

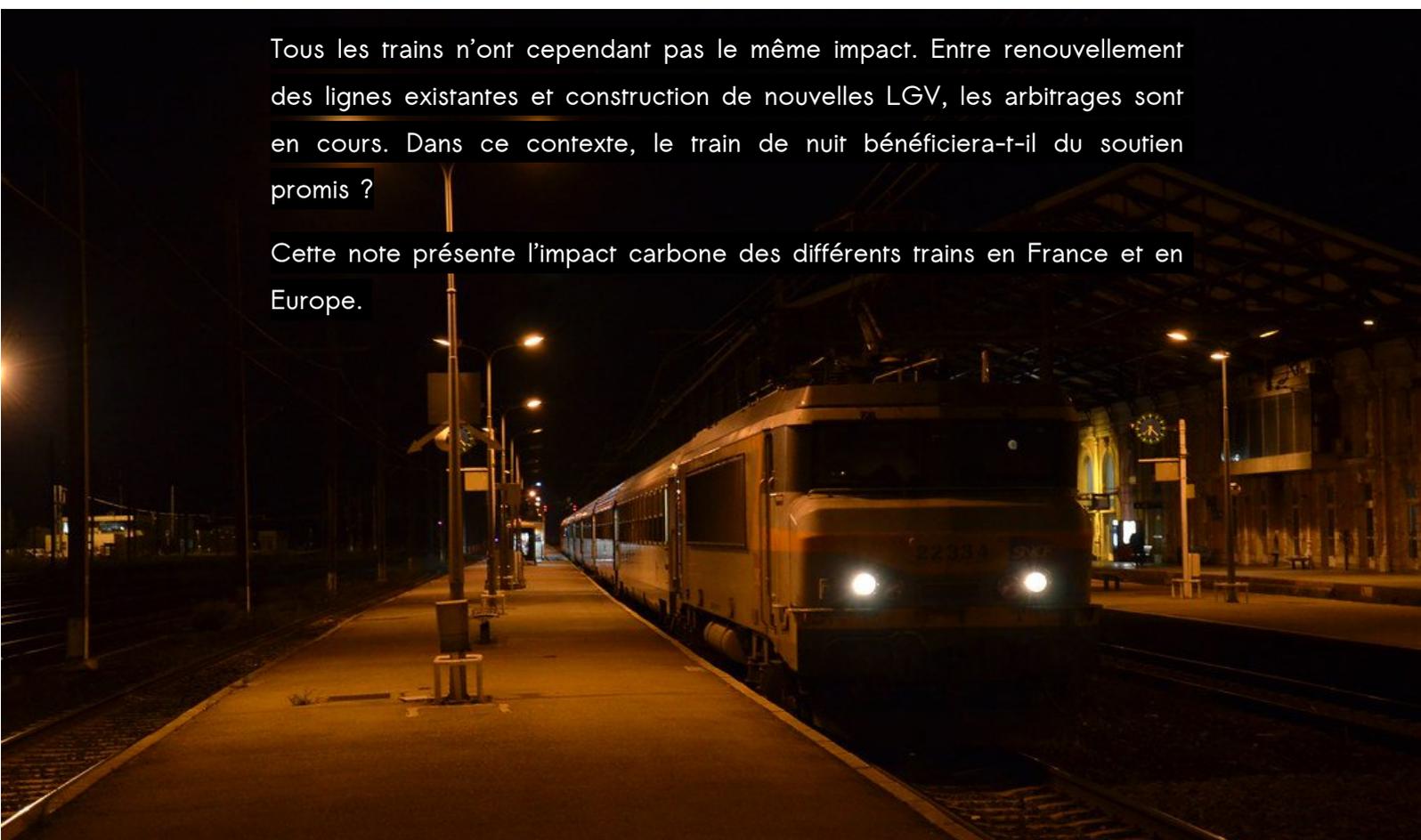
TRAINS DE NUIT VS TGV, QUELS IMPACTS CARBONE ?

Autoroutes, aéroports, lignes à grande vitesse (LGV)... Nous sommes à l'heure des choix des infrastructures qui permettront ou non d'atteindre les objectifs de l'accord de Paris.

Sur un trajet de 1 000 km, l'impact carbone est inférieur à 20 kgCO₂ en train, et supérieur à 200 kgCO₂ en voiture ou en avion. Ces 200 kgCO₂ représentent 10% du budget carbone annuel dont nous disposerons chacun en 2050.

Tous les trains n'ont cependant pas le même impact. Entre renouvellement des lignes existantes et construction de nouvelles LGV, les arbitrages sont en cours. Dans ce contexte, le train de nuit bénéficiera-t-il du soutien promis ?

Cette note présente l'impact carbone des différents trains en France et en Europe.



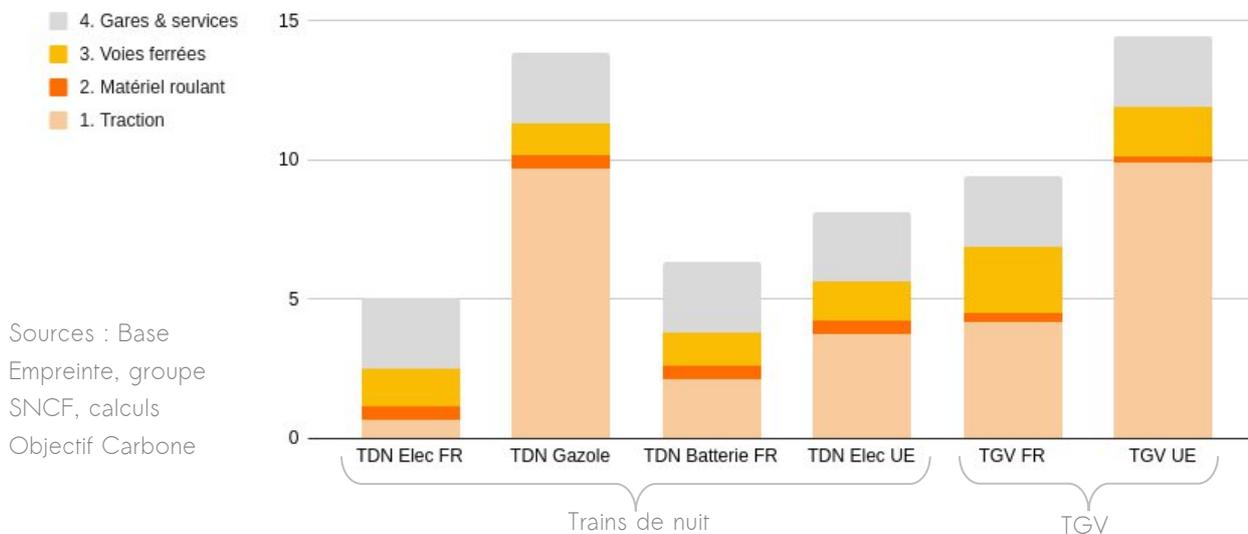
NOTE : Dans ce document, les résultats sont exprimés par « voy.km », ce qui signifie pour 1 voyageur parcourant 1 km.

SYNTHÈSE

La communication grand public des acteurs de transport sous-estime souvent l'impact carbone. Par exemple, les véhicules dits « 0 émission » oublient la fabrication du véhicule, de sa batterie et de l'électricité. Pour le train, les chiffres avancés ne comprennent souvent que l'énergie de traction. Or pour le ferroviaire, l'infrastructure peut avoir un poids carbone important. Pour l'avion, l'impact des traînées de condensation n'est généralement pas pris en compte au motif que le protocole de Kyoto ne les avait pas prévues, alors même que globalement, elles doublent le forçage radiatif induit par la seule consommation de kérosène.

Cette note présente l'impact carbone des trains en France et en Europe susceptibles d'offrir une alternative à l'avion sur les distances de 1 000 à 1 500 km, dans une approche globale, intégrant énergie de traction, matériel roulant et infrastructures (voies et gares).

Impact carbone des différents trains (en gCO₂/voy.km)



L'impact carbone d'un trajet en train varie du simple au triple¹. En train de nuit, l'impact carbone pour 1 voyageur parcourant 1 kilomètre (voy.km) est d'environ 5 gCO₂ contre 10 gCO₂ en TGV. Cette différence provient surtout du fait que l'électricité utilisée de nuit a un contenu carbone émis très faible.

Les émissions des Gares & services sont probablement surestimées, mais ce poste va se décarboner assez rapidement dans les années à venir, en particulier avec la suppression du gaz comme énergie de chauffage. A l'inverse, les postes voies et énergie de traction seront plus difficiles à décarboner. Lorsque le train de nuit roule sur une portion non électrifiée et fonctionne au gazole, l'impact carbone est d'environ 15 gCO₂/voy.km. La décarbonation sur les voies non électrifiées passera par des locomotives bimodes à batterie complétée par une électrification - au moins partielle - des voies ferrées.

¹ Cette note n'aborde pas la question des trains régionaux et des voies secondaires pour lesquelles nous avons rédigé une note spécifique :

http://www.objectifcarbone.org/wp-content/uploads/2021/03/Objectif_Carbone_Note_ferroviaire.pdf

LE CONTEXTE

« *Le train de nuit permet d'aller plus loin, entre 1 000 et 1 500 km* »

Le TGV a fait ses preuves entre les grandes métropoles distantes de 500 km à 750 km (2 à 3 heures de temps de trajet). Il permet sur ces distances d'absorber une part importante du trafic aérien. Ce sera encore plus le cas quand la fiscalité sera équilibrée entre les différents modes de transport.

Le débat reste à mener sur les temps de trajet supérieurs à 3 heures (au-delà de 750 km). Pour l'utilisateur, au-delà de 3 ou 4 heures de trajet, le train de jour ne permet pas d'arriver à destination tôt le matin, ni de repartir en soirée. Ce que permet, à l'inverse, le train de nuit. **En ce sens, la « lenteur » est un avantage.** Le PDG de la SNCF Jean-Pierre Farandou a même confirmé : « le train de nuit permet d'aller plus loin, entre 1 000 et 1 500 km [...] C'est vraiment une très bonne idée de faire une longue distance pendant qu'on dort pour arriver le matin à destination. »

L'heure des choix pour le ferroviaire voyageur longues distances

L'enjeu est d'autant plus grand que des investissements importants se dessinent avec des choix à débattre entre prioriser les nouvelles liaisons TGV, améliorer le réseau ferré existant ou encore constituer une flotte de trains de nuit... sachant que prioriser l'un risque de laisser l'autre sans financement.

L'UE subventionne déjà fortement la construction de LGV. Un lobbying intense vise à obtenir le financement public de 550 Milliards d'euros (Md€) par l'UE pour un nouveau réseau TGV. Au même moment, le parlement européen a poussé la Commission à lancer un plan pour les trains de nuit... mais qui est resté sans financement. L'UE refuse pour l'instant de financer les trains de nuit, ni pour le matériel roulant ni pour l'exploitation. Elle limite aussi la possibilité pour les États membres de financer les trains de nuit via des contrats de service public, tout particulièrement sur la partie hors territoire national des liaisons internationales. **L'UE semble donc pour l'instant promouvoir davantage la grande vitesse au détriment du train de nuit.**

Au niveau national, l'État prévoit de cofinancer 14 Md€ pour la LGV Bordeaux-Toulouse et 30 Md€ pour Lyon-Turin, et tergiverse pour investir une somme bien moindre, de l'ordre de 2 Md€, pour relancer 20 à 30 lignes de trains de nuit qui permettraient de créer un réseau maillé pour relier les régions les unes aux autres et les connecter avec les pays voisins.

Éclairer le débat pour préparer le ferroviaire à l'horizon 2035

Il s'agit donc de comparer les deux mobilités sur des distances d'environ 1 000 km, typiquement sur les corridors principaux, par exemple Paris-Barcelone, Bruxelles-Marseille où le TGV et le train de nuit pourraient circuler conjointement. Le train de nuit a en plus la capacité de desservir les axes secondaires. Le ferroviaire se conçoit au moins 10 ans à l'avance, la prospective proposée ici vise à éclairer les choix pour une mise en service des infrastructures et des trains à l'horizon 2035.

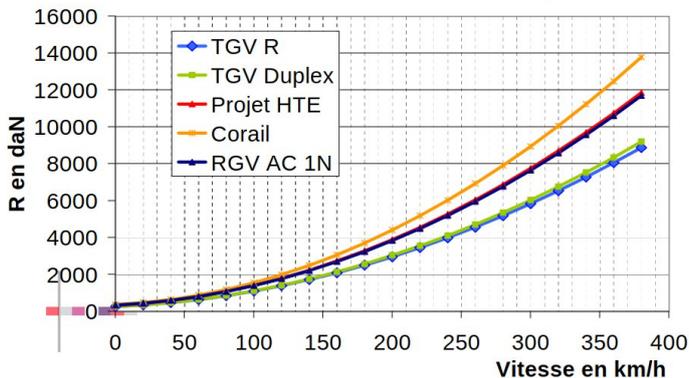
1. LA TRACTION

Sauf pour le train de nuit (sur ligne électrifiée), la traction est le principal poste d'émission de gaz à effet de serre. En France, la traction représente environ 40% de l'impact carbone pour le TGV et moins de 10 % pour le train de nuit.

Plus les trains roulent vite, plus la consommation par km est élevée

La résistance à l'avancement est 5 fois supérieure à 300 km/h qu'à 100 km/h. Cette résistance n'est toutefois pas la seule variable de la consommation, qui dépend également entre autre de la linéarité du parcours ou de la continuité du trajet (nombre d'arrêts). Le train de nuit s'arrête, y compris pour des raisons techniques, en effet bien plus souvent que le TGV. Nous avons ainsi retenu une consommation moyenne de 10 kWh/km pour le train de nuit et de 20 kWh/km pour le TGV.

Résistance à l'avancement pour les différents trains selon leur vitesse



Résistance (R) exprimée en daN (déca-Newton).

Source : Documents SNCF, Olivier BRUN

<http://proxy.siteo.com.s3.amazonaws.com/aste.siteo.com/file/astelab.pdf>

La résistance à l'avancement (RAV) est de 6 000 daN pour le TGV à 300 km/h contre environ 1 200 daN à 100 km/h, soit 5 fois plus.

En France, le train de nuit bénéficie d'une électricité très bas carbone

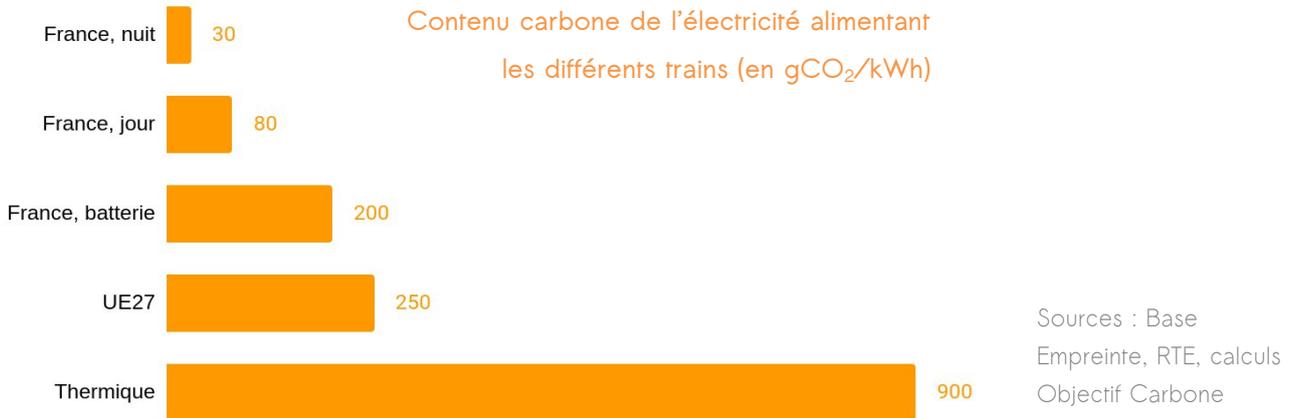
En France, la nuit, l'électricité est principalement produite par les centrales nucléaires, les parcs éoliens et l'hydroélectricité au fil de l'eau (fluviale). **Le contenu carbone de l'électricité nocturne est par conséquent très faible**, nous avons retenu 30 gCO₂/kWh, contre 80 gCO₂/kWh en moyenne.

En Europe, le mix de production d'électricité repose davantage sur les énergies fossiles (gaz, fioul et charbon). Nous avons retenu la moyenne de 250 gCO₂/kWh. Le mix est toutefois très différent selon les pays. Le contenu carbone du kWh en UE 27 a été divisé par 2 en 30 ans et devrait se rapprocher des 100 gCO₂/kWh d'ici 2035.

Sur les lignes non-électrifiées, les locomotives fonctionnent pour l'instant au gazole. Dans ce cas de figure, l'impact carbone du kWh d'énergie mécanique avoisine 900 gCO₂. Pour ces lignes secondaires, le remplacement des motorisations diesel par locomotives bimodes caténaire-batteries est une solution qui permet de diviser par 4 ou 5 l'impact carbone du kWh, y compris en intégrant la fabrication des batteries ².

² Note technique précédente, Mars 2021 - Ferroviaire : les batteries une solution pour sauver les petites lignes

A noter : l'autonomie des trains à batterie étant limité (80 km pour les TER retrofités, par exemple), il sera important de continuer l'électrification du réseau ferré, au moins partielle (les tunnels et pont plus difficiles à électrifier peuvent ainsi être franchis sur batterie). L'électrification partielle sera bénéfique pour toutes les circulations (TER, Intercités, fret, train de chantiers, etc).



Le prix d'une batterie de 4 000 kWh permettant de parcourir des portions d'itinéraires non électrifiées de 250 km en pente ascendante (16 kWh/train.km) est d'environ 800 000 € (sur la base de 200 €/kWh couramment admis dans l'industrie automobile). Cette somme est à mettre en perspective avec les 3 M€ que coûte une locomotive thermique pour lequel les coûts de fonctionnement (gazole et entretien) sont largement plus élevés que pour une motrice à batterie. De plus, le trajet descendant permet une récupération d'énergie.

2. LE MATÉRIEL ROULANT

L'impact carbone du matériel roulant représente la fabrication des rames et des locomotives. Les rames Intercité de nuit sont vieillissantes par rapport aux rames TGV. Elles sont amorties d'un point de vue comptable, et on pourrait aussi dire d'un point de vue carbone. Cependant, pour la prospective à l'horizon 2035, nous intégrons la fabrication de nouvelles rames de train de nuit et par conséquent les comptabilisons de la même manière que les rames TGV.

Le TGV parcourt 2,5 fois plus de distance dans la journée

Les TGV Ouigo sont utilisés de manière intensive 13 heures par jour, contre, à l'origine, 8 heures par jour pour les TGV Inoui. Sur une distance de 1 000 km, un TGV peut donc réaliser 2 à 3 trajets dans une journée. Sur le trajet Paris-Barcelone (6,5 h actuellement, avec une réduction potentielle à 5,5 h à l'avenir), ou sur Paris-Nice (5,5 h actuellement), le TGV fait un aller-retour dans la journée (en incluant les temps de nettoyage). Sur 1 500 km, le TGV risque de ne réaliser qu'un aller simple par jour. Le train de nuit réalise dans tous les cas un aller simple dans la journée. **Nous considérons qu'un TGV peut donc faire 2,5 fois plus de parcours dans la journée qu'un train de nuit.**

La durée de vie du matériel roulant

Les trains de nuit sont composés de rames tractées. Lorsqu'une voiture est endommagée, elle est séparée de la rame, cette dernière n'étant pas entièrement retirée de la circulation. Les rames tractées permettent notamment de changer facilement la locomotive en cas d'évolution de la motorisation.

A l'inverse, les rames automotrices (dont le futur TGV M) disposent de motorisations réparties sur l'ensemble des voitures. Le rétrofit ou la rénovation deviennent alors moins pertinents par exemple quand les rames ont déjà largement dépassé la mi-vie estimée (15 ans).

Les avantages de la configuration en rames tractées aident à atteindre une durée de vie plus longue. Certains trains de nuit Corail dépassent les 45 ans. En comparaison, les rames indéformables sont plutôt prévues pour une durée de vie de 30 ans. Certains TGV de 1^{ère} génération ont parcouru 15 millions de km, sur une durée de vie moyenne de 34 ans. Ceux de 2^{ème} génération ont été retirés de la circulation après 28 ans en moyenne. **Nous retenons qu'un train de nuit a une durée de vie 1,3 fois plus longue qu'un TGV.**

Impact carbone par nombre de passagers transportés

En tenant compte des deux variables précédentes, le **nombre de trajets sur la durée de vie du matériel est ainsi 2 fois plus élevé pour les TGV** que pour le train de nuit. Nous avons retenu une moyenne de 5,5 tCO₂ par tonne de matériel. Nous avons ensuite ramené ces émissions au nombre de passagers transportés sur sa durée de vie. **Les émissions du matériel roulant sont d'environ 0,5 gCO₂/voy.km pour un train de nuit et de 0,3 gCO₂/voy.km pour un TGV.**

Le taux de remplissage retenu est de 65 % pour tous les trains, comme expliqué en fin de note.

3. LES VOIES FERRÉES

Les coûts d'entretien réseau reflétés dans les redevances de circulation

L'impact carbone des voies ferrées représente l'entretien et le renouvellement des lignes. Cet impact carbone repose sur l'usure de l'infrastructure (notamment liée à la masse des trains, à leur nombre et à leur vitesse) ramenée à la fréquentation des lignes.

- La redevance circulation (RC), qui recouvre la somme des coûts marginaux d'entretien, d'exploitation et de renouvellement des voies (hors installations électriques). La RC est applicable à tous les convois pour leur circulation sur les voies et est différenciée pour les lignes classiques et à grande vitesse ;
- La redevance circulation électrique (RCE), qui recouvre la somme des coûts marginaux d'entretien et de renouvellement des installations électriques, est applicable aux convois à traction électrique pour leur circulation sur ces voies ³.

Nous avons considéré que ces redevances de circulations reflètent la réalité des dépenses de d'entretien et de renouvellement des voies pour l'opérateur du réseau. En 2021, le bilan des émissions de gaz à effet serre de SNCF Réseau était de 1,4 million de tCO₂e pour un chiffre d'affaires de 7 Md€, soit une intensité carbone de l'activité de 200 tCO₂/M€, constituée à 80% par les intrants, autrement dit par les matériaux ⁴. **L'impact carbone pour l'entretien et le renouvellement des voies est ainsi estimé à partir de montants des redevances à 1,5 gCO₂/voy.km pour le train de nuit et à 2,5 gCO₂ pour le TGV (sur LGV).**

L'impact carbone d'une LGV ne se justifie que sur les axes à fort trafic

D'après nos études de chantier de LGV, l'impact carbone de la construction d'une ligne à grande vitesse est d'environ 7 000 tCO₂ par kilomètre, dont la moitié liée au terrassement ⁵. Pour une durée de vie de 50 ans et une fréquence de 50 trains par jour, cela représente environ 20 gCO₂/voy.km. La construction d'une LGV peut se justifier dès lors qu'elle propose une mobilité inférieure à 30 gCO₂/km, qui est compatible avec les enjeux de la transition et un budget carbone individuel à 2 tCO₂e par an (30 gCO₂/km sur une base de 12 000 km est égal à 360 kgCO₂/an) ⁶. Cela impose un niveau de trafic minimal d'au moins 35 trains de 1 000 places par jour. Un tel trafic est atteignable uniquement sur les corridors principaux entre très grandes métropoles.

Sur les autres axes, les solutions de type Intercités de nuit ou de jour, sont donc à mettre en avant.

³ Source : Document de Référence Réseau : <https://www.sncf-reseau.com/fr/guide-document-reference-reseau-2023>

⁴ Bilan des émissions de gaz à effet serre réglementaire de SNCF Réseau de l'année 2021, accessible depuis le site de l'ADEME : <https://bilans-ges.ademe.fr/>

⁵ Bilan Carbone de la ligne à grande vitesse Bretagne Pays de la Loire (2012) :

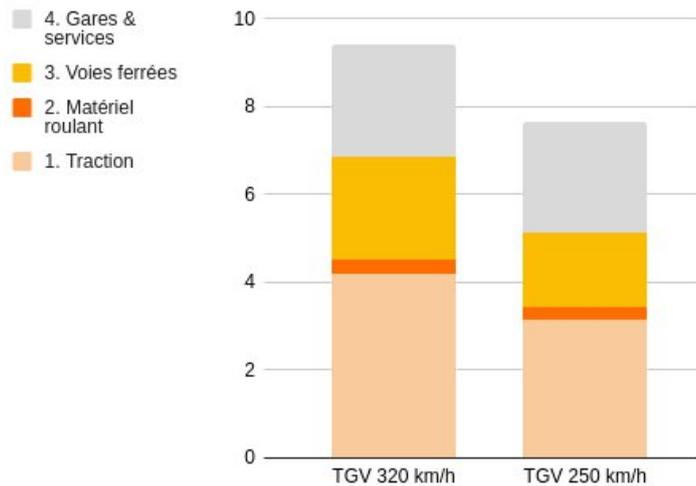
<https://www.lgvbpl.com/files/live/sites/lgvbpl/files/Publications/Bilan%20carbone/Bilan%20Carbone%202012.pdf>

⁶ Livre Blanc Objectif Carbone - Mai 2020 : http://www.objectifcarbone.org/wp-content/uploads/2020/05/OC_LivreBlanc_Mai2020.pdf

Diminuer la vitesse d'exploitation réduit significativement les coûts financiers et carbone de l'entretien des voies

- Au-delà de la baisse de la consommation énergétique de la traction (voir Partie 1), diminuer la vitesse d'exploitation réduit significativement les dépenses d'entretien. Ainsi, plusieurs pays s'engagent vers une diminution de la vitesse, c'est notamment le cas de la Suisse ⁷, de l'Allemagne ou de l'Autriche. Il y a une dizaine d'années, la Chine avait fait de même ⁸ avant de revenir en arrière face à son succès économique permettant de financer des coûts d'entretien de réseau élevés.
- Le gain carbone est difficilement chiffrable. En réduisant la vitesse de 320 à 250 km/h et en faisant l'hypothèse que les redevance de circulation de la LGV descendraient au niveau de celles des lignes classiques, le contenu carbone du TGV passerait de 9,4 gCO₂/voy.km à 7,7 gCO₂ soit une baisse de 20%.

Impact carbone du TGV selon la vitesse d'exploitation (en gCO₂/voy.km)



4. GARES & SERVICES

Pour tous les trains, nous avons appliqué un forfait de 2,5 gCO₂/voy.km pour émissions des gares et des services. Ces émissions couvrent essentiellement les consommations de chauffage et d'électricité des gares, des techni-centres et de bâtiments de la SNCF. Nous avons divisé les émissions des bâtiments SNCF et ses filiales en France, qui sont de 254 ktCO₂ en 2022 (scope 1, 2 et 3) par 100 milliards de voy.km ⁹.

⁷ <https://www.rsi.ch/info/svizzera/Treni-pi%C3%B9-lenti-per-risparmiare-energia--1800026.html>

⁸ <https://www.lesechos.fr/2011/04/la-chine-decide-de-reduire-la-vitesse-de-ses-tgv-391501>

⁹ Rapport annuel financier 2022, Groupe SNCF :

https://medias.sncf.com/sncfcom/finances/Publications_Groupe/rapport-financier-annuel-2022-groupe-sncf.pdf

CONCLUSION

L'impact carbone d'un trajet en train en Europe varie du simple au triple. En France, le train de nuit a un impact carbone pour 1 voyageur parcourant 1 kilomètre (voy.km) d'environ 5 gCO₂ contre 10 gCO₂ en TGV. De ce constat, nous pouvons tirer des conclusions concernant les futurs investissements dans le ferroviaire, en distinguant 4 cas de figure :

1. **les trajets sur des lignes d'aménagement du territoire**, comme par exemple Paris-Rodez/Latour de Carol. Outre le coût économique rédhibitoire dans ces régions souvent montagneuses, **la construction de LGV sur ces trajets ne trouverait pas sa rentabilité économique ni écologique**. Le train de nuit est donc l'option réaliste et la moins émettrice de CO₂, même en cas de traction partiellement gazole. L'arrivée des tractions bimodes batterie-caténaire permettra d'améliorer encore le bilan.
2. **les trajets entre les principales métropoles**, où la fréquentation est élevée et où les voies ferrées sont électrifiées. Dans ce cas aussi le train de nuit offre un meilleur bilan carbone que la grande vitesse. **Le train de nuit serait donc à déployer en priorité sur les itinéraires possibles (tout particulièrement au-delà des 750 km) sans attendre la construction de nouvelles infrastructures**. Plus rapide à mettre en œuvre, la solution train de nuit évite aussi l'artificialisation des sols grâce à l'utilisation du réseau existant.
3. **les trajets entre métropoles secondaires**. Le bilan est d'autant plus favorable au train de nuit que la construction de nouvelles infrastructures à LGV a un impact d'environ 7 000 tCO₂/km.
4. **pour l'international**, la combinaison du train de nuit avec les réseaux TGV grande vitesse permettrait un report modal depuis l'aérien probablement substantiel. Ainsi le trajet Paris – Casablanca en train et ferry qui demande aujourd'hui 2 jours et une nuit à l'hôtel, passerait à 24h avec un train de nuit Paris-Madrid. Ainsi l'ensemble des liaisons de 1 500 km à 2 500 km, par exemple Bruxelles-Lisbonne, seraient plus facilement réalisables en train par ceux qui recherchent une alternative en avion.

Partout où il peut trouver son public, en particulier pour les trajets de 750 km à 1 500 km, le train de nuit offre une solution moins carbonée que le TGV. Il serait donc à inscrire dans les priorités d'investissement et être lancé sans attendre, en amont des chantiers d'infrastructures à grande vitesse.

HYPOTHÈSES & APPROFONDISSEMENTS

Plus 40 % de capacité pour les TGV comparée aux trains de nuit

Il existe une large variété de compositions de trains en France et en Europe. En France, on trouve des TGV à deux étages « Duplex » de 16 voitures à 1 020 places et des trains de nuit jusqu'à 16 voitures avec une capacité de 876 places ¹⁰ : le TGV a un emport 16 % supérieur au train de nuit. Ailleurs en

¹⁰ Chaque voiture Corail transporte 60 passagers en couchette 2nde classe, 36 en couchette 1^{ère} classe et 76 en sièges inclinables.

Europe, l'opérateur ÖBB met en service des trains de nuit de 14 voitures avec 508 places et il existe un risque d'évoluer vers des trains de nuit peu capacitaires, mais aux services accrus. On notera ici l'importance de maintenir des trains de nuit capacitaires, ce qui est d'autant plus pertinent, que, contrairement aux idées reçues, les couchettes à 6 places génèrent bien souvent davantage de chiffre d'affaires tout en transportant plus de voyageurs à « *petit prix* » que les couchettes à 4 places ou les comportements privés.

A l'opposé, ces dernières décennies, certaines configurations de TGV ont visé une augmentation de l'emport, avec en particulier la gamme *low cost* de TGV Ouigo, sans voiture bar, à 1 288 places et +20 % de capacité prévue sur le TGV M (1 480 places en configuration *low-cost*). Sur les trajets longs de 1 000 à 1 500 km, un niveau de confort supplémentaire sera cependant sans doute nécessaire pour réussir à attirer le public sur les trains de jour, ce qui amènerait plutôt à réduire leur capacité.

Le renouvellement des trains de nuit peut par ailleurs permettre d'augmenter aussi leur capacité, d'autant plus que pour l'instant les trains de nuit à deux étages sont encore peu déployés. Nous prenons comme hypothèse pour les scénarios prospectifs, un écart de capacité pour les TGV « 1 000 à 1 500 km » de 40 % supérieure par rapport aux des trains de nuit.

Des taux d'occupation de 65 % pour tous les trains

Les taux de remplissages influencent directement les calculs de CO₂ émis. Par exemple, le calculateur CO₂ SNCF affiche des résultats moins bons pour les trains de type Intercités de jour que pour les TGV car ces derniers roulent sur les axes principaux donc bénéficient d'une forte fréquentation, alors qu'une partie des Intercités circulent sur les axes secondaires moins fréquentés, car situés sur des territoires moins densément peuplés. La différence ne découle donc pas du type de train, mais bien du territoire parcouru. Il s'agit donc de comparer les types de trains toutes choses égales par ailleurs, sur une même liaison. Il ne s'agit donc pas ici de comparer les taux de remplissage actuels, qui dépendent beaucoup des territoires desservis, d'autant plus que beaucoup de trains de nuit ont pour destination des territoires peu peuplés : Rodez, Aurillac, Tarbes, Foix, Briançon.

Dans la décennie 2010 des taux d'occupation des TGV autour de 65 % étaient courants. En 2022, à cause du manque de matériel roulant, les taux d'occupation des TGV ont atteint 74 %. Ce niveau très élevé laisse de nombreux voyageurs sans solution lors des pointes de fréquentation. Les trains de nuit SNCF affichent eux aussi des taux d'occupation de 70 % pour 2022 et 2023. Nous retiendrons donc pour les scénarios prospectifs, un taux de remplissage unique de 65 % pour tous les types de trains.

Mode traction des trains en Europe

Pour permettre des comparaisons, 3 modes de traction sont étudiés pour les trains de nuit : électrique par caténaire (sur ligne électrifiée), gazole et bimode caténaire-batterie. Pour sa part le TGV est limité aux lignes électrifiées. Il est à noter que la dénomination « train de nuit gazole » correspond à des parcours réalisés 100 % en mode thermique. La partie gazole du Paris-Aurillac représente moins d'un cinquième du trajet, l'essentiel du parcours étant réalisé en traction électrique.

Le TdN Paris-Rodez/Latour-de-Carol/Portbou offre 876 places sur 16 voitures (soit une moyenne de 55 places par voiture).

Cette note a été co-rédigée par Damien et Olivier de l'équipe d'Objectif Carbone,
cabinet de conseil en stratégie énergie-climat.

Cette note a bénéficié des contributions du collectif Oui au Train de Nuit.

Une réaction, un commentaire, une précision : info@objectifcarbone.org



www.objectifcarbone.org

