

Le transport aérien décarboné : où en sommes-nous ?

Introduction

Gérald Sanchis

Expert émérite CIGRE

En 2019, la REE a consacré un dossier à la décarbonation du secteur aérien. Trois ans après, il nous a semblé intéressant d'observer les progrès réalisés, notamment après la crise sanitaire mondiale de la COVID-19.

L'impact carbone du transport aérien

Dans l'union européenne, le premier secteur émetteur de gaz à effet de serre (GES) est celui de l'industrie de l'énergie. En France, en 2020, les émissions de gaz à effet de serre étaient de 396 millions de tonnes équivalent CO₂ au total. Le secteur des transports, tous moyens confondus, était le premier émetteur d'émission de GES avec 114 millions de tonnes équivalent CO₂ (Mt CO₂ éq), dont 5 % pour le transport aérien.

La figure 1 montre pour la France la part des différents secteurs d'émissions de GES pour les années 1990, 2019 et 2020 et détaille à droite les émissions du secteur du transport.

On observe que le secteur de l'industrie manufacturière et construction, plus grand émetteur de GES en 1990, a connu une forte baisse, probablement en lien avec la désindustrialisation du pays.

Le secteur des transports a vu sa part augmenter entre 1990 et 2019 de même

qu'en quantité absolue (côté droit de la figure 1). Le transport routier représente à lui seul 95 % des émissions du secteur des transports. La majorité des GES des transports provient des voitures particulières qui représentent 54 % des émissions, soit 60,7 Mt CO₂ éq en 2020.

La figure 2 montre l'évolution relative des émissions de GES selon les secteurs pour la France. Tous secteurs confondus, ces émissions sont en baisse constante depuis 2000. Entre 1995 et 2019, avant la crise de la COVID19, les émissions de GES du

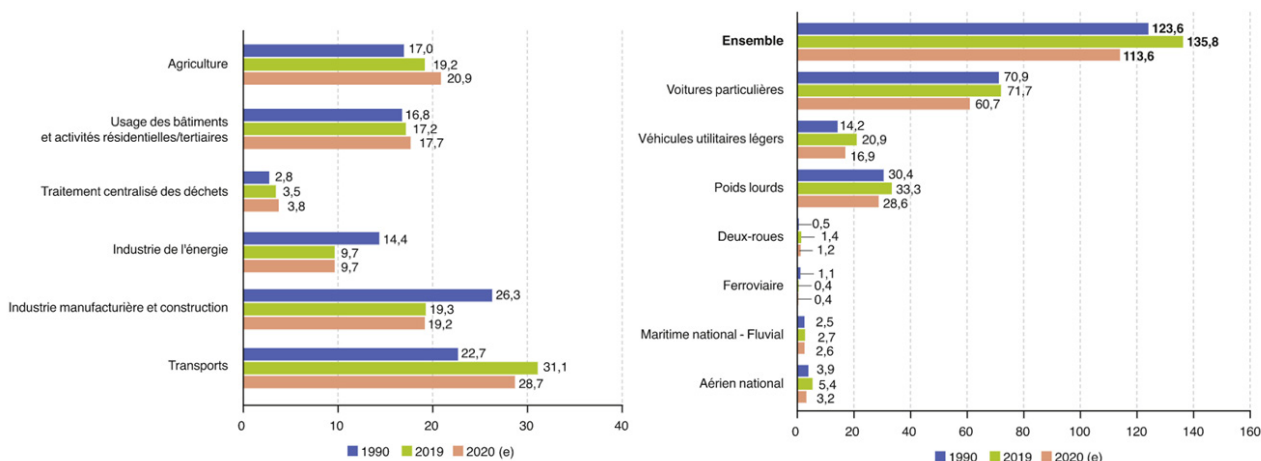


Figure 1 : Part des secteurs dans les émissions de GES (à gauche) – Emissions de GES des transports (à droite) (Source : ministère de la transition écologique). En millions de tonnes équivalent CO₂ (Mt CO₂).

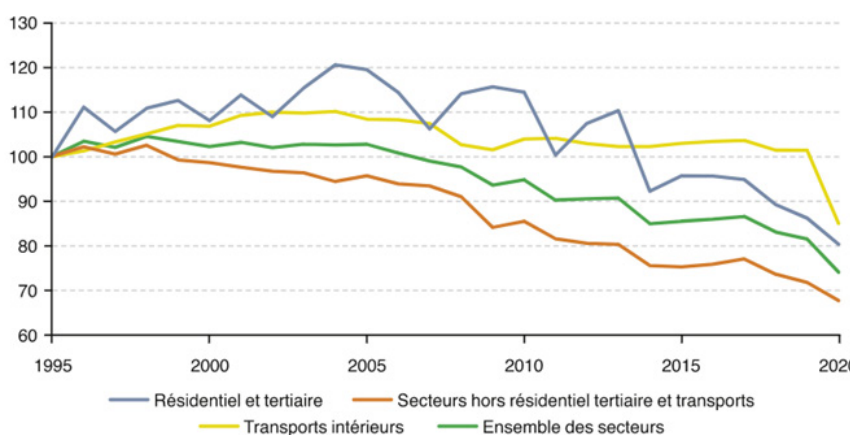


Figure 2 : Evolution des émissions françaises de GES – indice base 100 en 1995- (Source : ministère de la transition écologique).

secteur des transports sont restées relativement stables, alors que tous les autres secteurs avaient déjà réduit significativement leur niveau d'émissions de GES.

Dans l'ensemble des autres secteurs de l'économie (industrie, agriculture, résidentiel et tertiaire), les émissions de GES ont baissé de 25 % entre 1995 et 2019. En 2020, ces émissions de GES des transports chutent de façon historique (- 16 % par rapport à 2019), baisse en grande partie due au confinement lié à la COVID-19.

Focalisons-nous sur le bilan du transport aérien. Il représente donc à peine 5 % du total des émissions de GES du secteur des transports. La crise sanitaire provoque une baisse particulièrement importante (-40 %) en 2020 due à la réduction des voyages.

La figure 3 montre l'évolution de l'indicateur mensuel du trafic aérien (tendanCiel) utilisé par le ministère de la transition écologique. Cet indicateur est basé sur les mouvements d'avions dans les principaux aéroports français.

Cet indicateur montre une certaine régularité du cycle des mouvements d'avions : activité basse entre novembre et février, puis une montée progressive jusqu'en juillet, suivie d'une baisse jusqu'en octobre. Ce cycle s'est répété durant la dernière décennie avec une légère tendance haus-

sière, jusqu'au début de l'année 2020 avec le premier confinement. La chute du trafic aérien a alors été très brutale.

Va-t-on retrouver rapidement les niveaux d'avant COVID19 ? Ce n'est pas sûr car les effets bien visibles du réchauffement climatique ont entre-temps conduit les voyageurs à se détourner de l'avion, notamment pour les voyages de moins de trois heures en train. Ce comportement pourrait de nouveau changer si on leur proposait des transports aériens décarbonés.

Les voies explorées pour la décarbonation du transport aérien

Le dossier REE-2019-2 consacré à la décarbonation du transport aérien présentait

les différentes solutions suivantes : tout d'abord l'hybridation électrique, développée notamment par le groupe Safran, ensuite l'optimisation des vols pour réduire les distances parcourues, et par conséquent les consommations de carburant, et enfin les solutions mises en œuvre dans les aéroports pour réduire leur consommation d'énergie. Ce dossier faisait également le point sur l'utilisation des bio-carburants.

Pour compléter ce panorama, le présent dossier aborde différents thèmes, comme l'aviation électrique, et le transport aérien par ballon dirigeable, faible consommateur d'énergie.

Enfin le dossier abordera en préambule la possibilité d'utiliser l'hydrogène dont l'engouement a fortement augmenté ces trois dernières années.

Qu'attend-t-on de l'hydrogène ?

La France, comme beaucoup d'autres pays, fonde de grands espoirs sur l'hydrogène vert, cette source d'énergie abondante et décarbonée. En septembre 2020, l'Etat a publié son « plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique » et affiché son soutien à la filière hydrogène bas-carbone, en accordant sept milliards d'euros d'ici 2030. Ce plan a pour but de favoriser l'accélération de la décarbonation de tous les secteurs, dont celui bien entendu des transports. Le secteur aérien

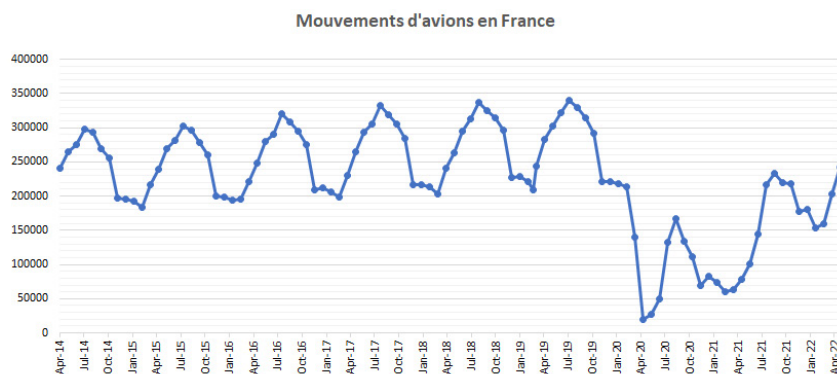


Figure 3 : Mouvements d'avions dans les principaux aéroports français. – (Source : ministère de la transition écologique).



Figure 4 : Chargement de réservoirs/capsules d'hydrogène dans un ATR72-600 à hélices – (Source : Universal Hydrogen).

●●● s'est vu attribué un budget de 1,5 milliard d'euros pour le développement de l'avion à hydrogène.

Toulouse capitale européenne de l'aéronautique, a l'ambition de devenir aussi la capitale française de la production d'hydrogène. Pour ce faire, la région Occitanie a alloué un budget de 150 millions d'euros pour la période 2019-2030. Le projet Hyport retenu en octobre 2021 par la communauté de Toulouse Métropole vise à développer et exploiter des stations de fourniture d'hydrogène pour les transports routiers et aériens.

La start-up américaine Universal Hydrogen s'est installée à Toulouse en fin d'année 2021. Cette société, fondée par d'anciens dirigeants d'Airbus, développe dans un premier temps des réservoirs modulaires d'hydrogène gazeux (35 kg) et liquide (50 kg) destinés à être chargés dans les avions sur les aéroports.

Universal Hydrogen développera ensuite sur place, à Toulouse, des kits de conversion pour la modernisation des avions moyen-courrier à hélices, de type ATR 72 de 40 à 70 places. Ces kits de conversion associent des moteurs électriques et une pile à combustible, elle-même alimentée par des réservoirs pleins d'hydrogène, prêts à l'emploi. Universal Hydrogen s'est associé à l'entreprise singapourienne H3 Dynamics pour créer à Toulouse un centre de R&D commun autour de l'avion à hydrogène.

La compagnie régionale française Amelia vient de passer commande de ces kits pour trois ATR 72-600. Ces kits vont permettre de remplacer le kérosène par de l'hydrogène gazeux ou liquide et les moteurs thermiques par des électriques. Amelia est une petite compagnie régionale qui dessert quelques lignes au départ de Paris-Orly. Cette compagnie a également retenu le système « Flights Footprint

Estimator » développé par Thalès qui permet d'ajuster la trajectoire d'un avion, et ce pour réduire les émissions de GES.

Côté britannique, la compagnie Aerospace Technology soutenue par le gouvernement, a développé trois concepts d'avions à hydrogène (projet FlyZero).

Le premier concept est un avion régional de 75 passagers. FlyZero a également retenu le modèle ATR72-600 comme avion de référence. La technologie est basée sur une pile à combustible (PAC) qui transforme l'hydrogène en électricité pour alimenter six moteurs électriques à hélices (au lieu de deux). Les réservoirs d'hydrogène sont dans le fuselage (parties vertes figure 5). Le rayon d'action serait de l'ordre de 1.500 km, soit moitié moins que l'avion de référence utilisant du kérosène.

Les deux autres concepts sont des avions utilisant des turbines à gaz conventionnelles alimentées en hydrogène. L'hydrogène serait stocké dans le fuselage plutôt que dans les ailes, comme c'est le cas pour le kérosène.

Contenu du dossier

Ce dossier contient des témoignages d'universitaires et d'industriels.

Le premier article, rédigé par **Thomas Planès, Scott Delbecq, Nicolas Gourdain, Jérôme Fontane, Hugo Mugnier** et **Florian Simatos**, chercheurs à l'école ISAE-SUPAERO de Toulouse, nous aide à comprendre la contribution du transport aérien sur le réchauffement climatique. L'article nous éclaire sur les pistes possibles pour décarboner ce moyen de transport. Ainsi, l'amélioration de l'efficacité énergétique et la substitution du kérosène par un autre vecteur sont deux leviers efficaces, mais qui ne répondent que partiellement à l'urgence climatique. L'article nous fait réfléchir sur les voies à prendre pour continuer à utiliser le transport aérien sans craindre de nuire à la protection de l'environnement.

“Toulouse capitale européenne de l'aéronautique, a l'ambition de devenir aussi la capitale française de la production d'hydrogène. Pour ce faire, la région Occitanie a alloué un budget de 150 millions d'euros pour la période 2019-2030.”



Figure 5 : Projet FlyZero – concept avion régional sur la base d'ATR72-600 – Source : Aerospace Technology Institute.

Cet article constitue un résumé de l'excellent rapport « aviation et climat » de plus de 205 pages publié l'année dernière par le groupe ISAE-SUPAERO.

Dans le deuxième article, **Philippe Lagarde**, chargé de mission à Aerospace Valley en Nouvelle Aquitaine, montre comment le transport aérien léger s'organise pour relever le défi de la décarbonation. Le pôle de compétitivité Aerospace Valley a lancé fin 2020 une initiative qui rassemble une communauté d'environ 300 acteurs des régions Nouvelle Aquitaine et Occitanie. Des projets innovants sont d'ores et déjà lancés pour que les aéroports puissent alimenter les aéronefs avec des énergies décarbonées. L'article passe en revue les différentes solutions décarbonées pour les petits avions : la propulsion électrique ou hybride-électrique, les perspectives d'utilisation de batteries et de piles à combustible, sans oublier la propulsion conventionnelle alimentée par des bio-carburants ou de l'hydrogène.

Pierrot Guillou, auteur du troisième article, présente le projet original de transport aérien de charges lourdes à partir d'un ballon dirigeable. Ce projet de Flying Whales, start-up française, sera capable de charger et décharger jusqu'à 60 tonnes en vol stationnaire. Il devrait permettre d'atteindre des zones et régions dépourvues

d'infrastructures routières ou portuaires. L'article est principalement consacré au choix de motorisation. Celle-ci sera électrique : dans un premier temps assistée par de l'énergie thermique puis, dans un deuxième temps, par une pile à combustible alimentée en hydrogène vert. Ce projet pourrait révolutionner le transport aérien en mettant à disposition une solution ayant une très faible empreinte carbone.

Dans le quatrième article, **Florent Christophe**, de l'ONERA, présente un résumé des publications faites à l'occasion de la conférence More Electric Aircraft (MEA), tenue en octobre 2021 à Bordeaux, incluant l'intégralité de deux publications faites à l'occasion de cette conférence.

L'auteur



Gérald Sanchis est Secrétaire général de la SEE, précédemment conseiller stratégique auprès du Président d'ENTSO-E, association européenne des gestionnaires de réseaux de transport d'électricité. Membre sénior de l'IEEE et membre émérite du CIGRE.

La première publication, réalisée par **Rodolphe Boulais**, de Saft-TotalEnergies, présente les exigences et les défis techniques auxquelles sont confrontées les batteries au lithium-ion pour assurer le succès du développement de l'avion électrique.

La seconde publication a été préparée par une équipe de chercheurs de l'ONERA (**Michael Ridel, Eric Nguyen Van, Tatiana Prosvirnova, David Donjat, Christel Seguin** et **Philippe Choy**) et porte sur le développement du projet DRAGON, avion de transport à propulsion hybride électrique de type A320. L'article décrit l'architecture hybride électrique retenue, ainsi que l'approche spécifique d'analyse de la défaillance. ■

Les articles

Quels nouveaux récits pour l'aviation face au changement climatique ?	p.46
Aerospace Valley et la mobilité aérienne légère décarbonée	p.54
Propulsion hybride et aérostatique : une alliance d'avenir pour le transport cargo	p.62
La conférence More Electric Aircraft en octobre 2021 à Bordeaux	p.70
Le développement de batteries pour l'exigeant marché de l'e-aviation	p.73
Le projet DRAGON : avion de transport à propulsion électrique	p.79