espace des sciences

Grande vitesse ferroviaire

EXPOSITION ITINÉRANTE

BRETAGNE culture scientifique

espace des sciences

grande vitesse ferroviaire

exposition itinérante

EXPOSITION
Une exposition du Pôle Bretagne culture scientifique
produite et diffusée par l'Espace des sciences de Rennes
en partenariat avec la Région Bretagne et le Département d'Ille-et-Vilaine

DIRECTION DE L'ESPACE DES SCIENCES
Michel Cabaret

COMMISSARIAT
Yvon Lechevestrier
Christopher Couzelin

RÉDACTION
Dominique Galiana, assisté de Lilou.B

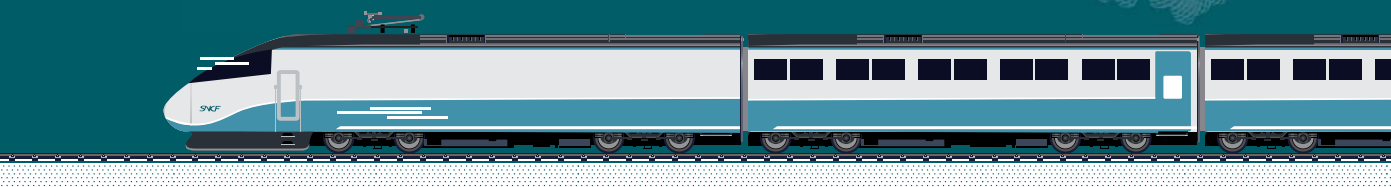
DESIGN GRAPHIQUE
Bird Idea et Lilou. B

CONSEIL SCIENTIFIQUE
Michel Lebœuf
Président du Comité Grande Vitesse à l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC)
Roland Lehoucq
Astrophysicien au Commissariat à l'Energie Atomique de Saclay (CEA)

IMPRESSION
Agelia

FABRICATION DES MANIPULATIONS
ARTS TECH

COORDINATION, GESTION DE L'ITINÉRANCE
Patrick Le Bozec Tel. 02 23 40 66 46



Région Bretagne · Ille & Vilaine Le Département · SNCF · EIFFAGE · UIC International Union of Railways · Bretagne culture scientifique

la grande vitesse, projet de longue haleine

Les Hommes ont toujours cherché à se déplacer plus rapidement, y compris dans le domaine du transport ferroviaire. Cette quête implique de relever un certain nombre de défis.

C'est en 1965 au sein de la SNCF que l'idée de grande vitesse a pris corps.

Pour y parvenir, les ingénieurs et techniciens de la SNCF et des entreprises associées ont adopté

UNE APPROCHE GLOBALE

prenant en compte tous les éléments du système de transport et toutes leurs interactions pour relever

3 GRANDS DÉFIS

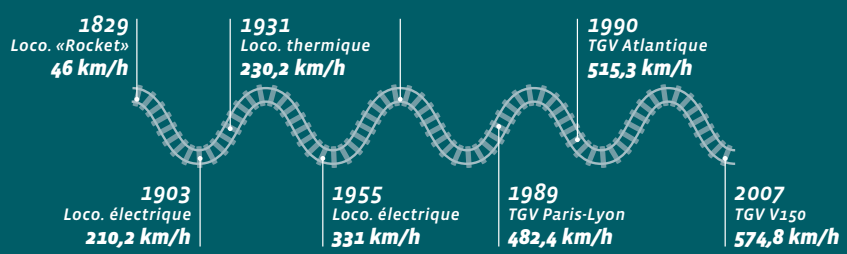
défi 1 FAIRE ROULER UN TRAIN DE 400 T À 320 KM/H

défi 2 CONCEVOIR ET RÉALISER DES VOIES ADAPTÉES À LA GRANDE VITESSE

défi 3 FAIRE CIRCULER CES TRAINS EN TOUTE SÉCURITÉ

pour en savoir plus

Frise chronologique des records de vitesse sur rail depuis 1829.



espace des sciences

défi 1

pourquoi rouler sur des rails ?

Le transport sur rail permet de tracter de lourdes charges en consommant peu d'énergie compte tenu de la faible adhérence de la roue sur le rail.

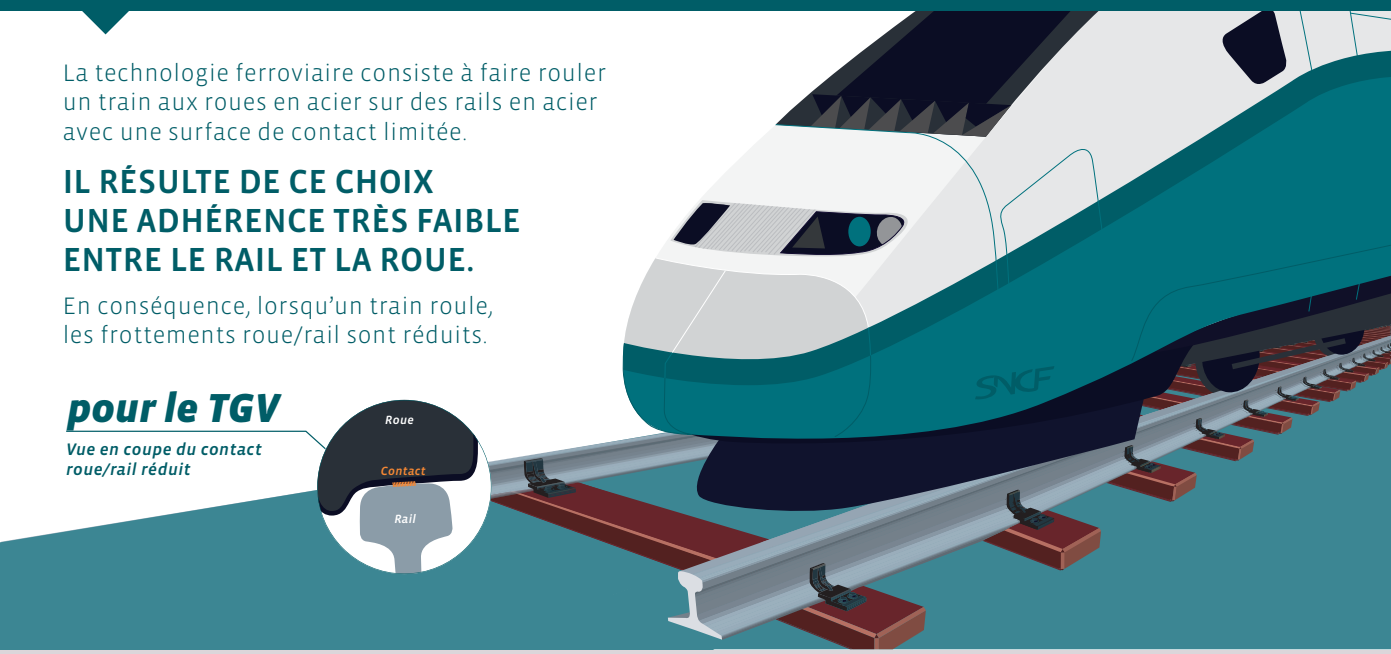
La technologie ferroviaire consiste à faire rouler un train aux roues en acier sur des rails en acier avec une surface de contact limitée.

IL RÉSULTE DE CE CHOIX UNE ADHÉRENCE TRÈS FAIBLE ENTRE LE RAIL ET LA ROUE.

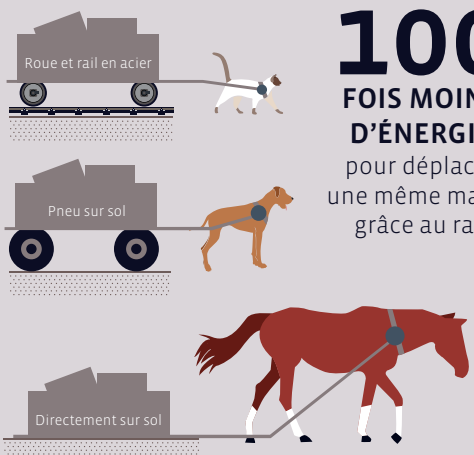
En conséquence, lorsqu'un train roule, les frottements roue/rail sont réduits.

pour le TGV

Vue en coupe du contact roue/rail réduit

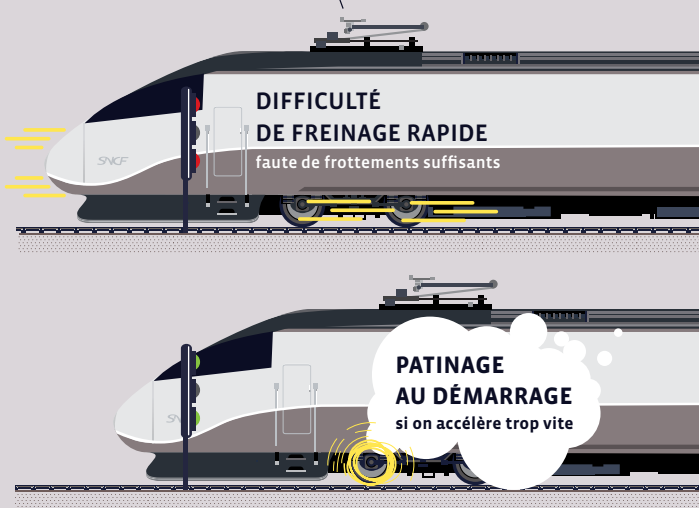


avantage



100 FOIS MOINS D'ÉNERGIE
pour déplacer une même masse grâce au rail

inconvénients



DIFFICULTÉ DE FREINAGE RAPIDE
faute de frottements suffisants

PATINAGE AU DÉMARRAGE
si on accélère trop vite

pour en savoir plus

Lorsqu'à l'automne, des feuilles mortes se déposent sur les rails, lorsqu'il pleut ou lorsqu'il gèle, l'adhérence roue/rail est fortement réduite ce qui a pour conséquence d'augmenter les distances de freinage.

50 cm²

La surface de contact roue-rail d'un TGV comportant 52 roues est équivalente à celle d'un Post-It soit environ 50 cm².

espace des sciences

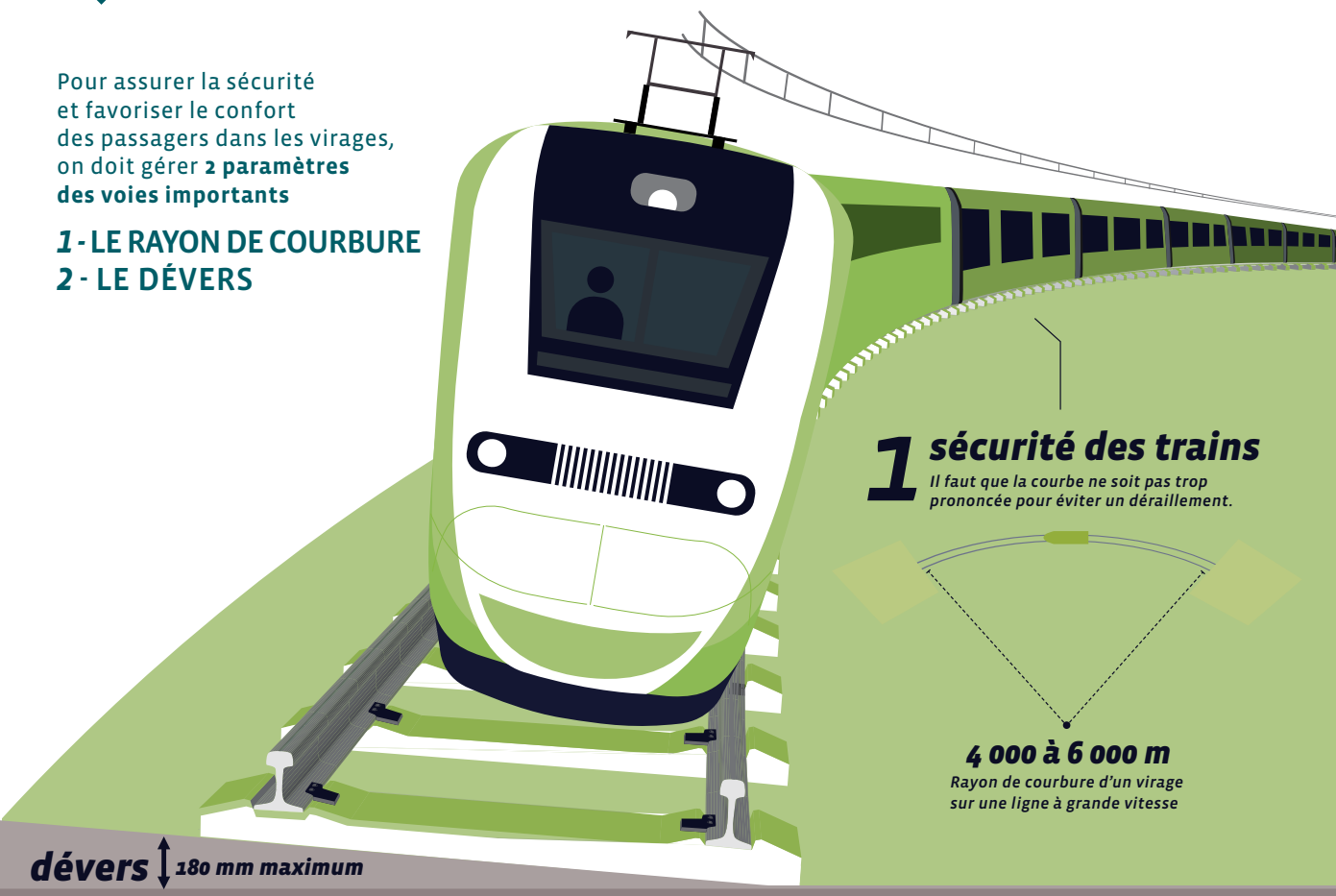
défi 1

virer à grande vitesse, comment faire ?

À grande vitesse, prendre un virage demande des précautions pour que le train ne déraille pas et assurer le confort des passagers. D'où la nécessité d'ajuster le rayon de la courbe et le dévers de la voie.

Pour assurer la sécurité et favoriser le confort des passagers dans les virages, on doit gérer **2 paramètres des voies importants**

1 - LE RAYON DE COURBURE
2 - LE DÉVERS



1 sécurité des trains

Il faut que la courbe ne soit pas trop prononcée pour éviter un déraillement.

4 000 à 6 000 m
Rayon de courbure d'un virage sur une ligne à grande vitesse

dévers 180 mm maximum

2 confort des voyageurs

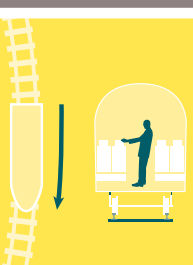
Pour éviter aux passagers une situation inconfortable, il faut incliner la voie.

Dans ces conditions, les voyageurs bougent de la même manière que la cabine.

Ils ne sont donc pas incommodés par la force centrifuge.

pour en savoir plus

Au lieu d'utiliser un dévers pour contrecarrer la force centrifuge, des ingénieurs ont mis au point des trains pendulaires aux cabines articulées. Celles-ci peuvent se balancer ce qui compense la force centrifuge source d'inconfort et de déséquilibre.



train classique
Sans dévers de la voie, quand le train classique prend un virage, les passagers sont obligatoirement entraînés du côté opposé. Le train doit ralentir.

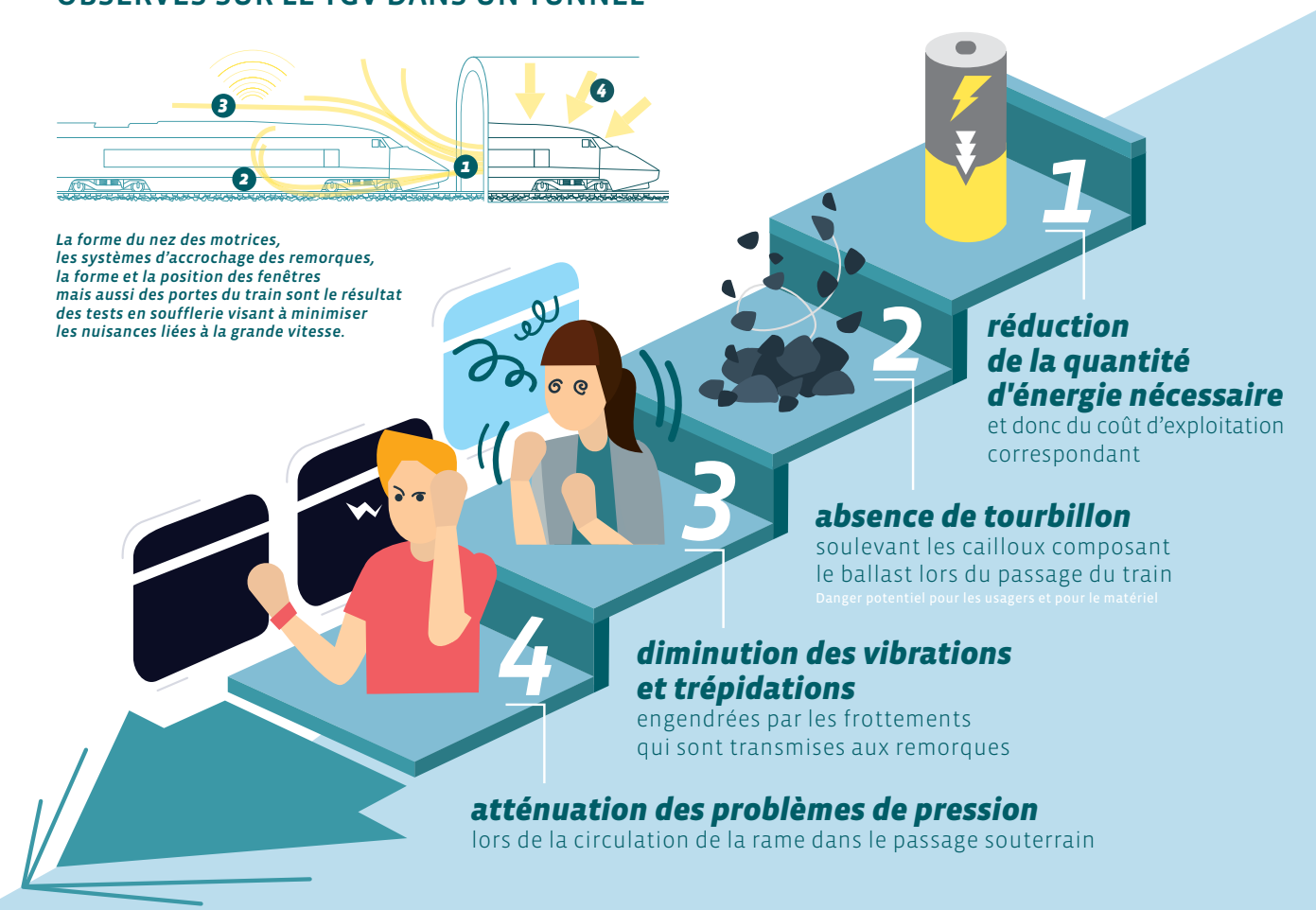
train pendulaire
Le système pendulaire fait pencher les voitures. Le train peut prendre le virage à plus grande vitesse sans gêner les passagers.

aérodynamisme, quel intérêt ?

Les études aérodynamiques modélisent l'écoulement de l'air autour d'un objet mobile (avion, train, voiture…). Elles permettent aux ingénieurs d'optimiser la forme du véhicule pour faciliter sa pénétration dans l'air et réduire les frottements latéraux.

UTILITÉ DE L'AÉRODYNAMISME POUR RÉDUIRE CERTAINS EFFETS OBSERVÉS SUR LE TGV DANS UN TUNNEL

La forme du nez des motrices, les systèmes d'accrochage des remorques, la forme et la position des fenêtres mais aussi des portes du train sont le résultat des tests en soufflerie visant à minimiser les nuisances liées à la grande vitesse.



1 *réduction de la quantité d'énergie nécessaire* et donc du coût d'exploitation correspondant

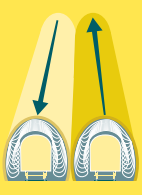
2 *absence de tourbillon* soulevant les cailloux composant le ballast lors du passage du train
Danger potentiel pour les usagers et pour le matériel

3 *diminution des vibrations et trépidations* engendrées par les frottements qui sont transmises aux remorques

4 *atténuation des problèmes de pression* lors de la circulation de la rame dans le passage souterrain

pour en savoir plus

Il est difficile de faire se croiser deux TGV dans un tunnel en raison de l'effet de souffle lié à la vitesse, de la sécurité mais aussi de la maintenance des structures.



Tunnel doublé pour les TGV

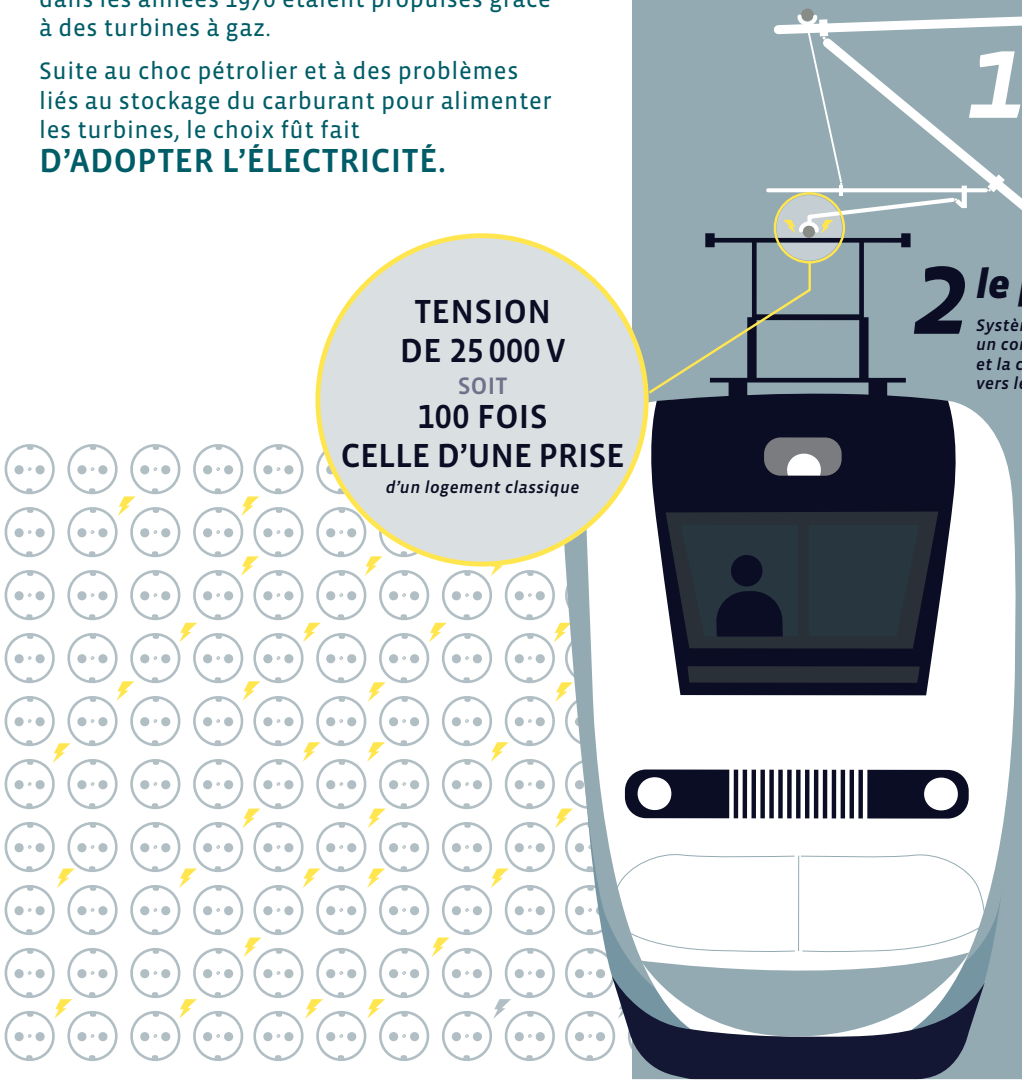
comment alimenter en énergie un TGV ?

La propulsion des trains à très grande vitesse impose de disposer d'une très grande puissance. L'énergie électrique délivrée à haute tension en tout point de la caténaire satisfait ce besoin et élimine tout stockage d'énergie de puissance à bord.

Les premiers trains à grande vitesse développés dans les années 1970 étaient propulsés grâce à des turbines à gaz.

Suite au choc pétrolier et à des problèmes liés au stockage du carburant pour alimenter les turbines, le choix fût fait **D'ADOPTER L'ÉLECTRICITÉ.**

TENSION DE 25 000 V
SOIT
100 FOIS CELLE D'UNE PRISE
d'un logement classique



1 la caténaire
Ensemble de câbles suspendus, tendus au-dessus des voies qui alimente les motrices d'un TGV en courant électrique.

2 le pantographe
Système articulé et escamotable établissant un contact électrique entre le train et la caténaire. Le courant capté circule vers les moteurs de la motrice.

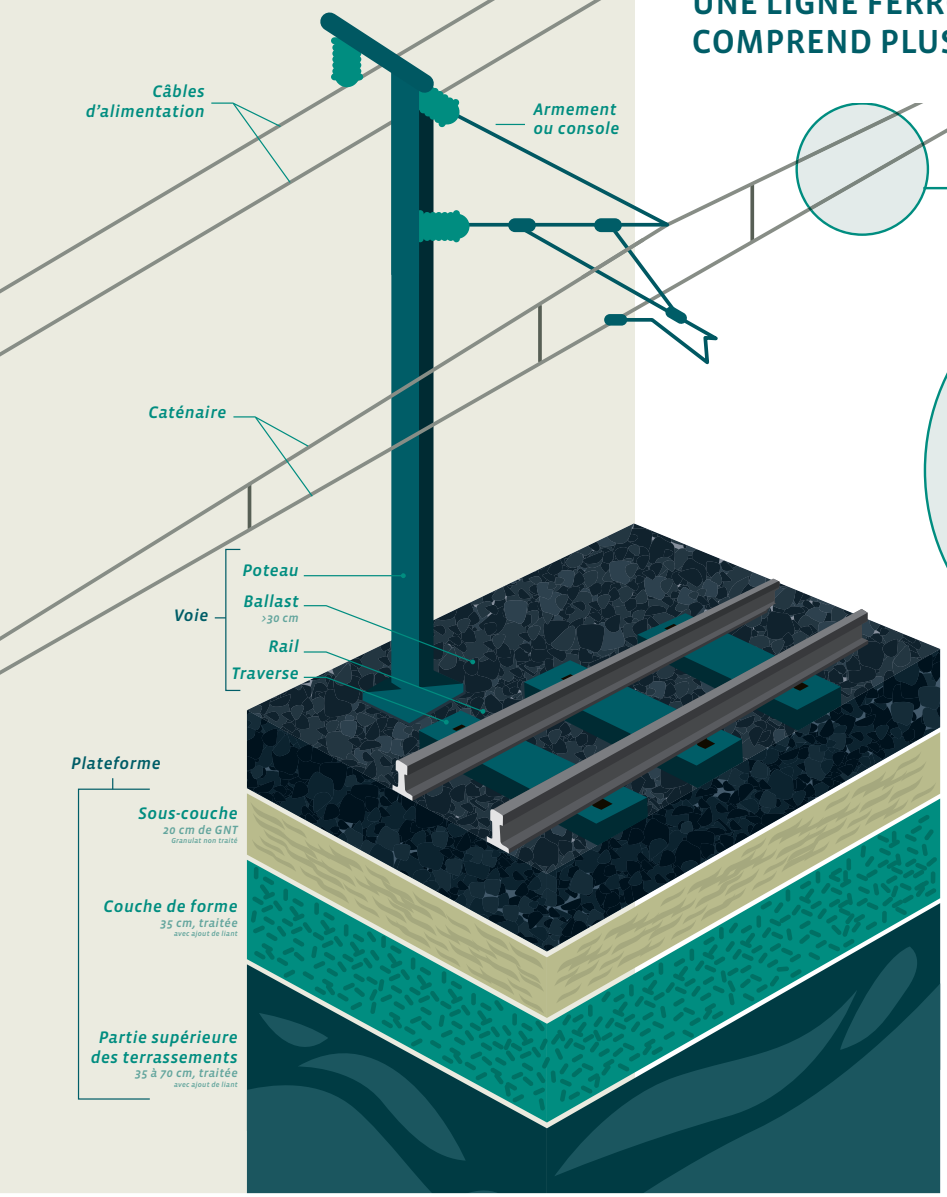
pour en savoir plus

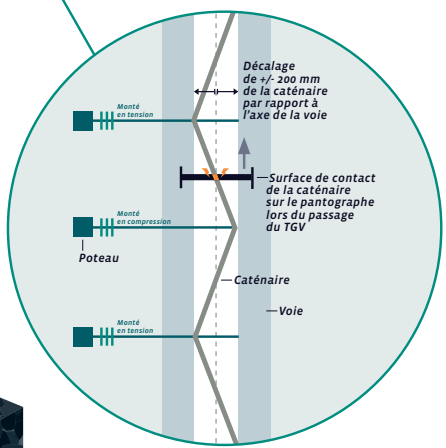
L'interconnexion des réseaux ferroviaires européens pose des problèmes d'alimentation électrique car la caténaire ne fournit pas la même tension dans toute l'Europe. Des trains comme le Thalys ou l'Eurostar sont équipés pour passer d'un type de courant à un autre, suivant le réseau emprunté.

anatomie d'une LGV

Pour faire circuler les TGV à 320 km/h, les voies doivent être spécifiquement aménagées. Plateforme, rails, caténaires, tout doit être dimensionné pour supporter des contraintes liées à la grande vitesse.

UNE LIGNE FERROVIAIRE COMPREND PLUSIEURS ÉLÉMENTS





sur les lignes à grande vitesse

Des frottements intenses existent entre la caténaire et les pantographes au passage du train. Une onde mécanique est alors engendrée. Le TGV doit circuler à une vitesse inférieure à la vitesse de cette onde (max 600 km/h) pour maintenir le contact électrique.

La caténaire est fixée en zigzag par rapport à l'axe de la voie. Ceci permet de limiter l'usure des pantographes qui frotteraient sans cela toujours au même endroit (le fil de contact agissant alors comme une véritable scie).

pour en savoir plus

La sous-couche d'une ligne ferroviaire peut être de type différent.

Ligne CLASSIQUE

GRANULAIRE - *25 cm d'épaisseur*

ligne LGV Bretagne Pays de Loire

GRAVE BITUME - *12 cm d'épaisseur*
Première fois que ce type de sous-couche est posé sur une telle distance.

le ballast, un atout pour stabiliser les TGV !

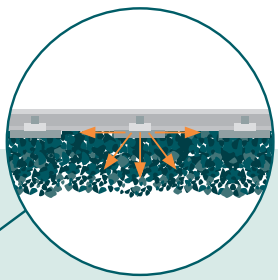
Pour stabiliser une voie où passent des trains pesant de 400 à 800 t, on utilise une couche de cailloux appelée ballast. C'est une méthode efficace même pour des rames qui circulent à 320 km/h !

LE BALLAST

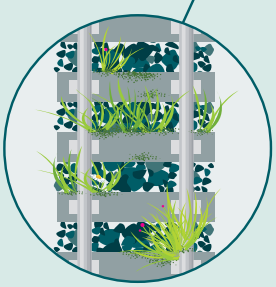
Lit de pierres concassées (diamètre de 2,5 à 5 cm), qui se trouve placé sous les traverses et les rails en couche de 30 cm d'épaisseur.

Lors de l'entretien des voies, il est régulièrement contrôlé et remplacé assez aisément.

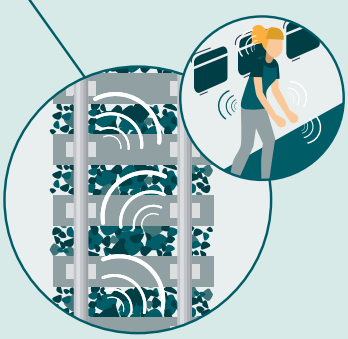
CETTE ACCUMULATION DE CAILLOUX PRÉSENTE DES PROPRIÉTÉS TRÈS UTILES



étalement de la pression au passage du train
par la distribution des forces verticales dans toutes les directions



développement des végétaux ralenti
Milieu non favorable à la pousse



atténuation du bruit par absorption et réduction des vibrations
par tassement des grains de ballast

pour en savoir plus

Il est possible de poser la voie sur une dalle de béton au lieu de la poser sur ballast. Plus coûteux en investissement, cette option se révèle plus économique pour l'entretien. Toutefois, la circulation est plus bruyante aussi.

Chine et Japon
Dans ces deux pays par exemple, les rails des trains à grandes vitesse sont posés sur une dalle en béton.

espace des sciences

défi 2

construire une ligne à grande vitesse

Le premier voyage commercial est précédé de nombreuses étapes, notamment : conception, instruction publique, travaux de construction impressionnants, tests, homologation.

1 le tracé

Après études cartographiques, une première emprise est projetée. Des analyses économiques, géologiques, écologiques… sont réalisées et la concertation avec les populations concernées est mise en œuvre.

Au bout de ce très long processus, le tracé définitif est arrêté.

2 les fouilles archéologiques

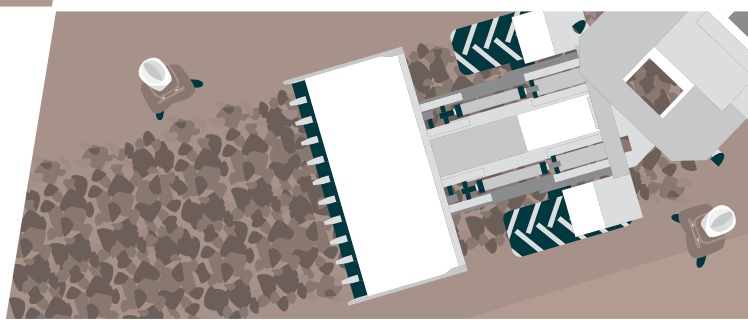
Les chercheurs de l'institut national de recherches archéologiques préventives (INRAP) procèdent sur le tracé à des fouilles sur les sites considérés comme importants.

Tous les éléments remarquables sont répertoriés.

3 le terrassement

Il faut modeler le tracé en déblais et remblais, constituer la couche et la sous-couche de forme…

L'objectif principal est de limiter les mouvements de terre et les ouvrages d'art (ponts, tunnels…).



4 la voie

Le préballastage est réalisé, suivi de la pose des traverses et des voies. Les techniciens effectuent ensuite le ballastage, la pose des caténaires reliées aux sous stations électriques (tous les 60 km) ainsi que celle des dispositifs de signalisation.

L'ouverture au trafic commercial est effective après homologation de la ligne.

pour en savoir plus

Le projet LGV Bretagne, Pays de Loire en quelques chiffres

182 Km de ligne créée	**117** Pont-routes	**110** Pont-rails	**11** Viaducs	**7** Tranchées couvertes	**4** Franchissements d'autoroute	**9 000** Supports caténaires	**3 000** Km d'artères câblées	**1,6 million** De tonnes de ballast mis en place

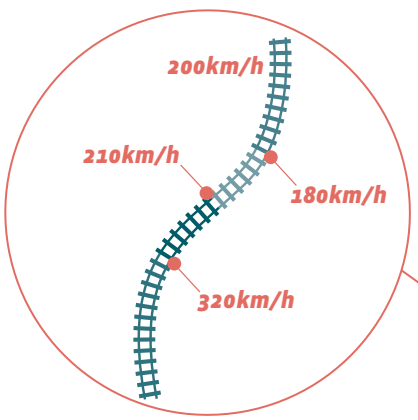
une conduite très contrôlée !

Un ensemble de dispositifs de contrôle sophistiqués à bord des trains et sur les voies, permet à une rame TGV de circuler en toute sécurité.

UNE SIGNALISATION EN CABINE

Le conducteur reçoit des informations directement sur son pupitre de commande grâce à une batterie de capteurs placés sur la rame et sur les voies :

DÉTECTION DE CHUTE DE VÉHICULE SUR LA VOIE, MESURE DE LA TEMPÉRATURE DES BOÎTES D'ESSIEUX, DÉTECTION DE LA PRÉSENCE DE GIVRE ET DE VERGLAS, MESURE DE LA VITESSE DU VENT…



vitesse maximale autorisée

Les TGV circulent sur des lignes découpées en cantons. Avant l'entrée de chaque canton, la vitesse à respecter est affichée en cabine de conduite.

Le non respect de cette consigne déclenche une séquence de freinage d'urgence.

pour en savoir plus

Dans les trains classiques, chaque véhicule (locomotive ou voiture à voyageurs ou wagon) est supporté par deux bogies. Sur les TGV, les bogies sont situés non pas sous mais entre les véhicules. Cela lui confère une rigidité qui évite sa mise en accordéon en cas de déraillement.

train CLASSIQUE

Risque d'effet accordéon lors d'un accident.

TGV plus rigide

Les remorques sont solidarisées entre elles par les bogies.

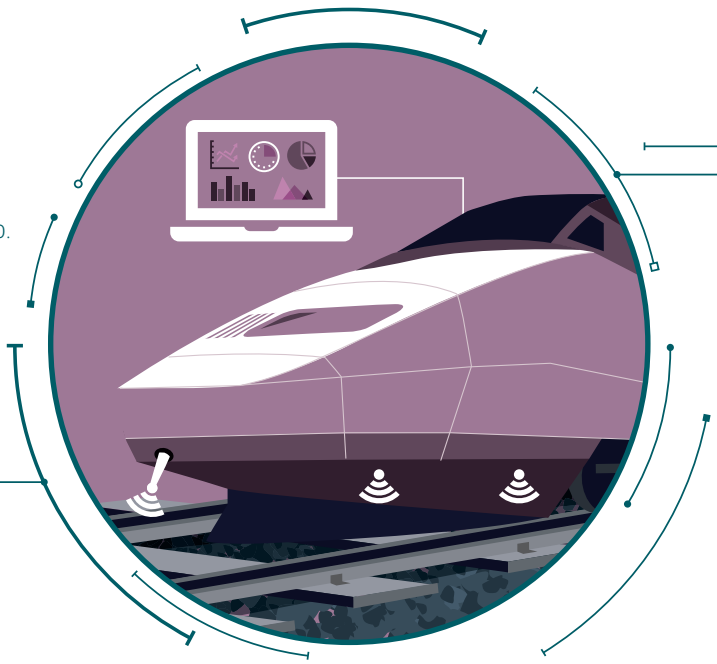
défi 3

des voies et des matériels bien entretenus !

La sécurité du transport ferroviaire à grande vitesse passe par un entretien des trains et une surveillance des voies permanente. Des techniciens et des matériels très spécialisés sont mobilisés pour assurer ces tâches essentielles.

LA SÉCURITÉ DES VOYAGEURS NE PEUT ÊTRE ASSURÉE QUE SI LES MATÉRIELS ET LES VOIES SONT PARFAITEMENT ENTRETENUS

En ce qui concerne les voies, la SNCF dispose d'un équipement dédié au contôle : la rame Iris 320. Le matériel roulant, lui, fait l'objet de nombreux contrôles de routine : observations en service, vérification régulière de sécurité, remplacement des pièces d'usure, visites périodiques préventives, révision des organes complexes...

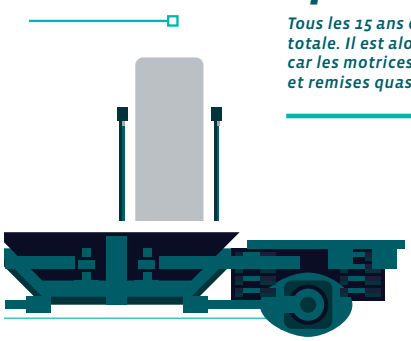


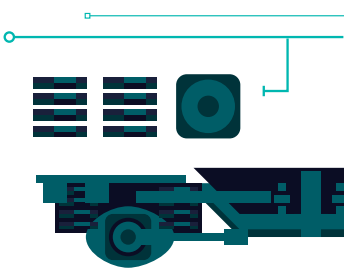
rame Iris 320

Dotée de 150 capteurs et de 20 caméras, Iris circule à 320 km/h sur le réseau à grande vitesse pour analyser en temps réel l'état des voies. Les informations recueillies par ce train sont transmises directement aux équipes de maintenance qui peuvent ainsi programmer les interventions à réaliser.

opération de mi-vie

Tous les 15 ans environ, les rames TGV font l'objet d'une révision totale. Il est alors nécessaire de les immobiliser pendant 3 à 4 mois car les motrices et les remorques sont démontées, inspectées et remises quasiment à neuf.





pour en savoir plus

Pour éviter que des animaux soient heurtés par des trains, SNCF a mis en place plusieurs mesures.

des battues

Des gardes-chasse sont recrutés pour surveiller les abords des voies LGV. Parmi leurs missions : repousser le gibier en organisant des battues.

défenses physiques

Les clôtures aux abords des voies sont renforcées et des opérations de débroussaillage sont menées pour empêcher que des animaux y pénètrent.

éblouissements

Des dispositifs en expérimentation appelés « catadioptres » sont posés sur les poteaux caténaires en guise d'expérimentation. Ils visent à effrayer le gibier en réfléchissant la lumière des phares des trains.

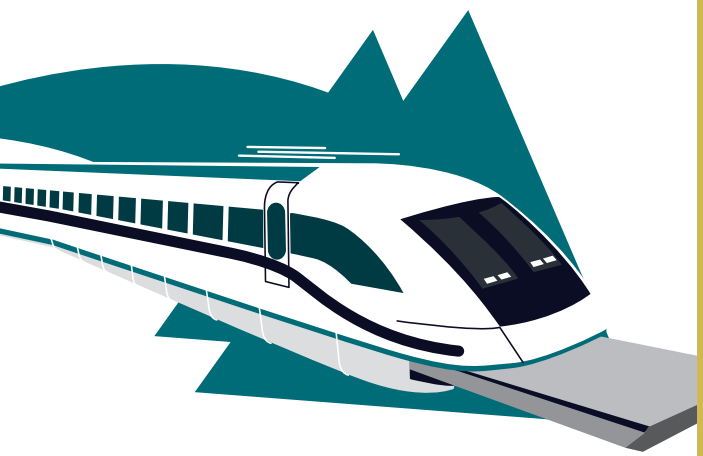
répulsifs

Un produit répulsif est testé depuis 2012 aux abords des voies.

source : http://www.sncf.com/fr/reportages/animaux-voies

quel avenir pour la grande vitesse ?

Deux orientations sont possibles en matière de transport ferroviaire pour l'avenir : concevoir de nouvelles technologies (Maglev, Hyperloop) ou perfectionner l'existant. La consommation d'énergie et l'impact environnemental des projets futurs sont devenus des enjeux majeurs.



TOUJOURS PLUS VITE...

Rouler à plus de 600 km/h dans un train à sustentation magnétique ou être transporté à plus de 1 000 km/h dans un tube sous vide (Hyperloop) sont des objectifs qui paraissent incroyables.

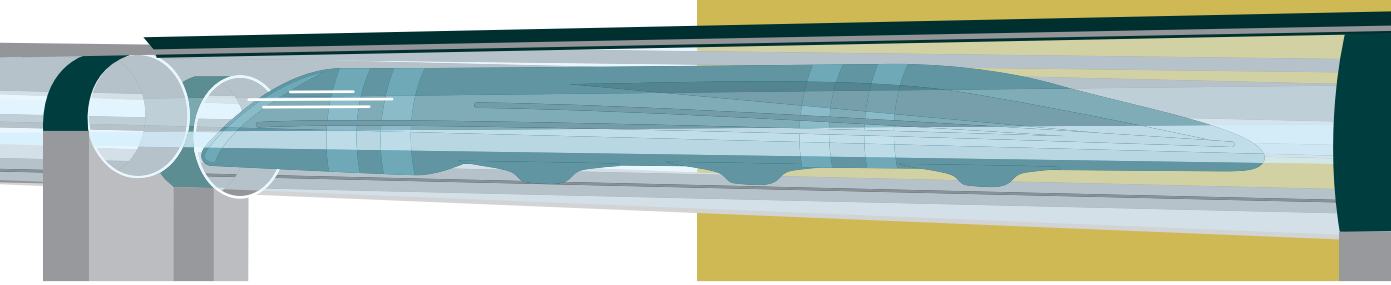
Pour autant, il convient de ne pas sous-estimer les innovations que le XXI[ème] siècle nous réserve.

objectif économique

En France, la SNCF n'envisage pas d'augmenter la vitesse de circulation des trains, mais plutôt de développer le réseau à grande vitesse, d'améliorer sa rentabilité économique notamment grâce à des trains transportant encore plus de voyageurs et de diminuer la consommation en énergie.

objectif écologique

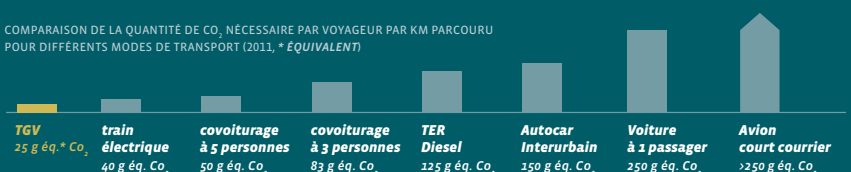
L'opérateur Eurostar a adopté en 2007 une démarche de réduction de son bilan carbone pourtant déjà très limité (6,6 kg de CO2 pour un voyage aller-retour Londres-Paris contre 106 kg pour un trajet équivalent en avion).



pour en savoir plus

Dans un avenir proche, le train restera probablement une solution intéressante pour le transport de passagers compte tenu de son faible bilan carbone en comparaison de la voiture, du car et de l'avion.

COMPARAISON DE LA QUANTITÉ DE CO_2 NÉCESSAIRE PAR VOYAGEUR PAR KM PARCOURU POUR DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORT (2011, ** ÉQUIVALENT*)



source : Objectif Carbone