



Avis de l'AAE sur

Transport aérien en crise et défi climatique

Vers de nouveaux paradigmes

Les Avis

ISBN 978-2-913331-90-7



ISSN 2426 3931

N°13

2021

© Académie de l'air et de l'espace, juillet 2021. Tous droits réservés.
Dépôt légal juillet 2021

ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

Ancien observatoire de Jolimont
1 avenue Camille Flammarion
31500 Toulouse – France
contact@academie-air-espace.com
Tél : +33 (0)5 34 25 03 80
www.academieairespace.com

Imprimé par :
EQUINOX
Parc d'Activité Industrielles de GABOR
81370 Saint-Sulpice – FRANCE

ISBN 978-2-913331-90-7
ISSN 2426 3931

Crédits images couverture : A. Ribes, AAE

AVANT PROPOS

L'Académie de l'air et de l'espace a organisé les 11 et 12 mars 2021 un colloque intitulé "Transport aérien en crise et défi climatique – vers de nouveaux paradigmes", sous la présidence de madame Violeta Bulç, ancienne commissaire aux Transports de la Commission européenne. Cet avis est directement issu des débats de ce colloque et des travaux internes à l'Académie qui ont suivi.

Nous avons voulu différencier clairement ce colloque des nombreuses conférences ou forums relatifs à la transition énergétique du transport aérien sur trois aspects :

- aborder la problématique de la décarbonation du transport aérien sans tabous ni concessions en associant les acteurs de la société extérieurs au monde aérien ;
- donner la parole aux jeunes générations, avec un accent particulier mis sur la coopération avec des organismes de

formation (débats retransmis en direct dans une dizaine d'écoles ou instituts de formation), coopération qui va se poursuivre ultérieurement ;

- entendre les points de vue exprimés par des représentants des continents autres que l'Europe, reflétant des priorités quelquefois très différentes, soulignant ainsi l'importance de la dimension internationale dans ce débat.

Pour la présentation de cet avis, nous avons conservé la structure du colloque et émis des recommandations ainsi :

1. Enjeux climatiques pour le transport aérien

Les modalités de répartition de l'effort de décarbonation du secteur comparé aux autres secteurs d'activité d'une part, et à l'intérieur du secteur aérien d'autre part, nécessitent d'être débattues, et les évolutions devront être suivies au niveau

mondial. L'Académie recommande aux acteurs publics et privés de s'associer pour **créer un observatoire de la décarbonation du transport aérien** afin de travailler sur des bases reconnues par tous, crédibles et transparentes (Rec.1).

2. Choix technologiques à la hauteur des ambitions écologiques

L'Académie considère que l'innovation technologique sera le moyen privilégié de diminuer les émissions de gaz à effet de serre de l'aviation. Prenant en considération les contraintes techniques, notamment liées à la sécurité des vols, la nécessité de développer des solutions interoperables au niveau international, la complexité relative au déploiement d'infrastructures de distribution de carburant, le besoin de continuité des solutions de transition et de l'urgence d'engager de nouveaux processus, l'Académie recommande aux États de **soutenir massivement dès à présent une filière industrielle européenne de carburants synthétiques** (PtL – “*power to liquid*”), sachant que des projets industriels sont déjà envisagés ici et là (Rec.2).

Tout en mettant l'accent nécessaire sur la filière PtL qui paraît prometteuse pour l'ensemble du transport aérien, l'Académie suggère aux industriels et aux États concernés de soutenir l'exploration des

autres solutions de façon équilibrée, en tenant le plus grand compte de leur faisabilité au niveau mondial (Rec.3).

Enfin, il est recommandé aux industriels et aux États qui les soutiennent de **maintenir et amplifier les efforts d'innovation sur les technologies actuelles** visant à réduire les consommations (Rec.4).

3. Incitations au niveau des transporteurs et des gestionnaires d'infrastructure

En dehors de solutions autoritaires visant à faire décroître le transport aérien, qui seraient un constat d'échec avant d'avoir essayé les autres solutions, il est certainement possible de mettre en place des politiques de transport aérien incitatives plus économes en carburant. Les compagnies aériennes ont déjà des stratégies d'économie de carburant dans leur propre intérêt, mais elles pourraient être incitées à des pratiques opérationnelles, des stratégies de desserte ou des politiques commerciales donnant priorité à la diminution de leur consommation. On parle quelquefois de re-réglementation : il ne s'agirait pas de revenir à la réglementation d'il y a 50 ans, mais d'établir un certain nombre de règles ou d'incitations favorables à la diminution des émissions. C'est pourquoi l'Académie recommande aux États et à l'Organisation de l'aviation civile internationale de

convoquer une nouvelle Conférence de transport aérien (Rec.5) à Montréal pour définir cette nouvelle politique au niveau mondial. Parmi les mesures efficaces à court terme, la première serait que les États mettent en œuvre dès maintenant une politique ambitieuse d'incorporation de carburant alternatif durable (Rec.6) sans attendre le PTL idéal.

Dans le domaine de la navigation aérienne, l'Académie suggère aux fournisseurs de service de sensibiliser davantage leurs personnels aux enjeux climatiques de leurs métiers (Rec.7). L'Académie ne formule pas de recommandation relative à la gestion du trafic aérien (ATM – “*Air Traffic Management*”), mais n'ignore pas pour autant les enjeux de cette activité en termes d'émissions. Une étude approfondie de l'évolution du contrôle aérien en Europe est en cours et fera l'objet de recommandations ultérieures.

L'Académie encourage les aéroports à poursuivre leur politique de réduction des émissions et à se préparer résolument aux évolutions technologiques à venir (Rec.8). Elle recommande également aux autorités de transport terrestre de mettre en place des liaisons ville-aéroports de qualité afin de diminuer la part des véhicules particuliers dans ces transports (Rec.9).

4. Nécessité d'une harmonisation internationale efficace

Comme le montre la crise sanitaire que nous traversons, il est des secteurs où la coordination internationale est nécessaire pour être efficace. Le transport aérien, naturellement tourné vers la longue distance, en fait partie. L'interopérabilité technique est nécessaire pour des raisons évidentes de sécurité, mais aussi un certain degré d'harmonisation politique dans une économie mondialisée. C'est le rôle de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), créée par la Convention de Chicago (1944). L'OACI a été en outre chargée de définir une politique mondiale de lutte contre les changements climatiques par le Protocole de Kyoto (1997). Entre le principe de non-discrimination de Chicago et le principe de responsabilité commune mais différenciée de Kyoto, repris par l'Accord de Paris, le compromis est difficile, ce qui ralentit les progrès et en diminue l'ampleur. L'Académie recommande aux États, et en particulier à la France qui prendra la présidence de l'Union européenne au 1^{er} semestre 2022 de prendre une initiative politique forte en amont de la 41^e assemblée de l'OACI (septembre 2022) afin **d'intégrer la lutte contre les changements climatiques dans les principes de base de l'OACI (Rec.10)**. Sans

impulsion politique forte et rapide, il existe des risques que cette Assemblée ne débouche que sur des décisions limitées.

Parmi les décisions attendues de la 41^e assemblée de l'OACI figure d'abord l'adoption d'un objectif d'émissions du transport aérien international à long terme. Il est également nécessaire que l'OACI adapte ses structures de travail et ses processus décisionnels pour faire face à la nécessité d'adopter rapidement les normes et recommandations permettant de mettre en œuvre les nouvelles technologies qui permettront de réduire les émissions. L'Académie recommande donc aux États et aux institutions européennes, de **faire pression sur l'Assemblée et le Conseil de l'OACI afin que l'organisation se réforme en profondeur** (Rec. 11).

5. Quel transport aérien après-demain : un nécessaire dialogue citoyen

Le transport aérien est le seul secteur économique ayant pris la décision de réglementer ses émissions au niveau mondial. Il se mobilise résolument pour aller beaucoup plus loin et approcher le "net zéro émissions". Les innovations technologiques qui seront mises au point par l'aviation bénéficieront à d'autres secteurs. Tout comme le transport aérien international a relevé le défi de la sécurité (moins de

1 000 morts par an), il y a tout lieu de penser qu'il relèvera celui de la lutte contre les changements climatiques. Toutefois, il a du mal à convaincre tout le monde de ses projets technologiques, certains lui attribuent une part des émissions bien au-delà de ce qu'elle est vraiment, d'autres ne voient qu'une solution : le contraindre à la décroissance.

Dans ce contexte, l'Académie de l'air et de l'espace a considéré qu'il fallait aborder la question de l'utilité sociale du transport aérien de façon directe et équilibrée. C'est vrai 1 % de la population mondiale émet 50 % du CO₂ total du transport aérien. Tout comme 1 % de la population détient la moitié de la fortune mondiale. Ce constat se rapporte au fonctionnement de nos sociétés. La question de l'impact climatique du transport aérien mérite d'être abordée sereinement et rationnellement.

À quoi sert le transport aérien ? Quelle est son utilité sociale ? Pourrait-on s'en passer ? Les sociologues que nous avons sollicités nous suggèrent des voies de réflexion : le déplacement est un instrument de développement aussi bien individuel que collectif. Mais la perception est différente selon que l'on se trouve dans des pays développés disposant de moyens de substitution ou dans des pays enclavés dont l'économie repose sur la desserte aérienne. Des réflexions sur les

usages du transport aérien sont nécessaires.

L'Académie recommande la **création d'un forum des usages de l'aviation, qui pourrait être européen** (Rec.12). Celui-ci devrait rassembler toutes les parties prenantes, internes et externes au secteur, les citoyens et les pouvoirs publics, en associant largement les jeunes générations. Elle suggère que cette initiative soit

prise par une institution européenne, par exemple le Parlement européen.

L'Académie de l'air et de l'espace diffuse cet avis avec comme unique objectif la défense de l'intérêt général. Elle est prête à poursuivre ces travaux en coopération avec les différents acteurs qui le souhaiteront.

Le Président de l'Académie de l'air et de l'espace

Michel WACHENHEIM

TABLE DES MATIÈRES

Avant propos	3
Recommandations	10
1- Pour un partage de l'effort équitable et juste	12
I.1. Les enjeux du réchauffement climatique.....	12
I.2. Les enjeux du transport aérien	12
I.3. Comment répartir l'effort ?	14
2- Pour des choix technologiques à la hauteur des ambitions écologiques	16
II.1. La technologie pourra apporter des solutions : comment et quand ?	16
II.2. Effets “hors CO ₂ ”	20
II.3. Les stratégies de défossilisation	21
II.4. Avec quelle énergie primaire ? La problématique de l'électricité verte au-delà du transport aérien.....	22
3- Les opérateurs	24
III.1. Les compagnies aériennes	24
III.2. Les services de management du trafic aérien (ATM)	27
III.3. Les aéroports	27
4- Nécessité d'une harmonisation internationale efficace	29
5- Quel transport aérien après-demain : un nécessaire dialogue citoyen	32

RECOMMANDATIONS

1. Créer un observatoire de la décarbonation du transport aérien, où toutes les parties prenantes du secteur aérien et d'autres secteurs seraient représentées. Cet outil aurait pour tâches de mettre fin à la guerre des chiffres, d'objectiver l'information (incluant tous les effets) et de suivre les évolutions technologiques, politiques, industrielles, économiques et sociologiques. Il est important que cet observatoire soit un pôle neutre, mondial, avec une approche collégiale.
2. Développer dès à présent une filière industrielle européenne de carburants synthétiques "*power to liquid* – PtL", produits à partir d'hydrogène vert et de CO₂ capté dans l'atmosphère, alimentée en énergie renouvelable ou nucléaire.
3. Tout en mettant l'accent nécessaire sur la filière PtL qui paraît prometteuse pour l'ensemble du transport aérien, soutenir l'exploration des autres solutions de façon équilibrée, en tenant le plus grand compte de leur faisabilité au niveau mondial.
4. Continuer et renforcer l'effort européen incrémental et disruptif sur la consommation des avions.
5. Mettre en œuvre au niveau des États et des organisations internationales de nouvelles régulations pour inciter les compagnies aériennes à obtenir des gains significatifs en termes de consommation de carburant. Les modèles économiques de compagnies pratiquant le *dumping* grâce à des subventions, créant ainsi une augmentation artificielle de la demande, ne devraient plus être tolérés. La définition de ces régulations devrait faire l'objet d'une Conférence de transport aérien à l'OACI.
6. Mettre en œuvre une politique beaucoup plus ambitieuse d'incorporation progressive de carburants alternatifs

durables sans attendre le PtL idéal. La taxation du carburant ne devrait être utilisée qu'en dernier ressort, afin d'éviter un retour en arrière sur la démocratisation du transport aérien.

7. Intégrer à la formation des personnels de la navigation aérienne – futurs acteurs de l'ATM – une bonne compréhension de l'impact climatique de leur métier, au même titre que la sécurité, la sûreté, la fluidité du trafic et les nuisances sonores.
8. Déployer dans les aéroports tous les moyens possibles de réduction des émissions et anticiper les conséquences des évolutions technologiques sur leur fonctionnement et leurs installations.
9. Développer des transports en commun de qualité pour les liaisons ville-aéroport, afin de diminuer drastiquement la part des véhicules particuliers dans ces transports.
10. Privilégier la gouvernance internationale de l'aviation civile par une forte impulsion politique en amont de l'Assemblée de l'OACI de 2022, faisant de la lutte contre les changements climatiques un principe de base de la Convention de Chicago. Cette décision politique devrait intégrer le principe de responsabilité commune mais différenciée, et donc admettre des mesures d'application tenant compte

des situations et des sensibilités locales.

11. Faire adopter par les États un objectif de décarbonation du transport aérien à long terme au cours de la 41^e Assemblée de l'OACI qui se tiendra à Montréal en 2022. Cette Assemblée devrait charger le conseil de l'OACI de franchir un nouveau pas pour rendre plus efficaces les structures et les processus décisionnels de l'organisation afin d'accélérer l'introduction de nouvelles normes visant à lutter contre le réchauffement climatique, en favorisant la mise en œuvre de technologies innovantes et de systèmes de régulation incitatifs.
12. Organiser, sous la forme d'un forum européen des usages de l'aviation, un dialogue entre citoyens, professionnels du secteur, mouvements écologistes et pouvoirs publics, en faisant une large place aux jeunes générations, afin d'élaborer une vision commune sur l'utilité sociale du transport aérien selon ses différents usages, ainsi qu'une compréhension des moyens de réduction progressive de l'empreinte "carbone" de celui-ci, en cohérence avec les autres activités humaines. Un tel forum, qui devrait être ancré dans une pratique politique, pourrait faire l'objet d'une initiative d'une institution européenne, par exemple du Parlement.

1- POUR UN PARTAGE DE L'EFFORT ÉQUITABLE ET JUSTE

1.1. Les enjeux du réchauffement climatique

Depuis le début de la révolution industrielle, les activités humaines modifient l'équilibre du système climatique par l'augmentation dans l'atmosphère de la concentration en gaz à effets de serre : CO₂, méthane, oxydes nitreux. Le forçage radiatif effectif mesure en watt/m² le déséquilibre du bilan énergie de la Terre et sa contribution au réchauffement climatique au sommet de l'atmosphère.

Une partie du rayonnement réémis par la Terre ne part plus vers l'espace et s'accumule dans le système climatique, réchauffant l'air, l'eau et les sols, conduisant à la fonte des glaciers vers les océans qui absorbent ainsi année après année une énergie considérable très supérieure à la totalité de l'énergie primaire consommée annuellement dans le monde par l'homme.

Un monde à 1,5 degré plus chaud est maintenant inéluctable compte tenu de l'inertie du système climatique. Quelles que soient les trajectoires de réduction d'émissions à venir, le réchauffement va se poursuivre. Pour contenir le réchauffement au-dessous des 2 degrés correspondant aux engagements de l'accord de Paris, il faudra atteindre la neutralité carbone (ou le net zéro émissions, c'est-à-dire ne pas émettre plus de CO₂ qu'on en prélève dans l'atmosphère) à l'échelle du monde, à horizon 2070 et autour de 2050 pour les pays développés.

1.2. Les enjeux du transport aérien

En 2018, les émissions annuelles de CO₂ par le secteur aérien représentaient environ 2,4 % des émissions mondiales. Malgré les progrès technologiques, la croissance du transport aérien est telle que cette part est en augmentation. L'effet

cumulatif des émissions de CO₂ depuis 1940 se poursuit et représente sur la période des 20 dernières années 50 % des émissions globales du secteur aérien depuis ses débuts.

Dans ce contexte, quels sont les enjeux pour le secteur aérien ?

1. Enjeux en matière d'atténuation des émissions du transport aérien

Aux effets des émissions de CO₂, qui ont pratiquement doublé entre 1990 et 2018, s'ajoutent ceux liés aux émissions d'oxyde d'azote, aux traînées de condensation et cirrus induits, aux particules ensemençant les formations nuageuses. Les effets CO₂ et non CO₂ conjugués du transport aérien mondial représentaient 3.5 % du forçage radiatif effectif global anthropogénique en 2011¹. Dans l'hypothèse d'une forte hausse du trafic aérien, telle que prévue avant la crise due à la pandémie, les émissions pourraient être encore multipliées par un facteur de l'ordre de deux ou plus en valeur absolue d'ici à 2050, si des carburants similaires au jet fuel actuel sont utilisés (même si, en fonction de leur mode d'élabora-

tion, certains d'entre eux pourraient avoir des effets compensateurs).

2. Enjeux technologiques

Les innovations apportées par l'industrie aéronautique dans les dernières décennies, en particulier sur la performance des moteurs, sont très significatives mais insuffisantes pour faire face aux nouveaux objectifs climatiques. De nouvelles innovations de rupture sont nécessaires tant dans le domaine de la conception des avions que dans celui des carburants alternatifs durables.

3. Enjeux d'adaptation

Ils sont liés à l'évolution des caractéristiques de l'atmosphère dans un climat plus chaud, avec notamment des effets sur les conditions de décollage et une augmentation des phénomènes de turbulences. Il peut en résulter des modifications des règlements de calculs de résistance des cellules d'avions, des restrictions de charge marchande, de durée de vol, du nombre de vols autorisés, et des conséquences sur les infrastructures des aéroports.

4. Enjeux liés au tourisme et à la desserte des régions enclavées

L'attractivité de régions touristiques et l'accessibilité des régions enclavées pourraient être impactées. Plus géné-

1. Réf. "The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018" dans *Atmospheric Environment Journal* n° 244, 2021 – D.S. Lee + 20 auteurs.

ralement, la démocratisation de l'accès au transport aérien pourrait être remise en cause, avec les conséquences sociétales associées.

5. Enjeux concurrentiels au sein du secteur des transports

Le secteur aérien représentant environ 11 % des émissions directes du secteur des transports, la pertinence de l'évaluation des caractéristiques comparatives des uns et des autres constitue un enjeu économique et commercial important. Cela touche les aspects opérationnels, la construction d'infrastructures adaptées, les coûts, la sécurité et la synergie entre modes de transport.

6. Enjeux de gouvernance de la politique climatique

Les vols domestiques sont intégrés dans les engagements pris par les différents pays dans le cadre de l'Accord de Paris sur le climat alors que les deux tiers des émissions proviennent des vols internationaux qui relèvent de la politique décidée au niveau de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). Ce constat renforce le besoin d'une approche holistique au niveau mondial, et rend inopérante une approche basée sur un budget carbone par pays.

7. Enjeux sur les stratégies de compensations

Le système CORSIA choisi par l'OACI devra démontrer son efficacité réelle et sa cohérence avec les trajectoires conduisant à l'objectif de "net zéro émissions".

8. Enjeux de communication et de perception

Il est difficile de se faire une opinion dans le brouhaha médiatique actuel d'où ressortent des positions souvent caricaturales et paradoxales, comme la "honte de prendre l'avion", phénomène qui ternit l'image d'un secteur dont la contribution au développement de l'humanité depuis plus d'un siècle est incontestable et qui peut continuer à faire rêver les nouvelles générations. La communication mise en œuvre par la profession n'est d'ailleurs pas réellement parvenue à objectiver le débat, jusqu'à présent.

I.3. Comment répartir l'effort ?

Tous ces enjeux nécessitent d'être appréhendés de manière holistique, en prenant en compte les aspects spécifiques à chaque secteur, qu'ils soient industriels, économiques, politiques, culturels ou sociétaux. Le sujet de l'aérien est l'un des

plus sensibles dans l'opinion et ne peut être abordé que de manière mondiale, d'autant que la perception du sujet de l'aérien est différente d'un continent ou d'un pays à un autre, comme l'ont démontré les débats du colloque organisé par l'Académie de l'air et de l'espace.

Le transport aérien doit conserver et accroître ses moyens de R&D pour rester à la pointe de l'innovation, collaborer avec d'autres secteurs pour une meilleure synchronisation et répartition des efforts, car

certaines secteurs d'activité dans l'industrie peuvent être plus difficiles à décarboner.

La répartition de l'effort doit prendre en compte la diversité des situations locales dans les différentes régions du monde, ainsi que les capacités respectives des différents secteurs d'activité à se décarboner plus ou moins rapidement. La question est donc plus complexe qu'une simple allocation de budget carbone en fonction des proportions respectives au sein du volume global des émissions. Elle nécessite d'être débattue au niveau international.

RECOMMANDATION :

- 1. Créer un observatoire de la décarbonation du transport aérien, où toutes les parties prenantes du secteur aérien et d'autres secteurs seraient représentées. Cet outil aurait pour tâches de mettre fin à la guerre des chiffres, d'objectiver l'information (incluant tous les effets) et de suivre les évolutions technologiques, politiques, industrielles, économiques et sociologiques. Il est important que cet observatoire soit un pôle neutre, mondial, avec une approche collégiale.**

2- POUR DES CHOIX TECHNOLOGIQUES À LA HAUTEUR DES AMBITIONS ÉCOLOGIQUES

Depuis toujours, la recherche aéronautique s'attache à trois grands objectifs : la sécurité des vols, la réduction des nuisances et la consommation de carburant. Ce dernier point est vital dans la féroce compétition mondiale où le gain de performance technique se traduit immédiatement en gain économique. C'est ainsi que la consommation par passager transporté a diminué d'un facteur 4 depuis 50 ans et qu'il existe aujourd'hui dans le portefeuille de recherche des avionneurs et motoristes de quoi gagner encore beaucoup d'ici deux décennies. Mais, la croissance mondiale étant ce qu'elle est, et quand bien même elle stagnerait, ces gains à eux seuls ne permettront pas de réduire les effets climatiques CO₂ et hors-CO₂ du transport aérien en 2050 au niveau de 50 % des émissions de 2005 initialement visé par l'Industrie et encore moins au niveau des recommandations actuelles des climatologues, c'est-à-dire proche de zéro.

II.1. La technologie pourra apporter des solutions : comment et quand ?

Les facteurs communs à tous les effets (CO₂, traînées de condensation, Nox, etc.) sont le trafic, les distances parcourues et la consommation par passager-kilomètre.

Le rajeunissement des flottes actuelles, la poursuite des progrès de la conception des avions et des moteurs (*Open rotor*, hybridation, aérodynamique, masses, techniques de fabrication, etc.) et l'optimisation du trafic aérien pourront donner des gains cumulés supérieurs à 40 % de réduction des émissions en 2050, à iso-traffic et iso-carburant. Mais quelle que soit l'alternative au carburant fossile, l'énergie à embarquer sera plus coûteuse que le kérosène actuel. Donc la réduction de la consommation non seulement sera bonne pour le climat mais devra se poursuivre si

l'on veut préserver l'accès au transport aérien du plus grand nombre (aujourd'hui près d'un milliard d'humains prennent l'avion au moins une fois par an). En outre, elle sera nécessaire – dans l'aviation comme ailleurs – afin de limiter l'augmentation du recours aux énergies primaires non fossiles, dont la croissance nécessaire est un énorme défi au niveau global.

Effets de “serre” du CO₂ ou “peut-on voler autrement qu’avec du carburant d’origine fossile ?”.

Trois techniques sont principalement évoquées dans le domaine des transports : les batteries, l'hydrogène et les hydrocarbures non fossiles. Le tout produit bien entendu à partir de sources d'énergie ou de matière renouvelables.

- **Les batteries** sont bien adaptées au transport terrestre. Mais pour un aéronef, c'est autre chose : l'énergie à emmagasiner pour un vol comme celui d'un A320 sur Paris-Toulouse demanderait des batteries d'un poids supérieur à celui de l'avion. Il faudrait gagner un facteur 10 sur l'énergie par kilogramme (pack Lithium-Ion 0,15 kWh/kg, espoirs Lithium-Soufre 0,40 kWh/kg). Aucune piste technique n'est en vue... seuls des vols très courts ou très particuliers peuvent être envisagés... et sont d'ailleurs déjà expérimentés (avion école, motoplaneur, taxi volant...). Au-delà,

sont envisagés de petits court-courriers : 30-40 places, 500 km de rayon d'action ou 9 places et 1 000 km de rayon d'action. L'impact résultant sur les émissions totales de l'aviation est marginal.

- **L'hydrogène (gazeux et produit à partir d'énergie renouvelable et non comme aujourd'hui à partir de fossile)** est un carburant a priori tentant : son énergie massique est supérieure à celle du kérosène et son utilisation dans des turboréacteurs modifiés ne semble pas poser de problème insurmontable. De plus, pour des petits appareils, l'utilisation de piles à combustible (PAC) et de moteurs électriques est envisagée. Le problème est sa densité extrêmement faible : 3 000 fois moins dense que le kérosène à énergie égale. Le transport terrestre s'en accommode en comprimant le gaz à plusieurs centaines d'atmosphères. Il reste ainsi encombrant et lourd (réservoir haute pression beaucoup plus lourd que l'hydrogène contenu) mais le ratio énergie/masse est dix fois plus favorable que celui des batteries. On peut donc envisager des vols court-courriers (500 km à 1 000 km). Pour aller plus loin, pour les vols de plus de 1 500 km, responsables de 80 % des émissions, certains songent, comme dans les lanceurs spatiaux, à embarquer

l'hydrogène sous forme liquide (à -253 °C).

- **Hydrogène liquide** : nous entrons là dans un “autre monde”. Un lanceur spatial est dessiné autour de son réservoir d'hydrogène liquide, lequel rempli au dernier moment, n'a pas du tout la structure ni l'isolation indispensables requise dans un environnement avion où il sera “secoué” et en froid pendant des mois et non pendant des minutes. On ne pourra pas le loger comme le kérosène dans les ailes. Et même liquide, il est encore très peu dense et donc presque aussi encombrant que gazeux à 700 bars, sans même compter son épaisse isolation... Les systèmes annexes pour gérer cet hydrogène en ébullition, le vaporiser et le comprimer, l'acheminer aux moteurs, le tout dans des conditions de sécurité beaucoup plus difficiles à assurer que pour le kérosène, demanderont de longs développements et essais avant de démontrer que toutes les normes, notamment de sécurité, sont respectées. Et si une solution hydrogène (gazeux ou liquide) voit le jour, il faudra mettre en place à l'avance sur tous les aéroports du monde des solutions adéquates d'avitaillement cohabitant 15 à 25 ans avec la filière kérosène, là aussi avec la sécurité voulue (voir les précautions drastiques prises à Kourou pour Ariane 5). Enfin, il n'est

pas démontré que le rendement énergétique de l'hydrogène liquide, depuis la source d'énergie primaire renouvelable jusqu'au passager-kilomètre transporté, peut concurrencer celui des carburants synthétiques cités plus loin. Après la production, il faut en effet compter, avec le coût énergétique de liquéfaction (30 %), les pertes en stockage et transport, les pertes à bord (évaporation continue), la vaporisation et la compression pour l'acheminement sans givrage aux moteurs et enfin le surcroît de consommation, à charge utile donnée car l'avion, avec son énorme réservoir sera bien plus volumineux. D'emblée, il est clair que ni les moyen-courriers, ni a fortiori les long-courriers, ne pourront adopter une telle technique. Enfin, même si tous ces obstacles étaient surmontés, la mise en service d'un tel avion et de la logistique associée n'aura encore eu en 2050 qu'un faible impact sur le bilan CO₂ de l'aviation, alors que le facteur temps est essentiel.

- **Carburants synthétiques : biocarburants “de première génération”**. On ne s'attardera pas sur ces carburants qui sont limités en volume, pas tous aussi “écologiques” qu'on l'entend et en concurrence sur l'usage des sols (alimentaire, déforestation etc.). L'Union européenne en limite d'ailleurs maintenant l'inclusion à 7 % dans les carburants du transport.

- **Carburants synthétiques : biocarburants “de deuxième génération” ou BtL (*Bio to liquid*)**. Ils ne font appel ni aux oléagineux ni aux sucres mais à la lignocellulose fournie par les déchets forestiers, la paille et certaines cultures dédiées à croissance rapide. Ils sont plus coûteux aujourd’hui que les biocarburants de première génération. Leurs modes de production ne sont pas encore complètement stabilisés. Dans leurs versions initiales le rendement à l’hectare est le triple de celui de l’exploitation de l’huile de colza mais on reste aux environs de 4 000 litres de BtL/ha/an (0,4 l/m²). L’Allemagne investit depuis plus de dix ans dans cette filière, la première usine pilote y a été inaugurée en 2008. En France, le projet *BioTfuel* va déboucher prochainement sur un pilote industriel. Ces projets ou ces pilotes s’appuient sur une technique thermochimique requérant peu d’apport énergétique externe. Des variantes dites E-BtL sont à l’étude dans le monde, lesquelles introduisent de l’hydrogène “vert” dans la réaction, utilisant ainsi plus efficacement la matière sèche comme fournisseur de carbone et triplant ainsi la quantité de BtL pour la même consommation de lignocellulose. Ceci nous rapproche de l’étape suivante, le PtL.
- **Carburants synthétiques : l’e-fuel, ou PtL (*Power to liquid*)**. Cette solution offre de réelles perspectives. Du gaz

carbonique est extrait de l’air (“*Direct Air Capture*” ou DAC), l’eau (H₂O) est électrolysée et leurs atomes de carbone et d’hydrogène sont combinés pour fabriquer du pétrole synthétique. Lorsque celui-ci brûle, il restitue à l’atmosphère le CO₂ précédemment capté, donc à condition que toute l’opération se fasse avec l’aide d’énergies renouvelables, l’utilisation du PtL est **neutre** en émission de CO₂. Le rendement énergétique, de la source d’énergie primaire à l’énergie contenue dans le PtL, est de 60 à 70 % à partir de CO₂ et H₂O en co-électrolyse avec le procédé SOEC (*Solid Oxide Electrolyser*) à 80 bars et 700 °C. L’énergie nécessaire à la capture du CO₂ atmosphérique proviendrait de la récupération de la chaleur “gratuite” perdue dans la co-électrolyse. Ainsi, en se basant sur le rendement de centrales photovoltaïques européennes on obtiendrait de 8 à 10 litres de PtL par an par m² de centrale. Un gros intérêt du procédé est aussi sa très faible consommation d’eau : 1,4 litre d’eau par litre de PtL. Le procédé est actuellement à un niveau préindustriel mais aucune usine de grande ampleur ne fonctionne encore.

Conclusion :

Vu que les procédés et rendements à partir d’énergie primaire ne semblent pas donner un avantage décisif à l’hydrogène liquide

par rapport au PtL, et que les questions d'avitaillement repousseraient vers la fin du demi-siècle ses premières économies de CO₂, on peut s'interroger sur l'amplitude de l'effort à fournir dans une voie à l'issue aussi incertaine, détournant ainsi crédits et bureaux d'études des travaux indispensables pour obtenir les gains de consommation cités plus haut. **Des voies crédibles existent dès aujourd'hui pour voler avec une émission de CO₂ graduellement puis drastiquement réduite (100 % à terme ?) en utilisant les BtL et les PtL** (on les appelle aussi les SAF – *Sustainable Aviation Fuels* – avec le risque de confusion avec les bio-carburants de première génération.). Les surfaces à utiliser, essentiellement agricoles et considérables pour le BtL, partiellement artificialisées mais 10 à 25 fois moindres pour le PtL sont conséquentes mais pas nécessairement dissuasives comparées à celles consacrées aujourd'hui aux biocarburants de première génération pour l'automobile.

Ces carburants sont quasiment dépourvus de composants dits "aromatiques" et de soufre, ce qui les différencie un peu du jet-fuel actuel et pourrait leur donner un avantage considérable sur les effets hors-CO₂. Ils sont, pour huit d'entre eux à ce jour, certifiés ASTM (*American Society for Testing and Materials*) en mélange à 50 % maximum avec le kérosène actuel. Les motoristes (ex : Rolls-Royce au récent

colloque AAE) semblent confiants sur leur utilisation à terme à 100 %.

Il nous semble donc évident que la possibilité de mélanger les carburants peut permettre, dans les prochaines décennies, la montée en régime de la production et de l'incorporation des SAF (BtL et/ou PtL). Tous les vols, de court- à long-courriers, pourraient commencer immédiatement à contribuer à l'effort de défossilisation.

Aujourd'hui ces carburants sont chers (environ 2,0€/l comparés à 0,4€/l pour le jet-fuel normal) mais tous les acteurs s'accordent pour prédire une nette diminution des coûts de production au fur et à mesure de la montée en puissance de la filière. L'impact initial sur le coût du transport sera minime tant qu'on restera à un "blend" symbolique de quelques pourcents. Et à terme avec 100 % de "blend" et un coût du kWh "vert" futur de 5 ct€/kWh, donc un PtL aux environs de 1€/l, le surcoût d'un Paris-Toulouse serait de d'une dizaine d'euros, et d'un Paris-New-York inférieur à une centaine d'euros.

II.2. Effets "hors CO₂"

Ce sont principalement les "contrails" (traînées de condensation), les cirrus induits et les "NO_x" (oxydes d'azote générés par les hautes températures de combustion dans les moteurs).

Les contrails se forment juste derrière l'avion par condensation de la vapeur d'eau issue de la combustion du carburant. Si l'air est sec, ils se dissipent vite et leur effet est négligeable. Si l'air est sursaturé d'humidité (situation hors d'équilibre, fragile mais fréquente en haute altitude) les émissions de l'avion qui aujourd'hui contiennent diverses microparticules (suies...) agissent comme des germes de condensation et soit grossissent un peu les traînées initiales qui perdurent soit induisent de proche en proche la formation de cirrus persistants. Ces effets très complexes font l'objet depuis 20 ans d'une littérature scientifique abondante mais aux résultats dispersés. Un effort démarre en France pour mieux les quantifier (Chaire Sorbonne, IPSL + ONERA). Ces cirrus induits pourraient être responsables d'autant d'effet de serre que tout le CO₂ accumulé par l'aviation depuis son origine. L'effet croît quand la circulation aérienne croît mais disparaît si elle s'arrête, à l'inverse du CO₂ dont chaque vol n'accroît que très peu la concentration atmosphérique mais qui s'accumule pour une centaine d'années...

Deux progrès techniques pourraient les faire quasiment disparaître :

- 1- Éviter les zones où ils se produisent à partir de la connaissance de la situation météo, en s'assurant que le bilan en effet de serre soit favorable.

- 2- Utiliser les carburants SAF, lesquels plus "propres" que le jet-fuel actuel comme on l'a vu plus haut, donneraient d'après les premières estimations beaucoup moins de germes de condensation créant les nuages.

Les NO_x : L'importance des oxydes d'azote dans le bilan radiatif provient de leur effet de serre propre et de leur **interaction avec les autres gaz à effet de serre**. Ils nuisent à la qualité de l'air dans les basses couches de l'atmosphère, à l'instar de toutes les combustions qui s'y produisent (principalement biomasse, diesel...) et agissent sur la chimie de la haute atmosphère où se joue un jeu complexe à trois, positif et négatif avec l'ozone et le méthane. Vu les incertitudes qui règnent encore sur les effets climatiques durables des NO_x émis en altitude, leur impact bien inférieur à celui du CO₂, et les normes qui s'imposent aux motoristes, on n'aborde pas plus la question ici.

II.3. Les stratégies de défofossilisation

Les stratégies de "défofossilisation" proposées ici et là dans le monde pour le transport aérien (États-Unis, Canada, Norvège, Allemagne...) sont donc fondées peu ou prou sur une augmentation rapide des taux d'incorporation des biocarburants (SAF BtL ou PtL) au jet-fuel A, sur la montée en puissance d'une nouvelle

industrie pétrolière élaborant les SAF-PtL, non limitée par la concurrence avec les surfaces agricoles, et sur la croissance du taux de ces SAF dans les avions jusqu'à 100 % en 2050 ou avant au fur et à mesure de la décroissance de leurs coûts de production (technologie et effet d'échelle) et de la disponibilité de l'énergie renouvelable. Aux États-Unis, l'initiative vient de nombreuses *start-ups*, avec ici et là un encouragement public (Californie). AIREG (*Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany*) fédère en Allemagne de nombreux acteurs industriels, scientifiques, nationaux, régionaux. Et le gouvernement allemand vient de mettre en place une feuille de route bien financée avec des objectifs de création d'usines d'ici 2025 et d'obligation d'incorporation progressive de PtL pour les vols domestiques (33 % en 2030).

II.4. Avec quelle énergie primaire ?

La problématique de l'électricité verte au-delà du transport aérien

Une immense part de l'effort à fournir d'ici à 2050 pour "défossiliser" la société s'appuie sur la disponibilité d'électricité "verte" (ou nucléaire). En France, l'Académie des technologies vient d'alerter sur la probable insuffisance des investissements prévus.

Parmi les modes de transport, certains transports terrestres (automobile, transports ferroviaires), de plus en plus électriques feront faire des économies d'énergie primaire car le rendement depuis la production d'électricité jusqu'à la roue est excellent.

Mais tous ceux, dont l'aviation, qui devront continuer à faire appel aux carburants liquides ou gazeux (SAF, diesel ou essence, hydrogène, méthane...) seront demandeurs d'importantes quantités d'électricité "verte" et/ou de surfaces agricoles dédiées : transport routier lourd/longue distance, engins de travaux publics d'usage intermittent, parc automobile ancien, zones isolées et usagers militaires (politique OTAN du "carburant unique").

Pour eux, en effet, du panneau photovoltaïque ou de l'éolienne à la roue ou à l'hélice, même si les processus physico-chimiques de fabrication atteignent des rendements excellents, de 60 à 90 %, la suite est moins favorable. Pour les SAF, les biofuels et les biogaz, les rendements des moteurs thermiques sont ce qu'ils sont... Pour l'hydrogène, la liquéfaction et les pertes en stockage et manipulations diverses font perdre une bonne partie de l'avantage initial de la filière, une part étant cependant regagnée là où les piles à combustibles sont utilisables. En bref, si pour l'automobile on fait des économies, pour

les autres consommateurs de carburants (défossilisés) il faudra un peu plus d'énergie primaire que celle des tonnes équivalent pétrole actuelles (Tep) de leurs carburants fossiles et/ou des surfaces agricoles non négligeables. Exemple : pour fabriquer les 7 millions de tonnes de jet-fuel fournis en 2019 en France, il faudrait 23 % de la production électrique française (voie PtL) ou 8 % de la surface agricole (voie BtL de base). Multiplier à peu près par 10 pour l'Europe entière (sept fois la surface de la Belgique).

Ordres de grandeur : un rapport de la DENA (Agence allemande pour l'énergie) de 2019 donne quelques estimations pour la fourniture d'énergie renouvelable en Europe. Le problème est que le transport aérien ne sera pas le seul demandeur. La consommation européenne finale d'énergie provient encore **très majoritairement** du pétrole et du gaz naturel (70 %

en France, même ordre de grandeur pour l'Europe). Les économies faites avec des voitures électriques et l'isolation des locaux réduiront-elles assez ce poste énorme ? Un point favorable : la production de carburant SAF devrait pouvoir se satisfaire d'une certaine irrégularité, intrinsèque aux énergies éoliennes et photovoltaïques, car son stockage est facile et durable.

Ces ordres de grandeur indiquent que l'ambition est réaliste, mais les investissements à faire d'ici 2050 en économies d'énergie et en production d'énergie photovoltaïque, éolienne ou nucléaire sont considérables, et leur acceptation sociétale pas assurée. Ceci peut amener à demander si le secteur aérien ne devrait pas songer à se sécuriser en investissant dans une ressource PtL dédiée en Europe ou dans des pays prêts à monter fermes solaires et usines.

RECOMMANDATIONS :

2. Développer dès à présent une filière industrielle européenne de carburants synthétiques "*power to liquid – PtL*", produits à partir d'hydrogène vert et de CO₂ capté dans l'atmosphère, alimentée en énergie renouvelable ou nucléaire.
3. Tout en mettant l'accent nécessaire sur la filière PtL qui paraît prometteuse pour l'ensemble du transport aérien, soutenir l'exploration des autres solutions de façon équilibrée, en tenant le plus grand compte de leur faisabilité au niveau mondial.
4. Continuer et renforcer l'effort européen incrémental et disruptif sur la consommation des avions.

3- LES OPÉRATEURS

Pour répondre au défi climatique, de nouveaux progrès technologiques ouvrent encore de belles perspectives, en termes de modernisation des flottes et de développement de carburants alternatifs à faibles empreintes carbone.

Mais les innovations en la matière mettront des années, voire des décennies, à produire leur plein effet, compte tenu du temps nécessaire à leur développement et à leur déploiement opérationnel au sein des flottes en service.

Sous la pression de l'opinion publique et des pouvoirs publics, le transport aérien ne peut donc pas se permettre de reporter à une échéance lointaine la réduction significative de son empreinte carbone.

À défaut de résultats tangibles, les opérateurs encourent le risque de se voir imposer des mesures coercitives, comme l'interdiction d'opérer certains vols ou comme l'obli-

gation de faire décroître leur niveau d'activité, en réduisant, par exemple, le nombre de créneaux aéroportuaires disponibles.

Il appartient donc au transport aérien de promouvoir des solutions crédibles conduisant à des résultats mesurables à court et moyen termes.

III.1. Les compagnies aériennes

Les compagnies aériennes opèrent dans un contexte très concurrentiel et leur équilibre économique a toujours été fragile. Il est donc naturel que celles-ci veillent à l'attractivité de leur offre (réseau, horaires, tarifs, services...) et à la maîtrise de leurs coûts, deux dimensions qui conditionnent leurs parts de marché et donc leur pérennité et leur développement.

Parmi ces coûts, les économies possibles sur les coûts directs d'exploitation (DOC) sont de second ordre par rapport aux gains

attendus des nouvelles technologies et des nouveaux carburants. Elles méritent néanmoins d'être étudiées dans le contexte de l'exigence environnementale qui pèse aujourd'hui sur le transport aérien. Le poids des différents éléments du DOC fait que les décisions d'exploitation s'appuient surtout sur un arbitrage entre la durée du vol et le coût du carburant consommé. Il en est ainsi, par exemple, du choix des vitesses de vol, des niveaux de croisière, et parfois des routes, en particulier pour certains vols intercontinentaux.

Par ailleurs, le souci d'attractivité et d'augmentation des parts de marché peuvent inviter les transporteurs à privilégier l'effet fréquence à l'effet capacité, à multiplier les liaisons directes et à privilégier des vols sans escale sur de très longues distances, qui consomment du carburant supplémentaire pour transporter le carburant nécessaire, plutôt que pratiquer des escales intermédiaires. La demande de transport pourrait parfois être satisfaite avec une structure de réseau qui serait plus efficace sur un plan environnemental.

Il est important de noter que la recherche "à tout prix" de parts de marchés, chez certaines compagnies *low cost*, a favorisé l'émergence de modèles économiques dans lesquels le prix du billet du passager ne couvre pas le coût du transport. Ces billets financés de fait par des subventions

accordées par des collectivités, contribuent ainsi à développer artificiellement la demande de transport.

Un autre sujet sensible pour l'impact climatique du transport aérien est la bonne compréhension du phénomène, lorsqu'il se produit, des traînées de condensation et des cirrus induits. S'il s'avère que les effets générés sont importants, les services du contrôle aérien pourraient demander aux compagnies aériennes d'éviter de voler à certaines heures, dans certaines zones et à certaines altitudes. Sous réserve néanmoins de vérifier que le bénéfice tiré de la réduction de l'effet "*contrail*" compense et au-delà, la surconsommation de carburant et donc l'augmentation des émissions de CO₂, engendrées par la modification de trajectoires.

Dans ce contexte hautement concurrentiel, aucune compagnie aérienne n'acceptera unilatéralement d'augmenter ses coûts au nom des obligations environnementales. Il est donc indispensable que les pouvoirs publics et les institutions internationales les y incitent voire les y contraignent.

Or, même si une partie des droits de trafics internationaux est encore régulée, le dogme de la libéralisation généralisée du transport aérien prévaut de plus en plus.

Une nouvelle prise de conscience s'impose : la libéralisation du transport aérien peut

s'avérer antinomique à l'urgence climatique. Sans revenir à un système entièrement réglementé comme celui en vigueur avant 1978, il apparaît nécessaire que les États définissent et mettent en place une nouvelle régulation. Elle devra se traduire par une réglementation de portée internationale, s'appliquant à l'ensemble des compagnies opérant sur une route donnée.

L'ampleur et l'urgence de l'évolution nécessaire exige une forte mobilisation de la communauté aéronautique. Ceci justifierait la tenue d'une 7^e Conférence de Transport Aérien dédiée à ces enjeux, sous l'égide de l'OACI. Elle permettrait aux 193 États membres de débattre et d'ébaucher un nouveau paradigme.

Parmi les outils réglementaires visant à réduire l'empreinte carbone du transport aérien, un mandat progressif d'incorpora-

tion de carburants alternatifs durables dans les carburants d'origine fossile devrait s'avérer très efficace. Un effort important doit être exercé pour accélérer cette incorporation. Cet outil aurait également le mérite de stimuler la production de tels carburants.

Un autre outil souvent cité est la taxation du carburant pour les vols internationaux, mais dont l'application se heurte actuellement aux dispositions de l'OACI. En outre la taxation des carburants réduirait les marges des compagnies, réduisant d'autant leurs capacités financières à moderniser les flottes en service, sauf à augmenter sensiblement les tarifs pour obtenir un impact significatif sur la demande, au risque de revenir des décennies en arrière, lorsque le transport aérien était réservé aux élites économiques.

RECOMMANDATIONS :

- 5. Mettre en œuvre au niveau des États et des organisations internationales de nouvelles régulations pour inciter les compagnies aériennes à obtenir des gains significatifs en termes de consommation de carburant. Les modèles économiques de compagnies pratiquant le dumping grâce à des subventions, créant ainsi une augmentation artificielle de la demande, ne devraient plus être tolérés. La définition de ces régulations devrait faire l'objet d'une Conférence de transport aérien à l'OACI.**
- 6. Mettre en œuvre une politique beaucoup plus ambitieuse d'incorporation progressive de carburants alternatifs durables sans attendre le PtL idéal. La taxation du carburant ne devrait être utilisée qu'en dernier ressort, afin d'éviter un retour en arrière sur la démocratisation du transport aérien.**

III.2. Les services de management du trafic aérien (ATM)

Des recherches importantes sont en cours pour améliorer les systèmes de navigation aérienne. Citons les programmes SESAR en Europe et NextGen aux États-Unis. Des gains sont à attendre, mais ils seront modérés. Toutefois, les acteurs de l'ATM

doivent prendre conscience que la réduction des consommations de carburant est devenue l'un des objectifs essentiels des compagnies aériennes, après bien sûr la sécurité des vols, au même titre que la sûreté, la suppression des retards ou les nuisances sonores autour des aéroports. Cette nouvelle culture doit être partagée par l'ensemble des professionnels du secteur dès le stade de la formation.

RECOMMANDATION :

7. **Intégrer à la formation des personnels de la navigation aérienne – futurs acteurs de l'ATM – une bonne compréhension de l'impact climatique de leur métier, au même titre que la sécurité, la sûreté, la fluidité du trafic et les nuisances sonores.**

III.3. Les aéroports

Bien que ni les solutions ni les échéances ne soient encore connues, les aéroports doivent se préparer à l'arrivée d'avions opérant avec de nouveaux combustibles. Ceux-ci pourraient avoir des conséquences importantes sur les infrastructures, les équipements de distribution, les procédures de sécurité, les compétences du personnel aéroportuaire.

En conséquence, les aéroports doivent anticiper ces évolutions, en participant aux instances de réflexion sur ces nouvelles énergies, en évaluant leurs impacts sur leurs infrastructures et leurs modes de

fonctionnement et en estimant les besoins de financement qui en découleront.

Par ailleurs, les émissions de GES du domaine aéroportuaire concernent trois secteurs d'activités :

- les opérations au sol des avions, secteur déjà couvert par les préconisations relatives aux compagnies aériennes ci-dessus ;
- les opérations de l'aéroport proprement dit, comme toute infrastructure ou équipement industriel avec les mêmes préconisations de sobriété énergétique ;
- le transport des passagers et des personnels entre "ville" et aéroport. Ce domaine est souvent considéré comme

étranger au transport aérien, alors qu'il représente 39 % des émissions totales de CO₂ des aéroports, et même 74 % si on exclut le roulage au sol des avions.

Il est donc essentiel de le prendre en compte et donc de diminuer la part prise par les voitures particulières dans les transports terminaux.

RECOMMANDATIONS :

- 8. Déployer dans les aéroports tous les moyens possibles de réduction des émissions et anticiper les conséquences des évolutions technologiques sur leur fonctionnement et leurs installations.**
- 9. Développer des transports en commun de qualité pour les liaisons ville-aéroport, afin de diminuer drastiquement la part des véhicules particuliers dans ces transports.**

4- NÉCESSITÉ D'UNE HARMONISATION INTERNATIONALE EFFICACE

L'avion est un moyen de transport rapide et à longue distance par nature. Il n'est donc pas étonnant que le transport aérien soit à 70 % une activité internationale. Historiquement, il a toujours été difficile d'attribuer une nationalité aux services aériens internationaux : entre deux États peuvent être transportés à bord d'avions immatriculés dans l'un des deux États ou un État tiers, appartenant à des transporteurs enregistrés dans l'un des États ou un État tiers, des passagers de différentes nationalités qui traverseront différents espaces aériens nationaux. Des problèmes de souveraineté se posent, et il n'y a pas de règles communes de fonctionnement des marchés (sauf à l'intérieur de certaines régions comme l'Union européenne). Les États présents à la Conférence de Chicago en 1944 se sont mis d'accord sur des règles techniques, assurant l'interopérabilité et la sécurité des vols internationaux. En revanche, ils n'ont pas été très loin en matière de régle-

mentation économique pour encadrer le transport aérien international.

L'Organisation de l'aviation civile internationale, issue de la Convention de Chicago, a très bien réussi à développer une réglementation technique de haut niveau qui fait de ce mode de transport le plus sûr du monde (moins de 1 000 victimes par an pour 4,5 milliards de passagers), mais elle a peu fait progresser les aspects économiques. Il n'y a pas de liberté d'accès au marché en dehors d'accords diplomatiques bilatéraux définissant les modalités d'ouverture de lignes aériennes entre paires d'États. Sous l'impulsion des États-Unis et de l'Europe, une stratégie de libéralisation de ces accords est suivie depuis les années 1990, mais sans cadre normatif au niveau international.

Il y a plus de cinquante ans que l'OACI a commencé à réglementer les nuisances sonores du transport aérien en commen-

çant par la normalisation du bruit émis par les nouveaux avions. Elle en est aujourd'hui à la 6^e génération de normes acoustiques. Cette politique a permis de réduire l'empreinte sonore des avions de plus de 70 % autour des aéroports. Progressivement les émissions locales (Nox, particules) ont également fait l'objet de normes toujours en cours d'évolution. En 2016, des normes d'émission de CO₂ en fonction des catégories d'avions ont été adoptées. En 2018, un dispositif de compensation des émissions du transport aérien dénommé CORSIA, limitant le niveau des émissions à celui de 2020, a également été adopté, et faisant ainsi du transport aérien le seul secteur économique doté d'un système de régulation de ses émissions au niveau mondial. L'OACI dispose donc d'outils réglementaires pour traiter les questions environnementales. Sont-ils efficaces ? Sont-ils suffisants ?

Pour ce qui concerne la lutte contre les changements climatiques, il s'est écoulé plus de vingt ans entre l'adoption du Protocole de Kyoto qui confiait à l'OACI le soin de définir les modalités de la diminution des gaz à effet de serre du transport aérien, et la décision de mise en place d'un système de compensation de ces émissions au niveau mondial (CORSIA). Au vu des prévisions des climatologues, ce système apparaît en retrait par rapport à l'objectif de neutralité carbone à l'horizon

2050. La volonté d'aller plus loin et plus vite existe du côté de l'industrie et de certains États. Cependant, d'autres États mettent légitimement en avant leur besoin de développement économique auquel contribue le transport aérien, et invoquent le principe de responsabilité commune mais différenciée rappelé notamment dans l'Accord de Paris. Il est très clair que celui-ci peut se heurter à un autre principe fondamental de l'OACI qui touche à la non-discrimination et l'absence de distorsion de concurrence.

Le constat ci-dessus invite forcément à une approche politique au niveau international, de même niveau que la Conférence de Chicago en son temps. Pour l'aviation civile internationale, les discussions sur les objectifs d'émissions de gaz à effet de serre seraient facilitées si la lutte contre les changements climatiques était élevée au niveau des principes fondamentaux de l'OACI, en respectant l'esprit de l'Accord de Paris. Une initiative diplomatique sous la forme d'une conférence spécifique en amont de l'Assemblée des 193 États qui doit se tenir à l'automne 2022 pourrait être imaginée.

Pour que l'OACI soit au rendez-vous de la décarbonation, la prise en compte des technologies innovantes et le lancement des travaux de normalisation correspondants devraient être accélérés. L'urgence des décisions à prendre apparaît incompatible avec les procédures habituelles de l'OACI.

Cette organisation devrait être invitée à modifier profondément ses méthodes de travail afin d'accélérer l'instruction des dossiers et l'adoption des normes. Il y a deux raisons pour le faire : le rythme accéléré de la recherche technologique et des innovations d'une part, et l'urgence climatique d'autre part, qui selon les experts du GIEC appelle des décisions sur la neutralité carbone au cours de la présente décennie.

Au cours de la dernière Assemblée de l'OACI (2019) des discussions ont eu lieu et une résolution a été adoptée afin que soit mis en place une entité consultative à très haut niveau au sein de laquelle l'industrie et l'OACI pourraient se concerter sur les stra-

tégies d'innovation. Ce concept avait pour objectif d'aider l'OACI à définir ses priorités et sa stratégie. Pour atteindre un objectif ambitieux l'OACI doit accepter cette coopération stratégique avec l'industrie. Deux ans après ces discussions, l'OACI met en place un forum dont la première réunion a eu lieu le 29 juin 2021. C'est un premier pas, mais il faudra aller plus loin et plus vite, faute de quoi la technologie évoluera sans cadre réglementaire suffisant, comme c'est largement le cas actuellement des aéronefs sans pilote (drones) ou autres véhicules volants de transport urbain. La mise en œuvre des technologies de décarbonation évoquées précédemment (électricité, hydrogène, carburants synthétiques) ne pourra pas se passer de réglementation.

RECOMMANDATIONS :

- 10. Privilégier la gouvernance internationale de l'aviation civile par une forte impulsion politique en amont de l'Assemblée de l'OACI de 2022, faisant de la lutte contre les changements climatiques un principe de base de la Convention de Chicago. Cette décision politique devrait intégrer le principe de responsabilité commune mais différenciée, et donc admettre des mesures d'application tenant compte des situations et des sensibilités locales.**
- 11. Faire adopter par les États un objectif de décarbonation du transport aérien à long terme au cours de la 41^e Assemblée de l'OACI qui se tiendra à Montréal en 2022. Cette Assemblée devrait charger le Conseil de l'OACI de franchir un nouveau pas pour rendre plus efficaces les structures et les processus décisionnels de l'organisation afin d'accélérer l'introduction de nouvelles normes visant à lutter contre le réchauffement climatique, en favorisant la mise en œuvre de technologies innovantes et de systèmes de régulation incitatifs.**

5- QUEL TRANSPORT AÉRIEN APRÈS-DEMAIN : UN NÉCESSAIRE DIALOGUE CITOYEN

Dans un monde qui devra s'adapter à de nouvelles conditions, quel est le futur du voyage ? Et par conséquent : quelle aviation voulons-nous pour après-demain ? Il s'agit là d'une question qui dépasse les propositions techniques et les perspectives économiques du secteur, aussi essentielles que soient ces dernières ; elle touche à l'essence du fonctionnement des sociétés dans les différents pays. C'est à l'évidence sur le terrain de la planète tout entière que ces questions se posent ; le transport aérien est par essence mondial ; c'est en grande partie sa raison d'être. Toute approche étroitement nationale de cette question "sociétale" serait une impasse.

Il est connu que le transport aérien augmente tendanciellement en proportion du PIB ; il s'agit d'une tendance lourde, dont les racines sont solidement analysées sur le plan socio-économique, et dont la sensibilité à une augmentation éventuelle

du prix du carburant n'est pas nécessairement très forte. Certes, s'il a concerné plus de 11 % de la population mondiale en 2018, pourcentage en constante croissance jusqu'à la crise sanitaire, le voyage en avion est encore inégalement réparti ; certes, 1 % de la population mondiale émet 50 % du CO₂ total de celui-ci, par la fréquence et la distance de ses déplacements. Cependant, c'est là une caractéristique, non de l'aviation, mais du développement actuel de nos sociétés en général et de la répartition des richesses ; ce déséquilibre peut se généraliser à l'ensemble de l'empreinte environnementale de l'humanité et doit être pris en compte, non pas au niveau d'un secteur isolément (comment pourrait-il l'être ?) mais de façon globale, autant que possible. De plus, il ne faudrait pas que ce soit cette minorité même qui, prise d'un tardif remords, sacrifie les attentes des autres à sa propre rédemption.

L'urgence climatique nécessite des efforts considérables de la part de la plupart des secteurs d'activité humaine, qui tous, par nature, consomment de l'énergie. Or la répartition éventuelle d'un "budget carbone" sur une période donnée – par exemple jusqu'en 2050 – entre ces secteurs d'activités n'a de sens qu'en tenant compte de *l'utilité sociale* de chacun de ceux-ci, et plus finement, des différents usages qui en sont faits. Comment objectiver cette utilité sociale, qui ne se réduit pas aux statistiques ci-dessus ? Ce sera nécessairement le résultat d'une réflexion collective, qui comportera une part de données objectives et une part de choix qualitatifs.

Pour sa part, l'utilité sociale de l'aviation considérée en général est, pour le moins, notable : la circulation des personnes, la connaissance du monde, même imparfaite, même critiquable dans ses modalités, est un élément important du développement de soi-même et du développement *qualitatif* de l'humanité. En outre, le rêve de voyage est chevillé au cœur de l'homme ; il ne convient pas de l'en arracher. Si 11 % des humains ont pris l'avion en 2018, combien ne l'ont jamais fait, et combien y aspirent ? Dans les pays en voie de développement, prendre l'avion est encore un événement. L'exigence écologique ne saurait se traduire par une fermeture de fait des fron-

tières (au sens humain du terme) par renoncement au voyage, ce qui conduirait à un dangereux repli sur soi. Comme l'indique le préambule de la convention de Chicago qui créa l'OACI en 1944, l'aviation civile « *peut grandement aider à créer et à préserver entre les nations et les peuples du monde l'amitié et la compréhension* ».

En outre, les peuples d'Asie et d'Afrique, en particulier, ont un besoin vital de *développement* du transport aérien. Pour beaucoup d'entre eux, dans des espaces immenses, ou des îles, le voyage en avion est plus économique et plus écologique que la construction de lourdes infrastructures au sol, quand il n'est pas l'unique solution possible. Il faut aussi considérer tous les échanges humains qui passent, non seulement par le tourisme – devenu peut-être la part la plus visible du transport aérien, et en tous cas essentiel à bien des économies – mais aussi par les échanges universitaires, les retours périodiques des expatriés et migrants dans leurs pays d'origine, les visites familiales, etc.

Ceci ne veut pas dire qu'une croissance sans limite soit souhaitable ; elle n'est d'ailleurs même pas possible ; la mise en place de solutions technologiques, quelles qu'elle soient, même celle, a priori la plus efficace, de carburants "défossilisés" recommandée plus haut, prendra du temps et sera de toute façon consommatrice

d'une énergie primaire verte qu'il faudra partager avec bien d'autres utilisations, et qui entraînera une façon de vivre plus sobre dans tous les domaines. Cette perspective technique optimiste n'annule donc pas la nécessité d'une réflexion sur les usages, dans le domaine de l'aviation comme dans tous les autres. Les contacts virtuels largement développés par la crise sanitaire perdureront en partie. De son côté le "tourisme de masse" atteindra tôt ou tard des limites quasi physiques, et ceci aura des répercussions sur les transports aériens (et sur d'autres).

Il faut donc rechercher comment *voler mieux*. Ceci peut se traduire pour certains par *voler moins* (notamment dans un monde où les contacts virtuels prendront plus d'importance), et pour d'autres... *voler enfin*. Il convient d'adopter une approche différenciée en fonction des niveaux de développement, et aussi des types d'usage. L'utilité sociale de l'aviation n'est pas uniforme. Du reste elle n'existe guère *sui generis* : elle ne se conçoit qu'en relation avec l'ensemble des activités humaines.

Il convient de remédier au dialogue de sourds qui prévaut trop souvent entre représentants de l'industrie en général (dont celle du transport aérien) et mouvements sociétaux, voire entre générations.

Il faut le faire avec raison, en évitant les promesses inconsidérées qui sapent la confiance, et en appelant à la réflexion documentée et lucide, sur les plans scientifique, technique, économique, sociologique, bref : *politique*, plutôt qu'à la subjectivité suspicieuse qui imprègne par trop l'air du temps ; à des décisions réfléchies et communes plutôt qu'à des injonctions moralistes qui s'adressent à l'individu d'une façon parfois dogmatique, et qui ont, ces derniers temps, ciblé l'aviation hors de toute proportion. Un optimisme raisonnable, s'appuyant sur la disponibilité à moyen terme de solutions techniques démontrables, devrait prévaloir sur la tentation du dénigrement. Pour cela, il convient aussi que la communication institutionnelle du secteur aérien s'améliore et s'approfondisse, évitant toute propagande superficielle et prenant en compte les attentes des nouvelles générations.

L'Académie de l'air et de l'espace s'engagera par ailleurs dans un effort pour introduire la question climatique et énergétique dans les cursus universitaires ouvrant à des carrières aéronautiques ; ainsi que pour soutenir la proposition en plus grand nombre, par l'industrie, de travaux de fin d'études consacrés à ce vaste thème et notamment aux solutions possibles.

Dans quel monde, plus efficient et aussi plus sobre, voulons-nous vivre ? Et dans ce monde, quelle place pour quelle aviation ? Pour y parvenir, quel chemin cohérent voulons-nous prendre, avec quelles étapes ? Par quels moyens, autres qu'un renchérissement aveugle du coût des activités telles que les déplacements, parvenir à cette sobriété, en tenant

compte, entre autres, de l'utilité sociale de chaque catégorie d'action ? Il nous faut tracer une perspective innovante, sur le plan technique, certes, mais aussi sur le plan des usages et sur le plan sociétal. Il faut être capable de la décrire et de l'organiser collectivement.

Cela commence par l'écoute réciproque.

RECOMMANDATION :

- 12. Organiser, sous la forme d'un forum européen des usages de l'aviation, un dialogue entre citoyens, professionnels du secteur, mouvements écologistes et pouvoirs publics, en faisant une large place aux jeunes générations, afin d'élaborer une vision commune sur l'utilité sociale du transport aérien selon ses différents usages, ainsi qu'une compréhension des moyens de réduction progressive de l'empreinte "carbone" de celui-ci, en cohérence avec les autres activités humaines. Un tel forum, qui devrait être ancré dans une pratique politique, pourrait faire l'objet d'une initiative d'une institution européenne, par exemple du Parlement.**

Avis précédents

Avis n° 1 sur “L’Accident technique et faute pénale”, 2007

Avis n° 2 sur “Le Projet de règlement du Parlement européen et du Conseil sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l’aviation civile”, 2010

Avis n° 3 sur “Le Règlement européen sur la sécurité aérienne”, 2011

Avis n° 4 sur “L’Éruption du volcan Eyjafjöll d’avril 2010”, 2011

Avis n° 5 sur “L’Aviation de combat”, 2013

Avis n° 6 sur “L’Agence européenne de défense”, 2015

Avis n° 7 sur “Les Programmes de systèmes de défense en coopération européenne”, 2016

Avis n° 8 sur “La Stratégie européenne pour l’aviation proposée par la Commission européenne”, 2016

Avis n° 9 sur “L’Avenir des lanceurs européens”, 2019

Avis n° 10 sur “L’espace : quelle stratégie européenne pour les vols habités”, 2019

Avis n° 11 sur “Préparer une aviation verte tout en préservant le savoir-faire de développement d’avions de transport en Europe”, 2020

Avis n° 12 sur “Communications européennes sécurisées”, 2021