



**Éléments relatifs à la comparaison
en matière d'émissions de CO2
entre les modes de transports aérien et ferroviaire**

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	3
1. La prise en compte du mix énergétique français	4
2. La prise en compte du mix énergétique hors des frontières françaises	5
3. la prise en compte des distances parcourues	6
4. l'inclusion des infrastructures dans le bilan carbone des modes de transport.....	8
5. Les effets non-CO2 du transport aérien.....	9
6. les innovations futures dans les secteurs aérien et ferroviaire	10
7. Application des prévisions de mix électrique	12
conclusion.....	13
Bibliographie	14

De nombreuses et incohérentes références sont publiées sur les performances environnementales comparées en matière d'émissions de CO2 des différents modes de transport. Ces références sont régulièrement reprises sans précaution ou nuance dans les médias, même les plus avertis. Elles contribuent pourtant à alimenter le débat public et par conséquent également les politiques publiques des Transports. Dans ce contexte, il nous est apparu important de détailler plus précisément les biais qui peuvent exister dans ce type de comparaisons.

Il convient tout d'abord de rappeler que les modes de transports routiers, aériens ou ferroviaires sont largement complémentaires et que le champ des distances sur lesquelles ils se concurrencent est en réalité relativement réduit. L'avion n'est pas pertinent sur de courtes distances ; le train l'est difficilement au-delà de 1000-1500 kilomètres. La « normalité » d'une politique publique des Transports apparaît donc bien de penser la complémentarité des modes au travers de l'intermodalité plutôt que de favoriser le développement des modes au-delà de leur zone de pertinence. À ce titre, une comparaison entre la performance environnementale de l'avion sur une distance courte effectuée par un jet avec un train n'aura que peu d'intérêt. De la même manière qu'il est absurde de comparer la performance du train et de l'avion entre deux villes pour lesquelles la demande de transport ne justifiera pas l'existence d'une voie ferrée.

L'autre biais courant sur lequel nous avons souhaité attirer l'attention est celui de l'énergie utilisée pour alimenter les différents modes de transport. Comparer les performances environnementales du train et de l'avion n'a en réalité là aussi que peu de sens si la nature de l'énergie utilisée n'est pas considérée. Le mix énergétique français pour la production de l'électricité est aujourd'hui largement décarboné en raison de l'important parc nucléaire français. La situation varie largement entre les différents États de l'Union Européenne et du monde et exerce une influence significative sur la performance du train en particulier. Pour l'avion, le kérosène d'origine fossile est aujourd'hui la source quasi-unique d'énergie utilisable. Le développement de nouvelles énergies comme les carburants aéronautiques durables, mais également les développements technologiques industriels, conduiront à réduire significativement l'écart en matière d'émissions de CO2 des couples train/électricité et avion/kérosène.

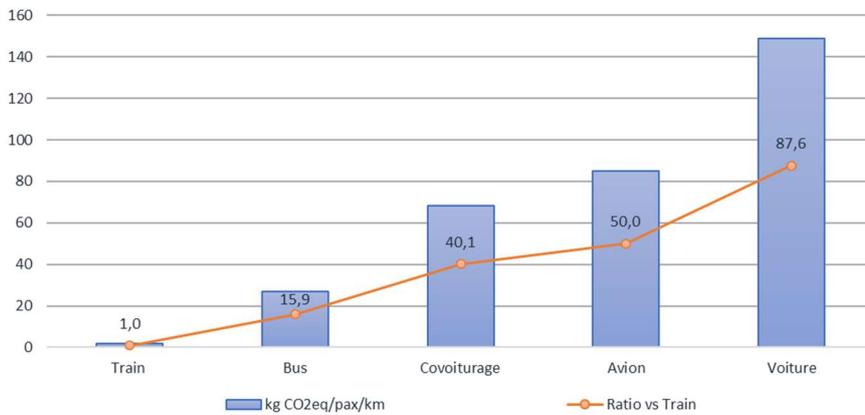
La question des émissions de CO2 relatives à la construction des infrastructures est également largement ignorée alors que se déplacer dans l'air depuis un aéroport ou sur des voies ferrées depuis une gare n'est évidemment pas équivalent en termes d'externalités environnementales. Cette note permet de donner des indications précises quant à l'influence de ce facteur sur le bilan environnemental du train et de l'avion.

Cette note est enfin l'occasion d'essayer d'éclairer le futur du développement de ces deux modes de transport. Le progrès n'étant pas figé, il devrait permettre un rapprochement des performances du train et de l'avion s'agissant des émissions de CO2. La recherche devrait également permettre d'appréhender plus précisément les « effets non CO2 » du transport aérien et la capacité qu'il existe de les réduire dans leur intégralité ou non.

En synthèse, cette note a pour vocation d'essayer d'éclairer les différents aspects importants à considérer dans la comparaison des performances du train et de l'avion en matière d'émissions de CO2 dans le domaine où cela est pertinent. Elle n'aborde volontairement pas la question du bruit, de la biodiversité ou du coût financier respectif de ces modes pour la collectivité. Celui-ci ne saurait cependant être ignoré dès lors que le débat viendrait à se focaliser sur la question de la substitution d'un mode de transport par l'autre et que se poserait la question de l'efficacité des politiques publiques en matière de coût d'abattement du CO2.

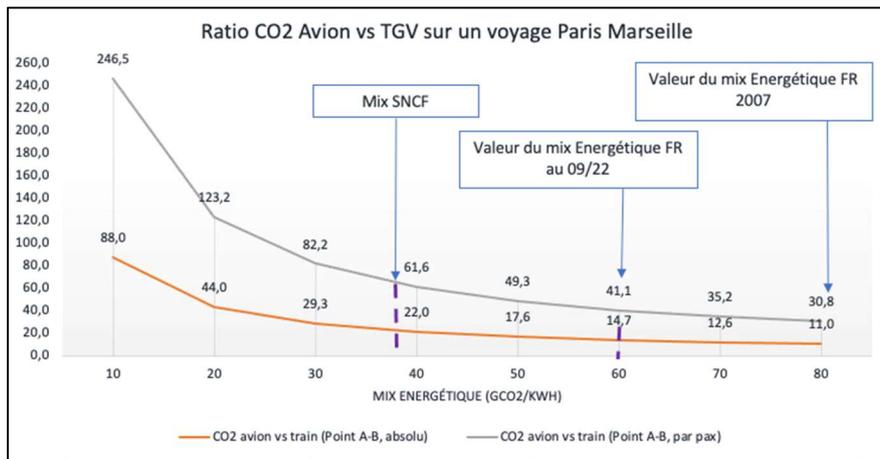
1. LA PRISE EN COMPTE DU MIX ENERGETIQUE FRANÇAIS

Comparaison des émissions de différents modes de Transport selon le calculateur SNCF (Trajet Marseille-Paris)



Dans cet exemple d'un trajet Marseille-Paris, le calculateur des émissions de CO2 de la SNCF présente l'avion comme émettant 50 fois plus de CO2 par passager kilomètre que le train. Ce facteur doit être considéré avec prudence.

En effet, les émissions estimées du mode de transport par train sont directement dérivées du mix énergétique utilisé. L'électricité étant une énergie primaire, et l'énergie verte étant une ressource finie, il apparaît justifié que ces calculs se fondent sur un mix énergétique global, comme c'est le cas habituellement au niveau international.

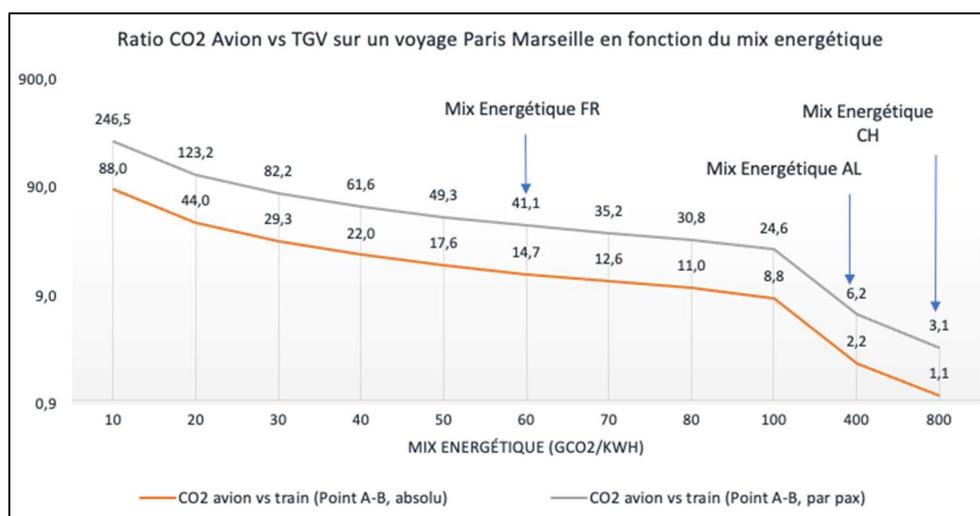


La courbe grise représente ainsi le ratio d'émissions entre l'avion et le train, sur un même voyage, par passager, en fonction des émissions du mix énergétique.

La courbe orange quant à elle présente le ratio d'émissions entre l'avion et le train, sur un même voyage en fonction des émissions du mix énergétique, en s'affranchissant du nombre de passagers présents.

En intégrant un mix énergétique de 60gCO2/kWh (mix énergétique moyen de l'année 2021 au niveau France), comme cela est préconisé par l'ADEME et utilisé habituellement dans les études internationales, le ratio en matière d'émissions de CO2 entre l'avion et le TGV passe d'environ 63 à 41 sur le trajet Paris-Marseille.

2. LA PRISE EN COMPTE DU MIX ENERGETIQUE HORS DES FRONTIERES FRANÇAISES



Si le train présente des avantages indéniables en termes d'émissions de CO2 avec l'utilisation du mix énergétique Français très largement basé sur l'utilisation de l'énergie nucléaire, ces performances tiennent à la nature de l'énergie et non simplement au mode de transport utilisé.

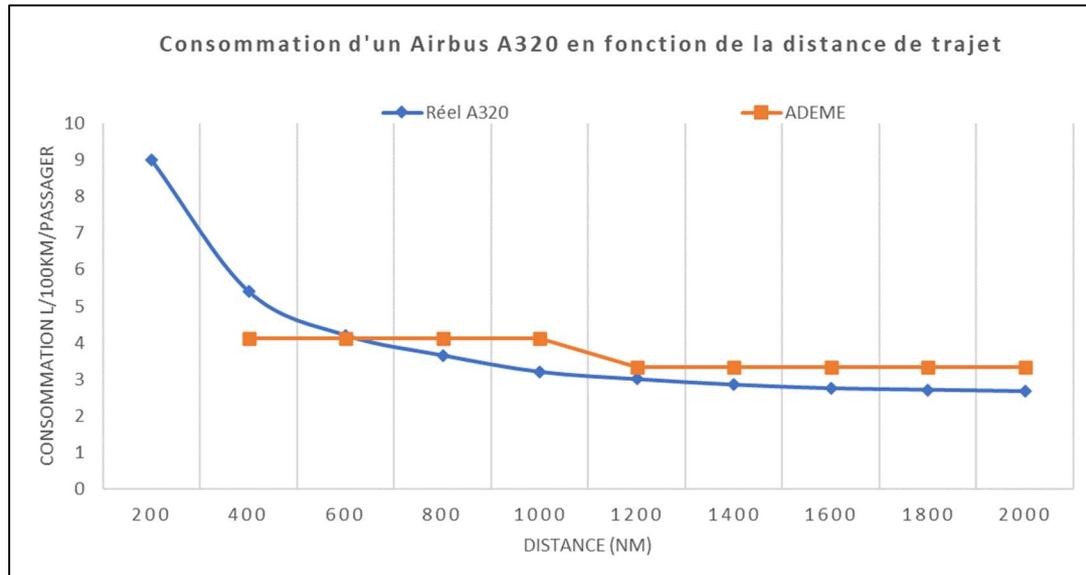
Ainsi, en comparant les performances du train et de l'avion sur le critère des émissions directes de CO2 dans des pays comme l'Allemagne (AL) ou la Chine (CH), l'avantage du train en comparaison à l'avion diminue significativement pour ne plus atteindre que des facteurs de 6,2 et 3,1.

Il convient ainsi de retenir que la performance environnementale en matière de mobilité ne saurait se mesurer uniquement à l'aune du mode de transport utilisé mais au minimum du couple mode de transport / mix énergétique utilisé.

Cet élément est à notre sens primordial compte tenu de la diversité des choix énergétiques des Etats et de l'évolution réglementaire entourant l'utilisation de ces énergies par les différents modes de transport. Une voiture roulant avec un biocarburant de nouvelle génération en Chine pourra ainsi être significativement plus performante sur le plan des émissions de CO2 qu'un TGV par exemple.

3. LA PRISE EN COMPTE DES DISTANCES PARCOURUES

Un grand nombre de comparateurs s'affranchit de la différence de distance en divisant une distance, similaire entre le train et l'avion, par l'efficacité en termes de gCO₂/km/passager.



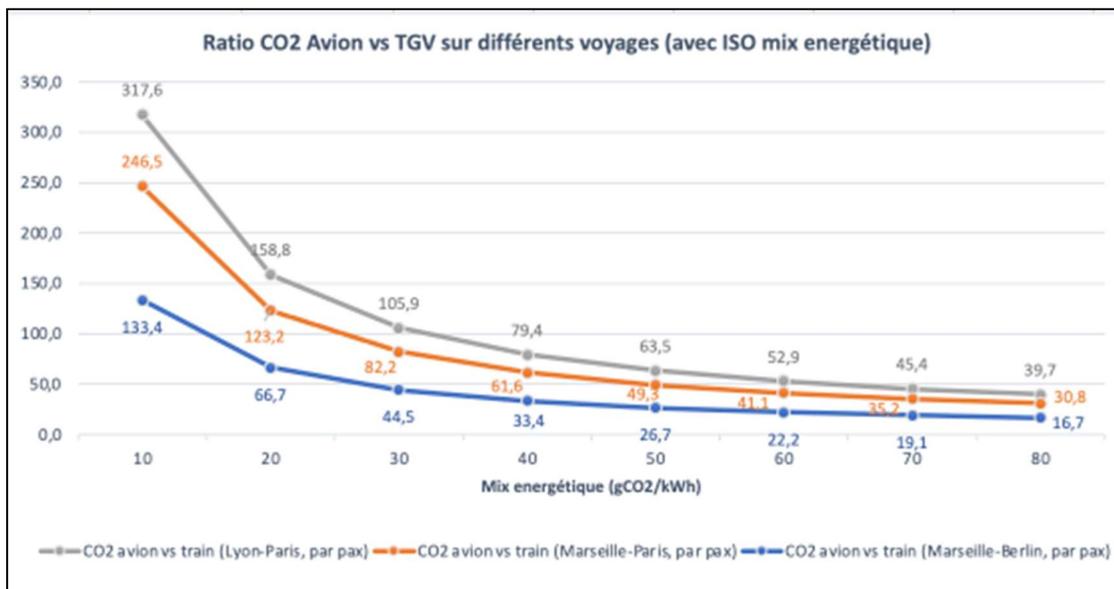
Or dans le cas précis d'un avion, cette efficacité varie et, sur des plages de distance compatibles avec le train, s'améliore de manière significative lorsque la distance augmente jusqu'à atteindre un point optimum.

Cette notion est due à plusieurs facteurs :

- ⇒ Premièrement, les avions sont conçus autour d'un « optimum design point » qui se trouve à un certain range et dans une configuration de référence. Les performances ne sont pas linéaires.
- ⇒ En second lieu, un avion est conçu pour être en fonctionnement optimum en phase de croisière, les performances en phases de montées/descentes s'en trouvant dégradées. Or plus la distance d'un trajet est courte, plus la part de distance effectuée en croisière est petite, ce qui remis sur la moyenne d'un trajet fait artificiellement monter la consommation en termes de L/100km/passager.
- ⇒ Enfin selon le même mécanisme le temps passé au sol, temps de roulage ou d'attente viennent dégrader la performance globale du trajet.

Négliger cette variable peut dans certains cas engendrer des erreurs très importantes susceptibles de fausser significativement les comparaisons entre les différents modes de transports.

De même, la prise en compte de cette variable avec une règle par moyenne n'est que peu représentative car les comparateurs traitent des comparaisons par trajet. Comparer un trajet défini avec une variable moyennée sur la totalité des trajets réalisés est au mieux imprécis.



De plus, si l'on souhaite effectuer une comparaison des modes de transport, il est indispensable de prendre en compte « l'effet distance » qui aura pour effet de modifier de manière importante la distance à parcourir dans le cas du transport par train.

À titre de comparaison : la distance ferrée reliant Marseille à Paris en TGV est de 750km, tandis que la distance de vol entre Marseille-Paris Orly est d'environ 570km.

Cette différence est déjà significative au niveau des trajets intérieurs mais prend encore plus de sens dans le cas d'un déplacement dans un autre État Européen où les connexions ont pour effet de rallonger encore les trajets ferroviaires.

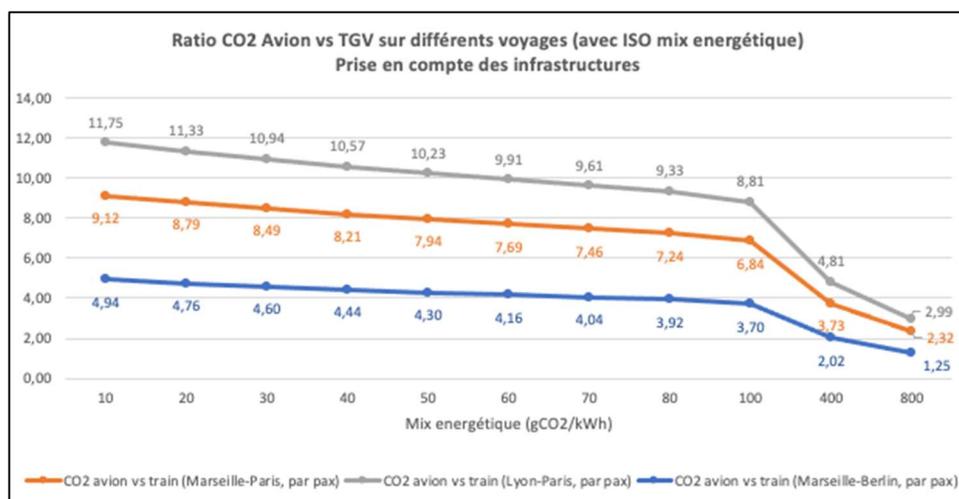
4. L'INCLUSION DES INFRASTRUCTURES DANS LE BILAN CARBONE DES MODES DE TRANSPORT

La majorité des comparateurs de mobilité ne prennent pas en compte aujourd'hui, dans un souci de simplicité, les émissions liées aux infrastructures.

Si cette part d'émissions peut être considérée comme relativement faible dans le cas du secteur aéronautique, due à la faible empreinte surfacique des aéroports, elle ne l'est en revanche pas dans le cas du train ou de la route.

Ainsi, plusieurs études ont montré que, dans le cas de la création d'une ligne à grande vitesse LGV, les émissions liées aux infrastructures pouvaient représenter jusqu'à plusieurs fois les émissions de CO₂ émises par le train lors de sa circulation.

Dans le document « Bilan comparé des transports aériens et ferroviaires », Ministère de la Transition Écologique Nicolas LEFEVRE précise ce chiffre et estime cette valeur à 1,3kg CO₂/100km/passager, sur la durée d'amortissement de la ligne. En reportant cette valeur nous obtenons les résultats ci-dessous :



Les émissions liées aux infrastructures revêtent ainsi une importance significative dans le calcul des émissions de CO₂ du transport ferroviaire. Elles ne sauraient être négligées dans les bilans et comparaisons environnementales entre les différents modes de transport et les exercices de planification des infrastructures.

5. LES EFFETS NON-CO2 DU TRANSPORT AERIEN

Le secteur aérien émet aujourd'hui environ 2,4% des émissions de CO2 d'origine humaine à l'échelle mondiale. D'autres effets doivent être pris en considération (par exemple les traînées de condensation) : ces effets aux mécanismes complexes demeurent encore très incertains^[1]. Une chaire « Aviation et Climat » a été créée à Sorbonne Université avec des experts de l'étude du climat afin de progresser dans la connaissance de ces effets.

^[1] Lee et al., Atmospheric Environment, 2020

6. LES INNOVATIONS FUTURES DANS LES SECTEURS AERIEN ET FERROVIAIRE

Si les constructeurs ferroviaires s'intéressent à de nouvelles technologies, comme l'hydrogène, l'utilisation de cette dernière se fera de manière prépondérante pour se substituer aux trains régionaux fonctionnant encore aujourd'hui très majoritairement au diesel.

Concernant les trains à grande vitesse pouvant dans certaines conditions rentrer en concurrence avec le transport aérien, les leviers technologiques d'amélioration d'efficacité énergétique apparaissent, à ce jour, relativement limités. Le levier principal de décarbonation du TGV réside donc dans la capacité des énergéticiens à produire un mix énergétique à faible niveau d'émission.

Du point de vue des infrastructures, les émissions dues à ces dernières sont produites lors de la construction et sont considérées comme « amorties » au cours du temps.

Pour sa part, le secteur aérien affiche l'objectif de réduire par plus de 10 à horizon 2050 ses émissions de CO₂.

Description des leviers de décarbonation de l'aérien

Selon le scénario S2 MONDE CORAC, des gains significatifs en termes d'émissions pourraient être réalisés. Ces gains se chiffrent à -93% et sont décomposés comme suit :

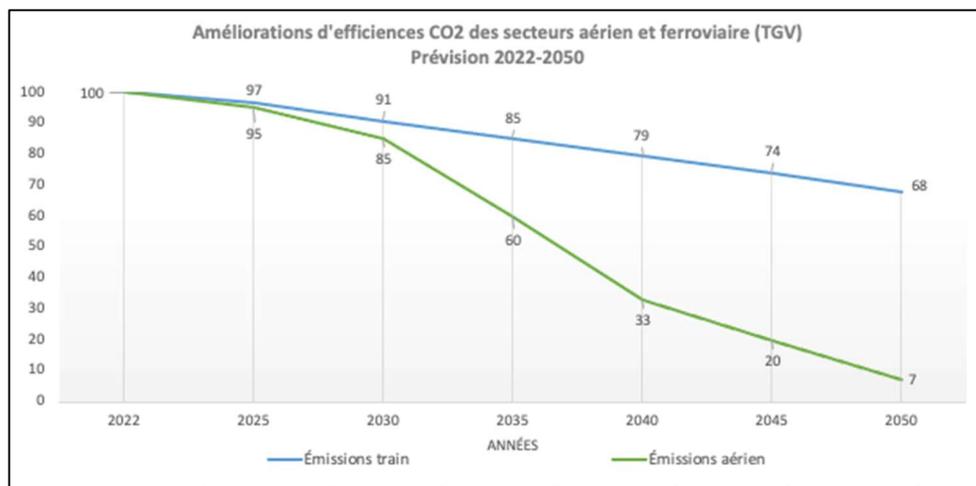
- ⇒ Carburants Aériens Durables : 49%
- ⇒ Sobriété technologique : 20%
- ⇒ Technologies H2 : 14%
- ⇒ Opérations aériennes : 10%

Description des leviers de décarbonation du secteur ferroviaire

Les nouveaux TGV « TGV-M » seront les futurs trains à grande vitesse opérés jusque dans les années 2070. Selon les prévisions ALSTOM, ces nouvelles générations de train seront en mesure d'améliorer l'efficacité par passage de -32%.

Les gains (en termes d'efficacité énergétique) sont décomposés comme suit :

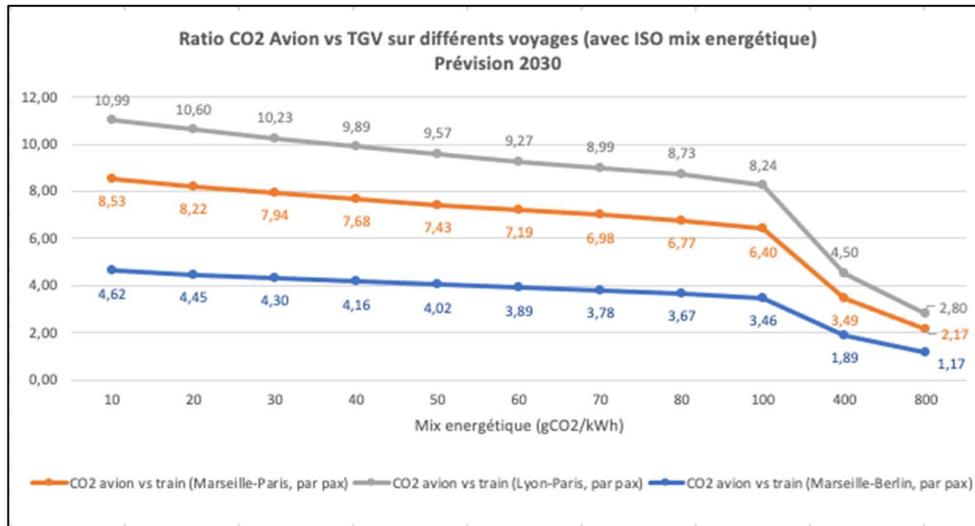
- Augmentation de capacité : 9,1%
- Améliorations techniques : 22,9%



Comme explicité, les hypothèses au regard de l'aérien reprennent celles du CORAC. Concernant le secteur ferroviaire, les hypothèses utilisées prennent en compte une entrée en service à partir de 2025 et un déploiement total à 2050.

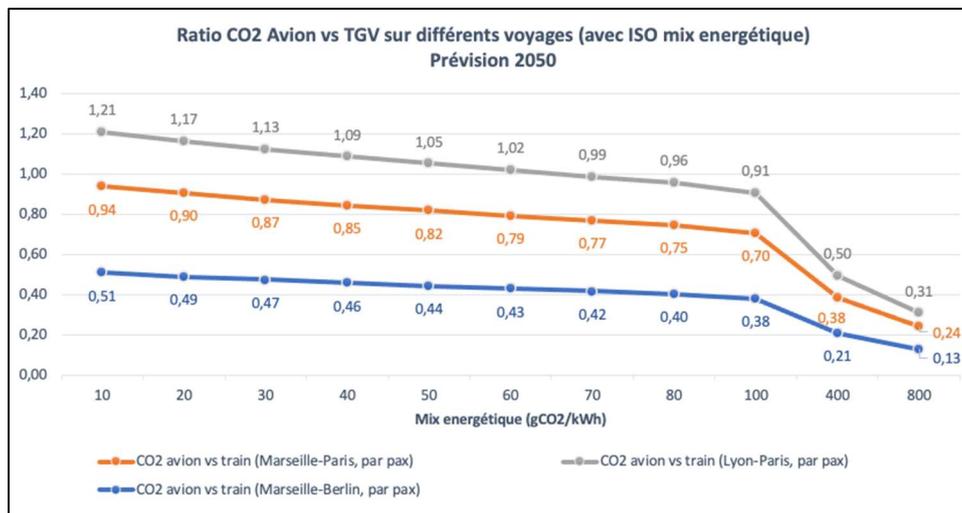
Même en intégrant des améliorations d'efficacité du train par rapport à l'avion, et en corrigeant les ratios d'efficacité du secteur aéronautique à horizon 2030 et 2050, la situation serait la suivante :

Statut 2030



*Conformément aux estimations du secteur aéronautique

STATUT 2050

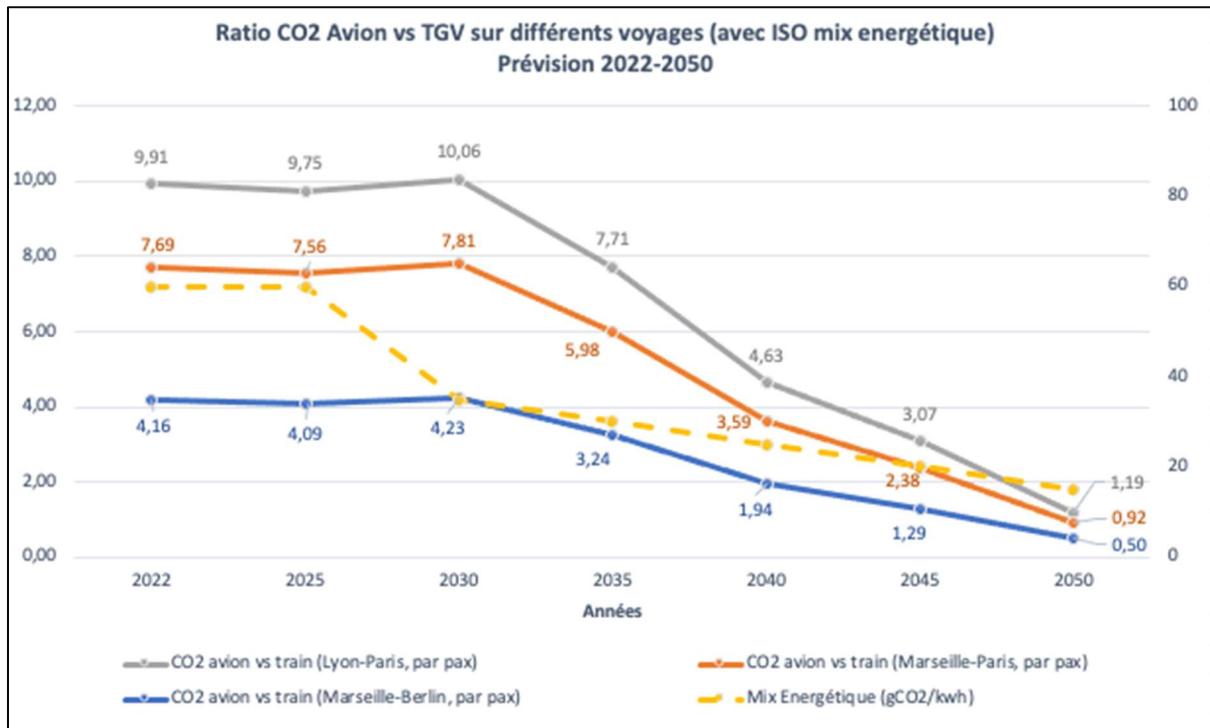


*Conformément aux estimations du secteur aéronautique

À des horizons de temps relativement proches, il devient ainsi envisageable, dans l'exemple d'un Paris-Marseille, de rapprocher significativement les performances respectives du train et de l'avion à ISO mix énergétique 2022.

7. APPLICATION DES PREVISIONS DE MIX ELECTRIQUE

8. En prenant en compte maintenant des hypothèses assez conservatrices sur les émissions du mix électrique entre 2022-2050, nous sommes en mesure de calculer des ratios d'efficience par trajet entre le TGV et l'avion.



Les résultats ont tendance à démontrer que les ratios d'efficience se maintiennent à des niveaux similaires sur la période 2022-2030. À partir de 2030, on constate une forte décroissance de ces ratios, due majoritairement aux hausses d'incorporations de carburants aériens durables ainsi qu'au déploiement de nouvelle génération d'avion plus performants.

Enfin en 2050, si le bénéfice émissions reste en faveur du TGV sur de courtes distances telles qu'un trajet entre Lyon et Paris, compte tenu des hypothèses et des leviers de chaque secteur, les performances des deux modes de transport pourront converger pour une distance de type Marseille-Paris.

CONCLUSION

Opposer les modes de transport sur le plan environnemental sans intégrer leurs évolutions et leur complémentarité apparaît un exercice largement vain.

Cette note a de ce fait pour principal objet de rappeler qu'une synergie entre ces modes apparaît indispensable à mettre en place entre ces secteurs afin d'assurer une bonne conduite des trajectoires de décarbonation tant au niveau national qu'europpéen tout en intégrant les perspectives d'évolution de chaque mode.

BIBLIOGRAPHIE

- Calculateur DGAC :
<https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr>
- Comparateur SNCF :
<https://www.sncf-connect.com/train/comparateurco2>
- Note SNCF : FORMATION SUR LA QUANTITE DE GAZ A EFFET DE SERRE EMISE A L'OCCASION D'UNE PRESTATION DE TRANSPORT METHODOLOGIE GENERALE
https://medias.sncf.com/sncfcom/pdf/DESTE/Methodologie-generale-InfoGES_2022.pdf b
- Base carbone ADEME
[https://data.ademe.fr/datasets/base-carbone\(r\)](https://data.ademe.fr/datasets/base-carbone(r))
- Bilan comparé des Transport aériens et ferroviaires, Ministère de la Transition Écologique Nicolas LEFEVRE/Kevin Guittet
<https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01889849/file/4P%20LEFEVRE%20-%20Rapport%20confidentiel.pdf>
- TGV-M tout savoir sur le train du futur
<https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/mobilite-futur-tgv-m-tout-savoir-train-futur-85921/>
- Lee et al., Atmospheric Environment, 2020
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231020305689>
- RTE Futurs Eneeggétique 2050
<https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>



Fédération
Nationale de l'Aviation
et de ses Métiers



FNAM

22, avenue Franklin Delano Roosevelt 75008 Paris
contact@fnam.fr – 01 86 64 12 34