

# Roadmap Technologique et Stratégique Aéronautique Civile

Avec le soutien de  
la



Et du Plan de Relance de la Wallonie

## Table des matières

1	Aperçu général – Tendances majeures du secteur aéronautique civil en Europe et dans le monde .....	4
1.1	Périmètre général du secteur.....	4
1.2	Impact socio-économique global .....	4
1.3	Contexte global.....	5
1.3.1	Principaux acteurs au niveau mondial et européen.....	5
1.3.2	Les principaux enjeux pour l'écosystème aéronautique.....	7
1.3.3	L'industrie aéronautique civile : un secteur important en Wallonie.....	13
2	Benchmarking des politiques et des stratégies internationales dans le secteur .....	17
2.1	Documents cadres .....	17
2.1.1	IATA – Résolution collective (2021) et Technology Roadmap 2050 (2019) .....	17
2.1.2	ATAG – WayPoint 2050 (09/2021) .....	19
2.1.3	OACI – Report on the feasibility of a long-term aspirational goal (LTAG) for civil aviation CO2 emissions reduction (03/2022).....	22
2.1.4	EASA – European Aviation Environmental Report (2022) .....	25
2.1.5	Clean Aviation – Strategic Research and Innovation Agenda (12/2021) .....	26
2.2	Autres documents particulièrement pertinents .....	27
2.2.1	Feuille de Route du Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile (France) .....	28
2.2.2	Institut Montaigne – Aviation Décarbonée Embarquement immédiat .....	30
2.2.3	The Price of Net Zero – NLR / SEO Amsterdam Economics – (2023).....	32
2.2.4	Règlements européens spécifiques au secteur.....	33
2.3	Liste des autres documents analysés .....	34
3	Analyse SWOT .....	36
4	Perspectives de consolidation et de développement de la chaîne de valeur en Wallonie.....	37
4.1	Hypothèses de base .....	37
4.1.1	Temporalité .....	37
4.1.2	Perspectives de croissance du trafic .....	37
4.1.3	Perspectives de croissance de l'industrie aéronautique wallonne .....	39
4.1.4	Coût de la transition Net Zero .....	40
5	Axes R&D et technologiques prioritaires pour l'industrie wallonne .....	47
5.1	Principaux flagships .....	47
5.1.1	Architectures et structures.....	48
5.1.2	Systèmes propulsifs et moteurs .....	53
5.1.3	Systèmes embarqués.....	59
5.1.4	Matériaux .....	59

5.1.5	Digitalisation du secteur .....	60
5.1.6	Infrastructures aéroportuaires .....	64
5.1.7	Maintenance et réparations (MRO) .....	64
5.1.8	Sustainable Aviation Fuel .....	65
5.2	Autres niches d'activités.....	66
6	Plan d'action : Les recommandations principales .....	68
	Bibliographie.....	72

# 1 Aperçu général – Tendances majeures du secteur aéronautique civil en Europe et dans le monde.

## 1.1 Périmètre général du secteur

Le secteur de l'aviation civile correspond par définition à tout ce qui se rapporte à l'aviation non militaire. Il est subdivisé en deux segments principaux :

- L'aviation commerciale, qui englobe l'ensemble des activités de transport par des compagnies aériennes
  - Transport de passagers
  - Transport de fret.
- L'aviation générale, qui regroupe toutes les autres activités aériennes :
  - Aviation d'affaire
  - Aviation de loisir (aviation légère et ULM)
  - Aviation sportive (voltige, vol à voile)
  - Activités de travail aérien (lutte anti-incendie, observation et surveillance, agriculture, formation des pilotes, etc.)
  - Drones
  - Autres niches d'activité (ballons, pseudo-satellites, etc)

Les entreprises du secteur incluent principalement :

- Les constructeurs d'aéronefs, les motoristes et les équipementiers
- Les utilisateurs, en particulier les compagnies aériennes pour le segment de l'aviation commerciale
- Les gestionnaires d'infrastructures et les fournisseurs de services associés, en particulier les aéroports / aérodromes et les contrôleurs de l'espace aérien.

## 1.2 Impact socio-économique global

Les données suivantes sont issues des publications de l'OACI et de ATAG. Elles se rapportent à l'année 2018, soit avant la crise du COVID.

- 4,3 milliards de passagers transportés annuellement
- 58 millions de tonnes de fret transporté annuellement
- 54 milliards de kilomètres parcourus annuellement, soit 38 millions de vols commerciaux et 85 millions d'heures de vol
- 87,75 millions d'emplois (dont 11,3 millions d'emplois directs) répartis entre
  - 3,6 millions ETP pour les airlines,
  - 648.000 ETP pour les opérations directes des aéroports,
  - 237.000 ETP pour les fournisseurs de service ATM
  - 1,3 millions ETP pour l'industrie manufacturière

- 5,5 millions ETP pour les autres emplois direct sur les sites aéroportuaires (douanes, retail, location véhicules, etc.)
- 31,6 millions ETP pour l'ensemble des emplois indirects et induits
- 44,8 millions ETP liés aux activités touristiques supportées.
- 3.500 milliards \$ en PIB, soit 4,1% du PIB mondial, à répartir entre
  - 961,3 milliards \$ pour les activités directes
  - 1509,2 milliards \$ pour les activités indirectes et induites
  - 1000 milliards \$ liés aux activités touristiques supportées.

Au niveau européen, selon les mêmes sources, on peut considérer que les activités de l'aéronautique commerciale ont supporté :

- 13,5 millions d'emplois
- 991 milliards \$ de PIB

La crise du COVID-19 a durement touché l'ensemble du secteur au niveau mondial, entraînant un ralentissement une chute globale de l'activité de l'ordre de 50% en 2020. Cependant, une reprise évidente s'est amorcée dès 2022, et le retour à des résultats équivalents à ceux constatés avant la crise est estimé au deuxième semestre 2023.

Les chiffres de commande et de livraison communiqués par Airbus confirment cette reprise en cours :



Figure 1-1: Données 2022, aviation commerciale Airbus

## 1.3 Contexte global

### 1.3.1 Principaux acteurs au niveau mondial et européen

#### 1.3.1.1 Avionneurs

- Moyens et longs courriers

Le consortium européen Airbus et l'américain Boeing se partagent l'essentiel du marché de l'aviation commerciale mondiale. Ils sont les seuls à construire des longs courriers, et jusqu'à l'arrivée du chinois Comac (cf. 1.3.2.4), ils se partageaient l'offre des courts et moyens courriers.

Bien que la concurrence reste très forte, Airbus domine son concurrent depuis 2018. En 2022, Airbus a livré 661 avions contre 480 pour Boeing, et Airbus a enregistré 820 commandes pour 774 à Boeing.

- Avions régionaux

Sur le marché des avions régionaux, on retrouve quelques acteurs majeurs supplémentaires :

- Embraer (Brésil)
  - Bombardier (Canada)
  - ATR (France)
- Aviation d'affaire
  - Beechcraft (USA)
  - Bombardier (Canada)
  - Cessna (USA)
  - Daher (Allemagne)
  - Dassault Aviation (France)
  - Embraer (Brésil)
  - Gulfstream Aerospace (USA)
  - Honda (Japon)
  - Piaggio Aero (Italie)
  - Pilatus (Suisse)

#### 1.3.1.2 Fournisseurs Tiers 1

- Motoristes

Quatre motoristes se partagent la motorisation de la majorité des avions commerciaux : Safran (France), General Electric (USA), Pratt & Whitney (USA), Rolls Royce (UK).

L'association CFM (Safran / General Electric) et Pratt & Whitney dominent le secteur des courts & moyens courriers. L'ensemble de ces motoristes sont présents sur le marché des gros porteurs pour lequel Rolls Royce conserve une position dominante.

Sur le marché global de l'aviation civile, en intégrant les avions régionaux et le business jet, on retrouve principalement, outre les quatre acteurs précités, les sociétés MTU Aero Engines (D), Honeywell Aerospace (USA).

D'autres plus petites entreprises sont présentes sur le marché de l'aviation légère, comme par exemple l'autrichien Rotax.

- Aérostructures
  - Ce chapitre sera finalisé dans la prochaine édition.
- Systèmes et équipements
  - Ce chapitre sera finalisé dans la prochaine édition.

## 1.3.2 Les principaux enjeux pour l'écosystème aéronautique

### 1.3.2.1 Décarbonation

L'enjeu principal de la poursuite du développement du secteur aéronautique est bien évidemment lié à sa capacité à réduire ses émissions de carbone et son impact environnemental global.

Loin de vouloir dénigrer et restreindre l'intérêt de cet enjeu environnemental primordial, il nous semble cependant pertinent de rappeler les progrès considérables déjà réalisés au cours des 30 dernières années par l'industrie aéronautique.

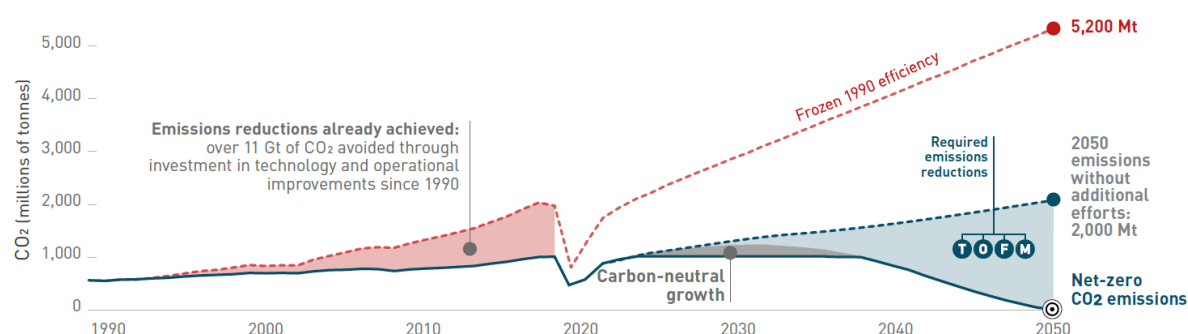


Figure 1-2

Ce graphique, issu de l'étude WayPoint 2050 de ATAG, montre que plus de 3000 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> auront déjà été « économisés » à l'horizon 2050 grâce aux développements technologiques apportés aux flottes entre 1990 et 2019.

Le nombre moyen de grammes de CO<sub>2</sub> émis par passager-kilomètre a diminué en moyenne de 2,3% par an sur la période 2005-2019 pour atteindre l'équivalent de 3,5 litres de carburant pour 100 passagers-kilomètres (données OACI)

Sur base d'un taux de croissance du trafic moyen, le défi du secteur sera donc de réduire de 2000 millions de tonnes les émissions de CO<sub>2</sub> au cours des 25 à 30 prochaines années pour parvenir à l'objectif « Net-zero CO<sub>2</sub> emissions ».

En 2019, les émissions directes de gaz à effet de serre du secteur de l'aviation représentaient 2,8% des émissions liées à l'énergie au niveau mondial, le secteur global du transport représentant 23% de celles-ci (Données IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change). Il faut souligner que l'aviation d'affaire ne représente que 2% de ces émissions, soit 0,06% des émissions mondiales.

### 1.3.2.2 Limitation des émissions (hors CO<sub>2</sub>)

Outre le CO<sub>2</sub>, les moteurs d'avions émettent également d'autres gaz ayant un impact réel, bien que beaucoup plus limité, sur le réchauffement atmosphérique :

- Les oxydes d'Azote (Nox)

- Les trainées de condensation (vapeur d'eau) qui encapsulent des suies issues de la combustion du kéroène dans des cristaux de glace qui se forment sous certaines conditions d'humidité et de température.

Des incertitudes scientifiques existent encore ces émissions. De nouvelles recherche seront nécessaires pour mesurer leur impact global sur le climat.

Dans leur rapport 2022 commun sur l'impact environnemental de l'aviation européenne, EASA et European Environment Agency proposent les recommandations suivantes :

« Identifier et mettre en œuvre des solutions « gagnant-gagnant » qui réduisent à la fois les émissions de CO<sub>2</sub> et les autres émissions et, s'il y a lieu, évaluer de manière robuste les bénéfices et contreparties des mesures d'atténuation afin de garantir une réduction nette de l'impact de l'aviation sur le climat et la qualité de l'air (par exemple, modification des spécifications des carburants, notamment réduction de la teneur en composés aromatiques et/ou en soufre, utilisation de trajectoires de vol « vertes » et de carburants durables pour l'aviation). »

### 1.3.2.3 Limitation des nuisances sonores

Les évolutions technologiques réalisées depuis 50 ans ont déjà permis une réduction substantielle du bruit généré par les avions dans l'environnement des aéroports.

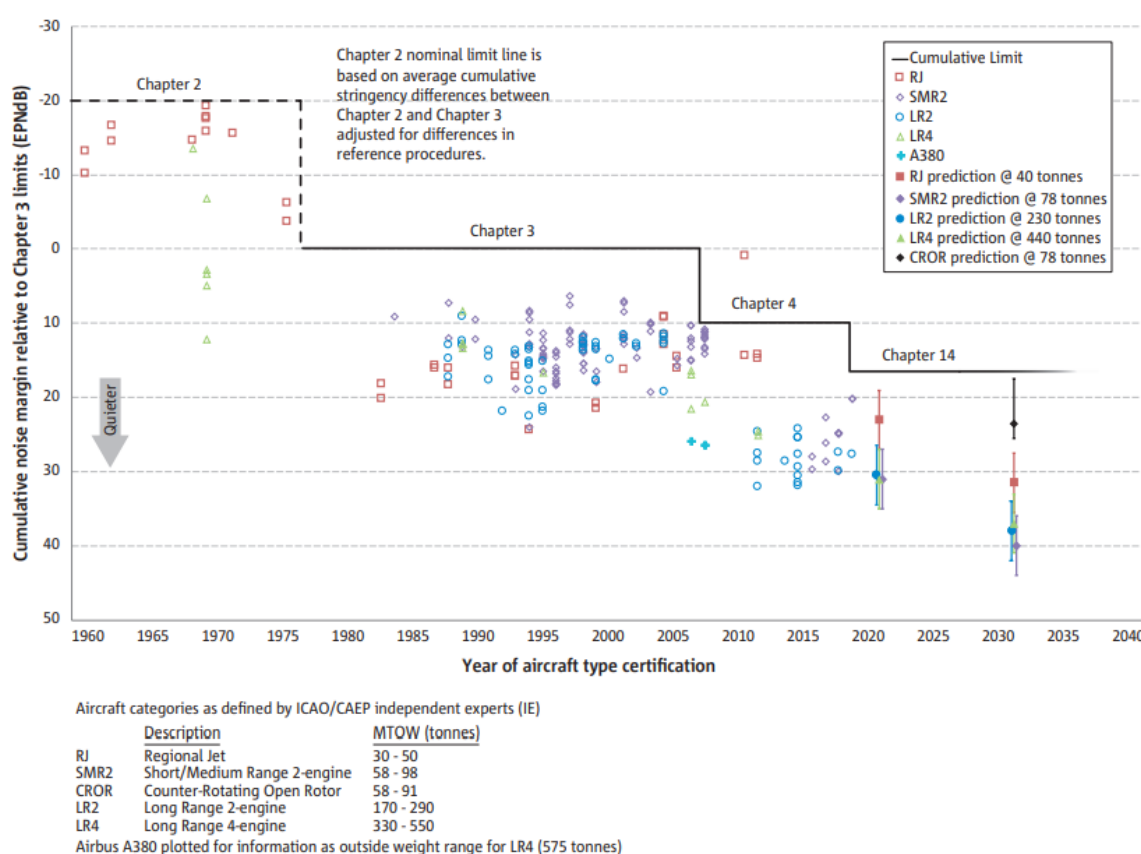


Figure 1-3 : Amélioration des performances sonores des avions – niveau de bruit perçu - au fil du temps (European Aviation Environmental Report 2019 – EASA, European Environment Agency)



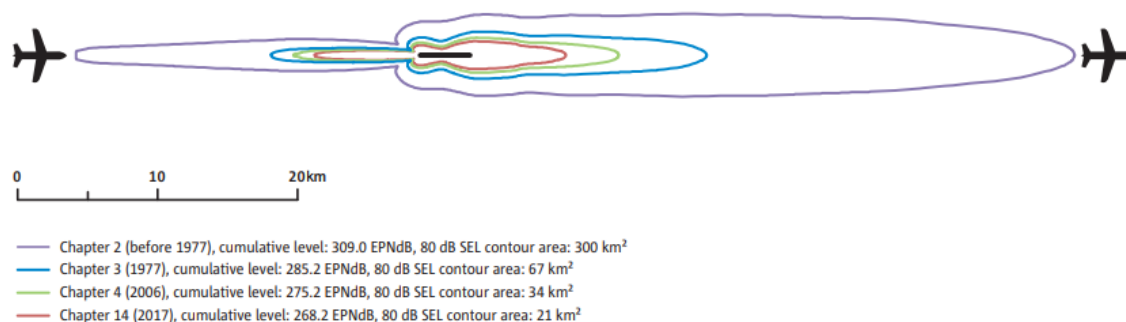


Figure 1-4 Zones exposées à des niveaux sonores supérieurs à 80 dB lors du décollage / atterrissage d'un avion

On constate que les niveaux de bruit cumulé admissibles selon les standards ICAO ont diminués de 18 dB entre 1977 et 2017 (soit des niveaux divisés par 8 en 40 ans, l'échelle dB étant une échelle logarithmique). La dimensions des zones autour des aéroports susceptibles d'être soumise à des niveaux sonores supérieurs à 80 dB a été réduite d'un facteur 3,2 sur la même période.

Cependant la croissance importante du trafic aérien sur la même période entraîne qu'une partie de la population est encore exposée à des niveaux sonores problématiques.

Le renouvellement des flottes par les appareils de nouvelle génération actuels permettra de limiter à l'avenir les niveaux de bruit autour des aéroports.

Trois leviers devront être activés pour permettre de continuer à limiter l'impact sonore des avions :

- Poursuivre les développements technologiques (moteurs et architecture)
- Améliorer les procédures de gestion du trafic aérien
- Adapter les infrastructures et les opérations aéroportuaires en fonction de l'évolution des avions et des procédures ATM.

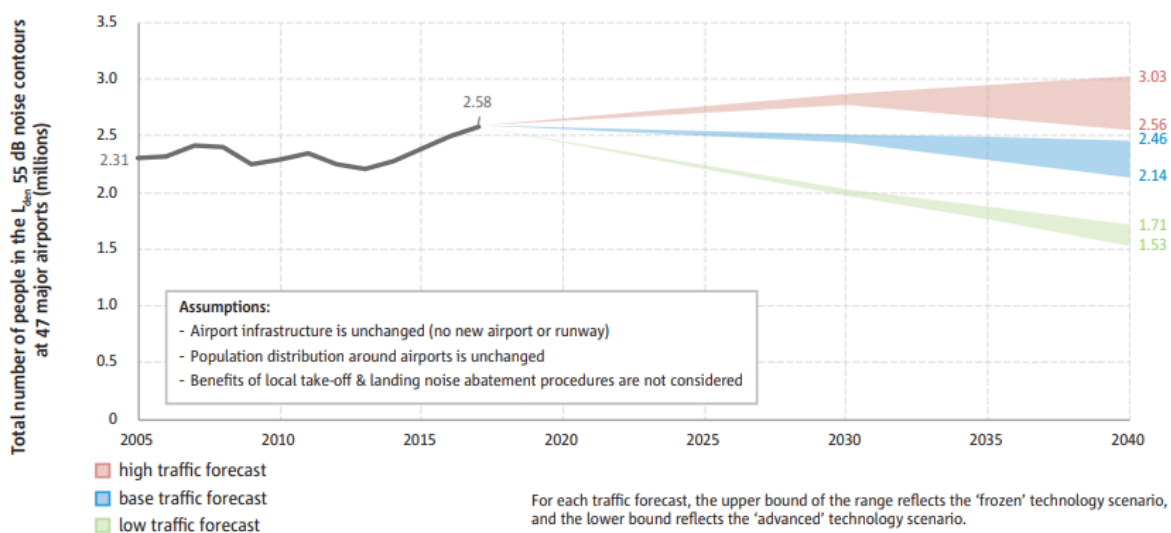


Figure 1-5 : Le renouvellement de la flotte pourrait stabiliser les niveaux de bruit moyens dans les 47 principaux aéroports actuels d'ici 2030 () (Européen Aviation Environmental Report 2019 – EASA, European Environment Agency)

#### 1.3.2.4 L'émergence de COMAC

La crise du Covid-19, puis l'émergence d'une situation géopolitique internationale particulièrement instable, ont inévitablement impacté l'industrie aéronautique mondiale. On constate cependant qu'un retour à une situation « normale », soit aux niveaux de trafic et de production d'avant Covid, est prévue au plus tard pour le début 2024.

Un nouvel élément pourrait cependant déstabiliser l'industrie de l'aviation commerciale traditionnellement entraînée par deux acteurs dominants (Boeing et Airbus) : l'arrivée sur le marché d'avions de ligne de fabrication chinoise COMAC.

Leur premier appareil COMAC C919, équivalent en capacité de passager et en autonomie à un Boeing 737 Max ou un Airbus A320, a été livré en décembre 2022 à la compagnie China Eastern Airlines. Il s'agit d'une étape cruciale pour l'industrie aéronautique commerciale chinoise.

Cet appareil n'est pas autorisé à voler en dehors de la Chine et de quelques états africains, n'ayant pas été certifié par la FAA (Federal Aviation Administration) et l'EASA (European Aviation Safety Agency). Comac ne pourra donc pas profiter à court terme des nombreuses commandes des compagnies aériennes américaines, européennes ou asiatiques qui renouvellent actuellement leurs flottes. Toutefois, à plus long terme, on peut s'interroger sur l'attitude potentiellement opportuniste qui sera adoptée par un certain nombre de pays (Brésil, Inde, Afrique du Sud, etc) qui ne sont actuellement pas totalement alignés avec l'un des deux blocs géopolitiques dominant (USA-Europe-Japon-Corée du Sud vs Chine-Russie-Corée du Nord). Il n'est pas exclu que certains de ces états autorisent à terme l'opération d'avions Comac dans leur espace aérien.

A elle seule, la Chine est devenue un marché stratégique pour les avionneurs qui représente désormais 20% du trafic aérien mondial, avec une croissance annuelle de 5%. En profitant de cet énorme marché intérieur captif, l'industriel chinois pourrait connaître très rapidement une croissance importante, susceptible d'impacter Airbus et Boeing. L'impact pourrait également à terme être considérable pour l'ensemble de la supply chain, d'une part indirectement en conséquence de l'effet sur les avionneurs traditionnels, mais également directement en raison de la volonté de la Chine de limiter au maximum le recours à des pièces occidentales dans ses avions.

Cependant, de façon transitoire, le C919 pourrait être une chance pour l'industrie européenne et américaine, l'aéronef étant encore largement composé de pièces occidentales, notamment ses moteurs (le Leap-1C) fabriqués par le consortium franco-américain CFM International regroupant General Electric et Safran, et ses systèmes avioniques (Thalès).

#### *1.3.2.5 Acceptation sociétale*

Jamais le secteur aérien n'a eu à faire face à une telle offensive (« Aero bashing ») à propos de son impact sur la planète que depuis quelques années.

Il faut toutefois garder à l'esprit que le transport aérien est un moteur de transformation de la société permettant l'interconnexion des êtres humains et l'établissement de relations internationales progressistes. Ces connexions sont indispensables, pas uniquement pour des préoccupations économiques. Elles permettent des échanges culturels, des progrès sociaux, elles constituent un vecteur de liberté évident et sont l'un des éléments essentiels d'une vision humaniste de la paix dans le monde.

Il est dès lors indispensable de rendre au secteur l'image qu'il mérite et d'insister sur la présence en son sein d'énormément d'acteurs qui travaillent quotidiennement avec enthousiasme pour limiter son impact environnemental.

A côté des échanges simplistes dont regorgent les réseaux sociaux, il existe un public progressiste disposé à poursuivre les efforts engagés depuis des décennies et qui encourage les initiatives fixant des objectifs particulièrement ambitieux en matière de réduction des émissions de carbone (Objectif zéro émissions pour 2050).

Afin de soutenir un développement vertueux de l'aviation, il semble indispensable de mieux aligner les programmes de formation spécifiques sur les attentes sociétales actuelles et de permettre ainsi aux futurs acteurs du secteur de s'épanouir dans des métiers en phase avec leur environnement global.

D'autres initiatives telles que la création de filières de recyclage des avions, outre leur intérêt économique et environnemental, participeront également à améliorer l'image du secteur auprès du grand public.

Un ultime défi se traduira par l'acceptabilité dans le futur de certaines innovations technologiques envisagées, actuellement en cours d'étude. On peut citer en exemple l'automatisation du pilotage (vol à un seul pilote) qui permettra des économies d'échelle importantes pour les compagnies aériennes ou la suppression des hublots permettant des gains de poids importants et donc des économies de carburant. Lors de la visite de mai 2023, les responsables d'Airbus ont confirmé qu'un programme de roulage, décollage et atterrissage autonome était déjà en cours de développement et qu'il serait présenté d'ici quelques années à leurs clients pour les vols longs courriers.

Dans tous les cas de figure, l'ensemble des acteurs du secteur de l'aéronautique civile devra apporter une attention toute particulière à sa responsabilité sociétale, en adoptant des plans d'action concrets et évalués, et en communiquant de façon objective et positive.

#### *1.3.2.6 Capacités de production - digitalisation*

En dépit d'un climat général qui pourrait sembler très défavorable, la grande majorité des prévisions s'accordent sur la poursuite de la croissance du trafic aérien au cours des 25 prochaines années, notamment via le développement des vols régionaux sur des marchés émergents.

Dans le même temps, les objectifs environnementaux nécessiteront une accélération importante du renouvellement des avions par les compagnies aériennes au cours des 20 prochaines années.

Pour répondre à cette croissance, le premier challenge des avionneurs sera d'accroître leurs capacités de production, notamment via l'optimisation de leurs processus et outils de production.

Le fer de lance de cette évolution sera indiscutablement l'accentuation de la digitalisation de l'ensemble du cycle de production, et au-delà de l'ensemble du cycle de vie des avions (depuis leur conception jusqu'à leur démantèlement).

Par effet de bord, l'ensemble de la supply chain devra assumer les impacts de ces transformations. Elle subira inévitablement la pression qui sera engendrée sur les rythmes de production. Elle devra en outre s'adapter à la volonté déjà exprimée par Airbus de limiter son nombre de fournisseurs et de poursuivre l'optimisation de la compatibilité de ses systèmes industriels avec ceux de ses sous-traitants.

Pour les leaders industriels du secteur aéronautique en Wallonie (Tier 1), cela impliquera la nécessité de parvenir à une croissance leur permettant d'atteindre une taille critique suffisante pour renforcer leur positionnement vis-à-vis des avionneurs.

#### 1.3.2.7 Disponibilité des matières premières

L'approvisionnement des matières premières critiques est compromis par l'offensive russe en Ukraine. Cette crise a révélé des failles importantes dans la sécurité de l'approvisionnement pour la production industrielle et la transition verte.

Parmi ces matières, on peut citer l'aluminium, le nickel, le vanadium mais principalement le titane, indispensable à l'industrie aéronautique, dont la Russie est le premier producteur mondial et dont une part importante du minerai est extrait en Ukraine.

Même si des actions préventives sont prises depuis le début de la crise par les grands groupes industriels occidentaux, la dépendance reste forte.

La Commission Européenne a introduit le concept de « matières premières stratégiques » dans son « Critical Material Act » de 2023. Si les matières premières critiques étaient déjà prises en compte pour leur risque impact important sur l'économie de l'Union en général, les matières premières stratégiques sont spécifiquement caractérisées vis-à-vis de leur importance pour trois secteurs en particulier :

- Secteur digital
- Secteur des énergies renouvelables
- Secteur « Aerospace and Defense ».

2023 Critical Raw Materials ( <i>Strategic Raw Materials in italics</i> )			
aluminium/bauxite	coking coal	<i>lithium</i>	phosphorus
antimony	feldspar	<i>LREE</i>	scandium
arsenic	fluorspar	<i>magnesium</i>	<i>silicon metal</i>
baryte	<i>gallium</i>	<i>manganese</i>	strontium
beryllium	<i>germanium</i>	<i>natural graphite</i>	tantalum
<i>bismuth</i>	hafnium	niobium	<i>titanium metal</i>
<i>boron/borate</i>	helium	<i>PGM</i>	<i>tungsten</i>
<i>cobalt</i>	<i>HREE</i>	phosphate rock	vanadium
		<i>copper*</i>	<i>nickel*</i>

Figure 1-6

La Commission a défini un ensemble d'actions afin d'assurer l'accès de l'UE à un approvisionnement sûr, diversifié, abordable et durable en matières premières critiques :

- Créer des chaînes d'approvisionnement sécurisées et résilientes pour les matières premières essentielles de l'UE. La Commission réduira la charge administrative et simplifiera les procédures d'autorisation pour les projets de matières premières critiques dans l'UE. Les États membres devront également développer des programmes nationaux d'exploration des ressources géologiques.

- Veiller à ce que l'UE puisse atténuer les risques d'approvisionnement. Certaines grandes entreprises devront réaliser un audit de leurs chaînes d'approvisionnement stratégiques en matières premières, comprenant un test de résistance au niveau de l'entreprise
- Investir dans la recherche, l'innovation et les compétences. La mise en place de partenariats de recherche à grande échelle sur les matières premières critiques et la création d'une « Raw Materials Academy » permettront le développement de compétences pertinentes en matières premières critiques.
- Protéger l'environnement en améliorant la circularité et la durabilité des matières premières critiques. Les États membres devront adopter et mettre en œuvre des mesures nationales pour améliorer la collecte des déchets riches en matières premières critiques et assurer leur recyclage en matières premières critiques secondaires.
- Diversifier les importations de matières premières critiques de l'Union : L'UE ne sera jamais autosuffisante pour l'approvisionnement de ces matières premières et continuera à dépendre des importations pour la majorité de sa consommation. Le commerce international est donc essentiel pour soutenir la production mondiale et assurer la diversification de l'offre.

#### 1.3.2.8 Disponibilité des ressources humaines

Le secteur aéronautique, comme de nombreux autres secteurs industriels et technologiques, fait face à d'importantes difficultés de recrutement.

Le maintien et le développement d'une activité performante en Wallonie nécessitera de relever l'ensemble des défis évoqués ci-dessus. Assurer un ancrage régional durable des activités ne sera possible qu'en disposant de ressources humaines suffisantes et de talents disposant, à différents niveaux, des compétences adéquates.

Il semble indispensable d'analyser en profondeur les besoins spécifiques du secteur en matière de formation et de les transposer rapidement dans un plan d'action pragmatique et ambitieux.

Sans préjuger des conclusions d'une telle analyse, quelques pistes peuvent déjà être évoquées :

- Améliorer l'attractivité des filières techniques en général, et de celles conduisant aux métiers de l'aéronautique en particulier. Cela nécessitera probablement des adaptations structurelles, mais également d'offrir la possibilité aux élèves, dès leur plus jeune âge, d'entrer en contact dans un contexte positif avec les univers de la technologie et de l'entreprise.
- Adapter les cursus aux nouvelles compétences nécessaires pour aborder les évolutions sociétales et technologiques du monde de l'aviation, en particulier celles liées aux défis de la décarbonation.
- Rapprocher l'offre de formation, tant au niveau académique qu'au niveau de la formation technique et professionnelle, des besoins des entreprises

### 1.3.3 L'industrie aéronautique civile : un secteur important en Wallonie

### 1.3.3.1 Historique

Le secteur aéronautique en Wallonie plonge ses racines dans l'histoire industrielle de la région. En effet, ce secteur est un des descendants directs de l'industrie métallurgique wallonne, qui a figuré tout au long du XXème siècle parmi les plus performantes du monde.

Le développement a commencé en Belgique juste après la première guerre mondiale, avec la création d'entreprises telles que SNETA (future SABENA), SABCA, SEGA (qui deviendra « Avions Fairey » puis SONACA), la fabrication de moteurs d'avions ayant débuté en 1949 au sein de la « division moteur » de la FN Herstal.

Le secteur a subi une forte croissance depuis la fin des années 70 grâce aux retombées industrielles du contrat de fourniture des chasseurs F16 à l'armée belge.

### 1.3.3.2 Principaux acteurs wallons

La Wallonie concentre plus de 70% des activités industrielles belges et fournit à elle-seule près de 5% des équipements embarqués dans la gamme Airbus tout en étant également présente dans la supply chain de Boeing.

Trois acteurs majeurs, Tier-1 des Oem's et leaders dans leurs secteurs respectifs, entraînent la supply chain wallonne de l'aéronautique civile :

- Safran Aéro Boosters, membre du groupe français Safran, qui produit des compresseurs basse pression pour des turboréacteurs (moteur LEAP) qui équipent notamment les Airbus A320, Boeing 737 et COMAC C919. L'entreprise produit également d'autres sous-systèmes liés à l'environnement moteur comme des groupes de lubrification. Elle développe aussi des bancs de test pour moteurs d'avion.  
Fin 2021, l'entreprise employait plus de 1.300 personnes sur ses sites liégeois.
- Sonaca Group est l'un des leaders mondiaux du développement, de la fabrication, de l'assemblage et de la fourniture de pièces (de structure) au sein du secteur aéronautique. Le groupe emploie 3.500 personnes à travers le monde, dont plus de 1.300 en Wallonie.
- Les entreprises Sabena Engineering et Sabca, membre du groupe belge Orizio, sont essentiellement présentes en Wallonie pour des activités de maintenance d'avions civils et militaires (MRO). Elles conçoivent et produisent également sur d'autres sites belges et étrangers des éléments de structure et différents sous-systèmes (système d'actuation, etc.) Elles occupent 850 emplois en Wallonie

D'autres grands groupes industriels disposent également de filiales implantées en Wallonie (Bridgestone Aircraft Tires, Patria Belgium Engine Center, Hexcel Composites, Siemens Industry Software, Hexagon, etc.)

Outre ces grandes entreprises, l'écosystème industriel aéronautique wallon regroupe près de 100 PME actives au moins partiellement dans le secteur qui représentent plus de 1200 ETP directs.

Celles-ci proposent des compétences de pointe dans différents sous-secteurs :

- Conception de pièces et de sous-systèmes (R&D, R&I), notamment au moyen d'outils de simulation et de modélisation numérique

- Fabrication et assemblage d'éléments structurels et de composants de moteurs d'avions, dans différents matériaux (composites, métalliques) grâce à la maîtrise et l'utilisation de nombreuses technologies de pointe (fonderie, usinage de précision, additive manufacturing, procédés spéciaux, etc.)
- Traitement de surface (chimique, mécanique)
- Développement et commercialisation de logiciels et d'outils numériques
- Systèmes embarqués (gestion thermique, électronique de puissance, etc.)
- Contrôle non destructif.
- Bancs de test et moyens d'essais
- Maintenance et réparation (MRO)

Deux aéroports régionaux, aux activités complémentaires, assurent également un positionnement remarquable de la Wallonie au niveau des infrastructures et des services proposés.

- Le Brussel South Charleroi Airport (BSCA) est le deuxième aéroport passager du pays. Il a accueilli près de 8,3 millions de passagers en 2022 (près de 190 destinations), retrouvant ainsi son niveau d'activité d'avant la crise du COVID-19. Il fournit de l'emploi directement à près de 800 salariés. En y ajoutant les emplois indirects générés, on peut estimer l'impact total à plus de 3000 personnes.
- L'Aéroport de Liège achemine plus de 1,1 million de Tonnes de fret annuellement, ce qui le situe au 6<sup>ième</sup> rang européen. Son positionnement géographique stratégique lui permet de desservir près de 400 millions de consommateurs, via 1500 destinations potentielles. Il emploie directement près de 3500 personnes. En y ajoutant l'impact indirect, on peut estimer que l'activité de l'aéroport touche près de 9100 personnes.

Enfin, la Wallonie peut compter sur un réseau assez dense de compétences aéronautiques en matière de recherche appliquée réparties entre les Universités francophones et plusieurs centres de recherche. On peut notamment citer (liste non exhaustive)

- Cenaero
- Centexbel
- Cetic
- CRM Group
- Materia Nova
- Sirris
- Von Karman Institute
- Ecole Royale Militaire
- ULB
- ULouvain
- ULiège
- UMons
- UNamur

#### 1.3.3.3 Impact socio-économique actuel du secteur pour la Wallonie

Sur la base des données BNB traitées par le pôle Skywin et d'études réalisées pour le compte de Liège Airport et de BSCA, on peut estimer que le secteur aéronautique civil génère en Wallonie près de 10.000 emplois directs et crée une valeur ajoutée annuelle pour la région de 1.500 millions d'euros.

Cette estimation ne prend pas en compte les emplois issus des activités de recherche au sein des centres de recherche et des Universités. Elle se base sur des données recueillies fin 2018, soit avant la crise du Covid-19. Comme indiqué au point 1.2 Impact socio-économique global, la reprise constatée depuis 2022 permet de considérer ces données comme étant suffisamment représentatives de la situation probable fin 2023.

	Emplois directs (ETP)	Valeur ajoutée (M€)
Activités industrielles – Grandes entreprises	4.400	730
Activités industrielles - PME	1.200	106
Activités aéroportuaires	3.950	634
<b>TOTAL</b>	<b>10.000</b>	<b>1.470</b>

*Figure 1-7: Estimation de l'impact socio-économique du secteur en Wallonie (sur base données 2018 représentatives de l'activité sectorielle post-covid – données Skywin, BSCA, ULiège Segefa)*



## 2 Benchmarking des politiques et des stratégies internationales dans le secteur

Il est clair que le principal défi du secteur aéronautique pour les 25 prochaines années sera de parvenir à développer des aéronefs et des infrastructures totalement décarbonés.

Des choix politiques ont déjà été effectués, notamment au niveau de l'Union Européenne mais également au niveau national dans plusieurs pays, afin d'engager l'aéronautique dans la voie du Zéro Carbone. Les principaux acteurs industriels, individuellement et via différentes associations, ont également lancés de multiples études prospectives au cours des dernières années afin de définir les objectifs à atteindre et de prospecter les moyens d'y parvenir.

Le travail réalisé ici s'est appuyé sur les conclusions des documents les plus pertinents afin de dégager une stratégie au niveau de la Wallonie. Les documents pris en compte sont listés et décrits ci-dessous.

### 2.1 Documents cadres

#### 2.1.1 IATA – Résolution collective (2021) et Technology Roadmap 2050 (2019)

L'Association du Transport Aérien International a adopté en octobre 2021 lors de son Assemblée Générale une résolution collective, en soutien à l'Accord de Paris, visant à atteindre zéro émission nette de carbone d'ici 2050.

Ce document réaffirme le soutien total des compagnies aériennes au programme de compensation et de réduction des émissions de carbone (CORSIA) de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

Il appelle l'OACI à assurer un leadership fort afin d'aligner les gouvernements dans la lutte contre les émissions de l'aviation au travers une approche globale avec des politiques coordonnées, plutôt que via un patchwork de stratégies régionales, nationales ou locales.

Il invite les gouvernements des États membres de l'OACI à convenir d'un objectif à long terme équivalent à l'ambition de l'industrie et à s'assurer :

- que l'action de l'industrie soit soutenue par un cadre politique cohérent et coordonné qui stimule l'innovation et l'initiative ;
- que cet objectif ne s'appuie pas sur des instruments présentant peu d'avantages environnementaux tels que les tickets et taxes sur le carbone.

Il encourage toutes les compagnies aériennes membres de l'IATA à continuer d'améliorer l'efficacité de leurs opérations pour atteindre des réductions d'émissions durables dans le secteur et de lancer en urgence la transition vers l'utilisation de carburants d'aviation durables.

Il exige que toutes les parties prenantes de l'industrie s'engagent à traiter l'impact environnemental de leurs politiques, de leurs produits et de leurs activités via des actions concrètes et des échéanciers clairs, notamment :

- pour les entreprises productrices de carburant : Fournir au marché des carburants d'aviation durables à grande échelle et à des prix compétitifs ;

- pour les gouvernements et les fournisseurs de services de navigation aérienne : Améliorer l'infrastructure et les pratiques de gestion du trafic aérien ;
- pour les avionneurs et les motoristes : Produire des technologies d'architecture, de structure et de propulsion radicalement plus efficaces ;
- pour les exploitants d'aéroport : Fournissant l'infrastructure nécessaire pour approvisionner les SAF, au prix coûtant et de manière rentable.



Figure 2-1

En 2019, IATA avait publié une roadmap focalisée sur le développement technologique et la conception des avions du futur. Elle fixe deux échéances principales :

- A court et moyen terme (2035), une phase de développement technologique évolutif et incrémental, avec la conservation d'une architecture « tube-and-wing » et d'une propulsion par des turboréacteurs alimentés en Jet Fuel (ou « drop in » de carburant durable équivalent).
- A plus long terme, après 2035, une phase de développement en rupture de nouvelles configurations d'aéronefs et de systèmes propulsifs.

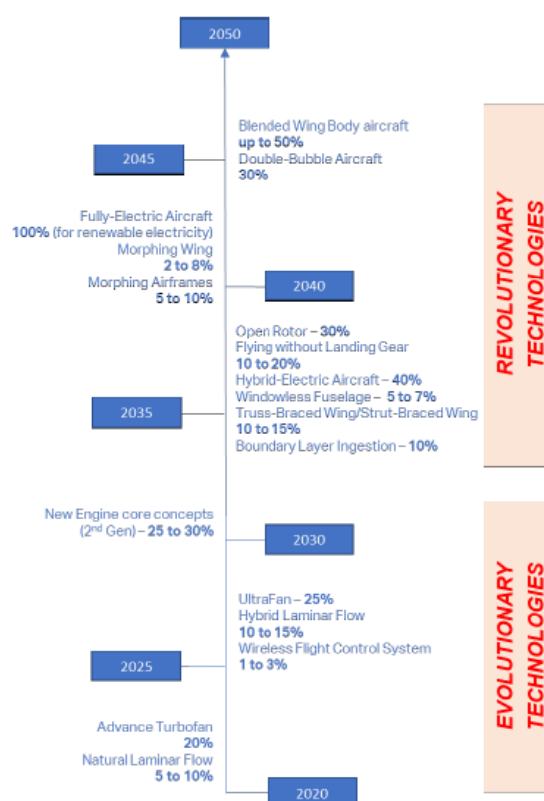


Figure 2-2

### 2.1.2 ATAG – WayPoint 2050 (09/2021)

Air Transport Action Group (ATAG) est une coalition de plus de 40 organisations et entreprises du secteur aérien mondial qui vise à garantir que l'industrie aéronautique puisse continuer à croître en fonction des demandes du marché et à offrir les énormes avantages sociaux et économiques qu'elle offre au monde, tout en s'attaquant à son impact environnemental.

L'association regroupe notamment :

- Les principaux aviateurs et motoristes du monde
- Les associations représentant les compagnies aériennes, les aéroports, les prestataires de services de navigation aérienne, l'aviation d'affaires et le secteur du tourisme
- Les fournisseurs de l'industrie
- Des sociétés de leasing et des chambres de commerce.

ATAG a adopté en 2021 un engagement visant à atteindre des émissions nettes de carbone nulles d'ici 2050 pour l'ensemble des opérations mondiales de l'aviation civile. Cet engagement passe par des mesures qui constitue le programme « WayPoint 2050 » permettant d'accélérer la transition énergétique et l'innovation dans le secteur de l'aviation, en partenariat avec les gouvernements du monde entier. Il supporte l'Accord de Paris visant à limiter l'augmentation globale de température à maximum 1,5°C par rapport aux niveau préindustriel.

WayPoint 2050 se base sur 4 éléments clés principaux pour atteindre ses objectifs :

- Accroître l'utilisation de carburants d'aviation durables (SAF) et abandonner les carburants fossiles d'ici 2050 dans le cadre d'un changement énergétique plus large dans l'aviation, y compris via l'utilisation de l'électricité à faible émission de carbone et de l'hydrogène vert.
- Mettre en œuvre la recherche, le développement et le déploiement de architectures d'avions et de systèmes de propulsion évolutifs et révolutionnaires, y compris l'introduction d'avions électriques et/ou à hydrogène.
- Poursuivre l'amélioration continue de l'efficacité des opérations et des infrastructures dans l'ensemble de l'écosystème aéronautique, y compris au niveau des aéroports et des fournisseurs de services de navigation aérienne (ATM).
- Investir à court terme dans des mécanismes de compensations de carbone de haute qualité et développer à plus long terme des technologies de captation de carbone pour traiter les émissions résiduelles. À cet égard, ATAG soutient totalement le programme de compensation et de réduction des émissions de carbone pour l'aviation internationale (CORSIA) de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) en tant que mesure transitoire efficace pour stabiliser les émissions nettes de l'aviation internationale.

WayPoint 2050 se base sur 3 hypothèses de croissance annuelle du trafic d'ici 2050 : 2,3%, 3,1% et 3,3%, avec un retour au niveau d'avant la crise du Covid prévu pour 2024.

En prenant en compte un taux de croissance moyen de 3,1%, le programme ambitionne de réduire les émissions sectorielles de CO<sub>2</sub> de 2000 Tonnes d'ici 2050. Pour y parvenir, 3 scénarios ont été étudiés

- Scénario 1 : Il met la priorité sur les améliorations technologiques avec l'apparition de nouvelles architectures d'avions et de flottes d'avions régionaux hybrides/électriques à

l'horizon 2035-2040. Il prévoit aussi des investissements importants dans l'amélioration des infrastructures

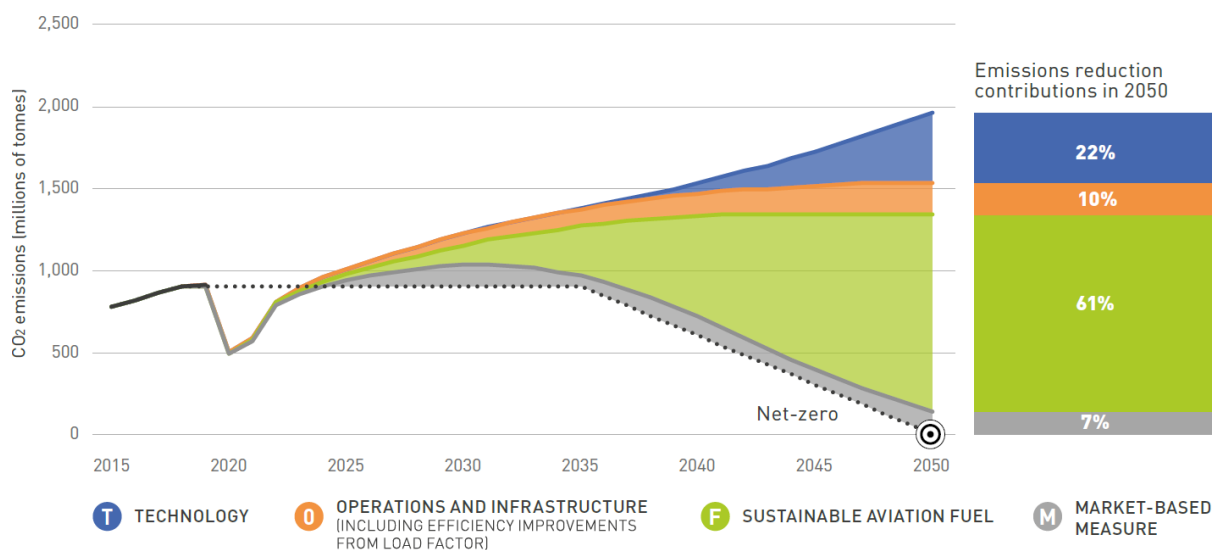


Figure 2-3

- Scénario 2 : Ce scénario prévoit une poursuite des développements technologiques, mais en privilégiant un développement ambitieux des SAF plutôt que celui des technologies hybrides et électriques.

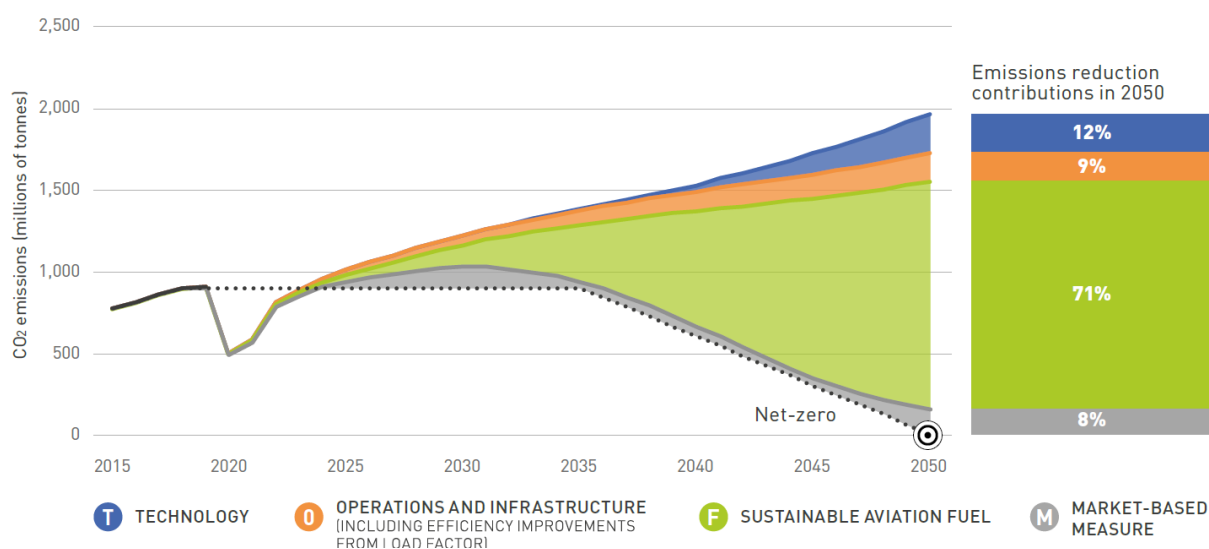


Figure 2-4

- Scénario 3 : Scénario le plus ambitieux au niveau technologique qui prévoit le déploiement d'une flotte d'avions électriques pour l'aviation régionale (jusqu'à 100 sièges) et d'avions zéro émissions propulsés à l'hydrogène vert pour les courts et moyens courriers (jusqu'à 200 sièges).

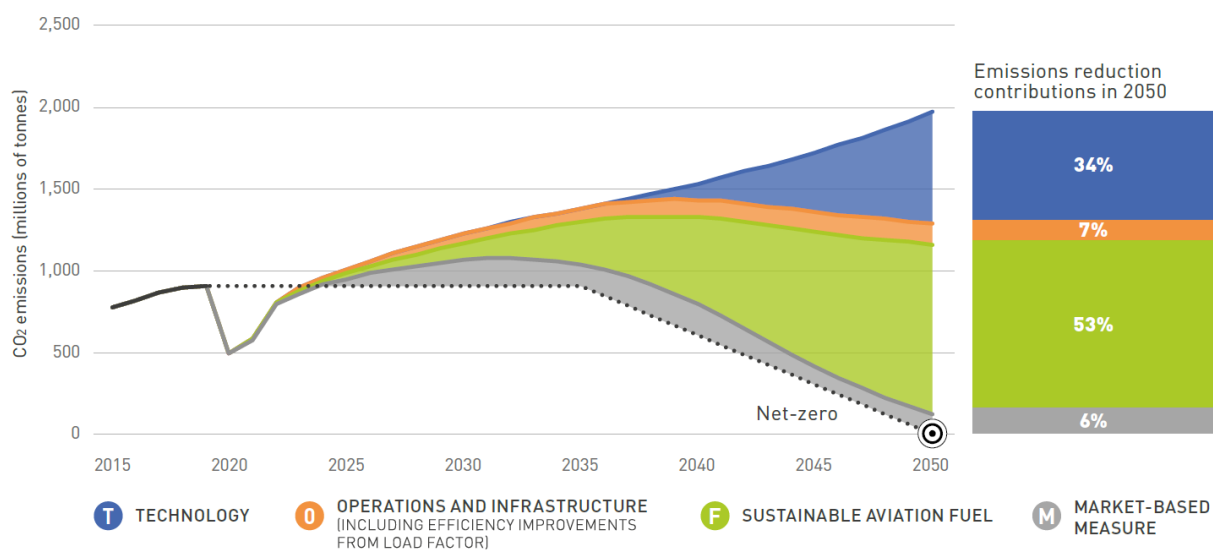


Figure 2-5

Les différentes possibilités d'évolution des flottes, par type d'avion commercial, sont détaillées dans le tableau ci-dessous :

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>Commuter</b> » 9-19 seats » < 60 minute flights » <1% of industry CO <sub>2</sub>	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
<b>Regional</b> » 50-100 seats » 30-90 minute flights » ~3% of industry CO <sub>2</sub>	SAF	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
<b>Short haul</b> » 100-150 seats » 45-120 minute flights » ~24% of industry CO <sub>2</sub>	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF
<b>Medium haul</b> » 100-250 seats » 60-150 minute flights » ~43% of industry CO <sub>2</sub>	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen
<b>Long haul</b> » 250+ seats » 150 minute + flights » ~30% of industry CO <sub>2</sub>	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF

Figure 2-6

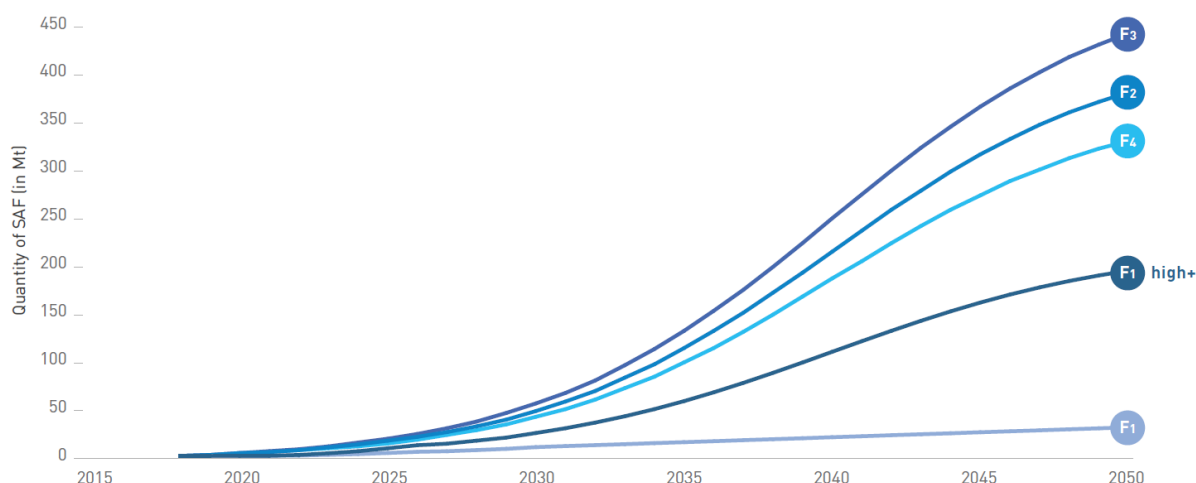


Figure 2-7

Les courbes F2, F3 et F4 représentent les besoins en SAF du secteur suivant les 3 scénarios évoqués ci-dessus, alors que la courbe F1 représente la disponibilité de ce type de carburant sur base du rythme de déploiement actuel.

Indépendamment du scénario choisi, il est évident que le déploiement des Sustainable Aviation Fuel constituera un des éléments clés du développement d'une aviation civile zéro émission.

### 2.1.3 OACI – Report on the feasibility of a long-term aspirational goal (LTAG) for civil aviation CO2 emissions reduction (03/2022)

L'OACI est financée par 193 gouvernements qui lui donnent mandat d'appuyer leurs activités diplomatiques et leur coopération dans le domaine du transport aérien.

En octobre 2022, l'ensemble des Etats membres de l'OACI a adopté un « long-term aspirational goal (LTAG) for civil aviation of net zero carbon emissions by 2050 » qui supporte l'Accord de Paris relatif à la réduction des émissions. Cet accord se base sur une étude réalisée par l'OACI publiée en mars 2022.

Cette étude a élaboré trois scénarios sectoriels intégrés s'appuyant chacun sur un sous-ensemble de scénarios relatifs à la technologie, aux carburants et à l'exploitation, qui représentent une gamme d'états de préparation et de capacités de réalisation. Les scénarios ont été analysés dans le but de comprendre les incidences sur les émissions de CO2, les coûts et les investissements, ainsi que les répercussions possibles sur la croissance de l'aviation, le bruit et la qualité de l'air.

Conclusions générales de l'étude :

- Tous les scénarios étudiés montrent la possibilité d'une réduction importante des émissions de CO2, mais aucun d'eux ne prévoit des émissions de CO2 nulles au moyen de mesures propres au secteur (c'est-à-dire, mesures liées à la technologie des aéronefs, à l'exploitation et aux carburants) en raison de la prise en considération des émissions liées au cycle de vie des carburants.
- Le taux de croissance global du trafic a un effet important sur les émissions résiduelles de CO2 d'ici à 2050 et au-delà.

- Les carburants interchangeables (« drop-in ») ont l'incidence la plus importante sur les émissions de CO2 résiduelles qui contribueront aux réductions globales d'ici à 2050. Cette observation est, dans une certaine mesure, indépendante des scénarios concernant la technologie et l'exploitation.
- L'hydrogène ne devrait pas avoir une incidence importante d'ici à 2050 (il ne représentera que 1,9 % de la part énergétique en 2050), mais elle pourrait augmenter dans les années 2050 et 2060 si l'hydrogène est techniquement et commercialement viable.
- Les avions à fuselage et à voilure perfectionnés (sur base tube-and-wing actuel) peuvent manifestement permettre d'améliorer l'efficacité énergétique globale du système de l'aviation internationale, les avions à configurations non conventionnelles apportant potentiellement une contribution supplémentaire.
- Les avions propulsés à l'hydrogène présenteraient un rendement énergétique moindre que les avions fonctionnant avec des carburants liquides, compte tenu des émissions liées au cycle de vie de l'hydrogène.
- L'analyse montre qu'il existe des possibilités de réduire les émissions de CO2 des vols en améliorant les performances dans toutes les phases de vol, y compris par des mesures non conventionnelles telles que les vols en formation.
- Les coûts et les investissements associés aux scénarios sont en grande partie déterminés par les carburants (par ex., les SAF), sachant que les surcoûts engendrés par ces carburants vis-à-vis des jet fuel fossiles incitent à améliorer le rendement énergétique par des améliorations de la technologie des avions et de l'exploitation. Cela nécessitera également des investissements de la part des gouvernements et du secteur.
- La technologie des avions et les décisions associées en matière de conception continueront de répondre aux besoins du marché mondial et ne varieront pas selon les régions. Cependant, des écarts entre les régions sont probables pour ce qui est de la mise en œuvre de mesures opérationnelles. Les écarts les plus importants devraient s'observer dans la production et l'adoption des carburants, compte tenu de divers facteurs : disponibilité régionale des matières premières dérivées des déchets et de la biomasse, du CO2 et de l'hydrogène cryogénique, de l'énergie renouvelable, dynamique du marché et infrastructure.

### **Synthèse des 3 scénarios étudiés :**

- **Scénario IS1 : Scénario de base – Faible ambition**  
Ce scénario prend en référence le niveau d'attentes actuel (2021) par rapport au développement des technologies, à la disponibilité des carburants et à l'efficacité des opérations
- **Scénario IS2 : Scénario intermédiaire – Ambition moyenne, à mi-chemin entre IS1 et IS3**
- **Scénario IS3 : Scénario agressif – Forte ambition**  
Il prend en compte les efforts les plus importants au niveau du développement des technologies, de la disponibilité des carburants et de l'amélioration des opérations.



## Incidence du taux de croissance annuel du trafic aérien :

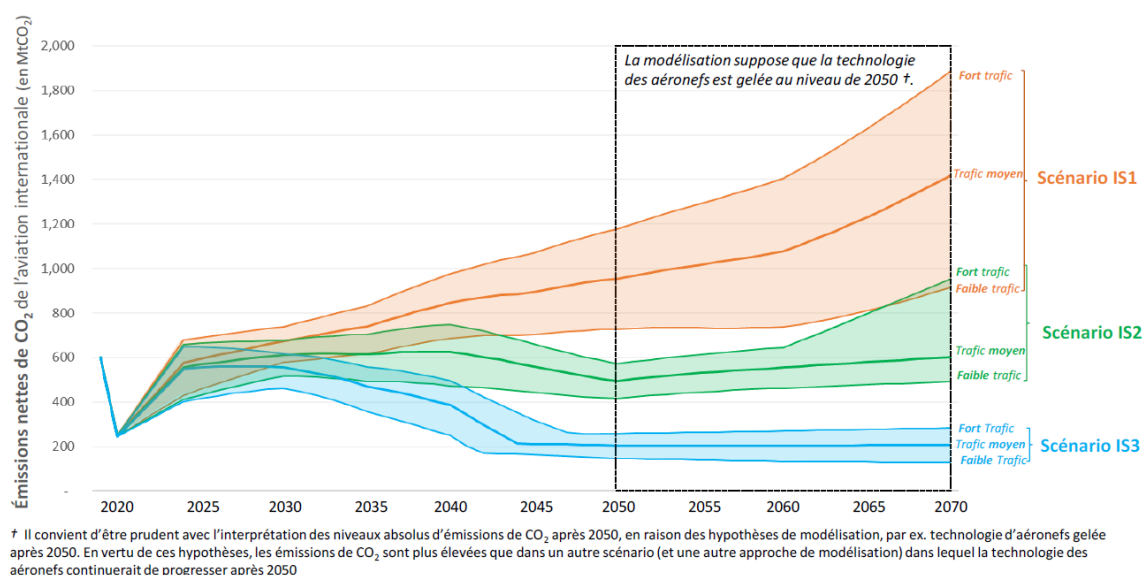


Figure 2-8

## Tendance en matière d'émissions de CO2 (sur base du taux de croissance du trafic moyen) :

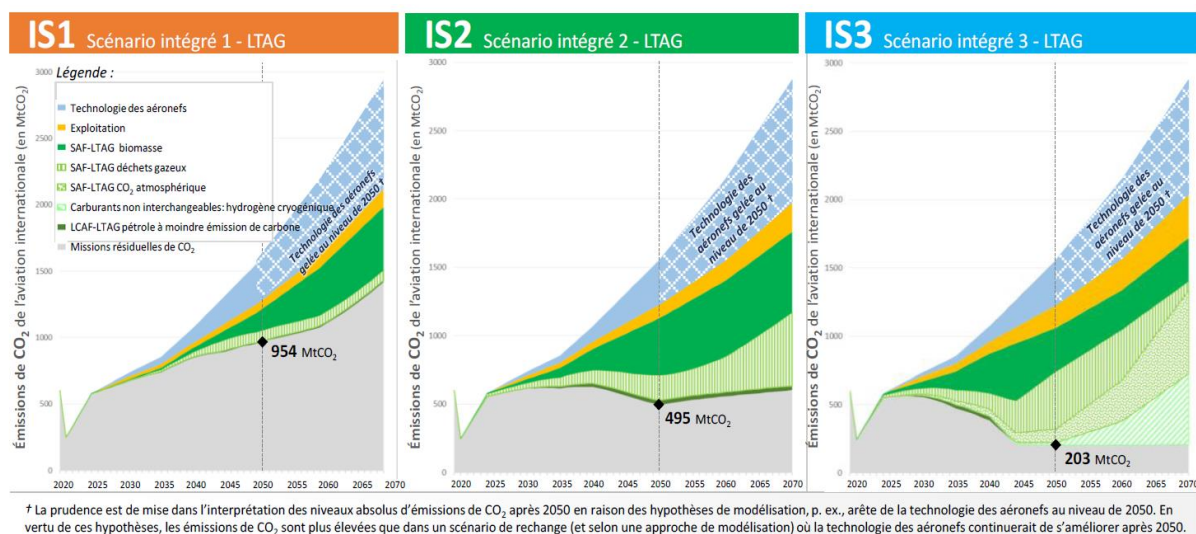


Figure 2-9

## Estimation des coûts et investissements associés aux 3 scénarios d'ici 2050 (en milliards \$) :

Scénario	Investissements des états (Support R&D)	Investissements des avionneurs (R&D et mise en service)	Investissements des fournisseurs de carburant	Coût et investissements pour les aéroports	Coût et investissements pour les services d'ATM	Coût et investissements pour les exploitants
IS1	Min. 15 Max. 180	180	1300	2	11	140
IS2	Min. 75 Max. 840	350	2300	3	14	1740
IS3	Min. 75 Max. 870	350	3200	131	20	3040

Figure 2-10



Pour les fournisseurs de carburant, les coûts correspondent aux investissements nécessaires pour accroître les capacités de production des SAF. Pour les exploitants (airlines), le gain correspondant aux diminutions de consommation des avions grâce aux évolutions technologiques est très largement compensé par le surcoût lié au prix probable des SAF.

#### 2.1.4 EASA – European Aviation Environmental Report (2022)

L'Agence Européenne pour la Sécurité Aérienne, créée en 2003, a publié en 2022 la dernière édition de ce rapport dont l'objectif est de fournir une information objective, précise et claire sur les performances environnementales du secteur aérien européen.

Ce document décrit principalement l'évolution de l'impact environnemental du secteur jusqu'en 2021, les objectifs déjà fixés et les actions en cours. Sa portée prospective est assez limitée.

Il fournit cependant une synthèse intéressante du déploiement des SAF en Europe :

- La production actuelle de SAF ne représente que 0,05% des besoins en carburants de l'aviation civile européenne. La Commission a fixé des objectifs de fourniture augmentant de 2% en 2025 à 63% en 2050, ce qui représente 2,3 millions de Tonnes en 2030, 14,8 MT en 2040 et 28,6 MT en 2050.
- Les SAF de substitution (drop-in) joueront un rôle clé dans la décarbonisation du secteur puisqu'ils peuvent déjà être utilisés (taux de mélange max. 50%) dans les générations d'avions actuels.
- Les SAF resteront le principal carburant des vols long-courrier.

Production pathway	Feedstocks <sup>30</sup>	Certification name (blending limit)	TRL
Biomass Gasification + Fischer-Tropsch (Gas+FT)	Energy crops, lignocellulosic biomass, solid waste	FT-SPK <sup>31</sup> (up to 50%)	7-8
Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA)	Vegetable and animal fat	HEFA-SPK (up to 50%)	8-9
Direct Sugars to Hydrocarbons (DSHC)	Conventional sugars, lignocellulosic sugars	HFS-SIP <sup>32</sup> (up to 10%)	7-8 or 5 <sup>33</sup>
Biomass Gasification + FT with Aromatics	Energy crops, lignocellulosic biomass, solid waste	FT-SPK/A <sup>34</sup> (up to 50%)	6-7
Alcohols to Jet (AtJ)	Sugar, starch crops, lignocellulosic biomass	ATJ-SPK (up to 50%)	7-8
Catalytic Hydrothermolysis Jet (CHJ)	Vegetable and animal fat	CHJ or CH-SK <sup>35</sup> (up to 50%)	6
HEFA from algae	Microalgae oils	HC-HEFA-SPK <sup>36</sup> (up to 10%)	5
FOG Co-processing	Fats, oils, and greases	FOG (up to 5 %)	-
FT Co-processing	Fischer-Tropsch (FT) biocrude	FT (up to 5 %)	-

Figure 2-11 Maturité du développement des SAF (échelle TRL)

**Figure 4.6** Current announced SAF projects within Europe, March 2022

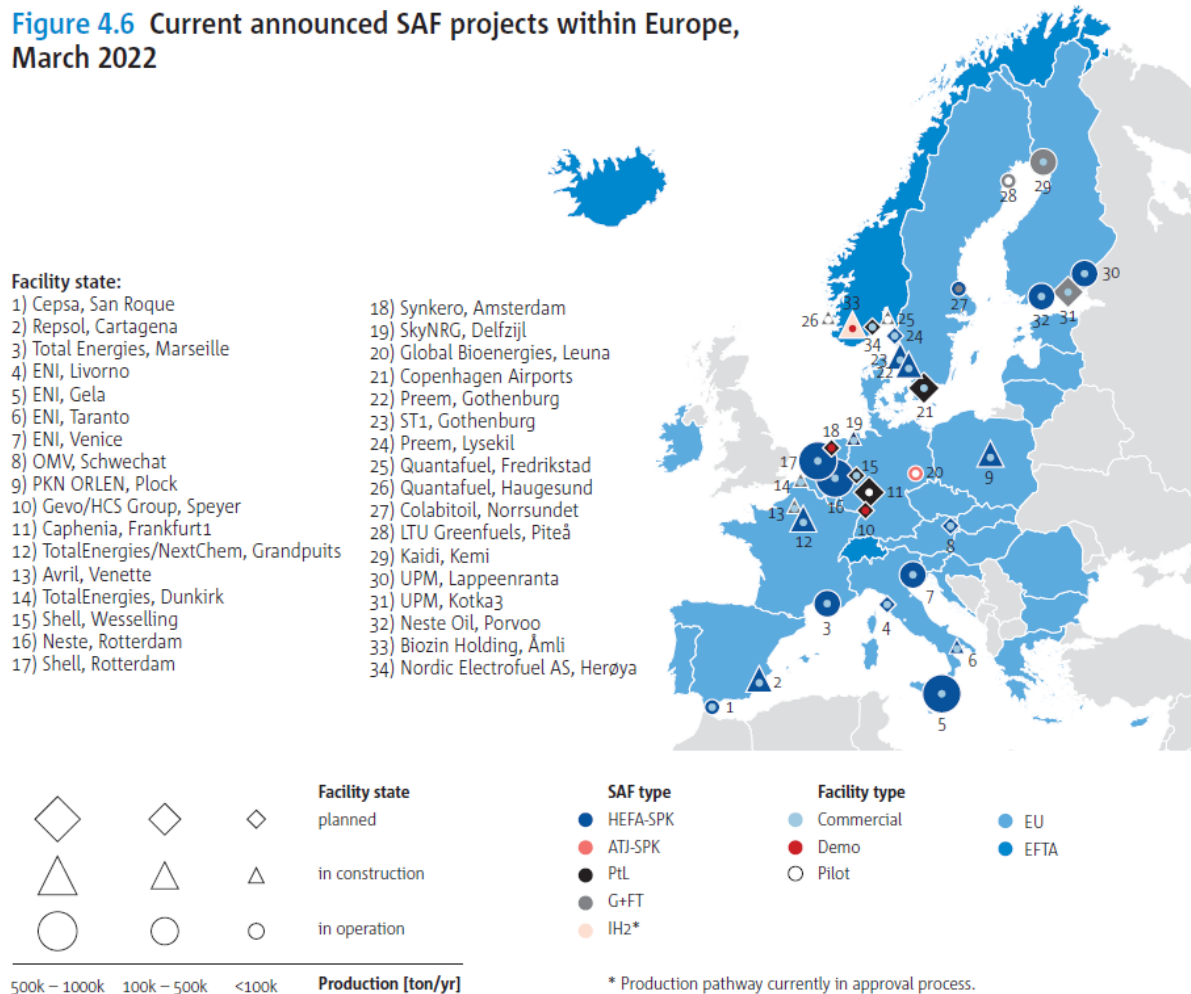


Figure 2-12

### 2.1.5 Clean Aviation – Strategic Research and Innovation Agenda (12/2021)

Le Joint Undertaking « Clean Aviation » est le principal programme de recherche et d'innovation de l'Union européenne visant à transformer l'aviation vers un avenir durable et neutre pour le climat.

Il s'agit d'un partenariat public-privé qui vise à rassembler les meilleurs talents et capacités des deux univers pour développer des technologies de pointe et les mettre à disposition du secteur aéronautique afin de permettre un bond en avant dans les performances des avions dès les années 2030 et de soutenir l'ambition de neutralité climatique de l'Union Européenne (Green Deal) d'ici 2050.

Via leurs travaux de recherche, les acteurs industriels et de recherche de Clean Aviation visent à développer de nouvelles technologies qui permettront des réductions des émissions de gaz à effet de serre d'au moins 30% (par rapport à 2020). L'objectif sera le déploiement de nouveaux avions avec cette performance au plus tard en 2035, permettant de remplacer 75% de la flotte mondiale de l'aviation civile d'ici 2050.

L'agenda stratégique de recherche et d'innovation (SRIA) constitue la feuille de route prospective et systémique du partenariat. Il précise comment les grands objectifs du partenariat seront traduits en actions de recherche et d'innovation axées sur les résultats, en fixe les grandes orientations budgétaires, et aborde également les interactions avec les autres partenariats européens.

Le SRIA de Clean Aviation présente notamment les deux étapes de la trajectoire vers l'objectif de la neutralité climatique d'ici 2050 :

- 2030 : démonstration et introduction de concepts d'aéronefs à faibles émissions
- 2050 : aviation climatiquement neutre

Le programme de travail de Clean Aviation repose sur trois axes clés, chacun avec des efforts ciblés de Recherche & Innovation :

- **Axe 1 - L'avion régional électrique-hybride**  
Stimuler la recherche et l'innovation dans de nouvelles architectures d'alimentation électrique (hybrides) et leur intégration, faire mûrir les technologies en vue de la démonstration de nouvelles configurations, de concepts d'énergie embarqués et de commandes de vol.
- **Axe 2 - Avions court et court-moyen-courrier ultra-efficaces**  
Répondre aux besoins avec des architectures d'avions innovantes, en utilisant des systèmes de propulsion thermique hautement intégrés et ultra-efficaces et en apportant des améliorations disruptives en matière d'efficacité énergétique. Ceci sera essentiel pour la transition vers des sources d'énergie à émissions faibles voire nulles (carburants synthétiques, carburants non drop-in comme l'hydrogène), qui seront plus énergivores à produire, plus chères et disponibles uniquement en quantités limitées.
- **Axe 3 - Des technologies disruptives permettant la conception d'avions à hydrogène**  
Permettre aux avions et aux moteurs d'exploiter le potentiel de l'hydrogène en tant que carburant alternatif zéro-carbone, en particulier l'hydrogène liquide. L'application des résultats de ces domaines dans les nouveaux aéronefs dépendra des exigences de performances pour les différentes catégories d'aéronefs, de la capacité et de la maturité technologiques et des gains de performances réalisables.

Aircraft Class	Key technologies and architectures to be validated at aircraft level in roadmaps	Entry-into-service (EIS)	Fuel burn reduction (technology-based)*	Net emissions reduction – i.e. including fuel effect **	Current share of air transport system emissions
Regional Aircraft	Hybrid-electric, distributed propulsion coupled with highly efficient aircraft configuration	~2035	-50%	-90%	~5%
Short-Medium Range Aircraft	Advanced ultra-efficient aircraft configuration and ultra-efficient gas turbine engines, ultra-high bypass (open rotor or ducted fan)	~2035	-30%	-86%	~50%

\* Improvement targets are defined as fuel burn reduction compared to 2020 state-of-the-art aircraft available for order/delivery.

\*\* Assumes full use of SAF at a state-of-the-art level of net 80% carbon footprint reduction compared to fossil based fuels (or where applicable zero-carbon electric energy). SAF figures do not refer to potential emissions reduction based on hydrogen as energy. For this and assuming renewable production of hydrogen, the CO<sub>2</sub> emissions would be zero.

Figure 2-13 Objectifs de Clean Aviation

## 2.2 Autres documents particulièrement pertinents

## 2.2.1 Feuille de Route du Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile (France)

Le CORAC est l'organe français de concertation Etat-Industrie dédié à la mise en place du programme national de recherche de la filière aéronautique. Il associe l'ensemble des acteurs de l'industrie, de la R&D, de l'exploitation, de la réglementation et de l'administration au niveau national. Il a piloté l'établissement de la feuille de route de décarbonation du transport aérien transmise au Gouvernement français en février 2023.

Eléments principaux :

- Les émissions mondiales de l'aviation sont en croissance continue en raison de la hausse du trafic. Néanmoins, les émissions unitaires, c'est-à-dire par passager et kilomètre parcouru, ont drastiquement baissé. Elles ont été divisées par 5 depuis 1960 et par 2 depuis 1992. Ces améliorations sont principalement dues aux progrès technologiques. Les différents modèles d'avions qui se sont succédé, ont généré entre chaque génération des gains d'efficacité énergétique de l'ordre de 10 % à 15 %. La dernière génération d'avions et de moteurs consomme entre 2 et 3 litres aux 100 km par passager, voire moins de 2 litres sur certains types de vol
- La décarbonation du transport aérien français doit donc s'inscrire dans le cadre du LTAG de l'OACI, des plans d'action agréés au niveau mondial et du Green deal européen.
- La feuille de route a établi 2 périmètres géographiques : Celui des vols nationaux et régionaux, celui des vols internationaux.
- Pour chaque périmètre, 2 scénarios ont été établis :
  - « Action » qui vise une activité décarbonée à près de 80% à l'horizon 2050
  - « Accélération », plus ambitieux à partir de 2030, qui vise une décarbonation à 92% à l'horizon 2050.
- Le tableau synthétise les résultats obtenus en termes de réduction des émissions de CO2 selon les différents scénarios envisagés ainsi que les besoins en énergie décarbonée pour chaque scénario

Emissions CO2 mondiales aviation 2019 915 Mt	Emissions CO2 2019 (Mt)	Scénario	Projection d'activité décarbonée en 2050	Biomasse dédiée CAD 2050 (Mt)	Energie électrique décarbonée dédiée 2050 (TWh)	Part de la production selon scénario RTE
France (métropole et outre-mer)	5,4	Action	-79%	1,2	11,4	1,8%
		Accélération	-92%	0,8	20,5	3,2%
International départ France	19,2	Action	-77%	9,4	45,5	7,1%
		Accélération	-91%	6,7	92,4	14,3%

Figure 2-14

Actions à mettre en œuvre par la filière pour parvenir à ces objectifs :

- Déploiement par les industriels d'avions plus efficaces sur le plan énergétique et acquisition de ces derniers par les compagnies aériennes ; poursuite des recherches sur la nouvelle génération d'avions ultra efficaces et sur l'incorporation à 100% des SAF dans les flottes ; développement des technologies hydrogène ;
- Développement d'une filière de CAD et incorporation croissante de ces derniers, au-delà des exigences réglementaires européennes dans le scénario le plus ambitieux ;
- Investissement dans les installations d'électrification au sol, au niveau des opérations au sol des avions, achat d'engins de piste bas carbone, déploiement des logiciels d'accompagnement des pilotes et des outils de partage d'information entre aéroports, compagnies aériennes et contrôleurs pour optimiser les opérations au vol et au sol ;
- Adaptation des infrastructures aéroportuaires pour garantir la distribution des énergies et vecteurs énergétiques décarbonés ;
- Adaptation des emplois et des compétences pour garantir le déploiement des différents leviers de décarbonation.

La mise en œuvre de la décarbonation du secteur aérien nécessitera également de la part de l'Etat la mise en place d'un environnement réglementaire, énergétique et financier adapté :

- Sécuriser le financement pluriannuel du CORAC pour accompagner le financement de la R&T des acteurs du secteur ;
- Favoriser l'émergence d'une filière française de SAF : structurer une filière de production nationale de CAD, contribuer au financement des investissements initiaux de cette filière, subventionner l'incorporation en France de CAD ;
- Mobiliser les énergies décarbonées / bas carbone (électricité, biomasse) dans les proportions requises pour tenir la trajectoire présentée et intégrer ces besoins énergétiques dans les futures planifications énergétiques (PPE) ;
- Soutenir le renouvellement accéléré des flottes, par des mesures d'aides financières, fiscales, comptables ;
- Accompagner les services de la navigation aérienne et les industriels concernés pour permettre l'optimisation maximale des opérations aériennes en vol et au sol ;
- Assurer la soutenabilité financière globale de la décarbonation du secteur en mettant en place des dispositifs de soutien adéquats aux opérateurs (compagnies aériennes, aéroports), en évitant les doubles taxations et les distorsions de concurrence.

#### Conclusions :

A défaut de soutien adéquat par les pouvoirs publics, un risque d'atrophie de l'industrie aérienne et aéronautique française existe. Celui-ci entraînera soit une substitution de l'activité par des acteurs étrangers sans bénéfice pour l'environnement (« fuites de carbone »), soit l'inadéquation des services de transport de personnes et de marchandises proposés par rapport aux attentes des citoyens et au bon fonctionnement de l'économie française.

Un soutien financier, prévisible et stable, de l'Etat conformément aux recommandations de la présente feuille de route est donc une condition indispensable non seulement à la décarbonation de la filière aérienne française mais aussi à sa pérennité. Il est aussi la condition requise pour permettre à la filière française d'opérer un effet d'entraînement sur la décarbonation du secteur aérien mondial, en cohérence avec les objectifs de l'OACI.

La décarbonation du transport aérien français est possible via la technologie, l'optimisation des opérations, le déploiement massif des nouveaux carburants décarbonés, sans mesure de limitation du trafic, et avec le soutien de l'Etat conformément à l'ensemble des recommandations du rapport.

## 2.2.2 Institut Montaigne – Aviation Décarbonée Embarquement immédiat

L'Institut Montaigne se définit comme un espace indépendant de réflexion, de propositions et d'expérimentations au service de l'intérêt général. Il organise ses travaux autour de quatre piliers thématiques : la cohésion sociale, les dynamiques économiques, l'action de l'État et les coopérations internationales.

Cette étude a pour ambition de détailler l'ensemble des leviers permettant d'atteindre l'objectif de neutralité carbone du transport aérien à l'horizon 2050.

Elle propose 11 recommandations :

- Créer les conditions permettant de stimuler les innovations technologiques et encourager le renouvellement des flottes

### RECOMMANDATION n° 1 (Monde)

Accélérer le développement des technologies de rupture en complément d'une accélération de la baisse de consommation incrémentale des appareils.

- a. Accélérer les évolutions incrémentales de réduction de la consommation ;
- b. Maintenir la dynamique d'investissement sur les technologies de rupture, en particulier sur : les nouvelles formes d'appareils, les nouvelles motorisations (y.c. électrification), l'avion fonctionnant à l'hydrogène ;
- c. Préparer le modèle de certification des innovations de rupture ;
- d. Mettre en place des mécanismes pour assurer la compétitivité coût des appareils moins émetteurs (financement de nouvelles infrastructures, compensation du surcoût associé aux nouveaux appareils...).

### RECOMMANDATION n° 2 (France/UE/Monde)

Faciliter le financement du renouvellement des appareils anciens par des appareils plus récents et moins émetteurs dans le cadre de la taxonomie et/ou via des mécanismes de suramortissement.

- Activer les leviers d'optimisation des opérations au sol et en vol

### RECOMMANDATION n° 3 (France/UE/Monde)

Mettre en place les leviers de réduction de la consommation liés à l'opération des appareils.

- En vol : accélérer la mise en place du ciel unique Européen et la digitalisation du contrôle aérien, l'utilisation de localisation satellite pour les vols transatlantique, développer les configurations de vol permettant de récupérer l'énergie de sillage...
- Au sol : limiter l'utilisation des APU lorsque les appareils sont connectés au terminal, optimiser le roulage au sol et le remorquage lorsque pertinent...

### RECOMMANDATION n° 4 (France/UE/Monde)

Favoriser l'intermodalité pour les débuts/fin de parcours, en particulier en assurant des liaisons entre les principales gares ferroviaires et aéroports pour faciliter la transition et en mettant en place des parcours passagers intégrés.



- Promouvoir le recours aux biocarburants au maximum de leur potentiel, et développer les carburants de synthèse

#### RECOMMANDATION n° 5

Clarifier la définition des SAF et veiller à leur utilisation pour atteindre l'objectif de réduction des émissions.

- (Monde)** Mettre en place des critères de durabilité des SAF partagés par tous les pays, définis par l'OACI, tant en ce qui concerne le type de matière première utilisée que le niveau de réduction des émissions sur le cycle de vie du carburant.
- (France/UE)** Intégrer l'hydrogène dans la définition des SAF afin de permettre le développement de toutes les filières contribuant à la décarbonation du transport aérien.
- (UE/Monde)** Développer l'obligation d'incorporation de SAF sur l'ensemble des géographies, sur le modèle de ce qui a été initié en Europe avec *ReFuelEU Aviation* ; en Europe, faire évoluer la cible à 2050 au-delà des 63 % prévus par *ReFuelEU Aviation* en fonction du rythme d'activation et de l'intensité des différents leviers de décarbonation.

#### RECOMMANDATION n° 6

Soutenir l'offre pour créer un marché des SAF compétitif en Europe.

- (France/UE)** Financer des projets de démonstrateurs sur les biocarburants et les carburants de synthèse, en utilisant notamment les fonds de l'EU-ETS.
- (France/UE)** Pour initier le développement de la filière en Europe et sécuriser le lancement des premières unités de production, mettre en place des Appels à Projets (prix garanti) et assurer la compétitivité des SAF produits en Europe pendant les premières années (subvention).
- (UE)** Adapter dynamiquement la trajectoire d'incorporation des SAF définie dans le cadre de *ReFuelEU Aviation*, afin d'éviter les effets de pallier et d'être cohérent avec l'environnement industriel ; à cet égard, une augmentation de l'ambition à l'horizon 2030 pourrait être envisagée.
- (UE)** Pour maximiser les volumes de production, mettre en place des incitations (ex : crédits d'impôts) pour compenser le surcoût entre les SAF et le kérosène pour les injections au-delà des obligations d'incorporation.

#### RECOMMANDATION n° 7 (UE/Monde)

Limitier les distorsions de concurrence entre hubs / compagnies aériennes.

- À court-terme, mettre en place un mécanisme européen de compensation s'appliquant à tous les trajets au départ de l'UE et proportionnel à la distance parcourue par chaque passager pour subventionner l'incorporation de SAF sans surcoût par rapport au kérosène, afin d'éviter des distorsions de concurrence et des risques de fuite de carbone au profit de parcours hors UE non soumis aux mêmes obligations d'incorporation de SAF.
- À moyen-terme, permettre des vitesses différentes de mise en œuvre des obligations d'incorporation de SAF entre les géographies/pays sans distorsion de concurrence entre les hubs/compagnies aériennes ; adosser l'obligation d'incorporation de SAF au point d'origine de chaque passager et sur l'ensemble de son parcours.
- À long terme, mettre en place des obligations d'incorporation de SAF uniformes au niveau de l'OACI.

#### RECOMMANDATION n° 8 (France/UE)

Promouvoir le carburant de synthèse pour dynamiser la mise en place d'une filière de production d'hydrogène de grande échelle :

- Le carburant de synthèse ouvre un débouché de grand volume à court terme pour la production d'hydrogène et permet la mise en place de moyens de production à grande échelle indispensables pour en faire baisser les coûts ;
- Le carburant de synthèse permet de s'affranchir des problématiques de transport et de stockage de l'hydrogène en l'absence d'infrastructures dédiées ;
- Le procédé de fabrication du carburant de synthèse permet de s'affranchir de l'enjeu de disponibilité des matières premières car il n'utilise que de l'air, de l'eau et de l'électricité ;
- Les investissements réalisés pourront ensuite être utilisés pour la distribution d'hydrogène aux aéroports lors de la mise en service des avions à Hydrogène
- La production de carburant de synthèse permet également le développement des technologies de captage du CO<sub>2</sub>.

- Etendre et amplifier les systèmes de compensation

#### RECOMMANDATION n° 9 (UE)

À court-terme, mettre en place un mécanisme pour limiter la distorsion de concurrence liée au trafic de correspondance entre l'Europe et le reste du monde soumis à l'EU-ETS, par exemple en maintenant une fraction des quotas gratuits pour assurer une concurrence équilibrée avec les vols soumis au système CORSIA.

#### RECOMMANDATION n° 10 (Monde)

Renforcer les systèmes de quotas carbone existants et développer de nouveaux mécanismes pour étendre leur couverture aux émissions du trafic aérien non couvertes à ce jour :

- Encourager la mise en place de mécanismes de marché type ETS pour les émissions domestiques dans les pays et régions autres que l'Europe ;
- À moyen-terme, assurer l'alignement des systèmes de quotas carbone entre eux et avec l'objectif « Net Zéro » de l'industrie.

- Investissements

#### RECOMMANDATION n° 11 (Monde)

Mettre en place une politique d'investissement massive dans les énergies décarbonées, au-delà du remplacement des modes de production actuellement utilisés, pour répondre aux nouveaux besoins des acteurs du transport à l'horizon 2050.

### 2.2.3 The Price of Net Zero – NLR / SEO Amsterdam Economics – (2023)

Cette étude a été réalisée par le NLR et Amsterdam Economics à la demande de 2 associations d'Airlines (Airlines 4 Europe, European Regions Airline Association), de Airports Council International Europe, de Civil Air Navigation Services Organisation et de AeroSpace and Defense Industries Association of Europe.

Elle a pour but d'évaluer les dépenses nécessaires pour parvenir aux objectifs Net Zero de 2050.

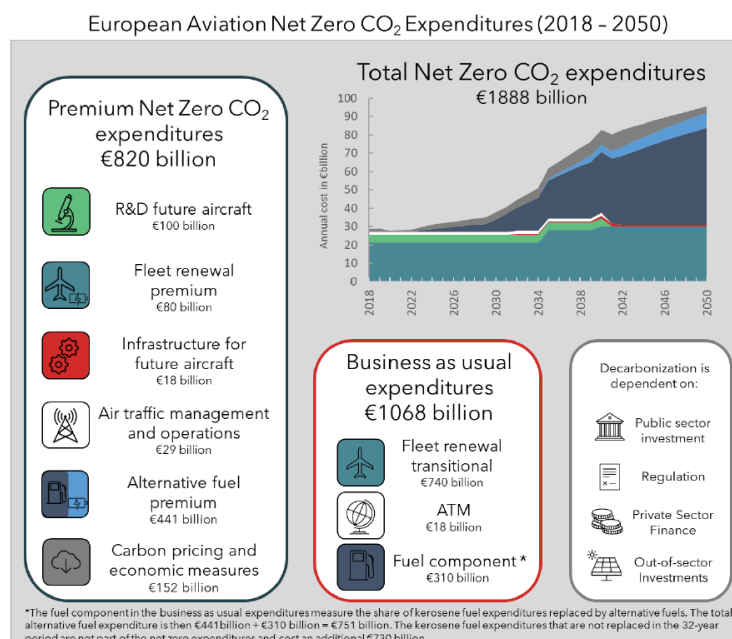


Figure 2-15



## 2.2.4 Règlements européens spécifiques au secteur

### 2.2.4.1 EU Ets

EU Ets est le système d'échange de quota d'émissions de gaz à effet de serre de l'Union Européenne. Il limite les émissions d'environ 10 000 installations du secteur de l'énergie et de l'industrie manufacturière, ainsi que des exploitants aériens opérant entre les pays de l'union. Il intégrera également les opérateurs de transport maritime à partir de 2024.

Il fonctionne sur le principe du « cap and trade ». Un plafond (« cap ») est fixé sur la quantité totale de certains gaz à effet de serre pouvant être émis par les opérateurs couverts par le système. Le plafond est réduit au fil du temps de sorte que les émissions totales diminuent.

Dans les limites du plafond, les opérateurs achètent ou reçoivent des quotas d'émission qu'ils peuvent échanger entre eux selon les besoins. La limitation du nombre total de quotas disponibles garantit leur valeur. Le coût associé incite à la réduction des émissions et promeut l'investissement dans des technologies innovantes à faible émission de carbone, tandis que les échanges apportent une flexibilité qui garantit que les émissions sont réduites là où cela coûte le moins cher.

Chaque année, un opérateur doit restituer suffisamment de quotas pour couvrir entièrement ses émissions, faute de quoi de lourdes amendes sont infligées. Si un opérateur réduit suffisamment ses émissions, il peut conserver les quotas inutilisés pour couvrir ses besoins futurs ou bien les revendre à un autre opérateur en manque de quotas.

Les recettes provenant de la vente de quotas alimentent principalement les budgets des États membres. Des quotas sont également mis aux enchères pour alimenter les fonds soutenant l'innovation dans les technologies bas carbone et la transition énergétique.

Le mécanisme mis en œuvre en 2005 est actuellement dans sa quatrième phase (2012 – 2030) qui prend en compte les objectifs de neutralité carbone à l'horizon 2050. Pour accélérer le rythme des réductions d'émissions, le nombre total de quotas d'émission accordé diminue annuellement de 2,2 % (contre 1,74 % avant 2021).

Jusqu'au 31 décembre 2026 au moins, EU ETS ne s'appliquera qu'aux vols entre aéroports situés à l'intérieur de l'espace économique européen.

### 2.2.4.2 ReFuel EU

ReFuel EU est une proposition de règlement du parlement et du conseil européen qui vise à établir des règles harmonisées concernant l'utilisation et la fourniture de carburants durables d'aviation.

Elle souhaite établir un cadre unique et clair en faveur de la durabilité, et elle entend définir les obligations des différents acteurs (compagnies aériennes, aéroports et fournisseurs de carburant) sur la base de objectifs suivants en matière d'utilisation de SAF :

Date	Part minimale de carburants durables (en volume)	dont carburants de synthèse
01/01/2025	2%	0%
01/01/2030	5%	0,7%
01/01/2035	20%	5%
01/01/2040	32%	8%
01/01/2045	38%	11%
01/01/2050	63%	28%

Après plusieurs mois de négociations difficiles pour accorder les institutions aériennes, les Etats et les différents lobbies, un accord provisoire a été entériné par les négociateurs du Parlement et de la Commission en avril 2023 qui valide notamment le recours à l'énergie nucléaire pour la production de carburants de synthèse et la possibilité d'utiliser une plus large gamme de biocarburants.

## 2.3 Liste des autres documents analysés

Les documents suivants ont également été consultés et analysés dans le cadre de l'établissement de la roadmap stratégique :

- Airbus – Global Market Forecast 2022
- Airbus – Corporate presentation (05/2023)
- Airbus – Airbus product strategy roadmap (05/2023)
- ATAG – Adding value to the economy
- ATAG – Blueprint for a green recovery
- ATAG – Fueling Net Zero
- Boeing – Sustainability Report 2022
- NLR – A route to Net Zero European aviation
- McKinsey - Digital : The next horizon for global aerospace and defense
- Neutral Kero Lime – Belgium next century SAF / e-fuel ecosystem
- Aerospace Technology Institute – Destination Zero
- CRIAQ - Accélérer les transitions pour une mobilité aérienne résiliente et durable
- Climaviation – Enjeux technologiques
- IWEPS – Le secteur du transport aérien de passagers en Wallonie (2022)
- ULiège – CO2 Research at ULiège, Pr. G. Leonard (07/2022)
- ISAE SUPAERO – Synthèse Aviation et Climat (09/2021)
- ADEME – Elaboration de scénario de transition écologique du secteur aérien (09/2022)
- Eurocontrol – Seven year forecast 2022 – 2028
- Segefa – Retombées économiques de Liège Airport (06/2022)
- B2B Aviation – BSCA, un acteur majeur de l'économie belge
- Pratt & Withney – Sustainability Strategy Factsheet
- European Parliament – ReFuelEU Aviation Initiative
- Rolls Royce – Leading the transition to Net Zero Carbon
- Rolls Royce – Statement on Climate-related risk
- BSCA – Challenges for regional airports regarding the Green Deal, Q. Evrard (03/2023)
- Liège Airport – Environmental challenges (03/2023)
- Airport Regions Council – Regional airports and the new green aviation, Sergi Alegre Calero (03/2023)
- European Commission DG COMP – State aid for regional airports (03/2023)
- The Shift Project – Flying in 2050, what aviation in a constrained world (03/2021)
- IPCC – Climate Change 2022
- IPCC – Climate Change 2023



### 3 Analyse SWOT

Forces	Opportunités
<ul style="list-style-type: none"> <li>Acteurs wallons leaders mondiaux sur leurs marchés</li> <li>Ecosystème riche : GE/PME/Recherche/Essais</li> <li>2 aéroports régionaux (passagers / fret)</li> <li>Activités MRO / démantèlement</li> <li>Compétences digitales reconnues au niveau international, notamment en simulation numérique</li> <li>Compétences et infrastructures d'essais, de tests et de contrôles non destructifs (NDT) reconnues au niveau international</li> <li>Soutien public régional existant (ex. Projet WINGS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Défis de l'aviation décarbonée (propulsion, structure, ATM) et de la mobilité multimodale</li> <li>Assurer la souveraineté de la supply chain. Développer des alliances pour limiter la dépendance</li> <li>Positionnement sur des niches / sous-systèmes</li> <li>Positionnement en leader sur la responsabilité sociétale du secteur</li> <li>Exploiter les collaborations potentielles entre les acteurs industriels et les aéroports régionaux</li> </ul>
Faiblesses	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas d'OEM présent en Wallonie</li> <li>Peu d'activité dans l'avionique, l'aménagement intérieur des avions et la multimodalité du transport</li> <li>Pas ou peu de lien avec les acteurs "carburants" (SAF, H2, électricité)</li> <li>Disponibilité des compétences critiques (Formation – RH)</li> <li>Pas d'airline majeure en Wallonie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contexte politique international : instabilité liée au conflit en Ukraine, polarisation du monde en 3 blocs (USA-Europe-Japon-Corée du Sud / Chine-Russie-Corée du Nord / Pays non alignés opportunistes)</li> <li>Accessibilité du marché asiatique dans le futur (montée en puissance de la Chine)</li> <li>"Aéro bashing"</li> <li>Evolution du volume du trafic aérien incertaine (en particulier long range)</li> <li>Pas de nouveau programme à court terme chez les OEM</li> <li>Support public/étatique nécessaire (à hauteur des autres pays leaders)</li> <li>Faiblesse relative de Boeing (mais prédominance d'Airbus)</li> </ul>

## 4 Perspectives de consolidation et de développement de la chaîne de valeur en Wallonie

### 4.1 Hypothèses de base

#### 4.1.1 Temporalité

Il semble pertinent de considérer deux horizons temporels en phase :

- D'une part avec le rythme d'évolution et de développement technologique spécifique au secteur. Celui-ci est beaucoup plus lent que dans d'autres secteurs industriels plus « traditionnels », notamment en raison des exigences de certification des appareils et de la durée de vie des flottes,
- D'autre part avec les objectifs de décarbonisation (Net Zero 2050) définis au niveau de l'Union Européenne, mais aussi des organisations aéronautiques internationales (cf. benchmarking).

Dans ce contexte, l'analyse réalisée fixe ses objectifs à moyen terme pour l'année 2035 qui correspond à l'arrivée probable sur le marché de la nouvelle génération d'avions de ligne « single aisle » (en remplacement des actuels Airbus A 320 et Boeing 737).

Les objectifs à long terme sont pour leur part alignés sur l'horizon 2050 correspondant à la finalisation d'une aéronautique zéro émissions.

#### 4.1.2 Perspectives de croissance du trafic

Les préoccupations environnementales légitimes, et les défis qu'elles entraînent notamment par rapport à la décarbonation, ont déjà un impact sociétal important. La crise du Covid-19 a également modifié significativement le mode de vie de la population sur l'ensemble de la planète. Il est évident que cette mutation de la société va se poursuivre et probablement s'amplifier dans les prochaines années. Ces évolutions impactent déjà et impacteront fortement le secteur aéronautique civil d'ici 2050.

On constate cependant que les conséquences de la crise du Covid-19 devraient être pratiquement absorbées d'ici fin 2023, en dépit des nombreuses campagnes de communication diabolisant le transport aérien dans son ensemble (« Aéro bashing »).

S'appuyant sur les analyses avancées de mégadonnées, l'OACI prévoit qu'en 2023, la demande pour les services aériens de passagers reviendra rapidement aux niveaux observés avant la pandémie sur la plupart des routes au premier trimestre, et qu'elle augmentera d'environ 3 % par rapport à 2019 avant la fin de l'année.

La tendance est identique pour le marché mondial du fret aérien qui a dépassé en février 2023 ses niveaux d'avant la pandémie, d'après l'Association du transport aérien international (IATA).

En 2022, les grands constructeurs Airbus et Boeing ont enregistré une augmentation de 53 % des commandes et de 20 % des livraisons par rapport à l'année précédente. De plus, le nombre de

commandes de 2022 était supérieur à celui de 2019, ce qui confirme une reprise de la demande d'aéronefs.

Les différents documents analysés dans le cadre du benchmarking montrent une certaine variabilité dans les estimations de l'évolution du trafic aérien commercial. Cependant, les organisations sectorielles mondiales s'accordent sur un taux annuel moyen de croissance supérieur à 3% pour la période 2020-2050 (à l'exception des business jets).

#### Prévisions de l'étude LTAG de OACI actualisées suite à la crise du Covid-19 :

Scenario	RPK Compound Annual Growth Rate						
	2018-2028	2028-2038	2038-2050	2050-2060	2060-2070	2018-2050	2018-2070
Low	1.2%	3.6%	3.7%	2.8%	2.6%	2.9%	2.8%
Mid	2.6%	4.0%	3.9%	3.2%	3.0%	3.6%	3.4%
High	3.6%	4.6%	4.4%	3.4%	3.1%	4.2%	3.8%
Pre-COVID-19 Mid	4.2%	4.2%	4.2%	NA	NA	4.2%	NA

Figure 4-1: Prévisions taux de croissance trafic passagers - OACI

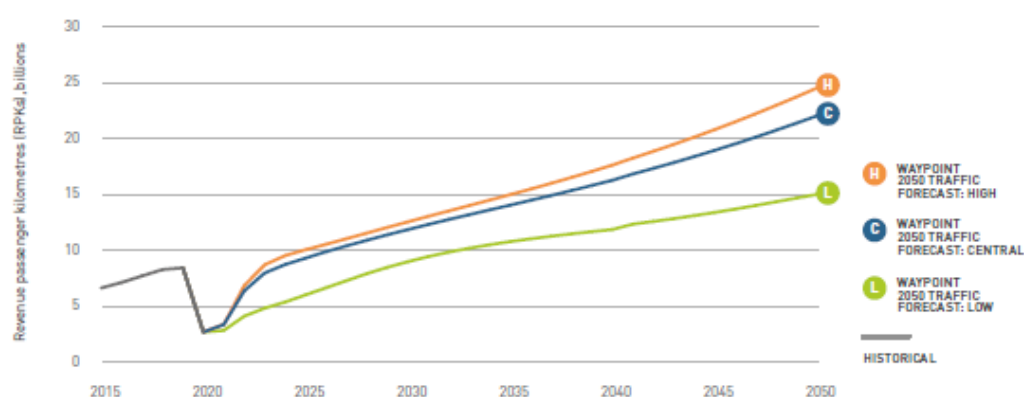
Global Scenario	FTK Compound Annual Growth Rate						
	2018-2028	2028-2038	2038-2050	2050-2060	2060-2070	2018-2050	2018-2070
Low	2.3%	2.7%	2.7%	2.6%	2.4%	2.6%	2.5%
Mid	3.5%	3.4%	3.5%	3.4%	3.0%	3.5%	3.3%
High	4.1%	4.1%	4.3%	4.2%	3.6%	4.2%	4.1%
Pre-Covid-19 Mid	3.5%	3.4%	3.5%	NA	NA	3.5%	NA

Figure 4-2: Prévisions taux de croissance trafic cargo - OACI

Global Scenario	Operations Compound Annual Growth Rate						
	2018-2028	2028-2038	2038-2050	2050-2060	2060-2070	2018-2050	2018-2070
Low	2.6%	2.6%	1.8%	1.5%	1.6%	2.3%	2.0%
Mid	3.0%	3.0%	2.1%	1.7%	1.8%	2.7%	2.3%
High	3.3%	3.1%	2.1%	1.8%	1.8%	2.8%	2.4%
Pre-Covid-19 Mid	3.5%	3.1%	2.2%	NA	NA	2.9%	NA

Figure 4-3: Prévisions taux de croissance trafic Business Jet – OACI

## Prévisions de l'étude WayPoint 2050 de ATAG :



Scenario	Description	RPKs in 2050	Compound annual growth rates			
			2019-2050	2019-2030	2030-2040	2040-2050
<b>L</b> Low growth	Protectionism deepens along with a reduction in mobility on top of Covid-19 impact.	15 trillion	2.3%	0.6%	2.8%	2.3%
<b>C</b> Central scenario	Continuation of historical trends, but a reduction compared with recent high-growth and taking into account the impact of Covid-19.	22 trillion	3.1%	3.1%	3.2%	3.1%
<b>H</b> High growth	Return to globalisation with a continuation of high growth trends seen in recent years, but from a revised base due to the impact of Covid-19.	25 trillion	3.3%	3.7%	3.4%	3.3%

Figure 4-4 : Prévisions taux de croissance trafic ATAG

### 4.1.3 Perspectives de croissance de l'industrie aéronautique wallonne

La croissance du secteur est directement liée à la croissance du trafic aérien. Une approche simpliste pourrait donc se contenter d'ambitionner une croissance industrielle équivalente de l'ordre de 3% par an. Celle-ci n'est évidemment pas suffisante

Il faut notamment prendre en compte les paramètres suivants pour définir une ambition réaliste :

- L'ambition environnementale Zero Net 2050 nécessite une accélération du remplacement des flottes d'avions commerciaux (remplacement de 90% de la flotte européenne et de 80% de la flotte mondiale à l'horizon 2040)
- Le développement d'une aviation décarbonée nécessite dès aujourd'hui des efforts de R&T considérables, dont des développements technologiques en rupture qui devront être menés en parallèle avec une R&D plus incrémentale dans des échelles de temps différentes.
- Les grands avionneurs devront rationaliser leur processus de conception et de production, notamment pour leur impact environnemental. Cette évolution s'accompagnera d'une compétition encore plus importante au sein de la supply chain. Les sous-traitants, en

particulier les tiers 1, devront donc atteindre une taille critique plus importante, tant au niveau de leur capacité de production qu'à celui de la gamme de produits intégrés proposée.

Il en résulte une nécessité pour les entreprises wallonnes de monter dans la chaîne de valeur pour éviter d'être « diluées » parmi leurs concurrents. Cette tendance a clairement été confirmée lors de la rencontre avec des cadres d'Airbus en mai 2023.

- Avec l'évolution probable de l'organisation générale de la mobilité et l'apparition de nouveaux modes de transport, en marge du transport aérien traditionnel, de nouveaux marchés devraient être accessibles pour les industries du secteur.
- Le redéploiement économique de la Wallonie passera nécessairement par la poursuite de la croissance de ses secteurs industriels majeurs dont l'aéronautique entend rester un élément majeur.

Les membres industriels du groupe de travail se sont alignés sur deux objectifs de croissance annuelle :

- Un objectif plus conservateur, supérieur à la croissance structurelle du secteur et permettant aux entreprises wallonnes de monter dans la chaîne de valeur : croissance annuelle de 5%.
- Un objectif plus ambitieux, visant à intégrer le cercle des principales entreprises mondiales : croissance annuelle de 9%.

#### 4.1.4 Coût de la transition Net Zero

##### 4.1.4.1 Au niveau Européen

L'étude « The Price of Net Zero » réalisée par le NLR et Amsterdam Economics à la demande de A4E, ACI Europe, ASD, CANSO et ERA évalue le coût supplémentaire (vs business as-usual) de la transition vers une aviation décarbonée à 820 milliards € au niveau européen sur la période 2018-2050.

Ce montant représente la somme de 5 postes spécifiques.

Dépenses supplémentaires liées à la décarbonation (Aviation européenne)	Pourcentage de l'effort	Coût (milliards €)
Fourniture carburants et énergies alternatives (hors drop-in SAF)	54%	441
Mesures de compensation carbone	19%	152
R&D des avions du futur « ultra-efficient »	12%	100
Renouvellement de la flotte (avions du futur « ultra-efficient »)	10%	80
Air trafic management et opérations	3%	29
Infrastructures aéroportuaires pour les avions du futur (H2, électriques)	2%	18
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>820</b>

Figure 4-5



Il faut ajouter à ce montant le coût du « business as-usual » estimé à 1068 milliards € réparti entre les postes suivants

Dépenses « business as-usual » (Aviation européenne)	Pourcentage de l'effort	Coût (milliards €)
Renouvellement de la flotte de transition	69,3%	740
Fourniture « Drop-in » SAF	29%	310
Air trafic management et opérations	1,7%	18
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>1068</b>

Figure 4-6

Le coût du carburant traditionnel (Jet fuel) non remplacé sur la période n'est pas pris en compte (730 milliards €).

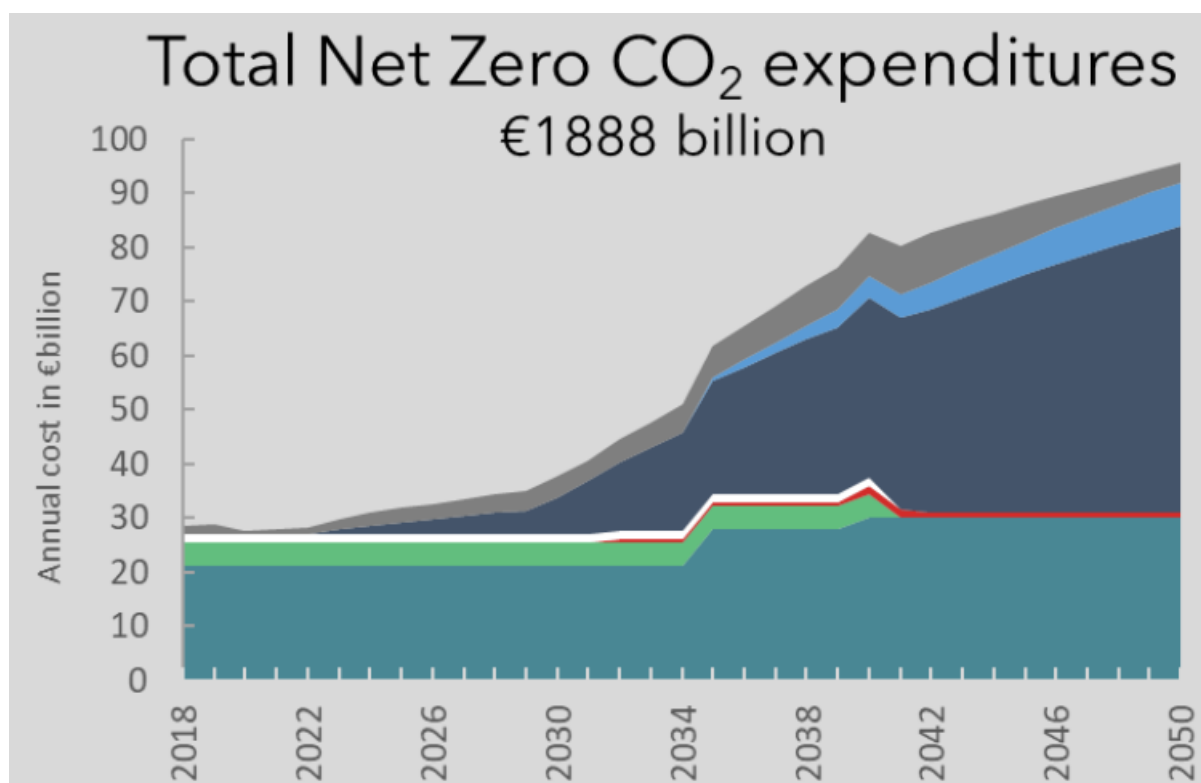


Figure 4-7: Extrait de l'étude « The Price of Net Zero » - NLR / Seo Economics Amsterdam

Les investissements nécessaires pour le remplacement des flottes couvrent toute la période, avec une augmentation à partir de 2035 :

- Remplacement flotte existante par avions « New Gen » entre 2018 et 2028, puis par « Future Aircraft » entre 2040 et 2050 : 200 Milliards €
- Remplacement direct flotte existante par avions « New Gen » entre 2028 et 2040, qui seront toujours en service en 2050 : 210 Milliard €
- Remplacement direct flotte existante par « Future Aircraft » : 410 Milliard €

Les investissements en R&D et ceux visant l'amélioration de la gestion du trafic aérien sont relativement constants sur la période 2018 – 2040

Le coût des mécanismes de compensation carbone est réparti sur l'ensemble de la période.

La part la plus importante des dépenses qui correspond à la transition progressive vers l'utilisation de nouvelles sources d'énergie et de nouveaux carburants durables subira une augmentation marquée à partir de 2030.

#### 4.1.4.2 *Au niveau wallon*

##### Renouvellement des flottes et mesures de compensation carbone

Il n'y a actuellement qu'une seule compagnie aérienne wallonne, qui n'est pas représentative de l'activité des grandes airlines. Le développement de ce type d'activité ne semble pas prioritaire pour une région telle que la nôtre qui dispose d'autres atouts dans le secteur (activités de conception et de fabrication de sous-systèmes d'avion, aéroports régionaux performants). La roadmap stratégique ne prend dès lors pas en compte les coûts liés au renouvellement des flottes et aux compensations carbone.

##### Carburants et sources d'énergies durables

L'étude « The Price of Net Zero » se base sur différents modèles pour estimer les coûts de production des différents types de carburants alternatifs. Elle en déduit le surcoût à assumer vis-à-vis de l'utilisation de jet fuels fossiles. Il semble prioritaire de définir rapidement une stratégie efficace garantissant un approvisionnement efficace et autonome des activités de transport aérien au niveau européen, national et régional. Les investissements nécessaires restent difficiles à évaluer actuellement et dépassent le cadre de la roadmap aéronautique wallonne. Ils doivent s'inscrire dans une vision plus globale de la politique énergétique.

##### Air traffic management, opérations et infrastructures aéroportuaires pour avions du futur

Le poste Air traffic management et opérations englobe plusieurs types de coûts et d'investissements :

- Les coûts liés à l'amélioration des opérations en vols, qui seront à charge des compagnies aériennes et qui ne sont pas pris en considération dans notre analyse.
- Les coûts liés à l'amélioration de la gestion du trafic aérien pour aboutir à un « Single European Sky ». Notre analyse ne prendra en compte que les coûts liés aux investissements nécessaires dans les aéroports, qui sont évalués dans l'étude « The Price of Net Zero » à 7 millions d'Euros par aéroport régional sur la période 2018-2035.
- Les coûts liés à l'amélioration des opérations au sol - réduction des émissions taxi, réduction de l'utilisation des unités de puissance auxiliaires (APU) des avions, installation d'infrastructures de pré-conditionnement de l'air - sont estimés à 6,3 milliards € à l'échelle européenne pour la période 2018-2030
- Les coûts liés aux investissements nécessaires pour adapter les aéroports aux futures générations d'avion, estimés à 18 milliards € à l'échelle européenne sur la période 2031-2050

En première approximation, on peut évaluer l'effort financier nécessaire sur base du nombre de vols partants et arrivants sur les aéroports régionaux wallons. Cette évaluation est réalisée sur la base des chiffres de 2018 (données OACI pour trafic européen, IWEPS pour trafic wallon), année de base de l'étude « The Price of Net Zero ».

	Nombre de mouvements	Pourcentage vs europe
Europe	9.941.400	100%
BSCA	80.463	0,8%
Aéroport de Liège	38.822	0,4%
Total Wallonie	119.285	1,2%

Figure 4-8

Investissements	Coût total Wallonie	Période	Coût annuel moyen Wallonie
Infrastructures aéroportuaires pour ATM	14 millions €	2018-2035	0,8 millions €
Amélioration des opérations au sol	75,6 millions €	2018-2030	5,8 millions €
Infrastructures aéroportuaires pour les avions du futur	216 millions €	2031-2050	10,8 millions €
<b>Total</b>	<b>305,6 millions €</b>	<b>2018-2050</b>	

Figure 4-9

Le coût moyen annuel au niveau régional s'élève donc à :

- 6,6 millions € pour la période 2018-2030
- 0,8 millions € pour la période 2031-2035
- 10,8 millions € pour la période 2036-2050

#### R&D des avions ultra-efficaces du futur

L'étude estime l'effort de R&D européen à 100 milliards € pour la période 2018-2040, soit 4,35 milliards € annuellement (à effort constant).

Pour estimer le coût de l'effort de R&D global pour l'industrie wallonne, on peut établir scénario, suivant les niveaux de croissance visés (cf. chapitre 4.1.3) et le taux d'effort de R&D pris en compte :

- Taux de croissance conservateur de 5% par an, effort de R&D annuel conservateur équivalent à 3,2% de la valeur ajoutée des entreprises (niveau relatif au PIB belge selon une étude de la Fédération des Entreprises de Belgique en 2019)
- Taux de croissance conservateur de 5% par an, effort de R&D ambitieux équivalent à 4,5% de la VA des entreprises (tout à fait justifiable en regard des enjeux sectoriels)
- Taux de croissance ambitieux de 9% par an, effort de R&D annuel conservateur équivalent à 3,2% de la valeur ajoutée des entreprises.
- Taux de croissance conservateur de 9% par an, effort de R&D ambitieux équivalent à 4,5% de la VA des entreprises.

<b>Coût total R&amp;D Wallonne Période 2023-2040</b>	<b>Taux croissance annuelle Hypothèse conservatrice 5%</b>	<b>Taux croissance annuelle Hypothèse ambitieuse 9%</b>
<b>Effort annuel R&amp;D Hypothèse conservatrice 3,2% VA des entreprises</b>	753 millions €	1.105 millions €
<b>Effort annuel R&amp;D Hypothèse ambitieuse 4,5% VA des entreprises</b>	1.058 millions €	1.554 millions €

Figure 4-10

<b>Coût annuel R&amp;D Wallonne</b> <b>Période 2023-2040, sur base</b> <b>répartition linéaire</b>	<b>Taux croissance annuelle</b> <b>Hypothèse conservatrice</b> <b>5%</b>	<b>Taux croissance annuelle</b> <b>Hypothèse ambitieuse</b> <b>9%</b>
<b>Effort annuel R&amp;D</b> <b>Hypothèse conservatrice</b> <b>3,2% VA des entreprises</b>	41,8 millions €	61,4 millions €
<b>Effort annuel R&amp;D</b> <b>Hypothèse ambitieuse</b> <b>4,5% VA des entreprises</b>	58,8 millions €	86,3 millions €

Figure 4-11

Ces montants globaux ne pourront pas être pris en charge intégralement par l'industrie. Un support public suffisant sera nécessaire, à l'instar de ce que prévoient déjà les grandes nations du secteur, afin de garantir la compétitivité de nos entreprises vis-à-vis de leurs concurrents.

Cette aide publique peut être estimée sur la base des taux de subsides en vigueur en Wallonie pour les projets des Pôles de Compétitivité (50% pour les PME et 40% pour les grandes entreprises, sur base des taux appliqués en « Développement Expérimental »).

<b>Support public R&amp;D Wallonne</b> <b>Période 2023-2040</b> <b>Montant global</b>	<b>Taux croissance annuelle</b> <b>Hypothèse conservatrice</b> <b>5%</b>	<b>Taux croissance annuelle</b> <b>Hypothèse ambitieuse</b> <b>9%</b>
<b>Effort annuel R&amp;D</b> <b>Hypothèse conservatrice</b> <b>3,2% VA des entreprises</b>	310,6 millions €	456 millions €
<b>Effort annuel R&amp;D</b> <b>Hypothèse ambitieuse</b> <b>4,5% VA des entreprises</b>	436,8 millions €	641,2 millions €

Figure 4-12

<b>Support public annuel R&amp;D</b> <b>Période 2023-2040, sur base</b> <b>répartition linéaire</b>	<b>Taux croissance annuelle</b> <b>Hypothèse conservatrice</b> <b>5%</b>	<b>Taux croissance annuelle</b> <b>Hypothèse ambitieuse</b> <b>9%</b>
<b>Effort annuel R&amp;D</b> <b>Hypothèse conservatrice</b> <b>3,2% VA des entreprises</b>	17,3 millions €	25,3 millions €
<b>Effort annuel R&amp;D</b> <b>Hypothèse ambitieuse</b> <b>4,5% VA des entreprises</b>	24,3 millions €	35,6 millions €

Figure 4-13

En complément de ces coûts liés directement à la R&D, les entreprises devront consentir à différents investissements afin d'adapter leurs outils et leurs infrastructures à l'évolution du marché vers une aviation décarbonée.

Sur base de données IWEPS, le taux d'investissement des entreprises non financières wallonnes représentait en 2020 27,7% de la valeur ajoutée brute du secteur. Différentes études situent la hausse annuelle des besoins d'investissements des entreprises pour faire face aux transformations liées à la décarbonation à 15% sur la période 2023 – 2035.

Une fourchette d'investissements spécifiques à la décarbonation située entre 3,5 et 5% de la valeur ajoutée des entreprises semble dès lors parfaitement réaliste.

<b>Invest. Supplémentaires totaux des entreprises Période 2023-2040</b>	<b>Taux croissance annuelle Hypothèse conservatrice 5%</b>	<b>Taux croissance annuelle Hypothèse ambitieuse 9%</b>
<b>Effort d'investissement annuel 3,5% VA des entreprises</b>	823 millions €	1.209 millions €
<b>Effort d'investissement annuel 5% VA des entreprises</b>	1.176 millions €	1.726 millions €

Figure 4-14

<b>Invest. Supplémentaires annuels des entreprises Période 2023-2040 (linéaire)</b>	<b>Taux croissance annuelle Hypothèse conservatrice 5%</b>	<b>Taux croissance annuelle Hypothèse ambitieuse 9%</b>
<b>Effort d'investissement annuel 3,5% VA des entreprises</b>	45,7 millions €	61,4 millions €
<b>Effort d'investissement annuel 5% VA des entreprises</b>	58,8 millions €	95,9 millions €

Figure 4-15

Ces investissements devront faire l'objet d'un support public sous la forme de primes à l'investissements (sous la forme de subsides, indépendants d'éventuelles participations publiques dans le capital des entreprises). En considérant un niveau d'aide moyen de 10%, on peut estimer le coût public de cette mesure.

<b>Coût public total primes à l'investissement Période 2023-2040</b>	<b>Taux croissance annuelle Hypothèse conservatrice 5%</b>	<b>Taux croissance annuelle Hypothèse ambitieuse 9%</b>
<b>Effort d'investissement annuel 3,5% VA des entreprises</b>	82,3 millions €	120,9 millions €
<b>Effort d'investissement annuel 5% VA des entreprises</b>	117,6 millions €	172,6 millions €

Figure 4-16

<b>Coût public annuel primes à l'investissement Période 2023-2040 (linéaire)</b>	<b>Taux croissance annuelle Hypothèse conservatrice 5%</b>	<b>Taux croissance annuelle Hypothèse ambitieuse 9%</b>
<b>Effort d'investissement annuel 3,5% VA des entreprises</b>	45,7 millions €	61,4 millions €
<b>Effort d'investissement annuel 5% VA des entreprises</b>	58,8 millions €	95,9 millions €

Figure 4-17

En se référant aux chiffres avancés par l'étude « The Price of Net Zero », l'effort de R&D et d'investissement de l'industrie wallonne se situe entre 1,6% et 3,3% de l'effort européen, en fonction du scénario choisi (conservateur ou ambitieux)

Synthèse des coûts liés à la transition vers une aviation décarbonée pour le secteur de l'aéronautique civile en Wallonie pour la période 2023 - 2040

Coût total en millions € Pour la période 2023-2040	Coût privé		Coût public		Coût total	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Renouvellement des flottes et compensations carbone airlines	N/A					
Développement, production et mise à disposition de carburants et d'énergies durables	A évaluer dans une étude dédiée					
Infrastructures aéroportuaires	197,6	197,6	?	?	197,6	197,6
Industrie aéronautique (R&D et invest)	1183,1	2466,2	392,9	813,8	1576	3280
<b>Total pour le secteur wallon</b>	<b>1380,7</b>	<b>2663,8</b>	<b>392,9</b>	<b>813,8</b>	<b>1773,6</b>	<b>3477,6</b>

Figure 4-18

## 5 Axes R&D et technologiques prioritaires pour l'industrie wallonne

### 5.1 Principaux flagships

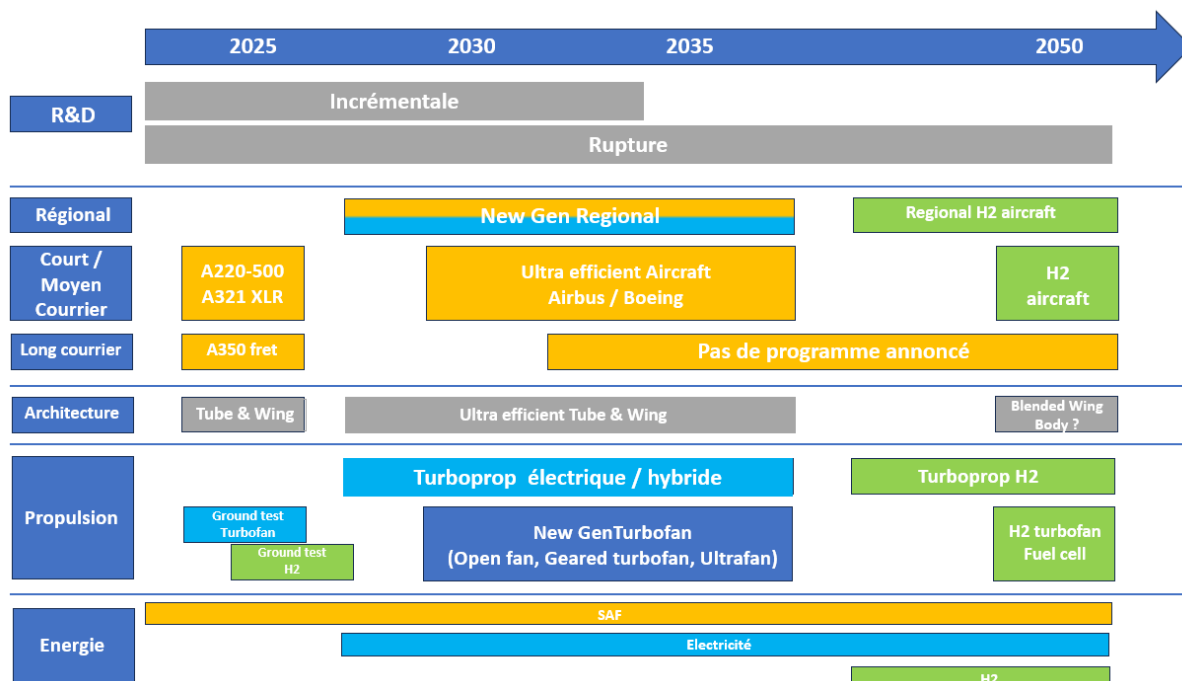


Figure 5-1

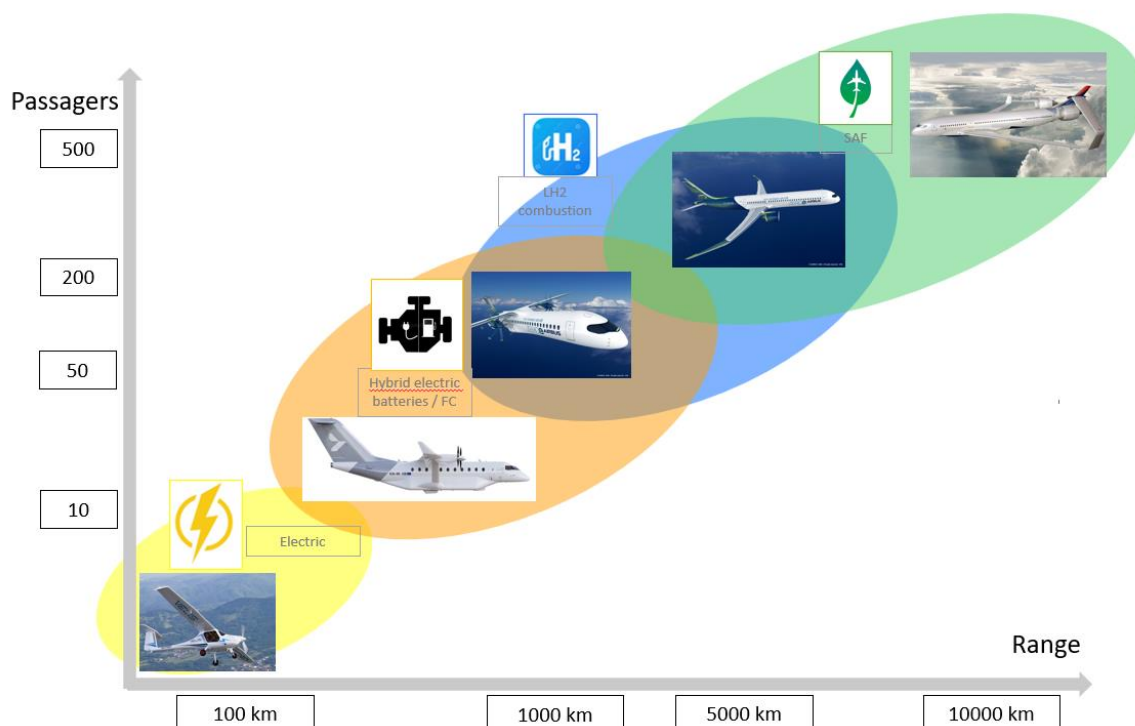


Figure 5-2



### 5.1.1 Architectures et structures

#### 5.1.1.1 Ultra-efficient wings

- Objectifs :
  - Réduction de trainée
  - Gain de consommation

##### 5.1.1.1.1 Technologies envisagées

- **Natural Laminar Flow Wings**

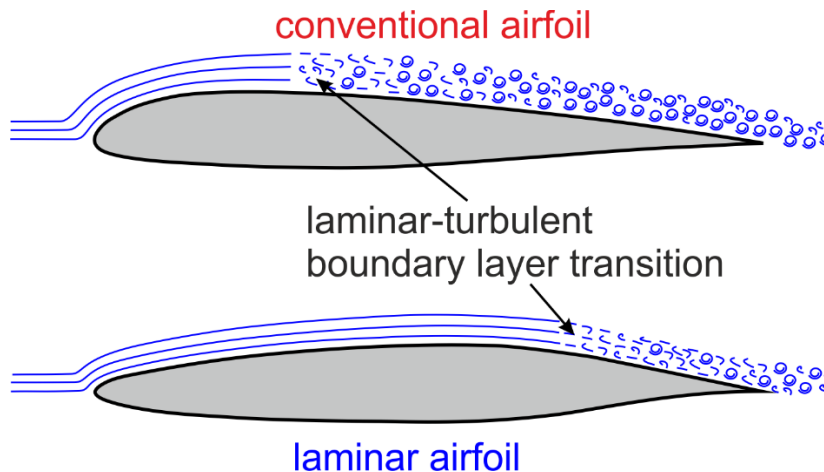


Figure 5-3

- Avantages :  
Réduction de la trainée car moins de flux turbulent
- Désavantages :  
Sensibilité aux imperfections de surface, aux salissures (insectes), à la pluie, à la glace.

- **Hybrid Laminar Flow Wings**

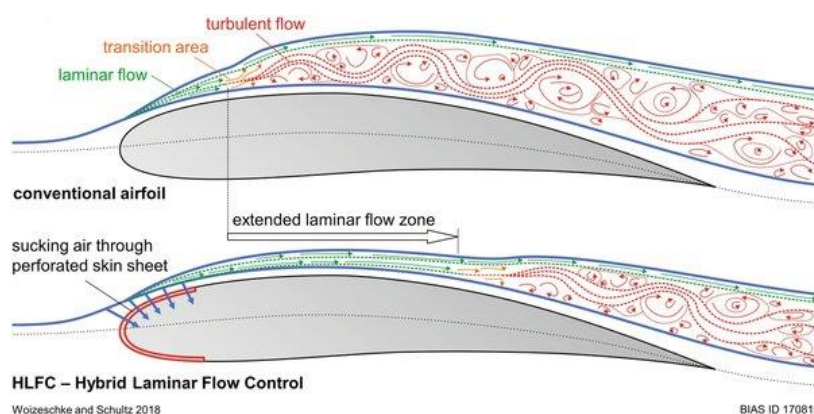


Figure 5-4

- Avantages :

Réduction de la trainée car moins de flux turbulent

- Désavantages :

Sensibilité aux imperfections de surface, aux salissures (insectes), à la pluie, à la glace.

- **High Aspect Ratio Wings**

Il s'agit d'ailes longues et fines

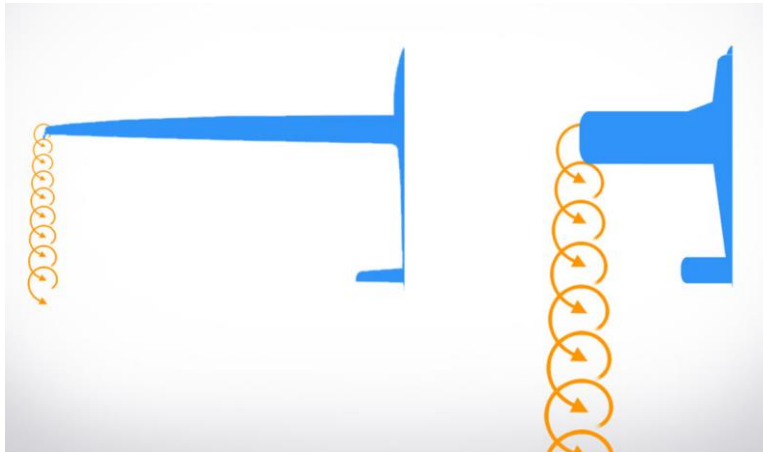


Figure 5-5 Réduction effet vortex (copyright Boldmethod)

- Avantages :

Réduction de la trainée car moins d'effet vortex induit

- Désavantages :

Contraintes supplémentaires sur la structure de l'aile (moment de flexion) qui nécessitent des structures plus résistantes mécaniquement et qui présentent dès lors un risque de surpoids.

Encombrement au sol plus important, susceptible de nécessiter des adaptations des infrastructures aéroportuaires.

Limitation de la maniabilité en vol.

Moins d'espace disponible dans l'aile (train d'atterrissage, carburant).

- **Ailes repliables (Foldable Wing Tip)**



Figure 5-6



- Avantages :  
Réduction de l'encombrement au sol, et donc meilleure accessibilité aux infrastructures aéroportuaires

- **Systèmes actifs ou passifs d'allègement de charge (Load alleviation)**

L'allègement de charge est un concept où des dispositifs tels que des spoilers, des ailerons ou des éléments actifs sont utilisés pour redistribuer les forces sur l'aile lors des manœuvres ou en cas de rafales.

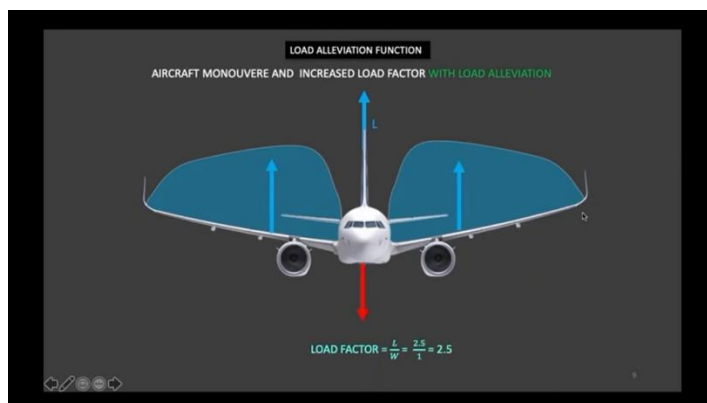


Figure 5-7

- Avantages :  
Allègement des ailes  
Réduction des turbulences et donc amélioration du confort des passagers

- **Ailes déformables (morphing)**

Il s'agit d'ailes déformables, conçues pour être adapter leur forme automatiquement pendant le vol afin de diminuer la traînée aérodynamique, à l'aide d'un système de contrôle automatisé.

Le concept s'inspire des animaux à grandes ailes, comme l'albatros, qui peuvent planer sur de longues distances en utilisant uniquement la flexibilité de son aile avec une traînée minimale.

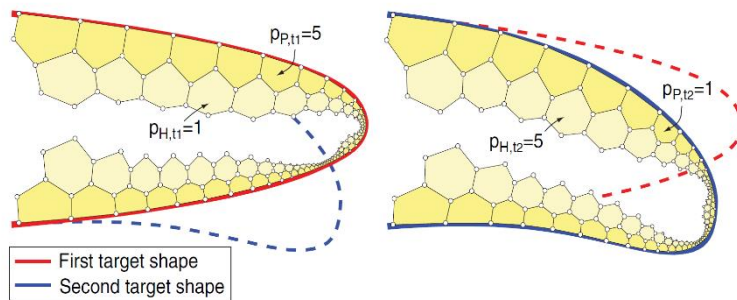


Figure 5-8

Cette technologie réclame encore de nombreux développements technologiques :

- Développer des matériaux déformables disposant d'une résistance au cisaillement suffisante
- Etudier le comportement en fatigue de ce type de structure
- Etudier les phénomènes aérodynamiques transitoires
- Réaliser les campagnes de test indispensables, en vue d'une certification potentielle.

#### 5.1.1.2 Ultra-efficient airframe

Objectifs :

- Gain de poids
- Réduction de traînée
- Gain de consommation
- Intégration de fonctionnalités
- Optimisation de la maintenance

##### 5.1.1.2.1 Technologies envisagées

- **Ingestion de couche limite (Boundary layer ingestion)**

Il s'agit d'une configuration d'avion qui permet de supprimer les nacelles des réacteurs en intégrant les moteurs en arrière du fuselage. Ce design participe à l'augmentation de l'efficacité énergétique en éliminant la traînée aérodynamique induite par la nacelle.

Sur les avions actuels, les moteurs sont généralement situés loin du corps de l'avion ce qui ne permet pas d'ingérer la couche d'air à écoulement plus lent qui se développe le long des surfaces de l'avion, appelée couche limite. Cette nouvelle approche ingère le flux d'air plus lent de la couche limite et l'utilise pour générer la poussée nécessaire pour propulser l'avion. Elle permet d'augmenter le rendement des moteurs et de diminuer leur consommation de carburant diminue tout en réduisant la traînée de l'avion lui-même puisque les moteurs ont "ingéré" une partie de cette traînée.

Cette configuration permet également de supprimer les nacelles des réacteurs en intégrant les moteurs en arrière du fuselage. Ce design participe à l'augmentation de l'efficacité énergétique en éliminant la trainée aérodynamique induite par la nacelle.



Figure 5-9 Copyright NASA - MIT - Aurora

- **Fuselage intégré (Blended Wing Body)**

Il s'agit d'une configuration de cellule qui vise à hybrider les caractéristiques des fuselages classiques (Tube & Wing) et celles des ailes volantes.

Cette technologie permet à la fois de supprimer la trainée liée à la jonction aile-corps conventionnelle tout en augmentant la surface portante.

- Avantages :
  - Réduction de trainée et diminution de consommation
  - Augmentation de la portance
  - Réduction potentielle du niveau de bruit
- Inconvénients :
  - Augmentation du poids à vide
  - Contraintes structurelles
  - Difficulté de développer une gamme standardisée proposant des capacités différentes (possibilité « d'étirer / rétrécir » des configurations tube & wing)
  - Taille potentielle des ailes vis-à-vis des infrastructures aéroportuaires
  - Plus grande sensibilité au roulis (et conséquences sur le confort)
  - Difficultés d'évacuation d'urgence de l'avion



Figure 5-10

- **Fuselage multifonctionnel**
- **Health Monitoring**

### 5.1.2 Systèmes propulsifs et moteurs

- Objectifs :
  - Augmentation du rendement énergétique et gain de consommation, notamment via l'augmentation du taux de dilution
  - Réduction du bruit
  - Capacité à fonctionner à court terme avec 100% de SAF
  - Capacité à fonctionner à long terme avec de l'hydrogène liquide

#### 5.1.2.1 Technologies envisagées

Le développement des technologies suivantes est à prendre en considération. La liste proposée n'est en aucun cas exhaustive.

- **Moteur "Open Fan"**



Figure 5-11 CFM Rise Open Fan

L'utilisation d'une turbosoufflante non carénée permet d'augmenter le taux de dilution du moteur et de rapprocher sa consommation de celle d'un moteur « turbopropulseur » tout en conservant les performances d'un turboréacteur classique.

#### Avantages :

- Augmentation du taux de dilution qui permet un meilleur rendement et des économies de carburant
- D'un point de vue mécanique, pas plus complexe qu'un turboréacteur classique

#### Inconvénients :

- Augmentation du niveau sonore due à l'absence de carénage
- Risque de projection d'une pale vers le fuselage et les ailes de l'avion en cas de rupture accidentelle.



- **Moteur “Geared Turbofan”**

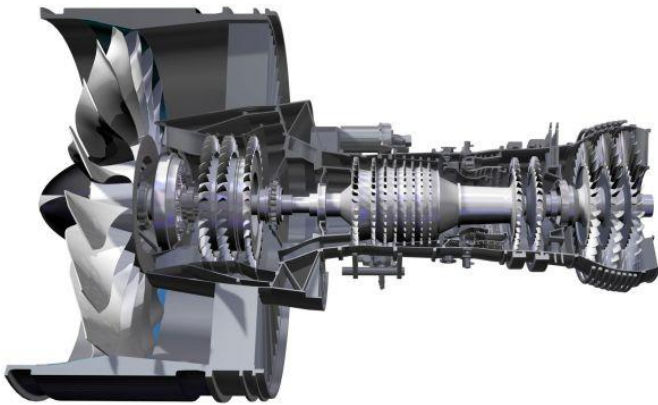


Figure 5-12 Pratt & Whitney PW1100G Geared Turbofan

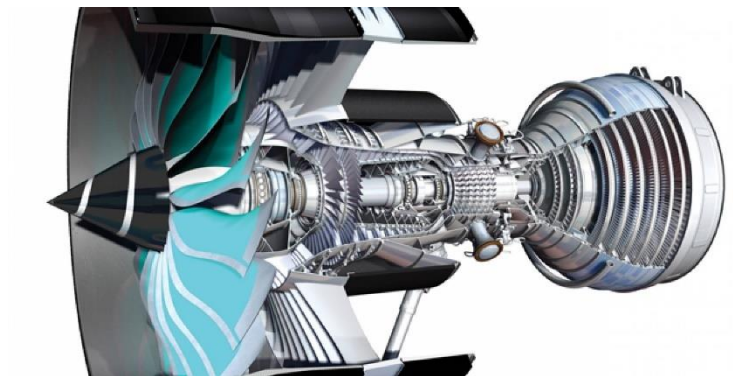


Figure 5-13 Rolls Royce UltraFan

L'utilisation d'une turbosoufflante à engrenages permet à l'ensemble compresseur / turbine et à la soufflante de tourner à des vitesses angulaires différentes, et dès lors d'augmenter le taux de dilution du moteur.

**Avantages :**

- Augmentation du taux de dilution qui permet un meilleur rendement et des économies de carburant
- Gain de poids
- Baisse des émissions sonores
- Technologie intéressante pour les moteurs à très forte poussée

**Inconvénients :**

- Equilibre à trouver entre les gains liés à la simplification du compresseur basse pression et les pertes par frottement créées par le réducteur
- Coût de fabrication
- Complexité mécanique pouvant engendrer des soucis de fiabilité



- **Moteur à récupération de vapeur d'eau (Water Enhanced Turbofan)**

Cette technologie basée sur un moteur « geared turbofan » utilise la chaleur résiduelle des gaz d'échappement via un échangeur pour vaporiser de l'eau dans la chambre de combustion. Cette combustion « humide » permet de limiter la production de Nox, et la récupération de l'eau dans les gaz d'échappement par un condenseur au niveau de l'échappement permet d'augmenter le rendement du moteur.

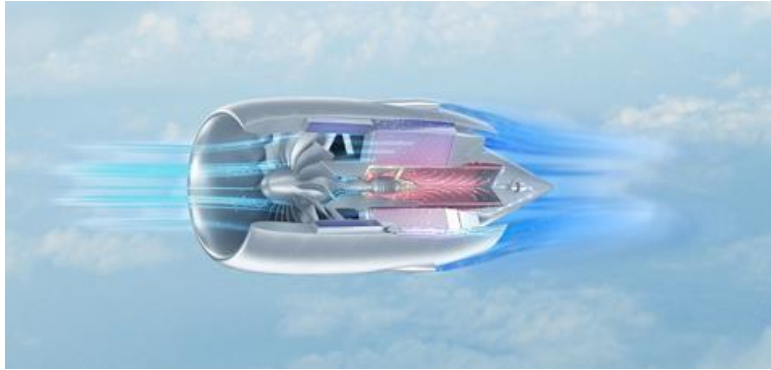
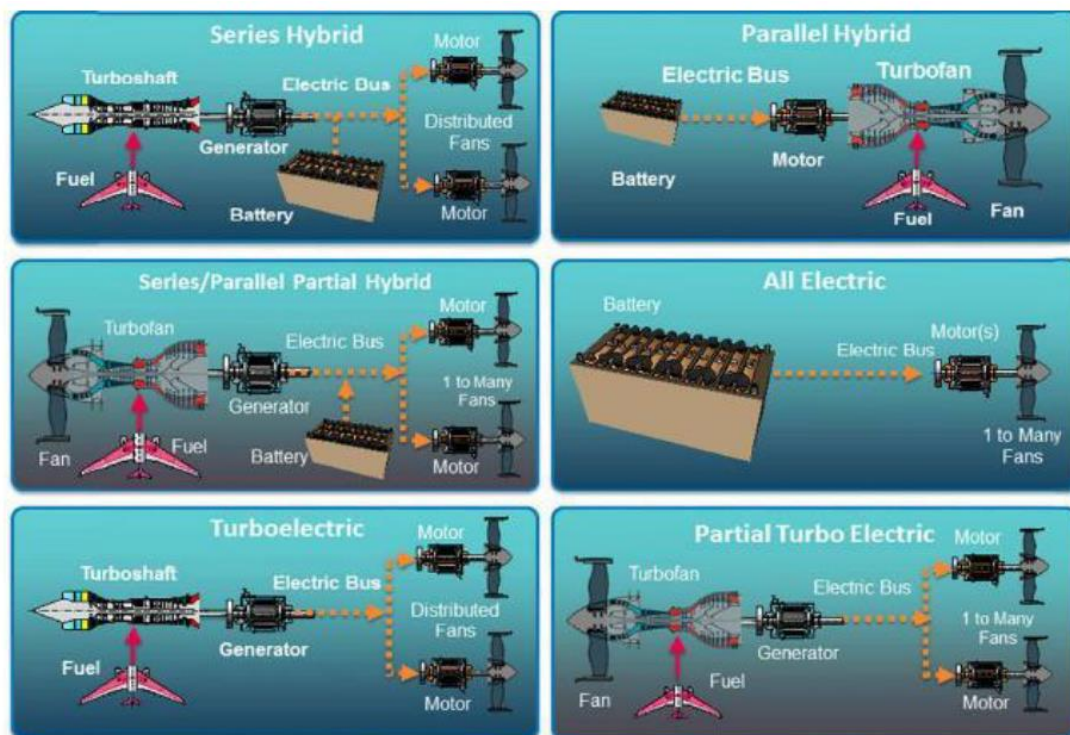


Figure 5-14 MTU WET

- **Moteur hybride électrique**

Dans cette architecture, la fonction principale du moteur thermique est de recharger les batteries qui alimentent les unités électriques.

Plusieurs configurations doivent encore être évaluées afin de déterminer la solution la plus efficace en fonction du type d'avion considéré (distance de vol, nombre de passagers, altitude et vitesse de vol, etc.).



© Courtesy of National Academy of Sciences

Figure 5-15 Clean Aviation – Disruptive technologies for a Hybrid Electric Regional Aircraft

Deux types d'architectures seront évaluées :

- Architecture hybride électrique : L'énergie électrique n'est utilisée que dans certaines phases de vol particulièrement énergivores (accélération, décollage). Lorsque la demande est plus faible (croisière, descente), l'électricité produite peut être stockée dans des batteries. On peut envisager une hybridation en parallèle (poussée principalement produite par un moteur thermique assisté d'un moteur électrique dans les phases critiques) ou une hybridation en série (l'électricité est produite par un générateur connecté sur un moteur thermique, et envoyée vers des propulseurs électriques)

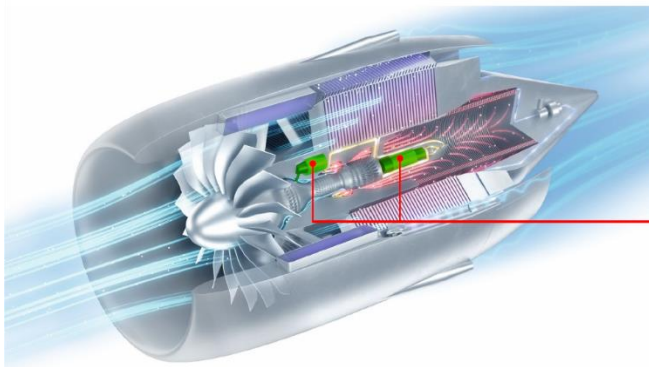
Avantages :

- Diminution importante des émissions pour des avions régionaux équipés de turbopropulseurs, en particulier des émissions locales au niveau des aéroports
- Diminution importante des émissions sonores dans les phases de décollage et d'atterrissage.

Inconvénients :

- Encombrement et poids des batteries
- Complexité du système

## Hybrid-Electric GTF



- Parallel hybrid propulsion system (Pratt & Whitney)
- Electric power assist, extraction & transfer (Pratt & Whitney)
- 500kW motor generator on high spool (Collins)
- 1 MW motor generator on low spool (Collins)
- Ground testing (MTU)

Figure 5-16

- **Moteur à combustion d'hydrogène**

Ce type de moteur est une turbine à gaz classique, de type turbofan, modifiée pour permettre la combustion d'hydrogène liquide ou gazeux. Le processus est donc identique à celui des motorisations actuelles, à l'exception du carburant utilisé (l'hydrogène remplace les carburants fossiles).

Avantages :

- Aucune émission de CO<sub>2</sub>
- La combustion de l'hydrogène peut fonctionner avec un mélange "pauvre" (quantité de carburant plus faible pour une quantité d'air donnée). Il en résulte une importante économie de carburant et une température finale de combustion plus basse, ce qui réduit la quantité de polluants, tels que les Nox émis
- La température d'auto-inflammation élevée de l'hydrogène permet des taux de compression plus élevés dans un moteur à hydrogène par rapport à un moteur à hydrocarbures ce qui entraîne une plus grande efficacité thermique et un meilleur rendement énergétique

Inconvénients :

- Stockage complexe de l'hydrogène liquide pour éviter tout risque d'évaporation et d'explosion (résistance à la pression, aux chocs, refroidissement cryogénique, etc.)
- Encombrement des réservoirs : la densité volumétrique de l'hydrogène est quatre fois supérieure à celle des carburants fossiles classiques. Il en résulte des volumes de stockage nettement plus encombrants et difficiles à intégrer dans la structure de l'avion.
- Infrastructures de « refuelling » coûteuses liées à la nécessité de maintenir l'hydrogène à l'état liquide (coût de la sécurité des installations, et coût énergétique)
- Disponibilité et coût de l'hydrogène « vert »



Figure 5-17

- **Pile à combustible**

L'hydrogène peut également être utilisé comme source d'énergie pour la production d'électricité embarquée, en remplacement des batteries.

Compte tenu des limitations de volume attachées au stockage de l'hydrogène et de la densité de puissance limitée des piles à combustible, il est probable que cette solution ne soit utilisée dans un premier temps que pour des avions à faible rayon d'action.



Figure 5-18

**Avantages :**

- Aucune émission de CO2
- Emissions sonores très faibles

**Inconvénients :**

- Stockage complexe de l'hydrogène liquide pour éviter tout risque d'évaporation et d'explosion (résistance à la pression, aux chocs, refroidissement cryogénique, etc.)
- Encombrement des réservoirs : la densité volumétrique de l'hydrogène est quatre fois supérieure à celle des carburants fossiles classiques. Il en résulte des volumes de stockage nettement plus encombrants et difficiles à intégrer dans la structure de l'avion.
- Infrastructures de « refuelling » coûteuses liées à la nécessité de maintenir l'hydrogène à l'état liquide (coût de la sécurité des installations, et coût énergétique)
- Disponibilité et coût de l'hydrogène « vert »

### 5.1.3 Systèmes embarqués

#### 5.1.3.1 *Electrification des sous-systèmes*

- Ce chapitre sera finalisé dans la prochaine édition.

#### 5.1.3.2 *Gestion thermique*

- Ce chapitre sera finalisé dans la prochaine édition.

### 5.1.4 Matériaux

Les axes de développement principaux visent les objectifs suivants :

- Poursuivre le développement de matériaux permettant des gains de masse
- Poursuivre le développement de technologies permettant d'améliorer les états de surface (flux laminaires, résistance aux chocs, etc.)
- Augmenter la recyclabilité des avions par l'utilisation de matériaux mieux adaptés, notamment les composites thermoplastiques, les alliages d'aluminium avancés voire des matériaux biosourcés
- Poursuivre les développements permettant d'améliorer les processus de production, notamment dans les domaines suivants :
  - composites thermoplastiques
  - fabrication additive
  - installations d'essais et de prototypage en phase de pré-industrialisation.
- Développer des matériaux « intelligents » permettant d'intégrer certaines fonctionnalités directement dans les structures des avions (dégivrage, health monitoring, etc.)
- Poursuivre le développement des compétences existantes en contrôle non-destructif, en visant une meilleure intégration dans les processus industriels

#### 5.1.4.1 *Technologies*

Le développement des technologies suivantes est à prendre en considération. La liste proposée n'est en aucun cas exhaustive.

- **Composites à matrices thermoplastiques**  
En vue de poursuivre la diminution du poids global des structures, l'utilisation de composites thermoplastiques dans les avions de nouvelle génération devrait permettre d'offrir la même résistance et la même durabilité que l'aluminium, tout en réduisant considérablement le coût récurrent du fuselage par rapport à l'utilisation de composites thermodurcissables plus classique.

Les atouts clés des thermoplastiques par rapport aux thermodurcissables actuels sont :

- La capacité d'intégration (soudage),
- Certaines caractéristiques techniques (tenue au feu, propriétés physicochimiques, stockage...)
- L'aptitude à pouvoir être fonctionnalisés

- La recyclabilité

La poursuite du développement de technologies de mise en œuvre plus simples et plus souples devrait permettre de tirer profit des qualités spécifiques de ces matériaux et de les introduire plus largement dans les avions du futur.

- **Alliages d'Aluminium avancés**

La légèreté, la résistance mécanique et la résistance à la corrosion de l'aluminium ont permis à ce matériau d'occuper une place prépondérante dans l'industrie aéronautique.

Les alliages d'aluminium sont utilisés dans la fabrication du fuselage, des ailes, des portes, du sol, des sièges, etc.

Des innovations peuvent cependant encore être amenées pour poursuivre l'amélioration de ce matériau traditionnel, et pour lui permettre de participer en combinaison avec les matériaux composites au développement des avions du futur. On peut citer en exemple, les alliages d'aluminium-lithium qui autoriseraient des réductions de masse remarquables.

De nouveaux procédés avancés de mise en œuvre (moulage, assemblage, fabrication additive) permettront également de rencontrer les besoins des futures générations d'avions.

- **Fabrication additive**

Dans le secteur aéronautique, les procédés de fabrication additive permettent de répondre à plusieurs défis industriels, notamment la réduction du nombre d'étapes de production et l'allègement des structures.

L'utilisation de quantités de matières fortement réduites par rapports aux technologies d'usinages classiques est également intéressante vis-à-vis des enjeux stratégiques liés à la disponibilité de certains matériaux.

La fabrication additive permet aussi de produire des géométries de pièces pratiquement irréalisables par d'autres technologies, notamment dans le domaine des échangeurs de chaleur.

Elle présente enfin un intérêt majeur pour la réparation de pièces lors des opérations de maintenance.

Le déploiement de cette technologie dans le secteur est cependant plus lent que prévu initialement. Il conviendra donc dans les futurs développements de réduire les facteurs limitants de la fabrication additive que sont :

- L'adaptation des procédés à la logique de certification indispensable en aéronautique
- Les cadences de production encore trop lentes
- Les gammes de dimensions de pièces produites encore trop restreintes.

### 5.1.5 Digitalisation du secteur

#### 5.1.5.1 *Au niveau industriel*

La digitalisation de l'ensemble des processus industriels de l'aéronautique, depuis la conception jusqu'à la production et les opérations, est déjà largement implantée.



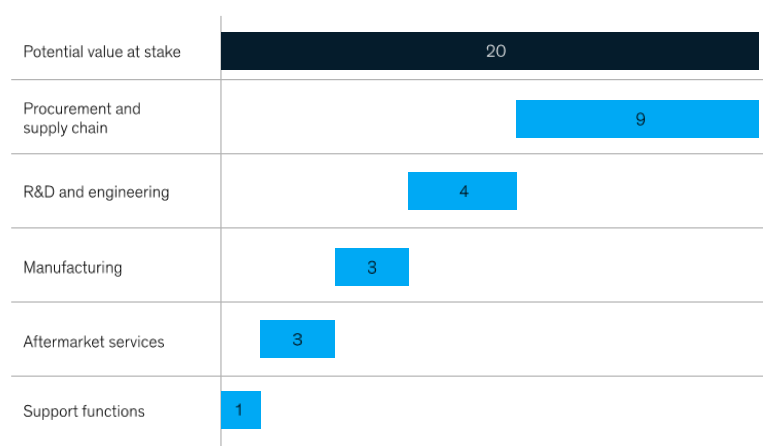
Il semble évident que la digitalisation continuera activement à poursuivre la transformation du monde de l'aéronautique vers une plus grande efficacité et une plus grande résilience.

Une étude récente de McKinsey, pour le compte de l'Aerospace Industries Association (AIA), a révélé que l'avancement de la maturité numérique de l'ensemble de la chaîne de valeur aérospatiale et défense pourrait débloquer 20 milliards de dollars d'EBITDA annuel au niveau mondial. Cette augmentation de valeur toucherait à la fois les coûts et les opportunités de croissance de l'ensemble de la chaîne, de l'ingénierie à la chaîne d'approvisionnement, en passant par la fabrication, les services après-vente et les fonctions de support.

Cependant, créer cette valeur supplémentaire ne sera pas facile. Le secteur aéronautique a encore un long chemin à parcourir pour abandonner les processus papier, les systèmes de données fragmentés et les opérations obstinément manuelles. Ce constat a d'ailleurs été largement confirmé lors de notre rencontre avec un des digital manager d'Airbus en mai 2023.

**Global A&D could unlock more than \$20 billion in potential value from digitization.**

Annual, \$ billion



Source: McKinsey analysis

McKinsey  
& Company

Figure 5-19 Etude Mc Kinsey mai 2021 (avec AIA) - Digital: The next horizon for global aerospace and defense

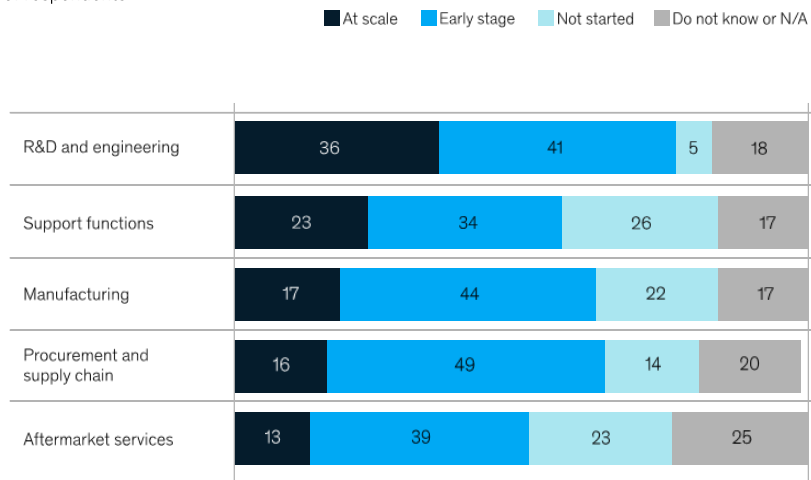
Selon cette même étude, c'est au niveau de la R&D et des bureaux d'études que la digitalisation est la plus avancée dans le secteur.

Des progrès importants doivent cependant être réalisés à d'autres niveaux, en particulier dans les domaines de la production, des achats et de la gestion de la supply chain (planification de la demande, approvisionnements, traçabilité des composants, etc.).



**A&D companies are most advanced in using digital for R&D, but they can realize more impact across the value stream.**

**A&D implementation of digital and advanced analytics across the value stream,**  
% of respondents<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Figures may not sum to 100%, because of rounding.  
Source: McKinsey's Digital Quotient

McKinsey  
& Company

Figure 5-20 Etude Mc Kinsey mai 2021 (avec AIA) - Digital: The next horizon for global aerospace and defense

Il semble nécessaire d'établir un nouveau paradigme digital pour le design, l'optimisation et la certification parallèle et concomitante :

- des matériaux
- des systèmes
- et des procédés de fabrication.

Cette évolution passera principalement par les axes de progrès suivants :

- L'intégration (ou au minimum l'interfaçage continu) des étapes du cycle de développement des produits
  - dans des environnements collaboratifs réellement multidisciplinaires
  - avec une représentation unifiée de la donnée et de la connaissance partagée avec la supply chain.
- L'intégration du design des matériaux et des systèmes (Modélisation des matériaux et des procédés de fabrication intégrée « spatialement » dans l'analyse et la conception des composants et des systèmes.)
- La détermination virtuelle des propriétés des matériaux, permettant des temps et des coûts de caractérisation notablement réduits :
  - Les essais physiques ne seront plus la seule référence pour la caractérisation des propriétés matériaux, qui seront modélisées.
  - Les bases de données matériaux seront consolidées et alimentées pour nourrir et fiabiliser la modélisation.
  - Les propriétés matériaux seront virtuellement et dynamiquement générables en fonction des processus considérés
- Intégration de la simulation / modélisation numérique dans les processus de certification :

- Les simulations seront représentatives à l'échelle d'un système complet et feront partie intégrante de la certification, avec des essais physiques si nécessaire.
- Certification intégrera les logiciels et les données.
- La mise à disposition d'infrastructures de calcul et de stockage adaptées, avec un cycle de renouvellement régulier et une accessibilité aisée.

Pour permettre cette nouvelle étape de la digitalisation de l'ensemble de la chaîne de valeur, il conviendra de poursuivre les efforts de R&D autour des briques technologiques suivants (liste succincte et non exhaustive) :

- Virtual modeling & testing (simulation avancée en aérodynamique, mécanique, thermique, électro-magnétisme, micro-structures, etc.)
- « Predictive data science » hybridant la simulation physique et les données
- Intelligence Artificielle, notamment une IA « explicable » garante d'une interprétabilité et d'une transparence indispensables à son utilisation contrôlée (en collaboration avec le TRAIL Institute)
- Cyber sécurité
- Méthodes d'optimisation
- Smart Data, y compris méthode de vérification et de validation
- Technologies de capteurs intelligents
- Environnements et méthodologies collaboratifs (interopérabilité des outils, continuité numérique)
- Jumeaux numériques

#### 5.1.5.2 *Au niveau de la gestion du trafic aérien*

L'amélioration de la gestion du trafic aérien est largement étudiée par le programme européen SESAR qui vise à développer un système plus modulaire, évolutif, automatisé, et interopérable qui tire parti des avancées du numérique et de la virtualisation.



Les axes clés du programme, qui vise à établir les bases d'un système unifié de gestion de l'espace aérien européen sont :

- Des opérations aéroportuaires hautement performantes, y compris la gestion totale de l'aéroport, les tours à distance, les capacités de débit de piste, les outils de navigation et de routage, les alertes de sécurité de l'aéroport pour le contrôleur et les pilotes
- Des services de trafic aérien avancés, y compris la séparation temporelle des avions sur base de la révision des catégories européennes des tourbillons de sillage, un meilleur

séquençement du trafic, des outils d'aide à l'automatisation, l'intégration de tous les types d'engins volants

- L'optimisation des réseaux de communication, y compris des outils collaboratifs dynamiques pour gérer la configuration de l'espace aérien et la collaboration civilo-militaire pour une plus grande prévisibilité et gestion des opérations et de l'utilisation de l'espace aérien
- L'intégration de drones, couvrant les technologies et les solutions de services pour prendre en charge les opérations complexes de drones avec un degré élevé d'automatisation dans tous les types d'espace aérien, y compris les zones urbaines.

#### 5.1.6 Infrastructures aéroportuaires

Les aéroports ont évidemment un rôle central dans le processus menant à la décarbonation de l'ensemble du secteur aéronautique.

D'un point de vue technologique, ils devront se transformer et innover à plusieurs niveaux :

- S'équiper de technologies durables pour leurs propres équipements (éclairage, climatisation, tri bagage, horeca, halls logistiques, etc.)
- Fournir à leurs utilisateurs (passagers, opérateurs logistiques, employés) des équipements en phase avec leurs besoins (bornes de recharge parking, etc.)
- Fournir à leurs clients (compagnies aériennes), des services et équipements adaptés aux nouvelles technologies embarquées dans les avions du futur (connexions électriques, ravitaillement en SAF, en H2, véhicules de piste décarbonés, unités énergétiques auxiliaires, etc.)
- S'intégrer dans des systèmes évolués de gestion de l'espace aérien (tour de contrôle virtuelle, rotations adaptées aux nouveaux modes de vol, etc.)

On peut considérer que les aéroports deviendront de véritables hubs énergétiques. Ils devront :

- Acheminer et stocker des carburants biosourcés (SAF). Les pipelines et les cuves de stockages actuels pourront à priori être utilisés, à condition que les compagnies acceptent d'utiliser des mélanges de carburants identiques.
- A plus long terme, fournir des carburants de synthèses (E-fuels SAF). Les infrastructures nécessaires à la production de ces carburants devront probablement se situer à proximité des aéroports. Elles nécessiteront d'importantes installations industrielles pour capter le CO2 atmosphérique et pour synthétiser les carburants.
- Produire de l'électricité décarbonée (sources éoliennes et/ou photovoltaïques)
- Combiner les sources d'énergie : tant l'hydrogène que l'électricité pourront à la fois servir à l'approvisionnement des avions et d'autres véhicules au sol, voire à la synthèse de carburant.

Les aéroports régionaux wallons ont déjà entamé leur transition énergétique. De nombreuses inconnues liées aux choix technologiques définitifs qui seront intégrés aux avions du futur.

Une veille technologique attentive devra donc être poursuivie pour pouvoir prendre les décisions adéquates suffisamment tôt.

#### 5.1.7 Maintenance et réparations (MRO)

Un nouveau modèle d'opérations de maintenance devrait progressivement être adopté par les compagnies sur les nouvelles générations d'avions : Le nombre d'opérations réalisées en une nuit sur les sites aéroportuaires, sans mise à l'arrêt des appareils sera significativement augmenté. Cela permettra de limiter le rythme et la durée des maintenances de plus haut niveau qui nécessitent beaucoup d'espace et qui imposent de longues mises à l'arrêt des avions

Cette nouvelle approche s'appuiera sur plusieurs des évolutions technologiques évoquées plus haut et mises en application dans les avions du futur :

- Introduction de fonctionnalités de health monitoring dans la structure et les moteurs des avions
- Digitalisation de toute la chaîne de valeur qui permettra notamment :
  - Un lien en temps réel entre les données de health monitoring et les outils de maintenance
  - Un lien entre le jumeau numérique de l'avion et les outils de maintenance
  - Un tracking continu de l'ensemble des pièces de l'avion
- Utilisation des technologies de fabrication additive pour certaines réparations

Ces activités de MRO seront de plus très complémentaires des activités de recyclage d'avion, qui seront nettement mieux valorisables grâce à l'utilisation de nouveaux matériaux (composites thermoplastiques, etc.).

#### 5.1.8 Sustainable Aviation Fuel

Au fur et à mesure que la décarbonation du secteur aérien s'impose à travers le monde, la nécessité de développer, de produire et de distribuer des carburants durables (SAF) se fait plus évidente.

Deux types de carburants alternatifs au kérosène (Jet Fuel) sont envisageables :

- Les biocarburants, basés sur la transformation de différents types de biomasses (résidus forestiers et agricoles, huiles usagées)
- Les carburants de synthèse (E-Fuels), produits à partir d'électricité décarbonée qui associe de l'hydrogène à du CO<sub>2</sub> atmosphérique capturé pour produire de l'hydrocarbure.

##### 5.1.8.1 Biocarburants

D'un point de vue technologique, la production de biocarburants ne réclame plus de développements majeurs. Le facteur limitant pour ce type de SAF se situe au niveau de la disponibilité des matières premières utilisées et des infrastructures de production, l'Europe interdisant à juste titre l'utilisation des cultures vivrières (produits agricoles pour l'alimentation).

Même s'il est acquis que les carburants biosourcés ne pourront pas subvenir aux besoins de l'ensemble du secteur, ils constitueront sans aucun doute un bras de levier indispensable pour réaliser les objectifs de décarbonation. Ils seront les premiers carburants alternatifs utilisés en grandes quantités (mélangés à du kérosène fossile dans un premier temps).

Les industriels de l'énergie tardent à se positionner clairement sur leurs objectifs de capacités de production, alors que les besoins vont croître rapidement dans les prochaines années.

Une réflexion régionale, élargie à l'ensemble du système (fournisseurs de biomasse, transformateurs, utilisateurs aériens et non aériens, etc.), sous la forme d'une étude permettant d'évaluer les capacités

de production pérenne en Wallonie faciliterait probablement la construction d'une stratégie plus efficace.

#### 5.1.8.2 E-fuels

Sur base des ressources utilisables pour la production de biocarburants, l'utilisation de carburants de synthèses sera inévitable à l'horizon 2035.

Bien que d'autres voies existent (récupération de déchets industriels), le développement d'une production de carburant par capture de CO<sub>2</sub> aérien devrait être le défi majeur des 10 à 15 prochaines années.

Même si les sources primaires sont pratiquement illimitées (eau, CO<sub>2</sub> atmosphérique), le processus de production utilise actuellement réclame énormément d'énergie électrique, principalement pour la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau. Pour conserver un bilan carbone favorable, il est évidemment indispensable d'utiliser de l'électricité produite par voie éolienne, solaire ou nucléaire.

Un autre procédé est utilisable : la technologie « Fischer-Tropsch » basée sur un gaz de synthèse intermédiaire qui est un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone, et qui peut être obtenu à la fois au départ de biomasse ou d'hydrogène / CO<sub>2</sub>. Ce procédé, qui présente un bilan carbone un peu inférieur et qui nécessite une composition précise du mélange gazeux de base pour produire du SAF, permet une approche hybride entre la voie « biomasse exclusive » et la voie « électrolyse ».

Sur base des technologies existantes, et qui continuent de faire l'objet d'une R&D considérable, on peut donc affirmer qu'il n'y a pas de réelle concurrence entre les filières biomasse et hydrogène pour fabriquer des carburants de synthèses, mais plutôt un équilibre à trouver sur base des ressources disponibles.

Ce constat renforce la proposition énoncée ci-dessus quant à l'intérêt de réaliser rapidement une étude de type « roadmap SAF » au niveau wallon.

## 5.2 Autres niches d'activités

Parallèlement à l'évolution de l'aviation civile décrite dans ce document, le secteur du transport va considérablement évoluer dans son ensemble au cours de la période prise en compte.

L'intermodalité devrait vraisemblablement progresser significativement, en créant potentiellement de nouvelles niches d'activité dans la mobilité aérienne.

Le domaine des drones autonome étant traité par une étude et une roadmap spécifique, le groupe de travail « aviation civile » ne l'a pas directement pris en compte dans ses réflexions. Il convient toutefois de garder à l'esprit la complémentarité des technologies et des expertises développées par ces deux secteurs. Il faudra dès lors rester attentif à toutes les opportunités de collaborations industrielles qui pourraient se présenter dans un futur plus ou moins proche.

D'autres solutions de transport aérien décarboné pourraient également faire leur apparition pour des applications spécifiques. Elles sont également susceptibles de présenter des opportunités de développement industriel et de création de valeur en Wallonie.

A titre d'exemple, on peut citer le développement de structures de dirigeables innovantes pour le transport d'éléments volumineux et lourds comme alternative écologique et économique au transport routier. Plusieurs projets sont en cours en Europe autour de cette thématique.



Figure 5-21

La structure de ce type de dirigeable représente la majeure partie de son coût et comprend un nombre important de pièces technologiques qui pourraient être une opportunité de diversification intéressante pour les industriels wallons actifs dans les structures d'avions.

## 6 Plan d'action : Les recommandations principales

Pour l'ensemble du secteur aéronautique civil, le but unanimement supporté aux niveaux politique, industriel et scientifique est d'atteindre un bilan net carbone 0 en 2050. Toutes les stratégies internationales et tous les programmes de recherche sont déjà focalisés sur cet objectif.

Il s'agit d'une évolution extrêmement ambitieuse mais indispensable qui constitue une transformation de rupture pour l'ensemble du secteur. Celle-ci implique trois considérations directrices :

1. Tous les acteurs de l'écosystème aéronautique sont concernés par cette évolution sous peine de disparaître. Ils devront, dès maintenant et sans exception, mettre en œuvre d'importants efforts de recherche et de transformation qui devront être soutenus tant politiquement que financièrement. En outre, ces efforts devront être synchronisés et concertés avec l'ensemble des parties prenantes et s'intégrer, au niveau mondial, dans les stratégies des donneurs d'ordre prédominants.
2. Le secteur, historiquement conservateur, devra intégrer rapidement de nouvelles technologies et de nouvelles ressources partiellement issues d'autres domaines techniques, sans toutefois dégrader ses niveaux d'excellence et de sécurité. Cela passera probablement par une intégration plus transversale et par de nouvelles collaborations avec d'autres écosystèmes (notamment au niveau régional).
3. Un effort important de sensibilisation, d'information et de formation devra être porté par tous les acteurs impliqués dans la filière afin de « redorer » l'image globale d'un secteur parfois exagérément décrié et dévalorisé dans certaines communications. Cet effort visera non seulement le grand public et les utilisateurs, mais aussi les décideurs politiques et les futurs professionnels du secteur aérien à tous niveaux de qualification. Il nécessitera le support des autorités régionales afin de renforcer la pérennité des activités aéronautiques en Wallonie.

Sept axes d'action principaux ont été identifiés dans le cadre de la présente étude :

### 1. **Les nouveaux carburants :**

Soutenir et organiser rapidement le déploiement de carburants durables de substitution du kéroène fossile (SAF - Sustainable Aviation Fuel) au niveau régional.

Cette tâche nécessitera inévitablement la collaboration active des acteurs du secteur de l'énergie (oil & gaz, électricité, hydrogène), notamment pour la mise en œuvre des infrastructures nécessaires, mais éventuellement aussi celle d'autres secteurs industriels (Automotive, gestion des déchets, agriculture/foresterie, etc.).

Le groupe de travail recommande la réalisation rapide d'une étude régionale dédiée à cette problématique. Une collaboration avec le cluster Tweed serait souhaitable.

### 2. **Innovation incrémentale - Structure, propulsion et sous-systèmes :**

Maintenir un support financier public à la R&D incrémentale pour poursuivre l'amélioration des avions et des systèmes volants.

La future génération d'avions commerciaux, qui devrait apparaître vers 2035, conservera une architecture « tube and wing » classique et intégrera des sous-systèmes innovants issus d'une optimisation des technologies connues actuellement. Il est dès lors impératif de poursuivre et d'amplifier l'effort de R&D soutenu par la Wallonie depuis plus de 15 ans afin de permettre aux entreprises régionales de renforcer leur positionnement dans la chaîne de valeur. Un



accroissement des parts de marché semble nécessaire afin de permettre à nos leaders industriels d'acquérir la taille critique suffisante qui sera probablement indispensable vis-à-vis des stratégies « supply chain » des avionneurs.

### **3. Innovation de rupture - Briques technologiques des avions du futur :**

- En parallèle à la poursuite du développement technologique incrémental, mener au niveau régional une R&D de rupture ambitieuse basée sur des objectifs à plus long terme.
- Renforcer le support public à la suite du projet WINGS pour mettre en œuvre rapidement cette R&D de rupture continue et forte, visant le développement de briques technologiques qui permettront de renforcer la position de l'industrie wallonne vis-à-vis des avionneurs, et d'accroître ses parts de marché dans les avions du futur.

Les domaines technologiques génériques suivants devront notamment être explorés :

- Nouveaux matériaux et procédés de mise en œuvre
  - Composites (notamment thermoplastiques) et procédés de mise en œuvre
  - Additive Manufacturing
  - Electronique de puissance
  - Gestion des transferts thermiques
  - Traitement et structuration de surface
  - Contrôles non destructifs
  - Simulation et essais. Intégration de l'intelligence et de la connaissance dans les codes de conception
  - Développement de capteurs innovants et Structural Health Monitoring.
- Soutenir la création d'un Joint Research Institute for Aeronautics en Wallonie regroupant des représentants de l'ensemble des Universités francophones et des centres de recherche agréés. Cette structure transversale regroupant l'ensemble des expertises wallonnes du secteur permettrait d'assurer la cohérence des recherches universitaires avec les besoins des entreprises en évitant de dédoubler certaines d'entre-elles. Elle favoriserait un meilleur alignement des approches académiques vis-à-vis des évolutions sectorielles. Elle permettrait également de dynamiser et de structurer efficacement les différentes formations menant aux métiers de l'aéronautique, en y intégrant celles données par les Hautes Ecoles (Ingénieurs Industriels en particulier).

Cette démarche devra s'intégrer aux réflexions politiques en cours en vue d'optimiser l'impact et l'action des organismes de recherche wallons, en insistant sur la nécessité impérieuse de maintenir l'aéronautique dans les domaines de recherche prioritaires de la Wallonie.

Le groupe de travail recommande une approche coconstruite pilotée par Cenaero (centre spécifique du secteur) et coordonnée par le pôle Skywin.

- Soutenir une veille technologique structurée afin de détecter suffisamment tôt des innovations de rupture issues d'autres secteurs et potentiellement transposables dans le domaine aéronautique.
- Soutenir la transition des entreprises historiquement actives essentiellement dans le développement et la production d'éléments de structure vers une intégration dès leur conception de différents sous-systèmes à ces pièces structurales. L'objectif est ici de proposer aux OEM's des systèmes fonctionnels plus intégrés et de permettre aux entreprises wallonnes d'atteindre une taille critique suffisante vis-à-vis à des appels à projets de plus en plus importants (du régional vers l'européen).

- Veiller à synchroniser les activités de R&D complémentaires issues d'autres secteurs avec celles du secteur aéronautique (par exemple celles des IIS Contribute, e-WallonHY et MadeInWall)

#### **4. Processus industriels :**

- Maintenir le support public à la R&D incrémentale pour poursuivre l'amélioration des processus industriels et des outils de production (Automatisation, réduction de la consommation d'énergie et amélioration du bilan carbone, intégration de l'intelligence artificielle et des bases de connaissances métiers dans les logiciels de gestion en s'appuyant notamment sur le développement de capteurs innovants).
- Maintenir un support public suffisant vis-à-vis des investissements liés à l'amélioration des infrastructures, des processus et des outils de production
- Soutenir la mise en œuvre d'un centre de recherche intégré orienté R&D industrielle dédié aux technologies de pointe en matière d'usinage et de fabrication (matériaux de pointe) s'inspirant du modèle AMRC britannique. Son objectif serait d'améliorer la compétitivité des entreprises en les aidant à optimiser leurs performances industrielles et leur productivité lors de la mise sur le marché de nouveaux produits issus des phases de R&D précédentes. Ce nouvel instrument regrouperait, dans une structure à définir, les compétences des centres de recherche existants appliquées à des outils et moyens de production permettant la réalisation de prototypes et de proof of concept en phase préindustrielle.  
Le groupe de travail recommande une approche coconstruite pilotée par Cenaero (centre spécifique du secteur) et coordonnée par le pôle Skywin.

#### **5. Les infrastructures aéroportuaires et les services :**

- Intégrer dès maintenant les aéroports wallons et leurs partenaires dans la démarche industrielle globale de la région, notamment vis-à-vis du rôle important (« Hub énergétique local ») qu'ils devront jouer dans la mise en service des futures sources d'énergies décarbonées (SAF, électricité, hydrogène)
- Soutenir, sur les sites aéroportuaires, le développement d'infrastructures et de compétences dans les activités de MRO (maintenance, réparation) en phase avec le nouveau modèle d'opérations qui sera adopté par les nouvelles générations d'avions (maintenance intelligente en continu et de nuit sur les sites aéroportuaires permettant de limiter le temps de mise à l'arrêt des appareils). Ces activités de MRO seront de plus très complémentaires des activités de recyclage d'avion déjà envisagées au niveau régional.

#### **6. La formation :**

- Créer des dispositifs d'information sur les avancées du secteur aéronautique à destination des autorités publiques, des usagers et du grand public afin de renforcer son attractivité et d'attirer les talents régionaux du futur.
- Mettre en place rapidement une roadmap « formation » spécifique définissant les besoins du secteur en matière de formation (tous types et niveaux confondus). Soutenir, à très court terme, la transformation concrète et efficace des objectifs définis par cette roadmap vers des programmes de formation spécifiques afin de palier rapidement au déficit de compétences disponibles actuellement.

Pistes de réflexion (liste non exhaustive) :

- Adapter les cursus aux nouvelles compétences nécessaires pour aborder les évolutions sociétales et technologiques du monde de l'aviation, en particulier celles liées aux défis de la décarbonation.
- Modifier l'organisation et augmenter la durée des stages en entreprise des étudiants, en particulier au niveau universitaire, à l'instar des pratiques en vigueur dans les pays limitrophes.
- Rapprocher l'offre de formation des besoins des entreprises, tant au niveau académique qu'au niveau des écoles techniques et des centres de compétences concernés.
- 

## **7. L'action politique**

Au-delà de la prise en compte dans les programmes et de la mise en œuvre concrète des pistes d'action évoquées dans les 6 points ci-dessus, une action politique dépassant parfois le cadre régional est également souhaitable pour :

- Supporter la mise en œuvre rapide du « ciel unique européen »
- Supporter le maintien de l'ensemble du secteur aéronautique dans la taxonomie environnementale européenne
- Donner au grand public une image positive de l'ensemble de l'écosystème aéronautique, représentative des efforts uniques qui ont été, et qui seront réalisés, pour réduire drastiquement l'impact environnemental des avions tout en élargissant les possibilités de voyager librement de la majorité de la population.
- Fournir aux entreprises wallonnes un support politique lors de certaines négociations commerciales difficiles avec les acteurs majeurs du secteur, à l'instar des pratiques en vigueur dans d'autres pays européens.
- Assurer le suivi des différentes actions mises en œuvre en s'appuyant sur un organisme disposant d'un ancrage et d'une expertise sectoriel tel que le pôle Skywin.

## Bibliographie

Ce chapitre sera finalisé dans la prochaine édition.