF Réseau sur les bases arrière et les triages (vérification des voies tracées et occupées), le prototype d'un dispositif de manutention des trompes à grande puissance, facilitant le transport de ces systèmes d'alerte sonore pesant 14 kg et leur utilisation sur les chantiers, ou encore REG'GAZ, qui optimise le réchauffage des appareils de voie (voir p.16). Les défis 2025 : réussir l'industrialisation de ces solutions à fort potentiel, et intégrer de nouveaux gestionnaires d'infrastructure, notamment Infrabel, le gestionnaire d'infrastructure belge.



**Frédéric Getton,**  
Directeur Finances & Relations  
institutionnelles, DTIPG SNCF

« Le Rail Open Lab est une autre façon de faire de l'innovation, très complémentaire de la recherche et développement. Il propose, teste et déploie des innovations sur des périodes très courtes. Ses expertises attirent aujourd'hui d'autres gestionnaires d'infrastructure, ce qui est très bon signe. »

## THÉMATIQUE

# Résilience face au changement climatique

L'Europe et la France sont particulièrement exposées au changement climatique, avec une perspective de réchauffement moyen de +4°C d'ici à la fin du siècle, associé à des aléas de plus en plus fréquents et intenses. Les risques les plus critiques relèvent des perturbations liées à l'eau – inondations/crués,

alternance sécheresse/pluies – pour les ouvrages d'art et en terre notamment, tandis que la hausse des températures impacte les systèmes électriques, en matière d'infrastructure comme de matériel roulant. Au sein du Groupe, SNCF Réseau et SNCF Voyageurs s'emploient à modéliser, caractériser et localiser

les vulnérabilités du réseau et des matériels roulants dans le temps. Ils développent également des outils d'aide à la décision, afin de mettre en évidence les investissements prioritaires à mener pour renforcer la résilience du système ferroviaire.



**Thomas Joindot,**  
Directeur Technique  
SNCF Réseau

« Comment élaborer des stratégies de gestion du réseau ? Nous savons très bien prévoir la résistance d'un ouvrage particulier à une évolution des conditions climatiques locales, pour le rendre plus résistant à une crue par exemple. Mais, avec le changement climatique, il s'agit de pouvoir prédire les effets sur l'ensemble du patrimoine des évolutions globales du climat. C'est là où nous focalisons le plus nos efforts de recherche et développement. »

## Platipus Projets pour L'Analyse du patrimoine à risque - Parties subaquatiques et en Site aquatique

? Le projet Platipus vise à anticiper l'impact des phénomènes climatiques remarquables sur les 10000 ouvrages d'art en site aquatique du réseau ferroviaire. Ils peuvent provoquer l'affouillement des fondations et détériorer et/ou déséquilibrer les structures qu'elles supportent, voire provoquer leur effondrement dans les cas extrêmes.

🎯 Platipus repose sur le développement d'un outil d'aide à la décision basé sur une IA analysant les données fournies pour identifier les ouvrages sensibles soumis au risque d'affouillement et optimiser les opérations de surveillance et de maintenance pré-correctives ou préventives.

La plateforme intègre désormais les paramètres liés au changement climatique, en lien avec les hypothèses du GIEC notamment (+4°C en 2100). La pertinence des prédictions et leur intérêt pour les mainteneurs et les *assets managers* ont été démontrés (émissions d'alertes en temps réel sur les niveaux d'eau grâce aux captations de données terrain, priorisation des travaux...). En partenariat avec d'autres gestionnaires d'infrastructure, c'est un modèle de *machine learning* applicable à l'international qui a pu être développé. La procédure d'industrialisation devrait démarrer d'ici 2026. Le travail d'automatisation des algorithmes se poursuivra jusqu'en 2032.

### Partenaires

Université Gustave-Eiffel, CentraleSupélec, setec, MOMI, Network-rail (GB), Japan Railways, RTRI (Japon)

## Adaptation des matériels roulants au changement climatique

**?** Dans la lignée du projet de recherche européen Rail4EARTH (Europe's Rail) qui s'intéresse à l'adaptation au changement climatique du système ferroviaire dans son ensemble, les équipes de l'Ingénierie du Matériel SNCF Voyageurs se concentrent sur celle des matériels roulants.

**🎯** Objectifs : définir les vulnérabilités principales, estimer les coûts des solutions qui garantiront la disponibilité et la fiabilité des matériels face aux conditions climatiques des prochaines décennies, et les conséquences en termes de maintenance et d'exploitation en cas d'inaction.

La démarche est initiée pour tous les matériels, *mass transit*, matériels régionaux et TGV de toutes générations, y compris les nouveaux matériels dont les cahiers des charges intègrent désormais des paramètres climatiques renforcés. Priorité est donnée aux matériels appelés à circuler au-delà de 2050.



Le plan d'adaptation du matériel roulant au changement climatique prévoit d'industrialiser les modifications des matériels sélectionnés par leur détenteur.

Pour structurer cette démarche, un vaste plan en 4 phases a été élaboré :

### 1. Comprendre et s'outiller :

- Améliorer les connaissances de la vulnérabilité des matériels exploités ;
- Développer des outils de simulation de comportement en température, des climatisations et armoires électroniques ;
- Identifier des solutions de renforcement de la résilience à des environnements climatiques plus sévères ;
- Tester des solutions.

### 2. Analyser le parc :

- Caractériser les gains de résilience apportés par des adaptations sur des séries de matériels prioritaires.

### 3. Chiffrer l'adaptation :

- Déterminer les coûts et délais de modifications.

### 4. Déployer les solutions d'adaptation :

- Industrialiser les modifications sur les matériels sélectionnés par leur propriétaire (SNCF Voyageurs pour TGV, Autorités Organisatrices pour Transilien, TER et Intercités).

Au cœur de la première phase : le développement d'outils de simulation pour accélérer la compréhension des vulnérabilités et la recherche de solutions avant de passer en phase de test et de déploiement.

Sans attendre, plusieurs expérimentations de solutions passives pour des matériels en circulation, conçus il y a quelques décennies pour des températures maximales de 40 °C, ont été réalisées : peinture en blanc de la toiture, isolants thermiques sur les équipements électriques en toiture, films athermiques sur les vitrages. D'ici fin 2025, les toitures des voitures Corail de la Transversale Sud seront par exemple repeintes en blanc.

Un *benchmark* international a également été lancé pour recenser les solutions mises en œuvre dans des zones géographiques connaissant des conditions climatiques préfigurant celles à venir en Europe.

Après un état des lieux en 2024, un travail similaire est mené pour les technicentres, afin d'adapter les espaces et les conditions de travail du personnel.

## SNCF Réseau face au changement climatique

**4,6% des retards et 5,6% des suppressions totales de trains sont aujourd'hui dus à l'instabilité climatique. Les coûts directs liés aux aléas (sinistres, réparations, pertes de péages du fait de suppressions de trains...) sont estimés entre 20 et 40M€ par an. Quant aux dépenses engagées pour y faire face – pour un traitement plus intense de la végétation par exemple –, elles ont augmenté de 50 M€ en 10 ans. Une nouvelle donne que SNCF Réseau prend pleinement en compte avec une stratégie articulée selon 3 axes :**

### 1. Adaptation de l'entretien et de la surveillance,

ciblant prioritairement les zones les plus sensibles avec une attention particulière aux caténaires en cas de canicule et aux ouvrages en terre en cas de pluies ; un entretien attentif des ouvrages hydrauliques ou du traitement de la végétation.

### 2. Adaptation de l'exploitation et des fonctionnalités du réseau :

annulations préventives de circulations en cas d'avis de tempête, ralentissement des trains en cas de canicule pour limiter le risque d'arrachement de caténaires détendus par la chaleur...

### 3. Adaptation des actifs,

allant de petits ajustements à des travaux de grande ampleur, profitant autant que possible de cycles de régénération planifiés. Pour améliorer l'observation et la compréhension des phénomènes physiques de dégradation et d'agression des infrastructures (chaleur, pluies abondantes...). SNCF Réseau étend ses capacités de modélisation et développe des outils d'aide à la décision. L'objectif est de réussir à transformer les prévisions



climatiques générales en impacts localisés pour le réseau, à assembler l'ensemble des enjeux sur un territoire donné, et à prioriser les actions en fonction de leur rapport coûts-avantages pour la résilience :

- actions « sans regrets » pour des bénéfices importants : rénovation/modernisation, durée de vie longue, financements ;
- actions au cas par cas : en fonction de l'exposition au risque, du potentiel commercial, des coûts et horizons de régénération ;
- actions coûteuses : opérations lourdes de *retrofit* pour un potentiel commercial limité.

Cette démarche d'adaptation repose sur un dialogue approfondi avec la filière ferroviaire et les industries de réseaux qui font face aux mêmes difficultés, appuyés par les opérateurs météo.

D'autres partenariats sont à poursuivre pour modifier certains usages autour des emprises ferroviaires, à l'image de travaux menés avec certains agriculteurs et propriétaires de parcelles (entretien renforcé, plantation de haies, changement de cultures, désimperméabilisation de sols...).



**20 à 40M€/an**  
Ce sont les coûts directs liés aux aléas (sinistres, réparations, pertes de péages du fait de suppressions de trains...)

## MINERVE

et la prédiction de l'impact des aléas climatiques sur les infrastructures

MINERVE soutient la transition du réseau ferroviaire vers une conception, une construction, une exploitation et une maintenance plus efficaces, plus fiables et plus respectueuses de l'environnement, aidant à accroître sa résilience face au changement climatique tout en augmentant son efficacité. Le projet passe par la conception et le développement de méthodes et d'outils numériques de modélisation de l'infrastructure (BIM et jumeau numérique combinés à l'IA) appuyés sur des données fiables, complètes et à jour.

Parmi les projets développés dans le cadre de MINERVE: l'outil de prédiction des risques climatiques et de leurs impacts sur les actifs ferroviaires. Il modélise les aléas climatiques, les vulnérabilités et objective les risques, par actif et par territoire, sur une échelle de temps donnée, afin d'identifier les priorités, les risques et les gains en termes



La modélisation des aléas climatiques avec les risques associés est au cœur du projet MINERVE.

d'investissements. Faisant l'objet d'un démonstrateur en région PACA, cette méthode d'analyse prédictive a vocation à être étendue à l'échelle de l'ensemble du réseau.

### Partenaires

MINERVE: RATP, Kayrros, CentraleSupélec, Colas Rail, IREX

Outil de prédiction des risques climatiques: Kayrros, Centrale Supélec, setec, Systra

MINERVE est financé par l'État dans le cadre de France 2030 opéré par Bpifrance.



## Predict

**?** Predict est un outil d'aide à la décision, basé sur une IA, dédié à la gestion des ouvrages souterrains ferroviaires. Son objectif est de mieux prioriser les besoins de maintenance et de régénération de ces ouvrages afin de garantir leur sécurité et leur pérennité ainsi qu'optimiser la planification des opérations. Predict permettra d'anticiper à moyen et long terme la trajectoire financière des coûts de maintenance et de régénération de ces ouvrages.

**🎯** Predict a abouti au développement d'un modèle prédictif de vieillissement des ouvrages souterrains, permettant de visualiser les projections à travers deux indicateurs-clés: la vitesse d'évolution potentielle de la dégradation des

ouvrages et la prévision de la cotation de leur état à des échéances futures. Il s'appuie sur un tout nouvel outil numérique: ADN OST (Analyse des Données Numériques des Ouvrages Souterrains) mis en production en juillet 2024. Celui-ci valorise les caractéristiques intrinsèques des ouvrages, leur état découlant de la cotation automatique calculée lors des différentes mises à jour de leur relevé RADIS (Relevé d'Avaries Détaillé et Informatisé des Souterrains) depuis 2006, ainsi que tous les facteurs influençant sur le vieillissement, tels que la nature du revêtement, la géologie, la pluviométrie et la topographie.

### Partenaires

OSE Engineering, La Martinière



Avec Predict, l'état des tunnels va être diagnostiqué et géré dans le temps.

## THÉMATIQUE

# La digitalisation au service de la performance industrielle et économique

La digitalisation embarque tous les domaines, strictement ferroviaires ou non, et si les temps de retour sur investissements diffèrent d'un projet à l'autre, elle apporte sans conteste des gains de productivité et une amélioration de la qualité de service. Elle garantit par ailleurs une évolution rapide des outils, développés dans un esprit de modularité.

L'exploitation en est la première bénéficiaire, la digitalisation permettant d'accroître le nombre de trains pouvant circuler sur le réseau à infrastructure constante, dans des conditions de sécurité au moins aussi strictes que précédemment. L'ERTMS, les systèmes de supervision à même de repérer les conflits de circulation, la géolocalisation des trains, la surveillance de

l'infrastructure grâce aux objets connectés sur les installations ou sur les trains, ou les outils d'aide à la conduite en sont les meilleurs exemples. Information voyageurs centralisée, en temps réel, sur tous les supports, connectivité à bord et dans les gares, systèmes de réservation, le parcours client est le second bénéficiaire de la digitalisation, pour un niveau de service inédit.

## ERTMS sur Paris-Lyon: première étape déterminante franchie

En novembre 2024, après 5 ans de travaux sans impact pour les voyageurs, le projet LGV + a franchi une étape déterminante, avec la mise en service de 58 nouveaux postes d'aiguillage et d'un centre de commande à Lyon pour cette ligne qui accueille 1/3 du trafic à grande vitesse du réseau français. Ces installations préparent le déploiement de l'ERTMS, système européen de signalisation à haut niveau de sécurité et de performance, sur la ligne. Grâce à l'ERTMS, les circulations pourront passer en 2030 de 13 trains par sens et par heure en pointe à 16, soit 25% de capacité en plus.



**Luc Laroche,**  
Directeur Programme Innovation  
Système Ferroviaire, DTIPG SNCF

« La digitalisation est une des clés pour répondre à la demande croissante de mobilités. Elle va permettre d'augmenter les cadences sur les voies circulées pour éviter la construction de nouvelles lignes, tout en maintenant, voire en diminuant, le coût par voyageur ou par tonne transportés. Sur la ligne nouvelle Paris-Lyon, l'ERTMS permettra de passer de 13 à 16 trains par heure et par sens. Si les capacités en sortie de ligne l'autorisent, cette fréquence pourrait passer à 18 en accentuant la digitalisation de la conduite. Nos projets portent à la fois sur le « sol », avec notamment la signalisation frugale pour les petites lignes, et le « bord », en rendant par exemple l'architecture des équipements embarqués plus modulaire pour en faciliter la maintenance et donc réduire les coûts. »

## Smart Station

ou comment les gares deviennent plus intelligentes et écologiques

Grâce aux outils décrits ci-contre, Smart Station vise une disponibilité maximale des équipements prioritaires (portes automatiques, ascenseurs, escaliers mécaniques, etc.) et des systèmes techniques des gares. Il promet des interventions plus rapides en cas de panne et contribue aussi plus largement à la sobriété écologique de SNCF Gares & Connexions. À la fois en énergie, car les 2 plus importants postes sont l'éclairage et les équipements de chauffage/ventilation/climatisation (avec 22000 t d'émission de CO<sub>2</sub> en moins) et en eau, avec une réduction de 21000 m<sup>3</sup>. Ces chiffres correspondent aux gains attendus sur les 8 premières années de déploiement de la deuxième saison de Smart Station, qui démarre entre 2025 et 2028.

Dans cette optique, près de 11000 capteurs ont été déployés au sein de 700 gares. Destinée aux superviseurs, aux agents des gares et des équipes de maintenance, une application permet de visualiser les gares en 3D et d'être informé de tous dysfonctionnements en temps réel. Dès cette année seront déployés des outils de suivi des consommations d'eau en temps réel et de télécommande des équipements liés à l'énergie : éclairage, chauffage/ventilation/climatisation. 200 gares à ouverture programmée à distance rejoindront le programme à partir de 2025.

### Partenaires

Ssinergie, Décima, Bouygues Energie Services, HTTP, GraphicStream

## Des jumeaux numériques à la gestion des actifs

Smart Station s'appuie sur des jumeaux numériques, reproductions virtuelles et fidèles des gares en 3D, et sur la création d'outils informatiques liés au management des actifs industriels (*asset management*) permettant le partage, l'analyse des données descriptives et l'aide à la décision concernant les investissements. Un ensemble de moyens pour connaître de manière précise l'état du patrimoine des gares et de ses composants (vacance, vétusté, données financières, etc.) et prioriser les actions afin d'investir de façon efficiente.



**1 252**  
gares étaient équipées du système LIVE fin 2024

## LIVE

au service de l'information voyageurs

Conséquence naturelle de l'ouverture du marché voyageurs à la concurrence, SNCF Gares & Connexions est devenu l'intégrateur de l'information en gare, les missions d'exploitant des gares étant désormais clairement distinctes de celles d'opérateur de transport. Le programme LIVE vise à diffuser une information voyageurs harmonisée et réactive, dans un souci d'équité de traitement entre transporteurs historiques et nouveaux entrants. Intégration des données des transporteurs, prise en compte des alertes sécurité et des voies par le gestionnaire du réseau, diffusion visuelle et sonore de l'information, coordination en situation normale comme perturbée, tous ces aspects sont concernés.

Ce système d'information voyageurs unique remplacera ceux encore en vigueur (ADAM, CATI, IENA/Dauphine). Doté d'une architecture *cloud* dite « serverless », il alloue dynamiquement des ressources en fonction des demandes. Le déploiement de LIVE s'opère par étapes, une fois les critères de connectivité et de régénération des équipements remplis. Les petites gares avec peu de fonctionnalités en ont été équipées en 2023, les moyennes et grandes gares le seront d'ici fin 2025, les très grandes en 2026, et les gares d'Île-de-France d'ici 2027.

### Partenaires

Transporteurs, Autorités Organisatrices de la Mobilité

## FRMCS

(Future Railway Mobile Communication System), la radiocommunication ferroviaire du futur

Basé sur la 2G, le GSM-R est utilisé pour les communications entre conducteurs et régulateurs de la signalisation. Il arrivera à obsolescence en 2035. Le FRMCS, basé sur la 5G et le MCx (priorisation d'appels, appels de groupe, etc.), commencera à le remplacer à partir de 2030 en Europe. Gains attendus : fiabilité, développement de services à valeur ajoutée (manœuvre vidéo, téléconduite...), transmission accrue de données. Le FRMCS sera aussi modulaire et évolutif. Grâce au découplage entre radiocommunications et applications ferroviaires, les outils métier n'auront pas à être retravaillés au fur et à mesure des évolutions télécoms.

Pour élaborer ses standards, tester ses briques, transformer les prototypes en produits industriels déployables à l'échelle européenne, le programme se décline en 4 projets :

- EU-Rail FP2-R2DATO WP25 (prototypes 5G),
- 5G RACOM
- 5G REMORA (liaisons et couverture radio),
- Cœurs 5G SNCF (interconnexion 5G privée).

SNCF Réseau s'est emparé des spécifications techniques pour élaborer un catalogue complet de produits à développer avec des industriels d'ici 2027. Les nouveaux prototypes FRMCS seront déployés fin 2026 sur les lignes expérimentales Paris-Bruxelles et Metz-Luxembourg.

### Principaux partenaires

SNCF Réseau, ÖBB, SBB, DB InfraGO, ADIF, ProRail, DB, IRT Railenium, université Gustave-Eiffel, Alstom, Hitachi Rail, Siemens, Kontron, Airbus, Obvios, CEA, IMT Atlantique, SIRADEL, MERCE/Mitsubishi, Nokia

Financements Bpifrance (5GRACOM et Cœur 5G SNCF), ANR (5G REMORA), Europe's Rail (FP2-R2DATO).

Le FRMCS-5G est le dispositif de communication ferroviaire européen qui remplacera le GSM-R (2G) d'ici 2035.



**200 000 km**  
de voies à migrer en FRMCS en Europe

## 5GMED

ou la connectivité train-sol améliorée

En 2024, le projet européen 5GMED a démontré la possibilité d'avoir une continuité de service au passage frontière ainsi que la pertinence économique de mutualiser les infrastructures 5G entre différents partenaires rail/route. S'y ajoutait également l'utilisation de la technologie *edge computing* pour les applications nécessitant des latences faibles et, pour le rail, l'expérimentation combinée de la 5G avec un réseau mmW 70 GHz (ondes millimétriques). Objectifs : améliorer la connectivité train-sol pour l'exploitation (hors services critiques GSM-R/FRMCS) et l'agrément des passagers (connectivité à bord). Les expérimentations ont été menées sur la LGV Perpignan-Figueras.

En optimisant les configurations des réseaux 5G de part et d'autre de la frontière et en les combinant à d'autres technologies comme le 70 GHz (déployé côté espagnol), les services ont pu être maintenus « sans couture ». Le 70 GHz permet des débits nettement supérieurs à la 5G allouée au ferroviaire. L'installation de *datacenters* à proximité des voies permet des services à latence faible (détection d'obstacles).

### Principaux partenaires pour la partie ferroviaire

Comsa, Axbryd, LFP, Cellnex, i2Cat



**- de 100 ms :**  
c'est le temps de passage d'un réseau 5G à un autre après optimisation

## Surveillance du réseau par les Trains Commerciaux

SNCF travaille à automatiser la surveillance et la supervision du réseau pour en améliorer la maintenance. Outre les matériels dédiés (IRIS 320, engin de surveillance de la voie/ESV, engin multifonction Île-de-France/EMI...) équipés de capteurs tels que caméras et LiDAR, des trains commerciaux sont également mis à contribution. Il s'agit du programme STC pour « Surveillance par les Trains Commerciaux ».

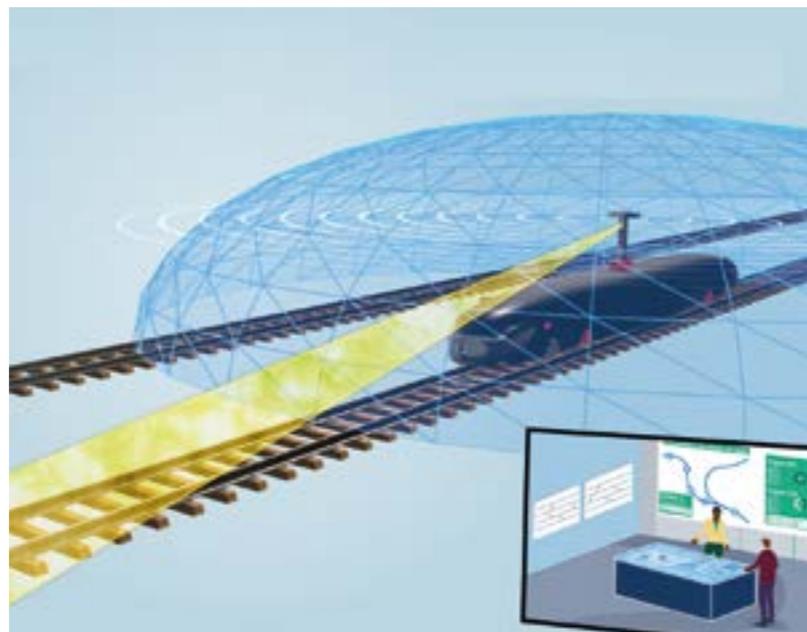
En Auvergne-Rhône-Alpes, Île-de-France, des dispositifs d'analyse de la géométrie de la voie ont été déployés sur 15 rames, notamment sur la ligne C du RER. Toujours en Île-de-France, pour identifier les pannes de balises au sol, différentes solutions ont été retenues, en fonction des générations d'équipements de sécurité à bord. Enfin, un dispositif de surveillance de la caténaire a été installé sur une rame, pour alimenter les études d'industrialisation.

Pour la surveillance de la géométrie de la voie, accéléromètres, gyromètres, récepteurs GNSS... collectent différents signaux. Ces données brutes sont traitées et intégrées dans le SI Surveillance & Supervision jusqu'à l'outil du mainteneur, pour projeter les positions sur le réseau ferroviaire, mesurer différents paramètres (nivellement, gauche, écart de dévers), rattacher les dépassements de seuil à des défauts connus, qualifier leur évolutivité, et prioriser les interventions. Une expérimentation a été menée durant toute l'année 2024 avec l'infrapôle de Paris Est sur un périmètre limité. Il sera étendu à une zone géographique plus importante en 2025.

## Le Système MARS LGV

Des « mobiles autonomes de reconnaissance en sécurité » sur les lignes à grande vitesse

Chaque matin, avant que les premiers TGV ne débutent leurs circulations, les lignes à grande vitesse font l'objet d'une reconnaissance avec des rames vides, soustraites au service commercial. MARS propose une solution inédite, plus souple, économe, écologique et performante: des mobiles autonomes (standard GoA4) fonctionnant sur batteries, circulant à 230 km/h et supervisés en permanence par un centre opérationnel. Les mobiles sont placés en des points stratégiques du réseau LGV, programmés pour effectuer des marches de reconnaissance. Chaque mobile perçoit son environnement à 360° grâce à des capteurs (caméras, LiDAR, radar...), dont les données sont analysées en temps réel pour écarter toute anomalie et autoriser les circulations commerciales à pleine vitesse et en sécurité.



MARS LGV propose un système de reconnaissance autonome des lignes plus économique et plus écologique.

Le projet de démonstrateur lancé en 2024 s'appuie sur différentes briques technologiques (capteurs et algorithmes pour la perception et la reconnaissance, chaîne de traction électrique sur batteries LFP, autonomie, données et télécoms...) et vise une solution modulaire et évolutive. Objectif: obtenir un produit industriel à horizon 2030.

### Partenaires

Forsee Power, Compagnie des Signaux, IRT Railenium, Socofer France, Spiroops

Ce projet est soutenu par l'État dans le cadre de France 2030 opéré par Bpifrance.



## Les chaires: un pont entre les mondes académique et industriel

Le groupe SNCF s'investit dans une vingtaine de chaires, en bilatéral avec des partenaires académiques, ou en multilatéral, avec d'autres industriels. D'une durée de 3 à 5 ans, ces chaires couvrent de multiples domaines: modélisation, risques et résilience de systèmes complexes, intelligence artificielle, robotique, télécoms, management de l'innovation et théories de la conception, cybersécurité, jumeaux numériques, design, aménagement ou encore mobilité durable. L'intérêt est de mutualiser compétences et moyens pour atteindre la masse critique nécessaire à une production de recherche, d'en partager les risques, et d'y instruire une vision système qui dépasse le ferroviaire. Une chaire offre également l'opportunité de renforcer la connaissance des problématiques ferroviaires et l'attractivité du Groupe auprès des étudiants et des futurs diplômés. Dernière en date: la chaire « Intelligence artificielle et optimisation pour les mobilités », créée en 2024 avec l'École polytechnique, avec une ambition forte pour ses recherches en hybridation de technologies: IA et recherche opérationnelle, sciences de la décision...



David De Almeida, Directeur de la Recherche, DTIPG SNCF

« Intégrer une chaire est un engagement exigeant, qui nécessite des investissements humains et financiers sur plusieurs années. Cela requiert de bien connaître nos partenaires académiques, dans leurs capacités de recherche et la connaissance qu'ils ont de nos problématiques, comme nos partenaires industriels pour nous préserver chacun des questions de concurrence et d'image. La confiance s'établit au préalable par l'accueil d'étudiants en thèse CIFRE ou par des collaborations dans des projets nationaux ou européens. »



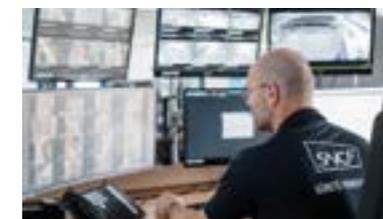
Inauguration de la chaire Intelligence artificielle entre le groupe SNCF et l'École polytechnique: Jean-Paul Cottet, Délégué Général de la Fondation de l'École polytechnique, Laura Chaubard, Directrice Générale de l'École polytechnique et Jean-Pierre Farandou, Président du groupe SNCF.

## Vidéo augmentée à la Sûreté ferroviaire

La loi du 19 mai 2023 a autorisé pour la première fois la Sûreté ferroviaire à expérimenter l'application de traitements algorithmiques dans l'exploitation des images de vidéoprotection. Objectifs: améliorer la sûreté des manifestations (sportives, culturelles...) « à risques ». 4 cas d'usage ont été testés: présence d'objets abandonnés, présence d'une personne en zone interdite ou sensible, densité trop importante de personnes et mouvements de foule. Les expérimentations ont commencé en 2024, pour les Jeux de Paris notamment, et se sont poursuivies

jusqu'au 31 mars 2025, comme l'avait prévu le législateur.

8 opérateurs vidéo SNCF ont été formés à l'exploitation des signalements générés par la solution logicielle Cityvision, sélectionnée par le ministère de l'Intérieur, et sensibilisés à la protection et au traitement éthique des données. Cette solution leur permettait d'aller jusqu'à analyser les images fournies par 300 caméras en simultané dans 11 gares d'Île-de-France. Les résultats en matière de détection d'intrusion et de densité anormale de personnes



ont particulièrement apporté satisfaction. Les signalements générés ont donné lieu, après vérification des opérateurs, au déclenchement d'interventions concrètes, démontrant la plus-value opérationnelle de ces technologies.

# La puissance transformatrice de l'IA

L'intelligence artificielle, technologie omniprésente et transformatrice, façonne depuis des années déjà l'ensemble des métiers du groupe SNCF, de la production ferroviaire à la relation client, en passant par les fonctions numériques et supports. Véritable catalyseur d'innovations, l'IA peut déléster les collaborateurs des tâches répétitives pour leur permettre de se consacrer à des missions à plus forte valeur ajoutée. Elle se révèle ainsi un levier de qualité, d'efficacité économique et de performance industrielle, notamment en matière d'optimisation énergétique. En maintenance, la prédiction de potentielles pannes évite des immobilisations coûteuses, d'éventuelles pénalités financières (retards et suppressions de trains) et augmente globalement la fiabilité du système ferroviaire. Projet par projet, les mises en production font l'objet d'attentions particulières notamment sur le plan technique et en matière de cybersécurité, à l'image de la plateforme groupe SNCF GPT, lancée en 2023. Désormais ouverte à 100 000 collaborateurs en phase d'expérimentation, elle offre un accès sécurisé aux potentialités de l'IA générative.

## Multilinguisme sur les canaux Transilien SNCF Voyageurs

En avril 2024, un moteur de traduction des informations conjoncturelles a été intégré dans la chaîne d'information voyageurs diffusée sur les supports digitaux, en gare et à bord des trains. Il a été suivi d'un outil de traduction instantané des annonces sonores en gare. Tous deux – basés sur l'IA générative – ont prouvé leur efficacité lors des Jeux de Paris 2024, informant et orientant au mieux les visiteurs en anglais et en espagnol.

## Détecter les défauts télécoms

Altametriz, filiale de SNCF Réseau, crée, exploite et valorise le patrimoine numérique de toutes les infrastructures afin d'en améliorer la sécurité et la performance. Sur les assets télécoms, Altametriz développe et entraîne des algorithmes d'intelligence artificielle capables de détecter automatiquement les défauts sur divers éléments tels que les guérites, téléphones ferroviaires ou caniveaux à câbles. Ces algorithmes s'appuient sur des données 2D et 3D issues de la surveillance du réseau, notamment des relevés LiDAR, technologie qui

## Vision artificielle à bord des trains

À partir d'images et de vidéos, l'Ingenierie du Matériel SNCF Voyageurs développe des systèmes de vision artificielle, qui analysent l'environnement à bord des trains. Un calculateur branché sur le réseau informatique exploite les flux des caméras de vidéoprotection en temps réel. Les éléments déclencheurs sont adaptés à chaque cas d'usage : ouverture/fermeture de portes, démarrage du train... Parmi les cas les plus aboutis en 2024 : la mesure de la densité de passagers et la détection de la présence de personnes à bord en fin de service. Une expérimentation de vidéocomptage est en cours sur un TER Auvergne-Rhône-Alpes. D'autres applications relèvent de la sûreté (incivilités, bagages abandonnés), de la maintenance prédictive (détection de défaillances, usure de la voie) et de la sécurité (surveillance voie, passages à niveaux, accès aux portes, signalisation latérale).

génère des nuages de points. Pour optimiser les performances des algorithmes et accélérer considérablement les temps de calcul, Altametriz fait d'abord travailler l'IA sur des ortho-LiDAR, images obtenues en projetant les données 3D issues des nuages de points sur un plan 2D. Cette technique permet ensuite de classifier les objets détectés très rapidement et avec une grande précision dans les nuages de points. Les résultats des entraînements menés en 2024 sont prometteurs, avec une fiabilité à 94% et une précision de détection à 99%.

## IAMADOC interroger les documents de maintenance

Un modèle de RAG (*Retrieval Augmented Generation*), qui associe recherche sémantique dans les bases de données et IA générative, permet d'interroger les documents de maintenance. L'enjeu : obtenir rapidement des réponses synthétiques et fiables, construites à partir de nombreux et très volumineux textes de référence. Les premiers essais montrent un gain de temps potentiel très important (90% de temps gagné) dans les recherches parmi plus de 10 000 documents. La justesse des réponses reste variable, et nécessite un processus de validation par rapport aux sources avant utilisation.

## VIESTA la vidéo intelligente en matière de sûreté

Démarré en 2024 avec Thalès/Hitachi et XXII, ce projet vise à expérimenter la vidéo intelligente embarquée dans les trains en matière de sûreté (détection d'événements en temps réel pour des interventions plus réactives et un sentiment de sécurité accru) et d'exploitation (comptage des voyageurs). Les enjeux : un traitement éthique et anonymisé des données, et le développement d'algorithmes frugaux, moins consommateurs en énergie et compatibles avec la puissance de calcul disponible à bord d'un train.

## Une borne interactive pour accueillir et orienter les voyageurs en gare

Une borne interactive est expérimentée depuis juillet 2024 à la gare du Nord, à Paris. Basé sur l'intelligence artificielle générative, un avatar virtuel 3D s'exprime en 6 langues, interagissant vocalement avec les voyageurs, en temps réel (itinéraire, horaires de trains, orientation...). Un écran interactif affiche des informations complémentaires. Ce dispositif, en phase de *proof of concept*, répond à une demande croissante de services personnalisés et augmentés, d'accès

à l'information et d'assistance aux voyageurs. Il a été développé en partenariat avec un consortium de start-ups mené par l'agence de développement Alp Valley. Il repose sur Llama 3.3, le modèle de langage *open source* de Meta. Ce nouveau mode d'interaction est également disponible en mobilité grâce à un canal WhatsApp, accessible en scannant le QR Code diffusé sur la borne, ou via le numéro WhatsApp de la gare du Nord.



**Julien Nicolas,**  
Directeur Numérique, IA Groupe  
et e.SNCF Solutions du groupe SNCF

« Le groupe SNCF a un enjeu fort : doubler la part modale du train. L'innovation et donc l'IA sont des leviers pour atteindre cet objectif. Son utilisation n'est pas nouvelle à la SNCF, mais bien sûr, depuis l'avènement de l'IA générative et son accès facilité, nous accélérons afin qu'elle bénéficie à tous et apporte performance et productivité aux activités du Groupe. »



La vidéo intelligente embarquée devrait permettre des interventions plus réactives.

# La puissance transformatrice de l'IA

La parole à **Laura Chaubard**,  
Directrice Générale de l'École polytechnique



**Le groupe SNCF et l'École polytechnique se sont associés en 2024 pour créer une chaire d'enseignement et de recherche sur l'intelligence artificielle et l'optimisation pour les mobilités. Au-delà des premiers travaux déjà lancés combinant IA et recherche opérationnelle, comment les élèves ingénieurs de l'X se mobilisent-ils sur les enjeux de mobilité durable ? Rencontre.**

« Nous vivons une époque de fort bouillonnement scientifique et technologique. Il y a évidemment l'intelligence artificielle, mais les progrès scientifiques se multiplient par rebond dans la santé, la physique, l'énergie... Beaucoup ont un potentiel de rupture aussi fort, voire plus rapide que l'IA. Je pense notamment aux technologies quantiques et à la fusion nucléaire. Dans les années qui viennent, le positionnement et la souveraineté de la France et de l'Europe se joueront sur la maîtrise de ces technologies. Nos élèves ingénieurs sont

particulièrement préoccupés par les défis de la transition environnementale, et notre première mission est de leur apporter une vision systémique de cette transition. Quand nous parlons transports, nous parlons infrastructures, industrie, énergie, mais aussi enjeux politiques, géopolitiques et démographiques. Embrasser cette complexité peut être assez vertigineux, mais son appréhension fait partie des compétences que nos élèves doivent acquérir. Ils ont très envie de comprendre dans quel domaine ils peuvent vraiment agir et saisissent parfaitement à quel point le report modal vers le ferroviaire est fondamental pour la transition environnementale. Grâce à la création de notre chaire commune, les équipes travaillent étroitement pour inventer les intelligences artificielles de demain, qui seront adaptées aux applications industrielles et critiques dont le groupe SNCF a besoin pour gagner en performance et en productivité. Les technologies par apprentissage s'étendent sur un spectre beaucoup plus large que celles dont tout le monde parle, comme ChatGPT. Sur les technologies qui vont apporter le plus de valeur à l'économie, la course n'a pas encore vraiment commencé. Nous avons à la fois les talents et les partenaires pour la mener en tête, en France et en Europe. En nous appuyant sur l'expertise, les cas d'usage et les données SNCF, nous pourrions développer des technologies et des modèles d'IA

beaucoup plus soutenables, aussi bien sur le plan écologique qu'économique, également beaucoup plus sécurisés. L'intelligence artificielle amènera des ruptures technologiques pour optimiser les systèmes complexes inhérents au mode ferroviaire. Il sera par exemple possible d'intensifier les trafics en créant des « bulles de sécurité » autour de chaque train en circulation grâce à des prédictions sûres. Les pannes pourront être anticipées pour garantir la disponibilité du matériel roulant et des installations. L'IA permettra également de mieux partager l'information pour prédire les retards et actionner les bons leviers pour en limiter les effets sur le trafic... Nos chercheurs sont très enthousiastes à l'idée de créer ces IA utiles au ferroviaire. »

« Sur les technologies qui vont apporter le plus de valeur à l'économie, la course n'a pas encore vraiment commencé. Nous avons à la fois les talents et les partenaires pour la mener en tête, en France et en Europe. »

## Naissance du TechLab Composites

**?** Maîtriser la conception, la fabrication et la maintenance de pièces dans des matériaux légers et résistants est essentiel pour le développement des nouvelles gammes de matériels roulants plus légers et donc moins énergivores. L'objectif est de réduire la masse des trains et d'améliorer la performance masse/résistance mécanique des pièces. Au-delà, l'ambition est de continuer à offrir plus de confort à bord, que ce soit par des ajouts d'équipements ou de fonctions, et d'augmenter la capacité voyageurs ou l'autonomie des trains, notamment par l'emport de batteries.

**🎯** Le TechLab Composites inauguré en 2024 au sein de l'Agence d'essai ferroviaire, avec la collaboration de la DTIPG, vise à promouvoir l'utilisation de matériaux composites dans les projets de recherche et développement. En matière de fabrication, le laboratoire se fixe entre autres comme objectif

Intervention au sein de l'atelier Polyester du technicentre de Rouen.



d'accompagner le technicentre de Rouen Quatre-Mares dans la production des pièces en une seule opération en utilisant un procédé appelé « infusion ». Ce dernier consiste à imprégner des matériaux composites avec de la résine thermodurcissable sous vide, permettant la production en série de pièces de grande dimension. Une première étape a été

franchie dans la maîtrise du procédé, avec la fabrication de trappes latérales de TGV à 2 niveaux et le transfert de compétences vers le technicentre. Le TechLab explorera de nouvelles technologies tel que les composites biosourcés et les préimprégnés utilisés dans l'aéronautique. Une meilleure maîtrise des pièces structurales composites est attendue.



L'exploitation des données transmises par les trains en service commercial permet de valider la bonne exécution des tâches de maintenance.

## La maintenance prédictive des matériels roulants en plein essor

**?** Des algorithmes de maintenance prédictive ont été développés par l'Ingénierie du Matériel SNCF Voyageurs. Ils sont utilisés en continu pour améliorer la fiabilité du matériel roulant et réduire drastiquement les pannes, et ce, avec des coûts de maintenance moindres. L'exploitation des données transmises par les trains en service commercial permet de valider la bonne exécution des tâches de maintenance et d'alerter les équipes dès lors qu'un système montre des signes de faiblesse.

**🎯** Les algorithmes s'appuient sur un modèle de *machine learning*

non supervisé. Celui-ci opère des calculs statistiques, basés sur le regroupement des systèmes par types de comportements, les non-conformités observées en maintenance et les pannes subies sur les systèmes d'une même flotte, afin de valider leur capacité de fonctionnement. La technologie a déjà été déployée sur différents matériels (NAT et Regio2N) et est en cours sur les tout nouveaux RER NG. Elle a démontré sa fiabilité durant les Jeux de Paris 2024, en prévenant les pannes sur des systèmes clés, tels que les accès voyageurs et la climatisation.

## Surfo

### La SURveillance par la Fibre Optique

**?** Surfo est une technologie frugale proposant d'utiliser les 28 000 km de fibres optiques du réseau pour surveiller la plateforme ferroviaire et son environnement en temps réel. Le système peut traiter plusieurs cas d'usage en simultané : détection de rails cassés, *monitoring* du sous-sol, suivi des trains, chutes de blocs, obstacles sur les voies... Installé dans une salle télécom existante, raccordé à une fibre optique déjà déployée, ses coûts sont très réduits, y compris en maintenance.

**🎯** Surfo s'appuie sur 2 volets : la transformation de la fibre optique en capteur de vibrations, à partir d'un phénomène physique d'interaction entre lumière et matière (modification de la lumière qui se propage dans la fibre optique par les vibrations), et le développement d'algorithmes intelligents via traitement du signal et IA pour traduire les caractéristiques de ces vibrations en information utile au mainteneur et à l'exploitant.



Grâce à la fibre optique, Surfo peut détecter les vibrations environnantes, suivre les trains en temps réel, repérer d'éventuelles intrusions et surveiller l'état des rails et des voies.

Déjà 4 unités préindustrielles de Surfo ont été déployées sur le réseau ferré national en 2024, pour alimenter en données réelles les modèles de détection automatique d'événements ferroviaires. En parallèle, Surfo est en phase d'industrialisation sur le tronçon pilote Cannes-Nice du projet Haute Performance Marseille-Vintimille (HPMV) pour la détection du rail cassé.

#### Partenaires

Télécom Paris, université Gustave-Eiffel, Institut de physique du globe de Paris, université de Grenoble, université Côte d'Azur, Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Société des Grands Projets (SGP)



Robot PRIME équipé de son nouvel accessoire de suppression de la végétation.

Développé avec NRD et TraficVerket, il s'inscrit dans une lignée de robots modulaires conçus dans le cadre du projet IAM4RAIL de Europe's Rail.

## L'Usine 3D

### ou comment le groupe SNCF veut devenir le leader mondial du traitement des données LiDAR pour le ferroviaire

**?** Au service des gestionnaires de réseaux ferroviaires, le collectif qui déploie l'Usine 3D couvre toute la chaîne de valeur : de l'acquisition de données au moyen d'engins de surveillance de la voie (EMI, ESV, WIMSV) ou de moyens aériens (hélicoptères, drones...), à leur analyse, leur traitement et leur exploitation, pour une description fine du patrimoine. Objectif : investiguer et développer des applications métiers innovantes au profit des mainteneurs et de l'asset manager.

**🎯** L'Usine 3D s'appuie sur le développement d'algorithmes de détection d'objets et de défauts au sein des nuages de points acquis par LiDAR. Depuis 2023, plusieurs cas d'usage sont industrialisés dans l'Usine 3D : analyse gabarits, géométrie caténaire, profils et volumes de ballast. Au sein de l'équipe 3D de SNCF Réseau, de nombreuses applications, au service de la sécurité du réseau, continuent à émerger. Des algorithmes destinés à automatiser la détection des clôtures, ainsi que des murs de soutènement, ou bien encore l'analyse du "gabarit végétation" à partir de la caténaire, sont en cours de développement.

#### Partenaires

Usine 3D : Altametriz, Eurailsout France, SNCF Réseau

## DAC

### Attelage automatique et digital des wagons de marchandises

La digitalisation des opérations de couplage et découplage des trains de fret passe par le développement d'un attelage automatique et digital (DAC, pour *Digital Automatic Coupling*), en remplacement du système à vis universel en vigueur en Europe. Cette digitalisation repose sur la conception d'un e-coupleur, support numérique de l'attelage automatique, achevée en 2024, qui permet d'assurer la connexion numérique de tous les véhicules constituant un train (locomotive et wagons). Y sont associés des capteurs de surveillance embarqués qui permettent la réalisation d'un essai de freins automatisé, la détection automatique de la composition du train, le *monitoring* de son intégrité et un partage de données opérationnelles et de localisation des wagons au niveau européen. Opérationnellement, le DAC offre un gain de temps dans les opérations de tri, préparation et recomposition des trains, plus de sécurité et moins de pénibilité pour les agents, et des échanges d'information plus fiables. Des technologies comme l'ERTMS et le DAC, véritables catalyseurs de changement, permettront à terme de faire circuler à travers toute l'Europe des trains plus longs et lourds, tout en fournissant des informations essentielles sur la composition et l'intégrité du train.



**30 à 70 %**

de trains triés en plus dans le même temps grâce au DAC sur les sites de tri à la gravité.



## Jérôme Ebrardt

Projects and Innovation Manager chez Rail Logistics Europe

« Le DAC est le projet d'innovation majeur du fret ferroviaire. Mené au niveau européen, il vise à améliorer l'efficacité et la compétitivité du secteur grâce à la digitalisation et à l'automatisation de nombreuses opérations de production. Une analyse coûts-bénéfices de la solution est en cours dans le cadre de l'*European DAC Delivery Program*. Sous réserve d'un financement européen via le fonds CEF, la prochaine étape sera, pour le consortium PIODAC, de lancer une dizaine de trafics pionniers en 2027, dont un en France avec Rail Logistics Europe et Ermewa. »



## Coopération approfondie entre le CNES et le groupe SNCF

En novembre 2024, le groupe SNCF et le Centre National d'Etudes Spatiales ont signé une nouvelle convention cadre renforçant leur coopération initiée en 2016. Cet accord vise à exploiter les technologies spatiales pour optimiser le fonctionnement du mode ferroviaire, autour de 3 axes : observation de la Terre, connectivité et localisation. Les données satellitaires permettront une localisation ultra-précise, continue et en temps réel des trains, une meilleure surveillance des infrastructures, contribuant ainsi à la prévention des aléas liés aux risques climatiques (glissement de talus, feux de forêt aux abords des voies, etc.). Côté télécoms, ces technologies permettront de compléter les moyens terrestres pour une couverture optimisée, même en « zones blanches ». Ensemble, les 2 entreprises veulent intégrer le spatial comme levier clé du ferroviaire, notamment pour renforcer sa résilience face au changement climatique. Cet accord est un nouvel exemple fort de l'espace au service d'un secteur essentiel à l'économie du pays : le transport ferroviaire.

# L'Europe du rail

Les projets de Europe's Rail (EU-Rail) passent d'étape en étape avec succès, de même que les travaux entourant l'ERTMS se précisent. Des avancées structurantes pour la mise en œuvre du système ferroviaire européen du futur.

## Projets EU-Rail

### FP1-MOTIONAL (MObility management multimodal environment and digital enablers)

Le projet FP1-MOTIONAL, auquel participe le groupe SNCF, rassemble opérateurs, industriels et académiques autour de la planification et de la gestion opérationnelle des circulations, ainsi que de la continuité numérique. Le premier volet traite de coordination aux frontières, d'outillage de la planification, d'évaluation de la capacité du réseau et des performances de l'ERTMS niveau 3, de coordination en cas d'incidents de grande ampleur, d'automatisation de la gestion du trafic, et d'intégration multimodale de bout en bout. « La SNCF s'est concentrée en 2024 sur la planification court terme pour optimiser le simulateur de SNCF Réseau qui permet une demande de sillons de dernière minute, et sur l'optimisation de la coordination en régulation, explique Christelle Lérin, coordinatrice SNCF.

Le gestionnaire d'infrastructure s'est intéressé aux simulations et outils intégrant la nature imprévisible des incidents pour évaluer la performance des nouveaux systèmes». Le second volet explore 4 domaines :

- création d'un *cloud* sécurisé pour rassembler les données des actifs ferroviaires et proposition de services associés (analyses, projections, retours d'expérience...);
- développement de jumeaux numériques (ouvrages d'art, systèmes de climatisation des trains...) rassemblant toutes les données d'observation recueillies pour faciliter le suivi des cycles de vie;
- définition d'un modèle conceptuel de structure des données pour des échanges de données interopérables;
- intégration de la continuité numérique dans les processus d'ingénierie.

« En 2024, les résultats concrets portent sur les jumeaux numériques. Nous avons spécifié nos besoins pour les ponts et recensons à présent les besoins fonctionnels », précise Mahmoud Hassan, coordinateur du projet pour SNCF Réseau.

## Recherche exploratoire

Travelwise, Symbiosis et Rail4Cities, 3 projets auxquels participe le groupe SNCF, avaient été proposés dans le cadre de l'appel à projets d'EU-Rail en octobre 2023. Les travaux sont lancés.

- **Travelwise** veut améliorer l'intermodalité air-fer, en orchestrant le trafic grâce

à un partage d'informations entre opérateurs et une prise de décision collaborative en situation normale comme perturbée. Des POC sont prévus sur les liaisons ferroviaires entre les aéroports de Roissy et Schiphol.

- **Symbiosis** veut intégrer la biodiversité tout au long des projets

### FP2-R2DATO (Rail to Digital automated up to autonomous train operation)

Avec un budget de 160 M€, FP2-R2DATO est le plus important projet d'EU-Rail. Coordiné par le groupe SNCF avec le support d'Hitachi Rail GTS, il définit les étapes nécessaires pour digitaliser et automatiser les opérations ferroviaires : conduite autonome, block mobile et cantonnement digitalisé, lecture de signaux extérieurs, télécommande à distance... « Plusieurs travaux préliminaires ont pris fin en 2024 : 3<sup>e</sup> étape (sur 5) de spécifications des blocks virtuels et cantons mobiles, de spécification des processus de test, de validation et de certification. Au menu également le recensement des besoins opérationnels pour la localisation des trains (navigation inertielle et GNSS, selon les principes issus des projets Loc4Rail et CLUG/CLUG 2.0), tests des systèmes de géolocalisation avec le Laboratoire ERTMS France. 8 démonstrateurs sont développés pour valider, dès 2025-2026, la possibilité d'intégrer ces solutions au système ferroviaire. Un projet de *data factory* est aussi en cours, dans sa dimension juridique et technique », précise Cédric Gallais, coordinateur du projet pour le groupe SNCF.



Déploiement de l'ETCS niveau 2 dans le cadre du projet Haute Performance Marseille-Vintimille et de Stuttgart 21 en Allemagne.

### L'ETCS niveau 2, support d'harmonisation des règles opérationnelles

Le déploiement de l'ETCS favorise la mise en œuvre de règles opérationnelles communes, adaptées aux spécificités locales. Elles seront destinées aux conducteurs et aux agents de l'infrastructure de part et d'autre des frontières, en cas d'événement survenant sur le réseau. 80 procédures sont en cours de révision dans le cadre d'une convention SNCF-DB renouvelée en 2024. Elles le sont dans un esprit de simplification, de renforcement de la

sécurité et d'augmentation de la performance par axe, en compatibilité avec la STI Exploitation ferroviaire. Pour les valider, SNCF Réseau et DB InfraGO s'appuient sur les fonctionnalités de l'ETCS niveau 2 déployé dans le cadre du projet Haute Performance Marseille-Vintimille et de Stuttgart 21 en Allemagne. De premiers résultats seront partagés en juin 2025, avant des tests en conditions réelles.



**Estelle Masclet,**  
Directrice Générale Adjointe  
Exploitation Système de  
SNCF Réseau

« La modernisation de l'exploitation suppose de considérer tout autant la modernisation des équipements et systèmes technologiques, que les prescriptions qui en régissent l'utilisation. Les travaux sur l'harmonisation opérationnelle en sont une très belle illustration ! Le faire à l'échelle européenne, c'est aussi le gage d'une collaboration plus riche et d'un impact plus fort sur notre propre territoire. »



**Eric Morand,**  
Directeur Général Adjoint  
Digitalisation et Signalisation  
de SNCF Réseau

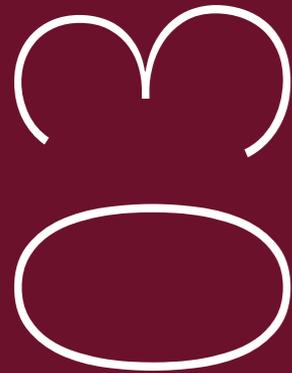
« Le déploiement échelonné jusqu'en 2044 de l'ERTMS a été pensé en coordination avec les réseaux européens puisque les lignes retenues relient onze points frontières. Le plan prévoit aussi d'équiper une ligne à grande vitesse en moyenne tous les 2 ans, au rythme des fins de vie de la signalisation actuelle. L'autre ambition est de déployer le FRMCS (voir p.37) sur l'ensemble du réseau entre 2032 et 2035. »

### Le plan national ERTMS a été présenté en décembre 2024 à la Commission européenne

Au vu des capacités de financement, le plan français de mise en œuvre de l'ERTMS priorise l'équipement ETCS des lignes classiques du corridor européen Mer du Nord – Méditerranée, qui accueille une part importante du trafic multimodal international, ainsi que des lignes des corridors méditerranéen et Atlantique.

# Accroître l'attractivité du ferroviaire et des modes collectifs

## ENJEU



La demande de mobilité augmente fortement depuis plusieurs années, avec en France un secteur des transports qui, proportionnellement, croît plus vite que le produit intérieur brut. Il n'en reste pas moins l'un des secteurs les plus émissifs en carbone, d'où l'absolue nécessité de développer l'attractivité des modes de transport collectifs les plus propres. Derrière les enjeux industriels, qui consistent à disposer d'un système ferroviaire modernisé, plus capacitaire et largement décarboné, un véritable saut doit s'opérer dans la perception du service qu'ont les voyageurs, comme les chargeurs, du mode ferroviaire. Que ce soit en matière d'offres ou d'information, les clients demandent de la souplesse, de la robustesse et de la fiabilité. Pour cela, le groupe SNCF repense la mobilité comme un service, avec une offre intermodale porteuse de croissance et qui réponde aux enjeux d'aménagement du territoire. Des SERM aux systèmes de transport légers et aménagements dédiés aux territoires ruraux, la mobilité dans les territoires est ainsi entièrement redéfinie grâce à de nombreux programmes de recherche et d'innovation, à l'instar des expérimentations XXL qui ont contribué au bon déroulement des transports de masse durant les Jeux de Paris 2024.



**Tanguy Cotte-Martinon**

Secrétaire Général  
SNCF Voyageurs

**«Être un leader du mode le plus décarboné est une opportunité mais aussi une grande responsabilité, que ce soit pour faire préférer le train à davantage de voyageurs – alors qu'il ne représente encore qu'un déplacement sur dix – ou pour atténuer notre impact carbone. Proposer de nouveaux matériels très capacitaires, à haut niveau de service avec un rendement environnemental optimal est un levier puissant pour faire croître l'offre ferroviaire sur le territoire. A contrario, là où la demande est très diffuse, nous imaginons de nouvelles offres plus légères.»**

## THÉMATIQUE

# Expérience clients

Les modes de transport collectifs portés par le groupe SNCF évoluent pour répondre toujours plus aux impératifs de décarbonation, de trafics, de sécurité et de fiabilité. Leurs qualités intrinsèques seront démultipliées lorsque le ferroviaire se développera au cœur d'un système multimodal entièrement intégré, assurant un parcours en « porte à porte » et totalement fluide. Les champs

d'innovation sont nombreux pour intégrer et développer les mobilités et la fréquence des trafics, mais aussi optimiser et sécuriser ces parcours: délivrer de l'information prédictive, proposer une signalétique plus intuitive, adapter la gestion des flux en temps réel, mieux appréhender l'affluence à bord et dans les gares pour faire évoluer les aménagements, offrir plus de ponctualité, de sécurité,

d'accessibilité... Les Jeux de Paris 2024 ont à cet égard été la vitrine de différentes évolutions en cours. Ce retour d'expérience constituera un héritage à long terme, pour les voyageurs du quotidien en particulier. Si la digitalisation, la *data science* et l'intelligence artificielle sont le socle des transformations, les dernières avancées sont plus largement le témoin de cette mobilité repensée comme un service.

## TGV nouvelle génération

Un TGV plus écologique et une expérience client « augmentée »

**?** 115 rames seront mises en circulation dans les 10 années à venir. Cette nouvelle génération de TGV plus capacitaire et modulaire a été conçue dans un souci de réduction de l'empreinte écologique, avec un gain de 20% en énergie, des composants recyclables à 97%, et le bilan carbone le plus faible de sa catégorie. Actuellement, les essais se poursuivent sur le réseau ferroviaire français en reproduisant toute une liste de configurations: en rame double, en mode dégradé, avec des aléas météo particuliers...

**🎯** Le TGV nouvelle génération emportera jusqu'à 740 passagers sans diminuer l'espace pour chaque voyageur. Sa modularité permettra d'ajuster le nombre de voitures (7, 8 ou 9) afin de s'adapter à la fréquentation. Ses espaces

seront transformables: présence de 1<sup>re</sup> et/ou de 2<sup>de</sup> classes uniquement, d'un bar ou non, ajout ou retrait de sièges... Son accessibilité a également été entièrement repensée avec les associations de personnes à mobilité réduite, afin d'offrir une totale autonomie à bord. Autre particularité: des stockeurs d'énergie seront intégrés dans les structures innovantes qui serviront d'interface entre les voitures d'extrémité et les motrices, appelées «greffon». Ces stockeurs permettront de maintenir le confort à bord (climatisation, chauffage, éclairage, toilettes...) en cas d'incident caténaire. Le TGV nouvelle génération est le premier train à grande vitesse à proposer cette fonctionnalité.

**Partenaires**  
ADEME, Alstom, Nendo



L'aménagement intérieur d'une voiture du TGV nouvelle génération.



**- 30 %**  
de coûts de  
maintenance

## Fiabiliser les créneaux de livraison des trains de fret



**?** Hexafret travaille depuis 2024 à un dispositif croisant plusieurs sources de données pour fiabiliser la date de livraison à communiquer à ses clients, au plus tard 24h avant, pour tous ses flux domestiques et internationaux. Appelée Date Prévisionnelle d'Arrivée (DPA) et disponible via les services B2B, dont le portail clients, cette information offre un meilleur pilotage de la production et des flux, et une amélioration de la qualité de service.

**🎯** Elle est le produit de 2 sources principales: le plan de transport théorique d'Hexafret et de ses partenaires, et des données prédictives calculées par une IA utilisant des méthodes de *machine learning*. L'IA analyse l'historique des trajets par origine-destination via un outil développé par e.SNCF Solutions, alimenté par les données de localisation des wagons. Pour fiabiliser et mettre en qualité les prévisions fournies par le système, les DPA estimées et les arrivées réelles font l'objet d'un *monitoring*.

## TVP NG

Pour des traversées de voies en gare plus sûres pour les voyageurs

**?** Sécuriser l'usage des traversées de voies par le public (TVP), présentes dans les gares sans passerelle ni passage souterrain, suppose une meilleure compréhension des comportements des voyageurs. Pour mettre à profit les sciences comportementales, cognitives et biomécaniques (regards, mouvements, temps de réaction...), une plateforme de test en réalité mixte a été développée sur le site d'Arenberg Creative Mines près de Valenciennes. La plateforme physique recrée une partie de gare à l'échelle 1, avec notamment un quai. La plateforme en réalité virtuelle se synchronise à cet environnement physique, en vue de proposer différents scénarios (météo, jour/nuit, mouvements des trains, etc.) aux testeurs équipés de casques. De nombreux capteurs collectent les données comportementales, oculaires, physiologiques, et analysent la marche des participants. Appuyés par un *benchmark* des systèmes



La plateforme en réalité virtuelle se synchronise à un environnement physique proposant différents scénarios aux testeurs équipés de casque.

techniques les plus efficaces, les résultats des tests qui y sont menés depuis avril 2024 serviront à sélectionner les meilleures solutions, à prototyper en 2026, pour aboutir à une nouvelle génération de traversée des voies renforçant la sécurité des voyageurs.

**Partenaires**  
IRT Railenium, SCLE, LAMIH/ université polytechnique Hauts-de-France (UPHF)

Pour en savoir plus :

[CLIQUEZ ICI](#)



Les données recueillies par captation LiDAR sont traitées via une interface capable par exemple de reconnaître un fauteuil roulant, un bagage abandonné...

## Gestion des flux en gare par captation LiDAR

**?** 21 capteurs LiDAR ont été installés sur les 2 niveaux de la gare de Paris Charles de Gaulle 2. Ils recueillent les données de flux voyageurs sur les 3600 m<sup>2</sup> dont SNCF Gares & Connexions et ADP se partagent la propriété et la gestion. Objectifs: comprendre et améliorer le nœud d'échanges entre la gare et l'aéroport pour une grande fluidité entre les 2 modes; faciliter le travail des agents d'escale et des prestataires affectés à la prise en charge des voyageurs et notamment des personnes en situation de handicap; prévoir les adaptations dans les projets d'aménagements à venir.

**🎯** Les données transmises en temps réel par les capteurs LiDAR permettent d'analyser les cheminements des voyageurs tout en garantissant leur anonymat. Ces données sont partagées via une plateforme commune sécurisée. L'interface homme-machine qui les traite est capable de compter les voyageurs, de distinguer les fauteuils roulants, pour une meilleure anticipation des besoins de prise en charge, d'identifier les points de congestion et de formation de queues, ou encore de repérer des chariots laissés sur un quai ou les bagages abandonnés. Les informations recueillies sont également précieuses pour connaître les usages de l'espace, des commerces et des services (fréquentation, utilisation des automates de vente...). Un POC a été lancé en mai 2024 et une dizaine de collaborateurs de SNCF Gares & Connexions, et autant chez ADP, ont été formés à l'outil en parallèle.

**Partenaires**  
Groupe ADP, Outlight

## Ma Gare et Ma Gare + : de l'expérience à la fidélisation

Nouvelle version de l'appli Ma Gare en 2024. Suite à une profonde refonte ergonomique, fonctionnelle et technique, elle se recentre sur l'information voyageur en diffusant le tableau des départs / arrivées en live sur les smartphones des clients. Désormais disponible en 6 langues, elle intègre un système de *wallet* permettant de trouver facilement les services, les évènements et l'offre commerciale de la gare. Elle donne également accès au programme de fidélité Ma Gare +. Celui-ci est passé de 6 gares tests en mai 2024 à plus de 150 en fin d'année pour mettre en valeur les commerces et animer les temps d'attente en gare.





## Un observatoire de la gestion des flux voyageurs

**?** AREP a lancé un observatoire des solutions existantes au niveau mondial pour mieux gérer les flux dans les gares. L'enjeu est de prévenir les mouvements de foule, risque croissant au regard de l'augmentation des voyageurs et des contraintes qui pèsent sur les capacités d'extension des espaces. Son objectif est de comprendre les risques, afin de proposer des solutions et de fournir une méthode fiabilisée d'évaluation de la saturation des gares, d'encourager les contributions des acteurs ferroviaires.

**🎯** Son premier rapport établit 6 critères pour l'étude des mouvements de foule dans le temps : fréquence, nombre de décès, blessures, origine, nature, localisation. Des solutions ont été recensées pour optimiser capacité des gares et temps de trajets comme celles consistant à retarder certaines arrivées en gare pour éviter les flux contraires, de séparer les flux dans les souterrains ou d'installer des portes unidirectionnelles sur les quais. Pour les prioriser, l'observatoire préconise de croiser performance (temps de déplacement, densité, répartition des flux) et analyse de l'espace. Les transporteurs ferroviaires ont également été sollicités pour enrichir les données et tester les solutions proposées.

### Partenaires

École nationale des ponts et chaussées, Laboratoire Ville Mobilité Transport

## Optiplace un placement judicieux pour OUIGO

Déployé en juin 2024, Optiplace est un algorithme de placement des passagers développé pour l'offre OUIGO. Son but : optimiser le remplissage des trains, fluidifier les montées et descentes dans les gares intermédiaires et répondre toujours mieux aux souhaits des voyageurs (proximité des sièges en cas de réservations groupées notamment). Optiplace représente un important saut de performance pour le transporteur, dont l'ancien système répartissait les voyageurs dès leur réservation, ce qui contraignait le remplissage des trains. L'algorithme calcule le positionnement optimal de l'ensemble des voyageurs, avant que le placement ne leur soit communiqué, 4 jours avant départ. Cela permet d'optimiser l'occupation des places en fonction de chaque trajet et de satisfaire un maximum de préférences. Initialement développé sous la forme d'un

*proof of concept*, l'algorithme a été interfacé avec le système de réservation OUIGO et mis en production dans le système d'information SNCF.

**Partenaire**  
Artelys



**4 100 trains**  
optimisés de juillet à décembre 2024, dont 700 complets, et 11000 places libérées et réattribuées pour satisfaire le plus de demandes possibles



En utilisant Optiplace, les équipes de OUIGO peuvent notamment fluidifier les montées et descentes de voyageurs.

## La parole à Sylvie Landrière, Directrice du Forum Vies Mobiles



### Comment ont évolué les mobilités et quelles sont les principales attentes des Français aujourd'hui ?

Le train, la voiture, l'avion ont démocratisé la mobilité rapide. Nous avons cru gagner du temps, mais nous sommes surtout allés plus loin. Car dans le même temps, nos activités et nos familles se sont dispersées sur le territoire. Quand les Français faisaient en moyenne 5 km par jour au milieu du 20<sup>e</sup> siècle, ils en font aujourd'hui 10 fois plus. Face à ces évolutions, nos études montrent une forte aspiration des citoyens à pouvoir vivre en proximité au quotidien et, quand ils souhaitent se déplacer, à pouvoir le faire de manière simple.

### Malgré l'engouement pour le train, la part modale de la voiture bouge peu. Comment analysez-vous ce phénomène ?

Depuis plusieurs décennies, des politiques ambitieuses ont été menées dans le transport collectif, le vélo, le covoiturage, la mobilité durable, mais la tendance reste la même presque partout. Ce qui bloque : tout est encore trop pensé mode par mode, territoire par territoire, sans véritable approche systémique. Les transports collectifs urbains se développent dans les centres des grandes métropoles mais dans tous les autres territoires, on considère que la voiture est suffisante. Résultat, elle y est omniprésente. Les politiques sont

également trop focalisées sur les trajets domicile-travail alors que 75% des kilomètres sont aujourd'hui parcourus pour d'autres motifs.

### Quels leviers avez-vous identifiés pour rendre les modes collectifs plus attractifs ?

Les services existent déjà. Il suffit de mieux les organiser et les coordonner pour faciliter l'intermodalité. Le ferroviaire, efficace, attractif et peu carboné, a tout pour être l'épine dorsale de la mobilité. Autour de lui doit s'organiser un maillage fin de desserte de tous les territoires, grâce à des transports collectifs adaptés aux fréquentations. Le cadencement de l'offre, à savoir des horaires réguliers toute la journée, est à cet égard essentiel pour rassurer les utilisateurs, tout comme une meilleure intégration de la tarification et de l'information. Une partie du réseau routier peut aussi être dédiée aux transports collectifs, ainsi qu'à la marche ou au vélo. Au Forum Vies Mobiles, nous sommes persuadés que nous sommes à un tournant : allons-nous continuer dans un modèle dominé par la voiture individuelle, même électrique, ou inventons-nous un système alternatif vraiment écologique et désiré ? Autrement dit, changeons-nous de paradigme ou simplement de moteur ? Évidemment nous pensons que c'est un système alternatif qu'il faut porter : c'est non seulement possible, plus inclusif mais aussi moins coûteux collectivement.

Le Forum Vies Mobiles est le **think tank** français expert de la mobilité. Il a pour objectif de répondre aux aspirations citoyennes, tout en sortant du système de la mobilité carbonée.

## THÉMATIQUE

# Services Express Régionaux Métropolitains Innovants

Le groupe SNCF se met au service des Autorités Organisatrices de la Mobilité pour les accompagner dans le développement de leurs projets de Services Express Régionaux Métropolitains (SERM). 3 champs de recherche et d'innovation sont en jeu :

- 1 Des études et des outils d'aide à la conception pour proposer les meilleures solutions de mobilité aux voyageurs, au bénéfice des territoires ;
- 2 Des projets ferroviaires et de services qui améliorent le quotidien des voyageurs ;
- 3 Des concepts porteurs de multimodalité, permettant de positionner le ferroviaire comme colonne vertébrale des mobilités.



L'étude client SERM s'est concentrée sur les métropoles de Strasbourg et Bordeaux, déjà concernées par des projets SERM, ainsi que sur celles de Toulouse et Lyon.

System-X assure les développements autour de l'outil de simulation. L'université de Montpellier analyse les paramètres psycho-économiques et les facteurs de choix. L'université d'Avignon et l'entreprise Maplab construisent des scénarios de mobilité et des projections géographiques, ainsi qu'un outil pour comprendre les besoins des territoires. L'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne porte l'analyse multicritère pour hiérarchiser des solutions et identifier les paramètres à prendre en compte pour adapter les choix de conception de l'offre.

## 1 Études et outils d'aide à la conception

Des développements qui permettent d'appréhender les besoins des voyageurs, de poser un diagnostic territorial sur les mobilités, et d'évaluer les bénéfices en termes de report modal et/ou de fidélisation.

### ÉTUDE CLIENT SERM

Grâce à l'étude menée à partir du printemps 2024, le groupe SNCF dispose désormais d'une base de connaissances commune sur les leviers de fidélisation et de report modal vers les SERM. L'étude s'est concentrée sur les métropoles de Strasbourg et Bordeaux, déjà concernées par des projets de SERM, ainsi que sur celles de Toulouse et Lyon. Elle vise à comprendre l'ensemble des paramètres - activités humaines, contraintes du quotidien, représentations sociales, habitudes et perceptions de l'offre de transport en commun - qui influencent les choix modaux. Cette étude a été menée auprès de 2400 personnes, adeptes de différents types de mobilités, afin de hiérarchiser et mesurer l'efficacité de ces leviers.

### POIESIS

Quel serait l'impact d'une offre multimodale complète sur les comportements ? Le projet Poiesis prend en compte les facteurs psychologiques, économiques et géographiques dans l'analyse des choix de mobilité effectués par les voyageurs. Les objectifs sont multiples : objectiver les leviers comportementaux du report modal, analyser les mobilités dans les territoires et prédire leur évolution future. Des outils de simulation et d'aide à la décision sont en cours de développement pour anticiper les effets du report modal, valider l'adéquation de l'offre de transport avec les besoins de mobilité, et calculer le rapport coûts-bénéfices selon des projections à 3, 6 et 9 ans. Dans ce projet en partenariat, l'IRT

## 2 Projets ferroviaires et de services

Des projets ferroviaires et de services qui facilitent le quotidien des voyageurs. Le mode ferroviaire « classique » peut être amélioré, que ce soit pour densifier l'offre ou en accroître la modularité, 2 aspects essentiels pour les SERM de demain.

### ADAPTATIVE

Avec ADAPTATIVE, il s'agit de répondre à l'accroissement du nombre de voyageurs et au besoin de fluidité dans les rames TER en période de forte affluence, pour une maximisation de la capacité d'emport. Il s'agit également de proposer des nouveaux services en périodes de faible affluence (emport de trottinettes ou de vélos, micro-fret, vente/restauration éphémère, etc.). ADAPTATIVE s'appuie sur des espaces intérieurs évolutifs, avec des nouvelles solutions d'aménagement (assis-debout, siège moins encombrant) et la création de systèmes de fixation rapide. Dès 2025, un configurateur dynamique

et immersif des plans de trains sera développé pour réduire le temps de conception et aider les Régions dans leurs choix d'aménagements innovants. Un *Living lab* échelle 1 permettra de tester les prototypes et de valider les solutions avec les voyageurs et les agents. Après une seule et unique transformation en technicentre industriel, la rame démonstratrice pourra être reconfigurable à loisir dans les creux d'exploitation. Aménagements et services seront proposés à la carte pour répondre aux nouveaux besoins exprimés par les Régions sur leurs trains existants.

### OPTIMA

Optima entend simplifier la planification des opérations de maintenance et la gestion des capacités dans les technicentres, dans un contexte de demande forte de disponibilité des trains. Cela passe par le développement d'applications intégrant des algorithmes de recherche opérationnelle, en partenariat avec l'École polytechnique, l'École nationale des ponts et chaussées et l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne. Objectifs : mettre en cohérence le plan de charge et les capacités, prioriser les tâches de maintenance, rationaliser les mouvements et adapter la planification en cas d'aléas pour exploiter au maximum de leurs capacités les installations existantes.



**Stéphane Chwalik,**  
Coordinateur Groupe SERM  
Innovant, DTIPG SNCF

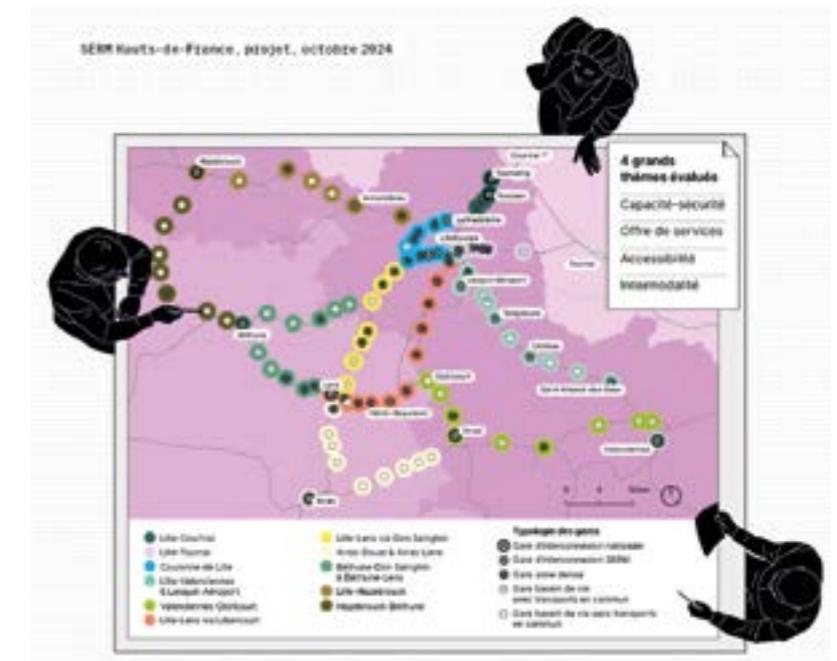
« Nous avons 3 priorités : placer le voyageur au centre de nos projets, porter une vision à 3, 6 et 9 ans, et imaginer des technologies moins coûteuses. Il s'agit également de proposer un maillage plus fin portant l'ensemble des mobilités dans les territoires, avec notamment les futurs trains TELLi, DRAISY et FLEXY et des cars express conçus pour les SERM, pour favoriser les rabattements entre zones rurales, périurbaines et métropolitaines. »



### Mission Radar pour les gares des SERM

Les missions Radar d'AREP visent à accompagner les Autorités Organisatrices de la Mobilité et les autres parties prenantes des projets de SERM, dans la préfiguration des évolutions à apporter aux gares concernées. Infrastructures, services et équipements intermodaux sont passés au crible pour mettre en évidence leurs forces et faiblesses.

L'outil Radar permet de faire un diagnostic complet de la capacité des espaces de circulation, du niveau de service et de la qualité de l'intermodalité offerte aux voyageurs. Lancé en 2020, son développement s'est poursuivi pour améliorer l'automatisation du traitement des données. Il fonctionne désormais en interface avec *Open Street Map*, un projet collaboratif de cartographie en ligne qui ambitionne de devenir la plus grande base de données



Un Radar s'intéresse à l'ensemble des gares d'une étoile ferroviaire. Cette démarche évalue 4 grands thèmes: capacité/sécurité; offre de services; accessibilité; intermodalité.

## 3 Des concepts porteurs de multimodalité

Nouvelles mobilités, offre attractive et maillage fin du parcours multimodal jusque dans les territoires les moins denses sont autant de facteurs de rabattement vers les SERM.

Pour proposer un maillage très fin de l'offre de transport dans les territoires, le groupe SNCF travaille à la création de pôles d'échanges multimodaux adaptés aux besoins des territoires, à l'image des stations rurales des mobilités (voir p.60), connectées aux hubs que sont devenues les gares. Ils seront destinés à intégrer l'écosystème des nouvelles mobilités: TELLi, DRAISY, FLEXY, car express SERM Innovant... Cette réflexion s'accompagne en 2025 du développement de projets liés à l'information multimodale.

### MOBIL'QUAI une solution frugale de point d'arrêt

Densifier l'offre ferroviaire dans les territoires passe par la création de nouveaux points d'arrêts aux abords des métropoles, notamment sur les lignes de desserte fine, pour favoriser les rabattements vers les SERM. Points forts de Mobil'Quai? Une infrastructure frugale, évolutive et réversible, des délais de conception et d'installation réduits, sans terrassement ni fondations en béton dès lors que le site le permet, et une solution modulaire construite hors site. Ses usages en matière d'accessibilité et de services connectés (automates de vente, écrans d'information), ainsi que son potentiel d'alimentation en autoconsommation sont à l'étude. Mobil'Quai, utilise des dalles de revêtements issus de la revalorisation de déchets plastiques et composites

du groupe SNCF, recyclables plusieurs fois. Ces dalles ont été brevetées par Purple Alternative Surface, qui a rejoint le consortium créé en 2024 par le 574 Grand Est, autour de SNCF Gares & Connexions, sa filiale AREP, e.SNCF Solutions, la Direction Technologies Innovation Projets Groupe et l'IRT Railenium.

Ce projet est financé par l'État dans le cadre de France 2030 opéré par l'ADEME.



géographiques libres au monde. Après les SERM de Bordeaux (2020), Toulouse (2021) et Rouen (2023), l'outil a été utilisé en 2024 pour les

SERM Hauts-de-France, Strasbourg, Mulhouse et Sillon Lorrain, en partenariat avec les Régions Hauts-de-France et Grand Est.



### Quais du futur, une initiative d'AREP

En 2024, AREP a recensé et évalué, pour une application opérationnelle envisagée dans le cadre de la ligne nouvelle Provence-Côte d'Azur, un panel représentatif des typologies et configurations de quais, sous le prisme des démarches 4E (gares écologiques, exploitables, économiques, élégantes) et EMC2B (énergie, matière, climat, carbone, biodiversité) de SNCF Gares & Connexions et d'AREP. Objectifs: identifier les modèles de quais les plus performants en termes de sobriété et de frugalité économique notamment, parvenir à standardiser chacune de leurs composantes pour simplifier leur construction ou améliorer l'existant. Parmi ces modèles, les quais légers et modulables à l'image de Mobil'Quai (voir ci-contre).

## THÉMATIQUE

# Transport collectif léger

Le groupe SNCF développe avec les Régions et ses partenaires industriels et académiques des solutions complémentaires pour répondre aux besoins de mobilité dans les territoires ruraux et périurbains.

Ces innovations partagent la même ambition : réduire les coûts d'infrastructure et d'exploitation pour augmenter la fréquence de passage des trains et offrir ainsi une alternative efficace à la voiture individuelle. Ainsi sont nés les concepts de trains légers et très légers

## TELLi

**?** Le train léger innovant TELLi est conçu pour les lignes de desserte fine du territoire connectées au réseau principal. Ce projet repose sur une approche systémique, intégrant matériel roulant, infrastructure et exploitation, dont le but est de maîtriser les coûts globaux pour augmenter la fréquence de desserte.

Compatible avec la circulation d'autres types de matériels, TELLi embarquera des systèmes digitalisés pour la signalisation et la surveillance de la voie. Pouvant circuler sur des lignes électrifiées, avec une vitesse maximale de 120 km/h, il empruntera des lignes non électrifiées grâce à ses batteries qui lui conféreront une autonomie de 200 km. Il offrira 150 places, dont 74 assises, et sera accessible aux PMR. Sa modularité intérieure permettra le transport de vélos et de micro-fret. Pour tester ses futures innovations, une rame

TELLi, DRAISY et FLEXY, plus économiques, pour permettre un maillage plus fin de l'offre de transport et prolonger les SERM au-delà des métropoles et grandes agglomérations urbaines. Le groupe SNCF s'attache également à proposer des services innovants aux communautés de communes et d'agglomérations, avec des offres de transport à la demande et des services itinérants pour faciliter l'accès aux services publics et aux commerces de proximité.

**?** laboratoire a été mise en service en juin 2024 sur l'étoile de Limoges grâce au soutien de la Région Nouvelle-Aquitaine. TELLi sera mis en service commercial en 2030.

### Partenaires

Alstom, CAF, Ektacom, Ferrocampus, Cerema, Capgemini, IRT Railenium, Texelis, Hitachi, Wabtec, Régions Nouvelle-Aquitaine et Occitanie



Yellow Window / CAF



## David Borot,

Directeur des Programmes d'Innovation Mobilités Émergentes, DTIPG SNCF

«Après un diagnostic poussé des besoins des territoires et à force d'expérimentations menées avec les habitants et les élus locaux, nous sommes parvenus à transformer certains de nos concepts en services facilement industrialisables. Ces nouveaux services viennent alimenter et compléter les moyens ferroviaires classiques, et répondent à des attentes non couvertes aujourd'hui par les transports publics.»

EN VIDÉO



Design Lohr - Haku Design

## DRAISY

**?** Le système de train léger DRAISY a pour ambition de redynamiser les lignes peu circulées et de faciliter la réouverture des lignes fermées, en permettant la réduction sensible des coûts d'infrastructure, d'exploitation et de maintenance des plus petites lignes ferroviaires, grâce au développement de solutions très innovantes et frugales sur le matériel roulant, l'infrastructure, l'exploitation et la réglementation ferroviaire.

**?** Compatible avec des circulations occasionnelles de trains de fret, le train léger DRAISY offrira 80 places dont 30 assises, et sera accessible aux PMR/UFR. Sa modularité intérieure permettra le transport de vélos et de micro-fret. Il pourra atteindre 100 km/h, avec une autonomie sur batterie de 100 km, qui pourra être prolongée grâce à un système de recharge rapide à quai dans les gares qui en seront équipées. Le nouveau design de DRAISY a été dévoilé en septembre 2024 à l'occasion du Congrès des Régions de France. DRAISY sera mis en service commercial en 2028.

### Partenaires

Lohr Industrie, GCK Batteries, Stations-e, IRT Railenium, Régions Grand Est et Occitanie

EN VIDÉO



## FLEXY

**?** Reposant sur une approche systémique pour réduire les coûts globaux du ferroviaire, le système de navettes rail-route FLEXY a pour ambition prioritaire de donner une seconde vie aux lignes rurales et périurbaines qui ne sont plus exploitées.

**?** FLEXY s'appuie sur des navettes CARFLEX, équipées de roues double fonction, rail et route. Grâce à elles, la solution FLEXY assurera la majeure partie du trajet sur voie ferrée mais pourra rejoindre la route, via l'implantation de plateformes de transition innovantes, pour desservir les communes et les gares du réseau ferré principal. Offrant 12 places assises, accessibles PMR/UFR, ces navettes circuleront à minima à 70 km/h sur rail et à 90 km/h sur route, avec une autonomie de 200 km sur batteries. En novembre 2024, le projet FLEXY a reçu le soutien de l'État dans le cadre du plan d'investissement France 2030. FLEXY sera mis en service commercial en 2028.

### Partenaires

Milla Group, Michelin, IRT Railenium, Régions Bretagne et Bourgogne-Franche-Comté



Ces 3 projets sont financés par l'État dans le cadre de France 2030 opéré par l'ADEME.

## MASIPRO

(Mobilité Autonome en Site PROpre)

**?** Le projet MASIPRO a pour objectif de préfigurer en conditions réelles le déploiement d'un futur système de transport public routier autonome à haut niveau de sécurité et de service, en site propre (anciennes voies ferrées reconverties, couloirs de bus, voies vertes...).

**🎯** MASIPRO mettra à profit la Plateforme d'Innovation Ouverte pour la Mobilité Autonome (PIOMA), qui relie Carquefou aux portes de Nantes et qui sera étendue à 4 km fin 2025. La PIOMA dispose d'un réseau télécom privé 4G et 5G issu d'un partenariat avec Ericsson, d'un prototype de station voyageurs

du futur conçu avec AREP, de zones de croisement aménagées sur voie unique et de 2 carrefours routiers intelligents et connectés. À partir de 2027, pendant 11 mois, les habitants de Nantes et de Carquefou pourront embarquer à bord de plusieurs types de véhicules électriques circulant sans opérateur à bord (autonomie de niveau L4), pour se rendre dans les zones résidentielles et les équipements municipaux. Ils pourront utiliser ce service pour rejoindre 2 lignes de transports en commun nantaises. MASIPRO permettra ainsi de développer dans les régions rurales et zones périurbaines, peu desservies par les transports



publics, une alternative performante à la voiture individuelle, collective et inclusive à la voiture individuelle.

### Partenaires

Renault Group, EasyMile, KEOLIS, Beti, IRT Railenium, Vedecom

Ce projet est financé par l'État dans le cadre de France 2030 opéré par Bpifrance.



## Soutenir la mobilité dans les territoires les moins denses

Le groupe SNCF développe différents services pour faciliter l'accès au train, accroître l'usage des mobilités alternatives à l'usage individuel de la voiture, favoriser l'entraide et lutter contre l'isolement des personnes dépourvues de moyens de transport. Ainsi, les « Stations rurales des mobilités », testées depuis avril 2024 dans le Pays de Landivisiau (Bretagne), rassemblent, en un lieu unique, une offre de mobilités douces et partagées (covoiturage, autostop, vélos et voiturettes électriques, information multimodale...). Elles sont dotées d'un mobilier moderne et écoconçu, autonome en énergie. En novembre 2024, ce projet a remporté le prix de l'innovation territoriale, catégorie « mobilités décarbonées », au Salon des maires et des collectivités locales, marquant le rôle que peuvent jouer ces hubs multimodaux dans l'accès

JYVAIS, une offre de porte à porte, lauréate de l'AMI "Territoires de nouvelles mobilités rurales" de France Mobilités/ADEME.



des territoires ruraux aux futurs SERM. C'est sur ce même territoire qu'est expérimenté depuis septembre 2024 « Actimob ». Son objectif? Répondre à la disparition des services publics et des commerces en les embarquant à bord d'un véhicule aménagé pour des tournées sur les communes du Pays de Landivisiau. Enfin, le service de transport rural JYVAIS a été expérimenté en Seine-et-Marne, sur le territoire des Pays de

Meaux et de l'Ourcq, de mai à octobre 2024. Cette offre de transport en porte à porte a rencontré un vif succès, en permettant à près de 8000 utilisateurs de rejoindre les services publics, les commerces, les événements locaux et particulièrement les gares de ce territoire qui représente plus de 4 fois la superficie de Paris. 72% d'entre eux l'ont utilisé pour prendre le train.

EN VIDÉO

## THÉMATIQUE

# Mass transit, l'héritage JOP 2024

En matière de transports du quotidien, les Jeux de Paris 2024 ont été pour le groupe SNCF un incomparable laboratoire d'innovations pour recueillir et utiliser les données voyageurs. Face à l'accroissement attendu du nombre de voyageurs, la gestion des flux était un des sujets les plus scrutés. Comment gérer en toute sécurité un nombre croissant de voyageurs ou délivrer une information fiable qui permette à chacun de mieux maîtriser son transport? Des outils comme *Crowd Monitoring*, *FouloJOP* et *CARTOJOP* ont permis aux équipes opérationnelles d'anticiper les flux pour garantir la fluidité des déplacements en gare. Avec *Affluence* à bord,

SNCF Voyageurs fait désormais figure de précurseur à l'international en matière d'optimisation de la gestion des flux, et l'IA est devenue le support de l'information multilingue. Autre sujet majeur: l'accessibilité des transports collectifs. En la matière, un grand pas a été fait avec les associations qui accompagnent les voyageurs en situation de handicap. Des innovations technologiques tel qu'*Acceo*, un outil d'échange avec les personnes sourdes et malentendantes, ou de service avec le développement de parcours réservés aux personnes à mobilité réduite, ont été expérimentées avec succès et font véritablement partie

de l'héritage. Les Jeux de Paris 2024 ont ainsi été l'occasion pour l'Île-de-France de renouer avec sa longue tradition de territoire précurseur en matière de mobilité, comme à l'époque des premiers métros et RER, ou plus récemment lors de l'arrivée de nouveaux services comme les vélos ou voitures en libre-service.



**Alain Ribat,**  
Directeur Transilien  
SNCF Voyageurs

« La réussite des Jeux de Paris n'est pas le fruit du hasard. Elle relève d'une préparation longue et minutieuse et de moyens exceptionnels mis en œuvre avec Île-de-France Mobilités et les pouvoirs publics. Gestion de flux, exploitation, supervision, information voyageurs, accessibilité... les Jeux ont été le laboratoire de nombreuses innovations, technologiques ou non, dont la mise en œuvre profite aujourd'hui aux voyageurs du quotidien comme aux nombreux touristes qui visitent la région. »

## NExTEO

**?** Lorsqu'il sera mis en service, d'abord sur la ligne E du réseau francilien, puis sur les lignes B et D, le système de signalisation et de contrôle des circulations NExTEO permettra d'augmenter la fréquence et la ponctualité des trains, tout en facilitant la gestion des situations perturbées. En septembre 2024, une campagne d'essai a été réalisée sur la ligne E pour préparer le déploiement de NExTEO, qui sera piloté depuis le centre de commandement unique de Pantin qui gère l'axe est-ouest. Un second centre sera construit à Saint-Denis pour la commande des lignes B et D.

**🎯** NExTEO digitalise le cantonnement (système d'espacement des trains), proposant une assistance à la supervision et à la conduite (automatisation de l'accélération et du freinage). Cette automatisation est rendue possible grâce à un système de communication sol-train de type *Communications Based Train Control*, adapté à un système ferroviaire ouvert. Les cantons deviennent mobiles, virtuels et déformables, s'adaptant aux conditions de circulation en temps réel, afin d'augmenter le débit en réduisant l'intervalle entre les trains en toute sécurité.

### Partenaires

État, région Île-de-France, Île-de-France Mobilités, Siemens/Eviden (RER E), RATP et Alstom Transport (RER B et D)



## Affluence à bord

**?** Sur les quais des gares franciliennes, les écrans affichent désormais l'affluence à bord des prochains trains, à la voiture et en temps réel. Les voyageurs peuvent ainsi se positionner face aux voitures les moins chargées, pour plus de confort et un gain pour l'exploitation en *mass transit* grâce à une gestion des flux facilitée. Cette technologie innovante a été un atout majeur lors des Jeux de Paris 2024 et constitue un héritage concret au bénéfice des voyageurs du quotidien. Une première en Europe à une telle échelle.

**🎯** Le système développé par Transilien SNCF Voyageurs s'appuie sur des capteurs infrarouges qui mesurent les flux aux portes des matériels NAT, Regio2N et RER NG. Pour les matériels non équipés de capteurs, des scans sont réalisés par des caméras à quai, dont les images sont transformées instantanément en niveaux de densité grâce à une IA. Ces données, exploitées en temps réel, alimentent les écrans en gare et les médias numériques. Plus de 2000 écrans dans 250 gares affichent l'affluence de chaque voiture. Le système intègre depuis 2024, un nouvel algorithme d'IA, tenant compte des habitudes de déplacements dans les rames, croisé avec un second qui intègre l'historique des montées-descentes de chaque gare, afin d'avoir un affichage au plus proche de la réalité.

**Partenaire**  
Affluences (IA pour le système de caméras à quai)

## Affluence en gare

Le *Crowd Monitoring* (comptage en temps réel) et FouloJOP (outil de visualisation des flux) en appui de l'opérationnel pendant les Jeux de Paris 2024

**?** Les gares d'Île-de-France de Pont du Garigliano et de Vaires-Torcy ont bénéficié du *Crowd Monitoring* entre juin et octobre 2024, comme les 2 gares du Stade de France, qui poursuivent l'expérimentation jusqu'en octobre 2025. Chacun de leurs accès a été équipé de capteurs stéréoscopiques. 4 gares qui ont vu leur fréquentation exploser durant les Jeux de Paris : jusqu'à 300 % de voyageurs en plus ! Il s'agissait de compter les flux de voyageurs en temps réel et de définir des seuils d'alerte, pour mieux les gérer. Des données fiables ont ainsi pu être fournies aux équipes et partagées aux autorités toutes les 30 minutes.

**🎯** Un outil d'analyse et de partage de données, baptisé FouloJOP, croisant en temps réel les comptages des flux réels en gare et les données

d'affluence prévisionnelle de l'outil CARTOJOP (voir ci-contre), a permis d'adapter en opérationnel les dispositifs de gestion de flux et la production de ces 4 gares. Repositionnement des équipes, *stop and go*, adaptation des renforts, mise en place de sens giratoires, rampes ou portiques dédiés, adaptation des plans de transport... en sont autant d'exemples.

**92%**  
de satisfaction client\*

\*étude Ipsos réalisée en 2024 auprès de 1000 clients

## CARTOJOP

Connaître et anticiper les flux, pour les Jeux de Paris 2024

**?** CARTOJOP, outil de visualisation conçu par Transilien dès 2022, et amélioré jusqu'aux Jeux de Paris 2024, a permis d'agréger et de visualiser les flux de voyageurs estimés par Île-de-France Mobilités, les plans de transport et les calendriers des compétitions olympiques. Pour fiabiliser les estimations, les prévisions de flux étaient régulièrement actualisées. Il s'agissait de vigiler l'adéquation entre offre et demande pour renforcer les plans de transport ou les dispositifs de gestion des flux en gare.

**🎯** CARTOJOP a offert une vision complète par ligne, par gare et par épreuve. Il a compté jusqu'à 300 utilisateurs actifs par mois, notamment les chefs de sites et de quais (pour la gestion des flux en gare), les agents des Centres Opérationnels Transilien (pour l'adaptation du plan de transport), le Poste de Commandement des Jeux (PC JOP) et les salles de crise (pour la coordination de la gestion de crise). CARTOJOP a permis de délivrer une information unifiée et cohérente pour alimenter les briefs agents, les renforts pour la gestion des flux en gare, et l'application d'information dédiée aux agents (Infolympic).

**Partenaire**  
Île-de-France Mobilités



CARTOJOP a été notamment utilisé par les acteurs de la coordination de la gestion de crise.



## Signalétique projetée à Paris-Nord

Un nouveau système de signalétique projetée au sol a été testé avec succès durant les Jeux de Paris, à la gare du Nord. Destiné à faciliter le parcours client lors d'événements majeurs ou lors de situations complexes générant des flux très denses – une rupture d'interconnexion sur une ligne de RER par exemple –, il complète les dispositifs d'information existants. Gérées depuis le centre opérationnel de la gare, des leds projetent au sol cette signalétique basée sur différents types de visuels, facilement modulables selon les flux et les conditions de circulation. Pour améliorer la visibilité des informations au départ des « grandes lignes », ce dispositif a été complété par un écran led de plus de 7 m de large.

**Partenaires**  
SITCF, Light Pub

# Les grands chiffres Innovation et Recherche 2024

# 35

brevets déposés dans l'année

# 11 000

capteurs déployés  
dans 700 gares

# 13%

c'est la part des énergies renouvelables dans les consommations d'énergie du groupe SNCF, en progression de 14%, par rapport à 2023

# 1 023

brevets en vigueur

# 53

doctorants

# 604

experts scientifiques et techniques font vivre la recherche et l'innovation au sein de 6 clusters du « Réseau Synapses » : Énergie, Développement durable, Sécurité Système, Maintenance, Optimisation des Ressources et Exploitation, Services & Expériences de Mobilité



Le TGV nouvelle génération permet de réduire de

# 20%

la consommation d'énergie et d'améliorer le bilan carbone de 37% par rapport aux rames actuelles

# 10

partenariats académiques majeurs

# 60 000 km

parcourus en service commercial avec succès par le Régiolis hybride sur les 4 régions partenaires du projet

ERTMS sur Paris-Lyon : 1<sup>re</sup> étape franchie. Grâce à l'ERTMS, la capacité de cette ligne augmentera dès 2030 de

# 25%