Carburants renouvelables et pollution aérienne : et si le CO2 n'était pas la bonne cible

written by Aurore Richel



Avant que la crise sanitaire ne fasse chuter drastiquement le taux de fréquentation dans le secteur de l'aviation, l'avion était considéré comme le moyen de transport le plus polluant, avec « un niveau de CO_2 émis par passager et par kilomètre nettement supérieur à d'autres dispositifs de transport ». Reconnu ainsi comme un gros contributeur aux émissions de CO_2, le secteur aérien est ainsi encore considéré comme une source importante de pollution atmosphérique.

Les carburants issus de ressources renouvelables sont pressentis comme des solutions miracles pour réduire ces émissions de dioxyde de carbone. Mais, si sur le papier les arguments semblent prometteurs, il semblerait que la plus grosse problématique en terme d'émissions dans le secteur du transport aérien soit bien différente.

Et si le dioxyde de carbone n'était pas la cible à combattre. Et si les messages véhiculés sur les réseaux sociaux avaient biaisés le débat et l'opinion du grand public. C'est ce que nous allons tenter de comprendre aujourd'hui.

Pour tenter de comprendre la problématique, nous allons d'abord rappeler de manière simplifiée ce qu'est un « kérosène » et un

« carburant alternatif» pour l'aviation. Attention, nous n'aborderons ici que le cas de **l'aviation commerciale**, et non pas de l'aviation militaire qui présente ses propres enjeux, codes et définitions.

Qu'est-ce qu'un carburant pour l'aviation ?

Malgré les innombrables raccourcis qui peuvent exister dans la presse, sur les réseaux sociaux, ou même dans les débats publics, il est important de mentionner dès le début que **tous les carburants pour l'aviation ne sont uniquement considérés comme étant du kérosène « pur ».** Essayons dès lors d'aborder les choses simplement….

Pour qu'un **avion commercial** soit opérationnel[1], il a besoin d'un carburant. Celui-ci est appelé « **carburant aviation** » ou « **carburéacteur** ». C'est un liquide, incolore ou légèrement jaunâtre, stockable tout comme les carburants qui sont utilisés pour le transport routier. Les carburéacteurs les plus courants pour l'aviation civile sont le Jet A et le Jet A-1, tous deux produits selon des spécifications strictes, répondant à une réglementation internationale. Le Jet B est le troisième carburant le plus utilisé, souvent pour des vols dans les régions froides (Canada, Alaska) en raison de ses plus grandes performances à très basses températures comparées aux Jet A et Jet A-1.

Un carburéacteur est composé majoritairement d'un mélange d'hydrocarbures, qui peuvent être soient linéaires, ramifiés, ou aromatiques. La plupart de ces carburants (dont le Jet A et Jet A-1) sont dits « **de type kérosène** », c'est-à-dire qu'ils sont composés de molécules qui comprennent entre 8 et 16 atomes de carbone et qui sont issues de la coupe pétrolière appelée « kérosène » (coupe obtenue après raffinage du pétrole brut). Le Jet B est quant à lui un carburant aviation « **de type naphta** », c'est-à-dire que le nombre d'atomes de carbone moyen par molécule varie entre 5 et 15. Pour ce carburant Jet B, une portion d'essence est mélangé avec le kérosène, lui permettant ainsi d'être opérationnel à des températures plus basses.

Un carburant pour l'aviation est donc un mélange de molécules provenant des opérations de **raffinage du pétrole.** Le nombre

d’atomes de carbone moyen par molécule, de même que la température d’ébullition, situe les carburants pour aviation entre l’essence et le diésel de roulage (**Figure 1**).

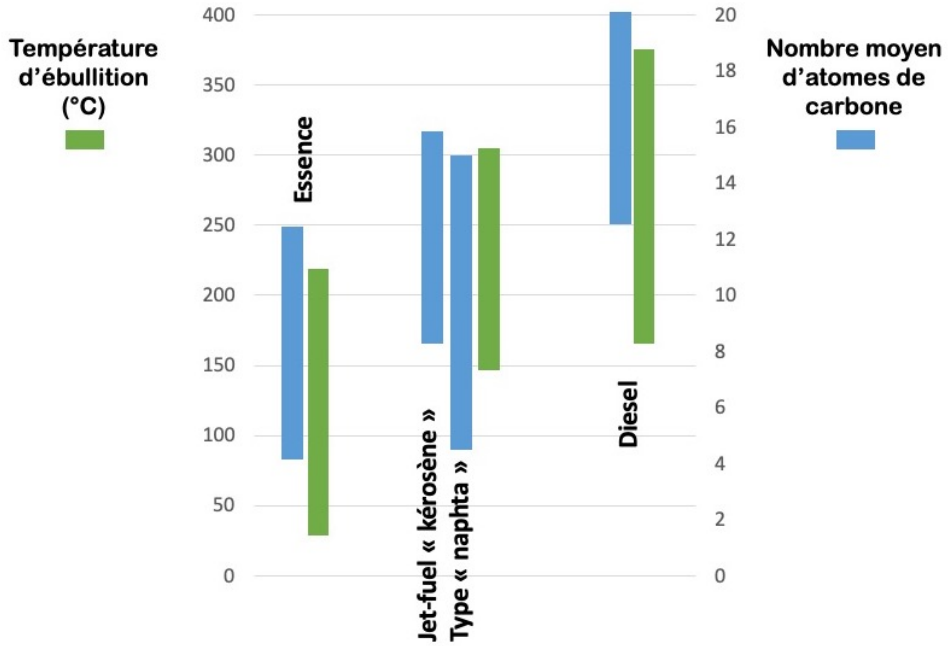


Figure 1. Caractéristiques globales des carburéacteurs par rapport à d’autres fractions pétrolières telles que le diésel et l’essence.

S’il est admis que la composition chimique précise d’un carburant aviation peut fluctuer en fonction de la source de pétrole brut dont il est issu et des procédés de raffinage utilisés pour sa production, on peut cependant avancer que les principaux composants des kérosènes sont les paraffines linéaires ou à chaine(s) ramifiée(s) (isoparaffines), de même que des cycles non aromatiques, comptant pour plus de 70% de la composition globale. Les hydrocarbures aromatiques ne dépassent généralement pas les 25% de la composition. On retrouve également des oléfines pour max 5% et des traces de soufre (ou de composés soufrés) souvent sous les 0,5% (**Figure 2**).[2] A côté de ces composants principaux, différents additifs sont ajoutés. Ainsi, le Jet A (principalement délivré et utilisé aux États-Unis) contient un antioxydant ; le Jet A-1 (plus répandu) contient aussi un antioxydant auquel est ajouté un dissipateur d’électricité statique.

Un carburéacteur n’est donc pas un liquide de composition ultra-fixe, et standard ; raison pour laquelle ce carburant est souvent défini sur base de ses performances (par exemple, sa densité, son

point de congélation, la plage de températures sur laquelle il peut être utilisé, etc.) plutôt que de sa composition chimique. **Les spécifications des carburants pour l'aviation répondent donc à des directives de performance plutôt que de composition**.

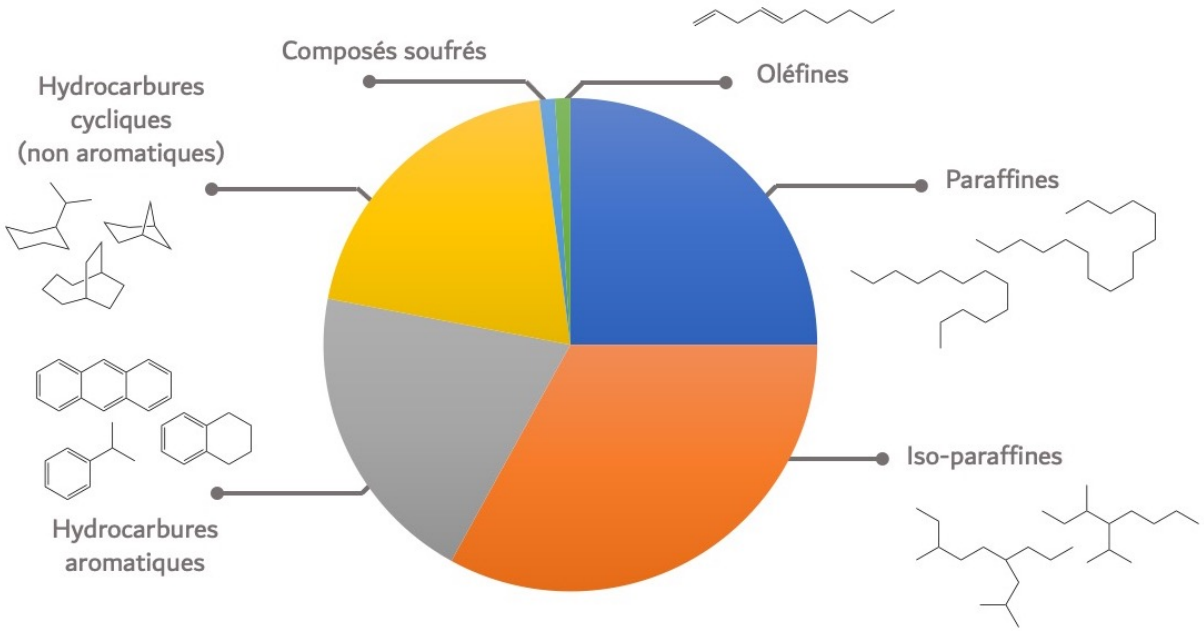


Figure 2. Principales entités chimiques présentes dans les carburants standards pour l'aviation. Les compositions sont proposées en vol.%.

Existe-t-il des carburants alternatifs pour le secteur aérien ?

Depuis plusieurs années, à côté de ces carburants aériens issus de ressources fossiles, sont apparus des carburants jugés plus durables et désignés sous le terme de « **carburants avancés** ». Ceux-ci sont majoritairement produits à partir de r**essources renouvelables**, parmi lesquelles on retrouve les matières végétales, les déchets organiques et certains effluents industriels comme le CO_2. Ces carburants avancés ont pour objectif de réduire les émissions de dioxyde de carbone souvent pointées du doigt dans le secteur du transport aérien, tout en levant progressivement la dépendance vis-à-vis des ressources fossiles.

Rappelons que la recherche de carburants avancés issus de ressources renouvelables n'est pas récente et qu'elle a fait déjà l'objet de multiples initiatives lors de la Seconde Guerre Mondiale en période d'embargo sur les matières premières fossiles comme le pétrole. Cette recherche se verra ensuite dopée vers les années 70,

suite au choc pétrolier de 1973/74.

Les carburants avancés pour le transport aérien n'ont pas du tout la même composition que les biocarburants exploités pour le transport routier (comme le bioéthanol ou le biodiesel). Il s'agit ici de **kérosènes de synthèse dont la composition chimique s'apparente à la composition d'un kérosène traditionnel issu du pétrole** et qui répondent ainsi aux directives de performances imposées par le secteur du transport aérien. On est donc ici dans une **logique de substitution**, avec la volonté de recréer à l'identique les carburants exploités actuellement par les compagnies aériennes.

On dénombre aujourd'hui 7 voies de production pour ces kérosènes de synthèse, avec des niveaux de maturité technologique distincts (**Figure 3**). Ces voies de production se différencient d'une part par la nature de la matière première renouvelable employée, et d'autre part, par le(s) procédé(s) de production (chimique, biologique ou thermochimique) mis en œuvre. Au terme de la production, ces « nouveaux » carburants sont généralement mélangés avec du kérosène « traditionnel » afin de maintenir les performances spécifiques attendues par le secteur de l'aviation.

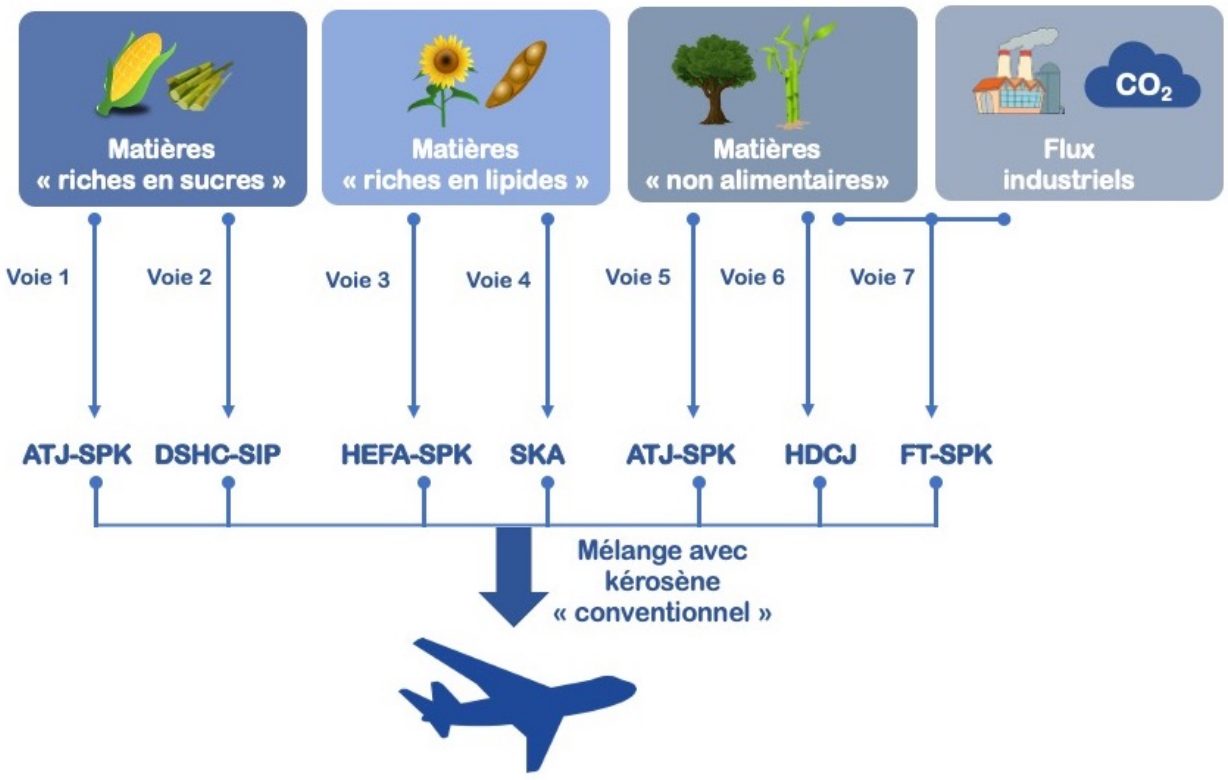


Figure 3. Illustration simplifiée des différents biocarburants

exploitables pour l'aviation commerciale. *ATJ est l'abréviation de « alcohol-to-jet », SPK « Synthetic Paraffinic Kerosene », DSHC « Direct Sugar to Hydrocarbons », SIP "Synthetic Iso-Paraffinic", HEFA "Hydroprocessed Esters and Fatty Acids", SKA "Synthetic Kerosene with Aromatics", HDCJ « Hydrotreated Depolymerized Cellulosic » et FT « Fischer-Tropsch ».*

Actuellement, les carburants avancés issus de matières premières riches en sucres (comme la **canne à sucre**) ou en amidon, de même que ceux issus de matières riches en lipides (comme le soja, le jatropha, les **huiles usagées**, l'huile de palme, ou même les microalgues) sont disponibles sur le marché. Les matières végétales non alimentaires (contenant de la cellulose), de même que les résidus industriels (provenant, notamment, des industries agroalimentaires) sont également à l'étude. Cependant, la complexité des procédés à mettre en œuvre, et la nécessité de lever encore certains verrous technologiques, limitent leur exploitation à une échelle commerciale.

Certains effluents gazeux, dont le dioxyde de carbone, de même que des déchets organiques ou du bois, sont aussi devenus « populaires » dans les recherches actuelles qui envisagent des traitements à très hautes températures. Il est intéressant de noter que si certaines voix s'élèvent pour défendre ces carburants avancés, pléthore de données notables ont déjà été acquises lors de multiples initiatives précédentes (notamment par les avancées des travaux de **Fischer-Tropsch dans les années 40 et par des études datant de plusieurs décennies et rendues publiques par la NASA**).

La diversité des ressources renouvelables disponibles pour concevoir ces carburants avancés, combinée au panel d'outils technologiques existants, explique la gamme de kérosènes de synthèse actuellement disponibles sur le marché. Ces kérosènes de synthèse sont souvent désignés sous la forme d'un acronyme qui permet à un spécialiste de reconnaitre le type de matière renouvelable et le procédé employés dans la production. L'acronyme ATJ (alcohol-to-jet) signifie ainsi qu'une ressource renouvelable riche en sucres a été transformée en alcool qui a ensuite été converti en hydrocarbures. Les lettres FT font par contre référence à une matière transformée à hautes températures et ayant subi un

traitement de Fischer-Tropsch. Le terme SPK signifie qu'il s'agit d'un kérosène de synthèse riche en paraffines, alors que l'acronyme SKA mentionne qu'il contient beaucoup de cycles aromatiques.

La plupart des carburants avancés issus de ressources renouvelables restent composés d'un mélange d'hydrocarbures. Les taux de soufre (ou de composés soufrés) sont par contre nuls, ce qui différencie ces entités de synthèse d'un carburéacteur issu du pétrole.

Si le couple « matière première – procédé » a une incidence sur la composition chimique du carburant avancé synthétisé, il a aussi une répercussion sur le prix de vente minimum. Ce prix de vente minimum oscillait ainsi en 2018[3] entre **0,36 et 1,00 €/L pour les kérosènes de synthèse** (HEFA-SPK) produits à partir de caméline (une plante riche en huiles), 0,52 et 1,05 €/L pour les kérosènes issus d'huiles et graisses usagées et restait supérieur à 6,5 €/L quand ils sont issus de microalgues.

Les prix de vente restent aux alentours des 0,7 €/L pour les kérosènes synthétisés à partir de canne à sucre par la voie « alcool » (ATJ-SPK) et peuvent grimper à plus de 15 €/L pour les carburants encore en phase de développement tels que ceux issus de déchets organiques ou de sous-produits industriels (comme le CO_2).[4] A titre comparatif, le prix au litre du Jet A-1 était de 0,5 € en 2021.[5]

Les principaux producteurs de ces carburants issus de ressources renouvelables, sont des acteurs connus de la pétrochimie comme Total, Sasol, ou Shell, mais aussi des sociétés plus spécialisées telles que World Energy[6], Neste[7], Gevo[8] ou Amyris[9] (liste non exhaustive).

Les carburants avancés : pas réellement utilisés ?

Depuis 2008, diverses compagnies aériennes utilisent ces carburants avancés, systématiquement en mélange avec des carburéacteurs conventionnels. Selon des normes opérationnelles et techniques, la limite maximale de mélange de ces carburants avancés est de 10 à 50% en volume selon les cas.[10]

Selon l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale, en 2021

plus de 360.000 vols commerciaux ont déjà utilisé des carburants avancés. Distribués dans près de 35 aéroports, ces carburants avancés représentent plus de 16 milliards de litres pour lesquels des accords de vente ont été scellés. La liste complète des aéroports aptes à effectuer des ravitaillements avec des carburants avancés est publiée sur le site de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale, qui mentionne aussi l'entreprise productrice de ces carburants.[11] **L'aéroport de Bruxelles Zaventem ne figure pas dans cette liste.**



Même si ces carburants avancés sont commerciaux, **leur consommation reste très faible par rapport au volume total de carburéacteurs utilisés par le secteur de l'aviation civile**. En 2018, cette consommation représentait à peine 0,1% du volume mondial total des carburants requis par le secteur. En Europe, les chiffres sont encore plus faibles avec une intégration de **moins de 0,05%** pour la même année selon la Commission Européenne.

Existe-t-il un avantage pour ces carburants avancés ?

De manière générale, les moteurs d'avion émettent une grande variété de produits de combustion lors des phases de vol, peu importe le type de kérosène utilisé. On estime ainsi que pour **1 tonne de kérosène brûlé, 3,16 tonnes de CO_2 et environ 1,23 tonnes d'eau sont produites**, avec des traces de suie et d'oxydes de soufre et/ou d'azote (en fonction de l'origine du carburéacteur employé) ![12]

Aux températures froides typiques rencontrées aux altitudes de croisière, l'eau ainsi générée se condense rapidement, notamment

sur les particules de suie émises, pour finalement former des cristaux de glace constituant des traînées de condensation (appelées **contrails** en anglais) plus ou moins persistantes et visibles depuis le sol (**Figure 4**).

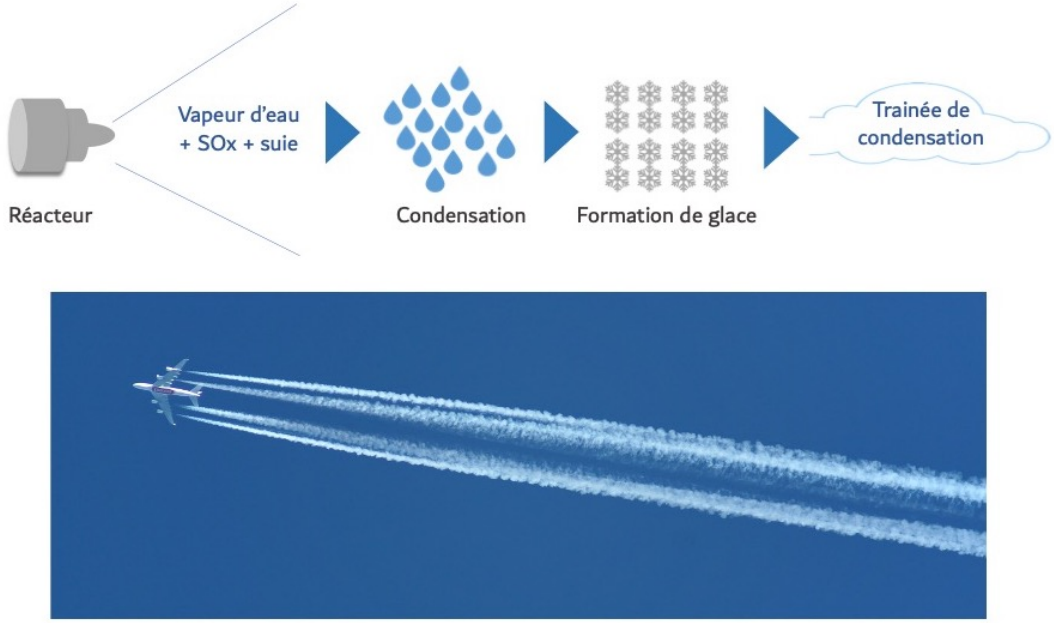


Figure 4. Illustration de traînées de condensation et de leur formation schématisée.

La température extérieure, de même que le taux d'humidité ambiant, agit sur la persistance de ces traînées de condensation qui peuvent rester visibles pendant plusieurs heures. Elles sont aussi visibles depuis l'espace, comme en témoignent certains clichés photographiques pris depuis la Station Spatiale Internationale.[13]

Composées d'eau, les traînées de condensation pourraient être perçues comme « inoffensives ». Cependant, l'eau est un gaz à effet de serre et l'effet de ces traînées de condensation sur le réchauffement climatique est loin d'être négligeable. **Ces traînées de condensation représentent même la contribution la plus importante pour le secteur de l'aviation** avec un forçage radiatif effectif estimé à plus de 57 $mW.m^{-2}$ bien loin devant la contribution du dioxyde de carbone (+ 34 $mW.m^{-2}$) et des émissions d'oxydes de soufre et d'azote.[14]

Et c'est là que les carburants avancés prennent tout leur sens. La NASA (en collaboration avec le centre allemand de l'aéronautique)

vient ainsi de démontrer il y a quelques semaines que certains kérosènes de synthèse issus de ressources renouvelables **peuvent produire de 50 à 70 % moins de traînées de condensation à l'altitude de croisière, réduisant ainsi l'impact de l'aviation sur l'environnement**.[15]

Ces résultats, publiés dans le revue *Nature*, suggèrent que c'est la teneur en molécules aromatiques contenus dans les carburants tels que les Jet A et Jet A-1 qui est responsable de la formation accrue de ces trainées de condensation et que les carburants avancés à faible teneur en aromatiques sont donc à privilégier.[16], [17]

Qu'en est-il alors du dioxyde de carbone ?

Si l'eau est le plus grand contributeur aux gaz à effet de serre du secteur de l'aviation, il convient alors de se demander pourquoi le grand public et les initiatives politiques argumentent autant sur le CO_2. Le CO_2 émis par le secteur de l'aviation ne représente en effet que seulement **2,5% des émissions totales mondiales**. Cette valeur est par ailleurs restée relativement stable (oscillant entre 2 et 2,5%) depuis les années 80 et représente actuellement une part assez faible des émissions CO_2 par rapport à d'autres secteurs.[18]

Néanmoins, compte tenu de la fréquentation accrue des passagers et du nombre de vols sans cesse croissant, l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (ICAO) prévoyait (avant la crise sanitaire COVID-19) une augmentation de **ces émissions CO_2 qui pourraient tripler d'ici 2050**.[19]

Afin de minimiser ces projections à la hausse de CO_2, les acteurs du secteur de l'aviation (incluant les compagnies aériennes, les instances gouvernementales et les industries) ont souvent argumenté que les carburants avancés pourraient offrir une solution de choix. En effet, le message est que « le CO_2 émis par les réacteurs des avions est à peu près équivalent à la quantité de CO_2 absorbé par les plantes qui serviront ensuite à la manufacture de carburants avancés ». La boucle serait ainsi bouclée.

Si ces arguments semblent tentant, il n'en reste pas moins que la communauté scientifique reste plus prudente face à cet argument qui

ressemble plutôt à du **greenwashing**. Les dernières données quantifiées et scénarios environnementaux (publiés en 2021) mettent ainsi en évidence que l'utilisation de carburants alternatifs n'aura qu'un effet très faible sur les émissions de CO_2 et qu'il ne sera pas possible d'atteindre les objectifs de réduction de moitié des émissions CO_2 du secteur comme le préconise l'ICAO.

Dans les meilleurs des cas, et si on investit massivement dans la production de ces carburants issus de ressources renouvelables, il ne sera possible d'atteindre **une croissance neutre en carbone que d'ici 2040**.

Les « **e-fuels** » (carburants alternatifs produits par des énergies renouvelables à partir de CO2, ou plus rigoureusement de CO, et d'hydrogène obtenu par électrolyse de l'eau) ne permettraient d'améliorer que très légèrement la situation. Cependant, le **manque de maturité technologique** de ces approches et l'absence de structure industrielle *ad hoc* permettant la production de ces nouveaux carburants pour l'aviation n'offrent pas non plus de solution pour le secteur de l'aviation, même à moyen terme.

En attendant, le secteur de l'aviation réfléchit à d'autres options technologiques pour rendre le secteur moins contributif aux émissions de gaz à effet de serre. La modification des turbines et moteurs, permettant, entre autres, l'usage d'hydrogène est à l'étude notamment chez Airbus avec son projet ZEROe.[20]

Le mot de la fin

A l'heure où le réchauffement climatique est au cœur des préoccupations, l'aviation civile est perçue comme une source importante d'émissions de dioxyde de carbone. Afin de lutter contre ces émissions, et d'atteindre une neutralité carbone dans le transport aérien, les carburants issus de ressources renouvelables sont souvent considérés comme des options plus « écologiques ».

Si leur impact à court et moyen terme sur la diminution de la formation des traînées de condensation est avéré et étayé par des études récentes de la NASA, l'impact à long terme de ces solutions renouvelables sur les émissions carbone n'est pas garantie.

Un **investissement majeur dans des infrastructures de production de masse** pour ces carburants avancés est une option retenue par la communauté scientifique pour permettre de satisfaire, du moins partiellement, les recommandations opérationnelles proposées par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (ICAO).

Une communication plus raisonnée vis-à-vis du grand public et un discours plus nuancé sur les bénéfices de ces carburants alternatifs pour l'aviation et sur les impacts CO_2 du secteur sont préconisés. Il convient ainsi de mentionner l'intérêt des carburants issus de ressources renouvelables dans la minimisation des quantités d'eau produites en altitudes de croisière. **Rappelons ainsi que l'eau est la principale contribution du secteur aérien au réchauffement climatique**.

Vous souhaitez plus d'informations sur ce sujet ?

N'hésitez pas à me contacter via l'adresse email suivante: a.richel@uliege.be ou via le formulaire disponible en cliquant ici.

Références et notes

[1] Nous n'aborderons pas ici le cas de l'aviation militaire qui présente ses propres normes. Ceci est par ailleurs un article simplifié, à destination du grand public et qui, dès lors, refreine l'usage de termes jugés trop spécifiques au secteur de l'aviation.

[2] https://www.petroleumhpv.org/-/media/PetroleumHPV/Documents/2010_sept21_Kerosene_Jet%20fuel%20robust%20summaries%20final.pdf?la=en&hash=43AF43DE15BF9C62C4C436FEB1095B7D49A94356

[3] Prix de référence aux États-Unis

[4] https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236119309433

[5] https://jet-a1-fuel.com

[6] https://www.worldenergy.net

[7] https://www.neste.com/about-neste/who-we-are/business?gclid=CjwKCAj

w4qCKBhAVEiwAkTYsPFE7J8A6jERcE4Hy73xgSTTF0bJbIjdPj3FdVE77W9lwf1rwzGOWLBoCDB4QAvD_BwE#ddbbb513

[8] https://gevo.com

[9] https://amyris.com

[10] https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/659361/EPRS_BRI(2020)659361_EN.pdf

[11] https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Airports.aspx

[12] D.S. Lee et al. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. Atmos. Environ. 244, https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834 (2021)

[13] https://visibleearth.nasa.gov/images/61099/contrail-web-over-the-central-rhone-valley-eastern-france

[14] Burkhardt, U. & Kärcher, B. Global radiative forcing from contrail cirrus. Nat.

Clim. Change 1, 54–58 (2011).

[15] https://www.nasa.gov/press-release/nasa-dlr-study-finds-sustainable-aviation-fuel-can-reduce-contrails

[16] https://www.nature.com/articles/s43247-021-00174-y

[17] Notre expertise dans le secteur nous incite cependant à mentionner que dans le panel de carburants alternatifs envisageables pour le secteur de l’aviation, certains présentent des teneurs en aromatiques non négligeables. Les efforts de recherche doivent donc veiller à cibler la meilleure option (tant en terme de procédé que de sélection de la matière première) afin d’offrir la solution la plus adéquate permettant de réduire l’impact environnemental.

[18] https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-aviation

[19] https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation_en

[20] https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.html