

TRAIN et AVION : Décarbonation même combat ?

De Xavier Bouis, membre AAE et
Président du Comité sectoriel aéronautique et aérospatial des IESF ...
... et « *Grand Voyageur* » SNCF

Pourquoi cet article ?

J'ai fait publier cet article en avril sur le site des Ingénieurs et Scientifiques de France (IESF). Plusieurs confrères de l'AAE m'ont persuadé de le présenter comme « libre propos » sur le site de l'Académie. Dont acte ! Des précisions ont été ajoutées en italiques

Je travaille actuellement sur les questions de décarbonation du transport aérien, ce qui me conduit à des interrogations plus larges sur l'énergie électrique non carbonée dont tous les secteurs devront disposer avant 2050. Du coup, la semaine dernière dans mon TGV habituel qui pavoise d'un superbe « 80 fois moins de CO₂ que l'avion » je me demandais si ce serait tellement plus facile pour les trains que pour les avions. *NB : Il me semble qu'en juin le TGV Paris-Bordeaux-Toulouse a changé son slogan en « moyen le plus écologique » !*

Mes lecteurs IESF (et AAE !), ingénieurs pour la plupart savent que les émissions d'un secteur d'activité, pour qu'elles soient considérées dans leur totalité, doivent faire l'objet d'une ACV (analyse de cycle de vie) sans se contenter de la première approche dite « scope 1 » qui ne s'occupe que des émissions immédiates comme celle d'une consommation de carburant et non pas de tout de ce qui est nécessaire à l'élaboration du bien ou du service qu'on achète... et générateur de CO₂ « caché ». Qui se rend compte que tout un chacun, en veillant sur sa consommation d'électricité, d'essence ou de mazout importe déjà en moyenne sans le savoir la moitié de son CO₂ donc 5 tonnes/an (lit-on !?) via les biens qu'il achète ? Son « scope 1 » l'ignore...

Je ne cherche pas ici une précision illusoire de mes résultats, je cherche uniquement à bien situer les ordres de grandeur, donc 10 ou 20 % d'erreur ne m'inquiètent pas...

J'ai consulté bon nombre de documents sur le Rail, que je n'avais jamais regardé sous cet angle. Ceux qui m'ont paru les plus fiables pour ma recherche sont un document de TU Delft commandité par l'Union Européenneⁱ, un rapport parlementaire de 2022 très documentéⁱⁱ, le rapport d'activité SNCF de 2019, dernière année « normale » connue, l'étude de l'investissement dans la ligne Rhin-Rhône menée par la SNCF et l'Ademe, citée abondamment dans de nombreux articles, un document universitaire récent *Screening Life Cycle Assessment to compare CO₂ and Greenhouse Gases emissions of air, road, and rail transport: An exploratory study*ⁱⁱⁱ, un document co-produit avec les chemins de fer autrichiens (ÖBB) centré sur l'entretien des voies^{iv} et je citerai une phrase qui m'a intrigué d'un opérateur britannique^v « *The level of emissions in our own sphere of control, and the actions to tackle them, are quite significant. It's therefore surprising that Network Rail's own operational emissions account for just 3% of our global footprint. The remainder of our carbon footprint sits within our value chain – that is, the emissions of our customers and our suppliers.* »

L'avion

L'ACV est relativement simple pour le transport aérien dont le principal émetteur de CO₂ (environ 80 %) est le carburant brûlé en vol, les coûts « carbone » de la construction de l'avion, de sa maintenance et de son démantèlement, rapportés au passager-kilomètre (pkt) étant « laminés » par les *dizaines de milliards de pkt transportés en 20 ou 30 ans* . *La centaine ou les centaines de millions d'euros de travaux divisés par 10 à 50 milliards de pkt correspondent à des émissions industrielles hors carburants de l'ordre d'un ou deux grammes de CO₂ par pkt.*

Le fait est qu'avant même qu'on parle d'écologie, les impératifs d'une fiabilité extrême ont fortement contribué à faire d'un avion un bien particulièrement « durable ».

C'est la vie des infrastructures et des services au sol, peu nombreux et plutôt bien identifiés et, *pour ne rien oublier, les émissions des pétroliers pour extraire, fabriquer et livrer le carburant^{vi}* qui au-delà du carburant brûlé en vol grossissent sa facture carbone, de l'ordre de 25 %.

Le document précité de TU Delft donne une moyenne européenne de 1,6 ct€/pkt pour les seules infrastructures, ce qui, on le verra plus loin, correspond grosso-modo à une émission de 8g/pkt de CO₂. L'ordre de grandeur du total sol+vol pour la flotte mondiale qui consomme actuellement environ 3,5litres/100pkt serait donc pour les émissions directes de 100 gCO₂/pkt et pour les émissions indirectes (fabrication du fuel, aéroports, maintenance avion, autres infrastructures, écosystème aéronautique autour des grands aéroports^{vii}) de 25g/pkt environ. Total **125g/pkt.**^{viii}

Le fait que les compagnies aériennes paient (quasiment) tous les services dont elles bénéficient donne une certaine garantie sur l'inclusion de tous les postes de dépenses et donc d'émissions. Pour Aéroports de Paris, j'inclus carrément l'écosystème francilien à connotation aéronautique donc 80 000 emplois^{ix} en Ile de France... Le nombre de passagers kilomètres au départ d'Orly et Roissy est tel que ce très gros contributeur ne fait pas exploser l'addition^x.

Enfin, sans attendre les carburants « neutres » en cycle d'émissions de CO₂, le renouvellement des flottes par les avions mis en service après 2017 (famille A321 neo et A 350) consommant presque 1/3 de carburant en moins que la moyenne actuelle, va réduire progressivement le poste « CO₂ » l'amenant à **95g/pkt** , mais parlons du présent !

Le Train

Pour le Rail j'ai eu plus de mal à m'y retrouver : le rapport de TU Delft donne pour les infrastructures un coût en moyenne européenne exprimé en euros de 10,6ct/pkt pour les TGVs et 26ct/pkt pour les trains Diesel. On y reviendra plus loin. L'analyse remarquable de finesse de la ligne LGV Rhin-Rhône décrit les émissions de CO₂ à la construction mais à part l'énergie de traction ne fournit pas d'éléments suffisants sur la vie de la LGV ni ne l'intègre dans l'ensemble SNCF dont elle dépend. Le document universitaire de l'Université de Lyon plonge dans le cœur du sujet mais ne va pas jusqu'à me fournir des données opérationnelles. Le document ÖBB est intéressant en ce qu'il donne un impact CO₂ de l'entretien des voies qui a, je cite « surpris ses auteurs » avec 20gCO₂/pkt.

Pour avancer un peu dans le sens de l'étude autrichienne, car les euros et le CO2 vont souvent bien ensemble, je me suis intéressé aux dépenses de la SNCF figurant dans le rapport annuel 2019 et dans le document du Sénat. Je me suis donc appuyé sur trois points : (1) Le total des dépenses extérieures trouvé dans le rapport SNCF 2019, (2) la somme indiquée par le rapport du Sénat pour « investissements et régénération du réseau » et enfin (3) une certaine confirmation des chiffres par la SNCF via la quantité de main d'œuvre annoncée^{xi} On lit : « Une étude, réalisée en 2017, a estimé à 165 000 le nombre d'emplois indirects créés ou maintenus par les achats réalisés par SNCF auprès de ses fournisseurs ». La dépense (en 2017) citée un peu plus loin est de 16,9 Md€.

Bon an mal an, sans avoir accès au détail, on trouve environ 15 Md€ de dépenses extérieures hors énergie, dont 10 assez clairement attribuées (cf. Sénat) à des activités qui relèvent de la maintenance et de la « régénération » et les 165 000 emplois précités des sous-traitants. Pour mémoire on rappellera les 10,6 ct/pkt de l'enquête Delft.

Toutes ces données convergent lorsqu'on les exprime en kg de CO2 via les enquêtes sectorielles de l'Ademe. J'y viens plus loin.

Il faut s'entendre sur l'amortissement en termes de CO2 d'une opération isolée non récurrente. On le voit dans tous les projets de nouvelles lignes comme dans le dossier « Rhin-Rhône ». Soit on raisonne en apport instantané entrant dans un « budget CO2 jusqu'à 2050 » comme le font nos confrères d'ONGs comme Aéro-décarbo, soit on amortit sur 30 ou 50 ans le CO2 généré par une fabrication. En l'occurrence, vu que je ne m'intéresse ici qu'à l'entretien ou le maintien à niveau-régénération, je considère, comme je le fais pour une compagnie aérienne qui change ses avions ou leurs moteurs périodiquement, que j'ai affaire à un flux assez stable et donc je convertis les euros de l'année en CO2 de l'année.

Des euros aux grammes de CO2 et vice-versa

L'Ademe depuis longtemps a mis à disposition des résultats d'études de différents métiers ou secteurs d'activité qui permettent de corréliser les chiffres d'affaires (CA) et les émissions de CO2. Nous sommes avec les investissements et la maintenance SNCF dans des métiers de la construction mécanique, de l'électrotechnique, du génie civil etc. qui ont des relations entre euros et grammes de CO2 annuels relativement proches, autour de 500 tonnes de CO2 par million de CA ou encore 50 tonnes de CO2 par salarié. Les détails peuvent être trouvés sur les deux sites web cités en note ^{xixiii}. Je souligne une fois de plus que je ne cherche que des ordres de grandeur !

Application aux travaux SNCF :

Enquête Sénat : 10 Md€/an de dépenses : 5 MT CO2

Les 165 000 emplois des sous-traitants : 8,25 MT CO2

Les 16,9 Md€ de dépenses signalées en 2017 : 8,45 MT CO2

Les 10,6 ct/pkt de TU Delft multipliés par 102 Md pkt^{xiv} : 10,8 Md€ donc 5,4 MT CO2

Faisons simple, le lecteur pourra jongler s'il le souhaite avec les chiffres : la moyenne est de 6,8 MT CO2 qui rapportée au pkt donne 66 gCO2/pkt.

« Attribution » de CO2 aux TGVs :

Les TGVs concentrent environ 60 % des pkt. Ils ne consomment ni gaz ni diesel. Aux dépenses extérieures citées plus haut on n'ajoutera donc qu'une fraction de l'énergie électrique SNCF, au prorata des pkt faute de meilleurs indicateurs. Cette énergie provient de sources bien décarbonées. Elle produit, lit-on seulement 0,66 MT CO₂. Mutualisée sur toute la société, ce qui est un peu faux mais sans effet sur les ordres de grandeur, cette valeur donne 6,5g/pkt^{xv}. Pour les seuls TGVs sans leur environnement on lit des valeurs inférieures, vers 3-4g/pkt pour l'énergie de traction.

Les travaux entretien-rénovation sont très délicats à affecter sans une comptabilité analytique bien paramétrée (à laquelle les sénateurs n'ont pas eu accès). On peut se livrer à quelques exercices pour tester la sensibilité aux hypothèses d'attribution des dépenses.

- Si le TGV doit porter la dépense au prorata de ses pkt, il doit supporter 66 g plus ses 6,5 g pour l'énergie donc **72,5 gCO₂/pkt**. (idem pour les trains classiques hors diesel)
- Si à l'extrême inverse le TGV n'est chargé qu'au prorata des kilomètres de lignes LGV donc 10 % du réseau (bien qu'il roule abondamment sur les lignes classiques) le calcul est plus compliqué, voir la note de bas de page^{xvi} : On trouve ainsi pour le TGV **17,5 gCO₂/pkt** et du coup, pour les trains classiques hors Diesel **153,5gCO₂/pkt**.
- Si j'avais simplement pris la moyenne européenne de TU Delft en lui ajoutant les 6,5g d'émission énergétique, j'aurais trouvé **59,5 gCO₂/pkt** pour tous.
- Remarques : pour trouver un rapport de 40 avec l'avion qui hors cas de vols très courts avec des avions anciens tourne aujourd'hui en « scope 1 » autour des 100gCO₂/pkt, il faut que le TGV descende à 2,5gCO₂/pkt ce qui ne me paraît pas impossible vu les approximations de mes calculs qui ne cherchent que des ordres de grandeur. En revanche, pour le facteur 80, je ne vois pas.... *Sauf à gonfler le CO₂ avion.*

Ces valeurs évidemment m'ont **surpris !**

J'ai trouvé d'autres indices concordants sur les émissions des achats et de la sous-traitance^{xvii}. Ceux-ci feraient monter un peu la note « CO₂ ». J'ai tenté également un recoupement avec les données de la ligne Rhin-Rhône : Pour 12 M voyageurs/an sur 140 km, et environ 20 000 T de CO₂/an venant de l'énergie de traction on retrouve bien la moyenne générale du réseau LGV. En revanche, le budget prévisionnel de maintenance infrastructures et matériel roulant (44 000 T CO₂ pour 30 ans ? Environ 10T/km/an ?) semble très loin en dessous de la moyenne générale SNCF, il correspondrait au travail de 28 personnes seulement (?). Extrapolé à 28000 km de voies, il ne demanderait que 5600 personnes ? Ceci est un mystère pour moi. Et si l'on affecte les 59 ct/pkt de TU Delft à la ligne Rhin-Rhône plutôt que les valeurs de la brochure du projet, bien des conclusions de ce document posent question...

Bref, mon enquête dont vous ne lisez que la partie « émergée » ne m'a pas conduit à UN résultat solide. Il reste un rapport de 1 à 4 entre les résultats . Si je choisis le résultat européen moyen de TU Delft, je trouve :

- en « **scope 1** » un **rapport avion-train entre 10 et 40** (si bon mix électrique)
- en **ACV** il se réduit à un **facteur entre 1,5 et 2** (moins avec les derniers avions)

Je note aussi que **de grandes quantités de CO2 sont émises hors énergie de traction** et que si le **TGV s'en fait trop exempter, il plombe les trains classiques qui du coup « s'envolent »^{xviii} en ACV** bien au-delà des chiffres de l'avion !

Il faut choisir... Et enfin, le TGV existerait-il sans l'environnement d'un réseau classique ?

En conclusion, revenons à ma question initiale : décarboner même combat ?

Aujourd'hui le transport aérien fait ses plans pour se décarboner à 100 % (« net-zéro ») d'ici à 2050, engagements pris par l'OACI^{xix}. Il s'agit grosso modo pour la France^{xx} de se débarrasser de 25 MT d'émissions de CO2^{xxi} dont 80 % en vol., Le Rail quant à lui a déjà fait une bonne partie du chemin avec l'électricité nucléaire et doit encore se débarrasser des 6,8 MT de CO2 vus plus haut. L'un pour environ 200 Md pkt^{xxii} ; l'autre pour 100 Md pkt. Donc par pkt, on peut penser que c'est **deux fois moins difficile pour le train !**

- L'avion compte sur un gain d'efficacité (déjà en cours) de 30 %, une certaine modération du trafic et principalement sur les « SAF^{xxiii} » neutres en CO2. Malheureusement, les SAF issus d'une combinaison d'hydrogène et de CO2 extrait de l'air (électro-fuels) qui seront majoritaires en 2050, sont deux fois plus gourmands en énergie primaire que le carburant qu'ils remplacent !
- Le train visera certainement des gains d'efficacité mais devra l'essentiel de sa décarbonation à l'effort diffus de la nébuleuse de ses sous-traitants, donc de l'industrie en général. On peut penser que les secteurs concernés ne rencontreront que rarement une difficulté aussi incontournable que celle de la fabrication et l'usage des électro-fuels...

Donc la transition énergétique va être pour l'avion plus que deux fois plus difficile, *et elle demandera un effort sectoriel plus ciblé que celui des trains qui reposera sur une nébuleuse de métiers industriels.*

Moralité : 1) il n'y a pas de « feu sans fumée » en euros ou en CO2 **2)** le laisser croire risque de tromper son auditoire **3)** bien connaître et comprendre pour bien conseiller

PS : je souhaiterais voir pour la France ou pour l'Europe des études universitaires qui iraient un peu plus loin que celles de Lyon et des Autrichiens citées en notes page 1

i Sustainable Transport Infrastructure Charging and Internalisation of Transport Externalities: Main Findings 2019

CE_Delft_4K83_Task_D_Summary_Report_Final Arno Schroten 2019

ii Rapport de la commission des finances du Sénat « comment remettre la SNCF sur rail » mars 2022

iii Lucile Trevisan & al. 2020 Université de Lyon/ECAM

iv Matthias Landgraf and Arpad Horvath 2021

v Network Rail, Our ambition for a low-emission railway

vi Pas certain qu'on ajoute toujours cette quinzaine de % pour tous les moyens de transport !

vii Exemple : écosystème francilien aéronautique autour de ADP, 88 000 emplois.

viii Lorsque les flottes actuelles auront terminé leur renouvellement avec des avions de la génération 2017+ (A350, A321neo etc) nettement moins consommateurs, cette moyenne passera en dessous de 100g/pkt à quoi s'ajouteront les bénéfices des nouveaux carburants neutres en CO2

ix ADP met dans son bilan carbone Scope 3 les trajets (taxis...) vers ses aéroports. Je ne les retiens pas sinon je devrais trouver un chiffre pour les trajets bien plus nombreux (par pkt) vers les gares.

-
- x Au passage je signale le document Delft précité sur sa planche 19 classe le transport aérien en pole position sur les « externalités » environnementales, devant même l'autocar, ceci du fait entre autres de sa très faible empreinte au sol .
- xi <https://www.sncf.com/fr/groupe/fournisseurs/organisation-entite-achats>
- xii <https://www.foresteam.fr/post/quelle-quantite-de-gaz-a-effets-de-serre-emet-mon-entreprise>
- xiii <https://www.greenit.fr/2011/02/24/bilan-carbone-50-tco2eq-par-salarie/>
- xiv 102 Md pkt : valeur dans le rapport d'activité 2019 dont 62 Md en TGV
- xv On lit sur des blogs SNCF que le TGV (plein) consomme trois fois plus que le Corail (plein). Le premier étant plutôt mieux rempli, une part de la différence doit être récupérée. Retenons que le calcul par la moyenne est peut-être optimiste.
- xvi les 6,5 gCO₂ pour l'énergie restent mais 10 % de la dépense d'entretien rapportés à 60 % des pkt et 90 % aux 40 % de pkt restant donnent 11gCO₂/pkt au TGV et 147gCO₂:pkt aux trains classiques hors diesel (!).
- xvii On trouve sur le site SNCF : « s'engage à ce que ses fournisseurs de biens et services, couvrant 70 % des émissions, fixent des objectifs 'Science based targets' d'ici 2024 »
- xviii Les avions récents se placent 20 ou 30 gCO₂/pkt en dessous, donc mieux que les trains « classiques » qui seraient en retard de rénovation (?)
- xix OACI Organisation de l'Aviation Civile Internationale, rattachée à l'ONU, réglementant le trafic aérien mondial
- xx Pkt au départ de France (Observatoire de la Concurrence 2019, pages DGAC) et carburant délivré sur les aéroports.
- xxi Correspondant au carburant délivré sur les aéroports français.
- xxii Passagers x kilomètres au départ des aéroports de la métropole
- xxiii SAF : Sustainable aviation fuels, donc des kérosènes de synthèse neutres en émissions de CO₂