



Les avions électriques à la chasse au CO₂

Introduction

L'avion plus électrique ou tout électrique : l'une des pistes pour la décarbonation du transport aérien ?

Un peu d'histoire sur l'évolution des impacts environnementaux dans le domaine aérien

Les efforts consentis pour amorcer la décarbonation du transport aérien ont pris réellement naissance dans les années 50. A cette époque on cherchait, surtout pour des raisons de commodité, à traverser les mers et grands continents en réduisant les temps de vol et en supprimant les escales. La première grande transformation technologique vit ainsi le jour avec l'avènement du jet ; la consommation des avions de l'époque était

en effet environ cinq fois supérieure à ce qu'elle est actuellement.

C'est l'envolée du prix du baril de pétrole dans les années 70, qui a ajouté une contrainte économique, poussant les compagnies aériennes à prendre des dispositions pour encaisser le surcoût d'exploitation qui en résultait. Ces dispositions relevaient plutôt de la gestion que de la technologie : augmentation du prix des billets, réduction du nombre de vols et de la vitesse des avions en zone de croisière, vols planés en descente... Les années 70 marquent aussi la naissance de la prise en compte de l'éco-

logie, avec notamment en France la création d'un ministère de l'Environnement en 1971.

Il faut attendre le début des années 2000 pour que des contraintes fortes soient imposées, notamment celles qui avaient pour cible la division par deux de la consommation de kérosène d'ici 2050. Notons au passage que le secteur aérien a été précurseur en matière de lutte contre le réchauffement climatique, en planifiant le premier un plan d'attaque à long terme. Aujourd'hui ces objectifs restent atteignables mais la pression sur les transformations à opérer doit être maintenue (figure 1).

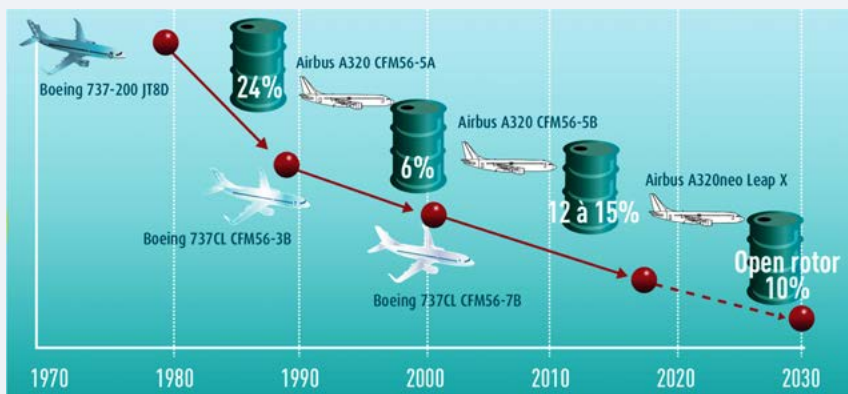


Figure 1 : Evolution et prévision des réductions de consommation de kérosène (1970-2030) [1]

Pour réaliser ces prouesses, les technologies de conception ont évolué vers diverses solutions :

- mise au point de nouveaux réacteurs moins énergivores. Citons par exemple la gamme new engine option (Neo) chez Airbus avec une réduction de carburant par siège estimée à près de 15 % par rapport à la génération précédente ;

- allègement des matériaux et notamment ceux de la structure avec la conception d'avions plus composites. L'A350 d'Airbus et le 787 Dreamliner de Boeing comptent plus de 50 % de matériaux composites qui réduisent la masse totale de 15 à 30 % ;

- modification de la forme du fuselage et des ailes de l'avion. Prenons l'exemple d'Airbus avec ses ailerons recourbés (*sharklets*) induisant une économie de carburant de 3,5 % sur de longs trajets ou encore sa voilure laminaire laissant également préfigurer des économies de l'ordre de 5 % pour un court-courrier ;

- électrification progressive des avions permettant la suppléance d'une partie des systèmes hydrauliques lourds. Mentionnons aussi la réduction de la consommation en mode taxi, avec par exemple le système *green taxiing* de Safran affichant une baisse de 75 % des émissions de CO₂ en roulage et 3 à 4 % de gain de kérosène pour un court-courrier ;

- développement de bio-carburants certifiés « kérosène alternatif durable » qui émettent une quantité de CO₂ équivalente à celle absorbée pendant la photosynthèse ;

- assistance au pilotage qui permet d'optimiser les trajectoires d'avion et ainsi concourir à des économies de carburant de l'ordre de 2 à 5 %.

Toutes ces avancées qui concernent les aéronefs sont naturellement accompagnées d'un travail de fond sur la décarbonation des infrastructures au sol. A titre d'exemple, le bilan d'émissions CO₂ du plus grand aéroport français (CDG) en 2019 est illustré dans la figure 2. Ce bilan montre que la part des émissions liées à son infrastructure s'élève à 40 % du total émis au sol.

Bilan actuel et prévisions

De nos jours, l'aviation ne concourt qu'à environ 2 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre produites par l'homme. Il n'est pas inutile de rappeler ce chiffre qui positionne l'aviation bien loin des autres secteurs émetteurs, tels que la production d'énergie électrique (26 %), l'industrie

(19 %), la sylviculture (17 %), l'agriculture (14 %) et les autres transports (11 %)... Cette méconnaissance alimentée par de la désinformation a en effet engendré un phénomène de rejet vis-à-vis de ce mode de transport, le *flygskam* (littéralement la honte de prendre l'avion), alors même que celui-ci ambitionne de stabiliser ses rejets de CO₂ au niveau de celui initialement prévu en 2020 malgré des estimations de croissance du trafic aérien de près de 5 % l'an (croissance neutre en carbone 2020 – figure 3). ●●●

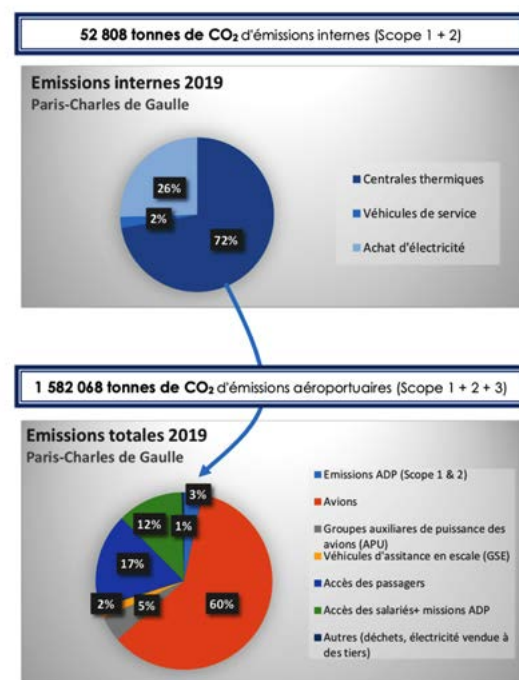


Figure 2 : Bilan d'émissions de CO₂ de l'aéroport Roissy-Charles de Gaulle en 2019 [2].
Nota : avions = production de CO₂ lors des cycles atterrissage-roulage-décollage.

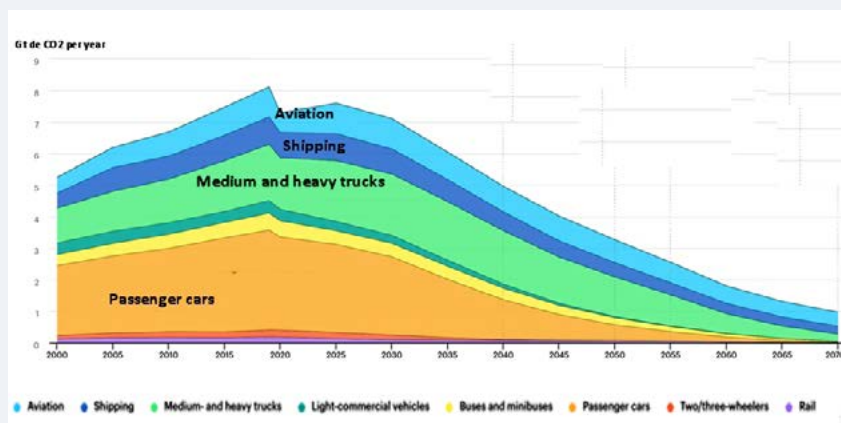


Figure 3 : Evolution des émissions passées et prévisionnelles de CO₂ par type de transport. La chute brutale observable en 2020 est naturellement imputable à la pandémie de covid-19. [3]

●●● Sans cette contrainte forte, les émissions de CO₂ devraient en effet atteindre 3 % en 2050 selon les experts du groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

L'électrification des avions : qu'en attendre ?

Les moteurs à combustion interne, de par leur densité de puissance difficilement atteignable par l'électrique, resteront encore pour plusieurs décennies au cœur de la propulsion aéronautique, particulièrement pour les vols moyens (500 à 5000 km) et longs (5000 à 15000 km) courriers. La poursuite de l'électrification de ces aéronefs permettra néanmoins de maintenir l'effort de réduction de consommation, d'émission de CO₂ et de bruit émis. Un verrou technologique demeure en effet encore à lever, et non des moindres, pour basculer dans le tout électrique : celui de la réduction de la masse des sources d'énergie électrique embarquées (batteries, piles à combustibles). Il existe cependant un segment dans lequel le tout électrique ou l'hybridation électrique a un avenir prometteur, c'est celui des vols courts courriers (< 500 km). Les avantages de l'électrique revêtent dans ce cas un grand intérêt : plus faibles émissions locales, rendement accru, gestion et distribution de l'énergie améliorée...

Le dossier spécial doctorants

Les articles qui ont été rassemblés dans ce dossier spécial doctorants traitent des solutions d'amélioration ou de transformation qui pourraient être appliquées à l'horizon 2035. Ils ont été rédigés par des étudiant(e)s candidats au doctorat de l'Université de Toulouse, inscrits dans l'école doctorale GEET-ED 323 (Génie Electrique, Electronique et Télécommunications). Près de 40 % des thèses qui y sont soutenues appartiennent au domaine des transports, avec une forte proportion pour l'aéronautique très présente dans la ville rose. Les travaux de ces doctorants ont été réalisés dans le cadre de deux projets H2020 financés par l'Union européenne

(programme-cadre européen pour la recherche et l'innovation).

De nombreuses initiatives toulousaines qui lient les laboratoires de recherche, les établissements d'enseignement et le monde socio-économique ont été prises puis pérennisées sous l'impulsion du groupe Midi-Pyrénées de la SEE. Citons l'organisation de conférences du soir à destination des étudiants organisées dans les universités et écoles du site toulousain par des orateurs du monde industriel, le prix jeune SEE attribué chaque année au meilleur stage de fin d'étude (master ou école d'ingénieur) par un jury mixte académiques-industriels, la remise des prix des meilleures présentations orales lors du congrès annuel de l'école doctorale GEET avec le sponsoring de la SEE et là aussi un jury mixte, la création d'une conférence francophone biennale depuis 2010 sur l'écoconception qui lie l'université Paul Sabatier et la SEE dont le comité scientifique est composé à plus de 30 % d'industriels. Ce nouveau type de dossier de la REE perpétue donc cette volonté de la SEE de tisser des liens entre la recherche académique, l'enseignement supérieur et le monde industriel. ■

Bibliographie

- [1] Aviation et changement climatique - Direction générale de l'aviation civile – 2020.
- [2] Emissions de CO₂ et plan d'action 2019 - Groupe Aéroports de Paris.
- [3] Energy Technology Perspectives 2020 - Flagship report sept. 2020 - International Energy Agency.

Les auteurs



Dominique Mary est docteur en génie électrique. Il enseigne l'électronique analogique, les méthodes numériques et l'écoconception à l'Université Paul Sabatier et à l'INU Champollion. Il est président du groupe régional SEE Midi-Pyrénées et membre senior de la SEE.



Alain Cazarre est docteur en électronique. Il enseigne à l'Université Paul Sabatier la micro-électronique, les nanotechnologies, la physique des composants et les dispositifs associés, notamment dans le domaine des systèmes embarqués. Il codirige l'école doctorale GEET.



David Malec est docteur-ingénieur en génie électrique. Il enseigne le génie électrique, la physique des matériaux, la haute tension et l'écoconception à l'Université Paul Sabatier et à Toulouse INP. Il codirige l'école doctorale GEET et dirige l'Ecole des docteurs de Toulouse (collège doctoral toulousain). Il est également consultant, notamment pour l'industrie aéronautique, et membre senior de la SEE.

Les articles

- Le morphing électroactif bio-inspiré pour accroître les performances aérodynamiques des ailes du futur** par Mateus Carvalho.....p.65
- Aide au design de moteurs électriques de propulsion d'avion régional** par Philippe Collin.....p.72
- Conception intégrée du système propulsif d'un avion régional hybride-électrique** par Matthieu Pettes-Duler.....p.80
- Pré-dimensionnement d'un moteur électrique de très forte puissance spécifique pour avion hybride** par Sarah Touhami.....p.88