



« LES MÉTIERS D'AVENIR »

Premier levier des transitions numériques et écologiques, la formation des jeunes et des salariés permet de renforcer le capital humain indispensable au fonctionnement de nos entreprises et au-delà de toute la société. C'est aussi le meilleur moyen pour proposer des emplois durables et de tous niveaux de qualification sur l'ensemble du territoire.

C'est également une des conditions majeures pour la réussite du plan France 2030 : soutenir l'émergence de talents et accélérer l'adaptation des formations aux besoins de compétences des nouvelles filières et des métiers d'avenir. 2,5 milliards d'euros de France 2030 seront mobilisés sur le capital humain pour atteindre cette ambition.

L'appel à manifestation d'intérêt « Compétences et métiers d'avenir » s'inscrit dans ce cadre et vise à répondre aux besoins des entreprises en matière de formations et de compétences nouvelles pour les métiers d'avenir.

Dans le cadre de ce dispositif, la réalisation de diagnostics des besoins en compétences et en formations sont financés et diffusés.

DIAGNOSTIC DE FORMATION

24 mars 2023



Sommaire

- 2** – Sommaire
- 3** – Introduction et méthodologie de travail
- 12** – Partie 1 : L'écosystème face aux mutations énergétiques et numériques
- 30** – Partie 2 : Impact de ces mutations en termes d'emplois et de compétences
- 60** – Partie 3 : Éléments de prospective
- 64** – Annexes
- 69** – Index des sigles

Introduction et méthodologie de travail

L'appel à manifestation « Compétences et métiers d'avenir » de France 2030

L'appel à manifestation d'intérêt « Compétences et métiers d'avenir » s'inscrit dans ce cadre et vise à répondre aux besoins des entreprises en matière **de formations et de compétences nouvelles pour les métiers d'avenir**. L'adaptation et le renforcement de l'appareil de formation sur des métiers en tension pourra également renforcer notre capacité à atteindre les objectifs de France 2030.

Il **ambitionne d'anticiper** autant que possible et de contribuer à satisfaire **les besoins en emplois ou en compétences**, que ceux-ci soient sanctionnés par des titres, des certifications ou des diplômes. Il s'agit aussi **d'accélérer la mise en œuvre des formations** y préparant, ainsi que leur accès en matière d'information, d'attractivité et d'inscription tant en cursus de formation initiale qu'en formation continue, quel que soit le statut de l'actif (apprenti, lycéen, étudiant, salarié, demandeur d'emploi, indépendant, libéral ou entrepreneur). La demande des entreprises porte fréquemment sur le manque de personnel formé et adapté à un marché du travail qui change sans cesse. Au-delà des attentes propres à chacune des entreprises, **les besoins d'un territoire ou de la filière concernés par la stratégie**, s'ils ne sont pas satisfaits, peuvent être source de faiblesses dans la mise en œuvre de chaque priorité de France 2030.

Les projets soutenus pourront notamment porter sur :

- la réalisation de diagnostics des besoins en compétences et en formations ;
- l'identification des initiatives et projets en rapport avec une stratégie ou plusieurs stratégies nationales ;
- le financement des projets les plus adaptés qui auront été sélectionnés par une procédure exigeante.

Préambule

À propos de France 2030 :

Ce dispositif traduit une double ambition : transformer durablement des secteurs clés de notre économie (santé, énergie, automobile, aéronautique ou encore espace) par l'innovation technologique, et positionner la France non pas seulement en acteur, mais bien en leader du monde de demain. De la recherche fondamentale, à l'émergence d'une idée jusqu'à la production d'un produit ou service nouveau, France 2030 soutient tout le cycle de vie de l'innovation jusqu'à son industrialisation.

Introduction

L'emploi dans l'écosystème aéroportuaire et aéronautique

En 2019, année de référence en matière de transport aérien, nous avons relevé plus de 214 millions de passagers en France pour près de 2 millions de mouvements (pour le trafic commercial). À eux seuls, les aéroports franciliens de Paris-CDG, de Paris-Orly et de Paris-Le Bourget regroupent plus de la moitié de ce volume de passagers, avec plus de 108 millions de voyageurs¹.

Face à cette activité, l'emploi est logiquement dynamisé. En regardant les emplois directs des aéroports franciliens, c'est-à-dire les emplois présents sur les plateformes aéroportuaires et à proximité immédiate dans des secteurs connexes à l'aéroport (fret aérien, transport aérien, hôtellerie, services aéroportuaires), nous comptabilisons près de 130 000 emplois en 2019. Et si l'on prend en compte tous les emplois liés à l'écosystème aéroportuaire et aéronautique (pouvant s'étendre au-delà des plateformes aéroportuaires)², l'Ile-de-France en regroupait près de 240 000 cette même année³.

Ce volume d'emplois conséquent s'explique, au-delà du niveau d'activité, par la diversité des métiers que l'on retrouve dans l'écosystème aéroportuaire et aéronautique. Afin de faciliter la compréhension de cet écosystème et de mieux cadrer la suite de l'étude, nous allons le décomposer en plusieurs grandes filières : transport aérien, services aéroportuaires, tourisme et logistique.

La filière du Transport Aérien, regroupe toutes les activités liées à l'exploitation des aéronefs. Très souvent, elle est associée aux compagnies aériennes transportant des passagers mais aussi au fret. Sur l'aéroport Paris-CDG, elle regroupe 40% des emplois directs. Au sein de cette filière, nous retrouvons plusieurs grandes familles professionnelles :

- Les métiers de la relation client au sol, que l'on retrouve notamment dans l'accueil des passagers et l'assistance en escale sont composés principalement d'agents d'escale aéroportuaire mais également des conseillers de vente.
- Les métiers de la relation client pendant le vol correspondent au métier de PNC (Personnel Navigant Commercial). Ils représentent plus de 11 000 emplois sur Paris-CDG en 2022.
- Les métiers liés à l'exploitation de l'aéronef regroupent aussi bien les métiers de la piste (en charge du chargement de l'avion et des opérations d'assistance et de guidage de l'avion) que les métiers du nettoyage ou encore ceux de l'avitaillement (ravitaillement de l'avion en kérosène). Actuellement, nous estimons que 3 000 à 4 000 emplois sont en lien avec cette famille professionnelle sur Paris-CDG.
- Les métiers liés au pilotage de l'aéronef représentent plus de 3 500 emplois sur Paris-CDG.
- Les métiers de la maintenance, que l'on rattache à la filière aéronautique, se composent des métiers de différents niveaux (mécaniciens, techniciens, ingénieurs), travaillant dans différentes spécialités (moteur, structure, soudure, chaudronnerie aéronautique, électronique, ...). Au total, près de 3 500 emplois sont rattachés à la maintenance aéronautique sur Paris-CDG et près de 6 000 emplois sont liés à l'industrie aéronautique (maintenance et construction d'aéronefs) sur l'ensemble du territoire du Grand Roissy-Le Bourget⁴.
- Les métiers liés aux fonctions supports (administratif, financier, juridique, communication, marketing...).
- Il convient enfin de souligner que certains emplois sont également rattachés aux fonctions logistiques, notamment dans les établissements spécialisés dans le transport aérien de fret.

¹ [UAF et FA, Résultats d'activité des aéroports français, Statistiques de trafic, 2019.](#)

² ACOSS-URSSAF, retraitement Paris-CDG Alliance et Orly International.

³ Laurent Terral et Vincent Lasserre-Bigorry, Étude de l'impact économique de l'écosystème aéroportuaire et aérien sur l'activité et l'emploi, janvier 2022.

⁴ [Pour en savoir plus sur ce territoire](#)

La filière des **services aéroportuaires** rassemble tous les emplois et services liés aux infrastructures de l'aéroport, soit entre 25% et 30% des emplois directs de Paris-CDG. Nous retrouvons :

- Les emplois liés à la maintenance des équipements de l'aérogare, des pistes et des infrastructures extérieures, qui comprennent une grande diversité de familles de métiers dans cette famille professionnelle : électrotechnicien, automaticien, gestion des fluides (chauffage/climatisation), métiers du BTP... Au total, cette famille professionnelle rassemble plus de 500 emplois sur Paris-CDG.
- Les emplois liés aux déplacements depuis/vers l'aéroport et au sein même de l'aéroport regroupent les chauffeurs de taxis, les activités de location de voiture ou encore les conducteurs de bus (soit plus de 1 500 emplois sur Paris-CDG).
- Les emplois liés à l'accueil des voyageurs au sein de l'aérogare (agent welcome, agent d'accueil aéroportuaire, agent APMR).
- Les emplois liés à la sûreté aéroportuaire, en lien avec le processus de contrôle aux PIF (Postes d'Inspection Filtrage) et à la prévention des actions de malveillance humaine (exemple : terrorisme). Près de 6 000 emplois sont en lien avec cette famille professionnelle en 2022 (tous métiers de la filière confondus).
- Les emplois liés au nettoyage de l'aérogare et des espaces extérieurs, qui regroupent environ 1 500 emplois.
- Les emplois liés à la sécurité des infrastructures rassemblent aussi bien les métiers de la sécurité incendie (agent SSIAP) que les agents de gardiennage.
- Les emplois liés à l'exploitation d'une zone aéroportuaire réunissent quant à eux principalement des postes de niveau Bac+2 et plus qui nécessitent une connaissance spécifique du fonctionnement de l'aéroportuaire.

La filière du **tourisme**, en lien avec la consommation des passagers, regroupe les métiers de la vente, de l'hôtellerie et de la restauration. Nous pouvons également inclure les métiers liés au *catering* (production et distribution de plateaux repas dans les avions) dans cette catégorie qui regroupe plus de 10% des salariés de Paris-CDG en 2022.

Enfin, la filière **logistique** rassemble des emplois de la *supply chain* (ingénierie permettant d'optimiser la chaîne logistique), de l'entreposage (avec les métiers de la manutention et la gestion des entrepôts) et du transport routier. Au total, plus d'un emploi direct sur dix est rattaché à cette filière sur Paris-CDG. Mais il convient de noter que de nombreux emplois sont décentralisés dans cette filière (en particulier dans la *supply chain*).

À noter : Il existe également d'autres emplois dans les services publics (*police aux frontières, douanes...*) et les services aux salariés de l'aéroport (exemples : crèches).

Des recrutements difficiles à pourvoir aujourd'hui

Les familles professionnelles les plus représentées dans l'écosystème aéroportuaire et aéronautique sont aussi celles qui sont le plus en tension actuellement sur le marché de l'emploi⁵. Pour certaines, cette situation n'est pas nouvelle et dure depuis plusieurs années. C'est le cas notamment dans les métiers de la maintenance des équipements aéroportuaires, de la sécurité, de l'hôtellerie et de la restauration, notamment en raison d'un déficit d'image et d'attractivité.

Sur d'autres métiers, la tension en matière de recrutement est en train d'augmenter depuis plusieurs mois, et ce, pour différentes raisons :

- Tout d'abord, en raison de la pandémie et du ralentissement brutal de l'activité aérienne. En effet, avec la non-reconduction de nombreux contrats à durée déterminée et de contrats d'intérim et avec le départ de salariés en activité partielle qui ont pu retrouver un emploi dans un autre secteur d'activité, certaines professions ont connu une véritable « fuite des compétences »⁶. C'est le cas pour les métiers de la sûreté aéroportuaire ou encore pour certains métiers de l'aérien (accueil, piste).

⁵ Illustrations à retrouver dans [Paris CDG Alliance, Les métiers en tension en 2022 sur le territoire de Paris-CDG et ses environs](#)

⁶ Institut Paris Région, Paris CDG Alliance, Orly Paris, Défis Métiers, [Covid-19 : des conséquences colossales et inédites sur l'activité aérienne, aéroportuaire et aéronautique de la région Ile-de-France, octobre 2021](#).

- Ensuite, en raison de la pyramide des âges, qui amènera à de nombreux départs sur certains métiers et conduira à un renforcement de la demande en main d'œuvre. C'est le cas pour les métiers de la maintenance aéronautique mais également sur le métier de personnel navigant commercial (PNC, plus communément identifié comme hôtesse de l'air ou steward).

Devant cette situation, il convient donc de promouvoir les métiers de la filière afin d'attirer de nouveaux profils et de « fidéliser » les profils travaillant actuellement dans ces filières.

Pour faire face à ces enjeux, il convient d'intégrer une réflexion essentielle : celle de l'évolution des métiers et des compétences au regard des évolutions technologiques et énergétiques qui toucheront la filière dans les prochaines années. En effet, pour mieux promouvoir les métiers de la filière et pour améliorer l'offre de formation face aux nouveaux besoins des entreprises, il sera essentiel de bien connaître le contenu des gestes métiers de demain ainsi que les compétences associées. De plus, l'adaptation des compétences des salariés actuels face aux mutations de la filière va devenir un enjeu majeur pour la pérennisation des parcours professionnels.

Cette réflexion, portée par l'AMI Compétences et Métiers d'Avenir, s'inscrit dans une logique d'accélération des mutations technologiques et environnementales.

Contexte et gouvernance des mutations

- La décarbonation de l'écosystème aéroportuaire et aéronautique⁷

Face aux attentes en matière de développement durable et de lutte contre le réchauffement climatique, la décarbonation – définie comme les moyens mis en œuvre afin d'atteindre l'objectif de neutralité carbone d'ici 2050⁸ – de l'écosystème AA constitue un enjeu majeur.

L'association Cap sur l'avenir œuvre à la promotion et au rayonnement de l'aéronautique française et vise à porter une vision du secteur en phase avec l'urgence des enjeux climatiques pour assurer la pérennité du secteur grâce à des actions rapides et concrètes et de la sensibilisation⁹. Dans ce cadre, elle a développé un outil pédagogique intitulé Fresqu'Aero¹⁰, sur le modèle de la Fresque du Climat, l'outil de référence pour comprendre les bases scientifiques du changement climatique¹¹. Ainsi, la Fresqu'Aero souligne les grandes caractéristiques du secteur, parmi lesquelles on retrouve :

- L'aptitude de l'industrie aéronautique et aéroportuaire à répondre aux stratégies et missions des transporteurs aériens de manière conforme aux standards internationaux,
- Une capacité d'innovation importante, démontrée sur le long terme. Par exemple, depuis les années 50, la consommation moyenne de carburant par passager a été divisée par 5, et le niveau de bruit perçu au sol a diminué de 50%,
- Un secteur dynamique qui a connu une forte croissance, étroitement liée au développement économique. En 2019, cette croissance atteignait 4% par an, soit un doublement tous les 15 ans. En outre, les prévisions du trafic aérien post-confinement semblent aujourd'hui plus optimistes que ne le présageait le secteur suite à l'apparition de la pandémie de la covid-19,
- Un élément stratégique pour les territoires et la cohésion nationale. Aujourd'hui, les 40 000 aéroports du monde entier représentent plus de 75 millions de mouvements d'avion et sont considérés comme des catalyseurs du développement économique des régions dans lesquelles ils sont implantés. À l'échelle de la France, l'écosystème AA représente 1,1 million d'emplois en 2019 selon l'Agence de

⁷ Dénommé « écosystème AA » ou « filière AA » par la suite

⁸ Cela signifie que les émissions de gaz à effet de serre devront être inférieures ou égales aux quantités de gaz à effet de serre absorbées sur le territoire par des écosystèmes gérés par l'être humain (forêts, prairies, sols agricoles...) et par certains procédés industriels (capture et stockage ou réutilisation du carbone). Source : [Site internet du Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, Stratégie nationale bas carbone](#)

⁹ [Site internet de Cap sur l'avenir, Profession de foi](#)

¹⁰ [Site internet de Cap sur l'avenir, Fresqu'Aero](#)

¹¹ [Site internet de la Fresque du Climat](#)

l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)¹².

- La filière AA connaît régulièrement des effets rebond, c'est-à-dire que les améliorations organisationnelles et technologiques du secteur se traduisent par une augmentation régulière du trafic. Cet effet rebond est un vecteur de démocratisation du transport aérien. Cependant, si ce surcroît d'activité se poursuit sans action sur l'empreinte carbone, alors elle s'avèrera être un frein aux objectifs de décarbonation prônés par ce même secteur et ses parties prenantes pour 2030¹³,
 - Les leviers de la multimodalité, avec le développement des mobilités douces pour venir à l'aéroport par exemple, et de l'adaptation de la flotte aérienne sont évoqués dans les solutions de décarbonation à mettre en œuvre à court terme,
 - Le transport aérien impacte l'évolution des propriétés radiatives de l'atmosphère du fait de changements dans sa composition (forçage radiatif). En effet, les aérosols agissent comme des noyaux de condensation pouvant donner lieu à la formation de cristaux de glace, à l'origine des traînées de condensation. Une évolution des pratiques est donc en cours de réflexion afin de limiter au maximum cet impact,
 - Enfin, cette industrie mobilise un carburant particulier, le kérosène, qui représente 8% de la consommation mondiale de pétrole. Outre la combustion en vol, l'extraction, le raffinement et le transport de ce carburant représentent 20% des émissions de CO₂ liées à ce carburant. De ce fait, les fournisseurs de carburant, et plus largement d'énergie, sont des acteurs clés de la transformation du secteur aérien.
- Un alignement des acteurs du secteur sur l'objectif de neutralité carbone à horizon 2050

L'objectif de neutralité carbone – également appelé objectif zéro émission nette – à l'horizon 2050 s'est progressivement imposé ces dernières années aux différents acteurs du transport aérien, à l'échelle internationale, européenne et française.

L'engagement des acteurs du secteur aérien à viser l'objectif de neutralité carbone s'inscrit notamment dans un cadre plus général qui est celui façonné par l'Accord de Paris sur le climat, adopté lors de la COP21 en décembre 2015 et entré en vigueur en novembre 2016. Les États signataires se sont fixés pour objectif de limiter le réchauffement climatique à un niveau bien inférieur à 2°C par rapport aux niveaux préindustriels (1850-1900), et à poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels, étant entendu que cela réduirait sensiblement les risques et les effets des changements climatiques¹⁴. Afin d'atteindre ces objectifs de limitation de la hausse des températures, il s'agit de diminuer d'ici à 2050 les émissions mondiales de GES d'au moins 50% par rapport à leurs niveaux de 1990. Tous les secteurs de l'économie sont mis à contribution dans l'entreprise de réduction des émissions, y compris le transport aérien.

Dans le prolongement de l'Accord de Paris, les 191 pays membres de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) ont adopté lors de la 39^e assemblée qui s'est tenue à l'automne 2016 une résolution relative à la mise en œuvre, à partir de 2020, d'un mécanisme mondial de compensation et de réduction des émissions de CO₂ de l'aviation civile internationale, appelé CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation). Il s'agit d'un dispositif par lequel les compagnies aériennes devront compenser leurs émissions de CO₂ dépassant le niveau des émissions atteint en 2020 par l'acquisition de « crédits de réduction des émissions de CO₂ » acquis sur un marché alimenté par des secteurs d'activité qui réduisent leurs émissions. L'aviation constitue ainsi le premier secteur à se doter d'un dispositif mondial de maîtrise de ses émissions de CO₂. La France s'est fortement impliquée en faveur de l'adoption de ce mécanisme et fait partie des 70 États volontaires dès 2021 pour la première phase du CORSIA¹⁵. Ce dispositif constitue l'un des quatre axes d'action du panier de mesures développé par l'OACI, les trois autres étant l'amélioration de la performance environnementale des avions, des procédures opérationnelles conduisant à réduire la consommation de carburant, ainsi que le développement des biocarburants aéronautiques.

En février 2022, s'est tenu à Toulouse le Sommet européen de l'aviation civile, dans le cadre de la présidence

¹² Rapport de l'ADEME et I CARE, « 3 scénarios pour décarboner le transport aérien », septembre 2022.

¹³ *Ibid.*

¹⁴ Organisation des Nations Unies, Accords de Paris, 2015.

¹⁵ Ministère de la Transition écologique, Direction Générale de l'Aviation Civile, « L'aviation, premier secteur à se doter d'un dispositif mondial de maîtrise de ses émissions de CO₂ », juin 2017.

française du Conseil de l'Union européenne. L'objectif de la rencontre de l'ensemble des acteurs européens du transport aérien était de promouvoir la décarbonation de l'aviation et de mobiliser l'ensemble des parties prenantes, publiques comme privées¹⁶. Ce Sommet a abouti à la déclaration de Toulouse, signée par les 27 Etats membres de l'Union européenne, 10 pays¹⁷ de la CEAC (conférence européenne de l'aviation civile), ainsi que par une vingtaine d'associations professionnelles européennes¹⁸ (représentant plus de 150 acteurs privés), s'engageant à un objectif partagé de zéro émission nette à l'horizon 2050. Les entreprises du transport aérien se sont engagées à améliorer les opérations au sol et en vol, à promouvoir les carburants durables et à développer de nouvelles technologies.

L'un des objectifs de la 41^e Assemblée de l'OACI à l'automne 2022 était de parvenir à faire voter une résolution universalisant cet objectif de neutralité carbone. Les 192 États membres ont approuvé l'« objectif de long terme » pour l'aviation internationale (LTAG) d'émissions nettes nulles de carbone d'ici à 2050, contribuant ainsi à l'atteinte de la cible de température de l'Accord de Paris¹⁹.

Dans le cadre du Pacte Vert Européen signé en juillet 2021, la Commission européenne a adopté une série de propositions (« Fit for 55 ») visant à adapter les politiques de l'UE en matière de climat, d'énergie, de transport et fiscalité en vue de réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre d'au moins 55% d'ici 2030 (par rapport aux niveaux de 1990) et atteindra la neutralité carbone d'ici 2050²⁰. Le paquet de mesures inclut des mesures spécifiques à l'aviation. Dans le cadre de sa présidence de l'UE, la France s'attache à faire avancer deux textes majeurs du paquet législatif. Le premier, « ReFuel EU Aviation » établit une feuille de route pour remplacer progressivement le kérosène d'origine pétrolière par des biocarburants. Ainsi, à partir du 1^{er} janvier 2025, les fournisseurs de carburants d'aviation au départ de tous les aéroports de plus d'un million de passagers devront incorporer au « jetfuel » un minimum de 2% de carburants dits durables. Cette part montera à 5% en 2030, 20% en 2035, 32% en 2045 et à 63% en 2050. La France a pris de l'avance en imposant aux fournisseurs de carburants une obligation d'incorporation de carburants d'aviation durables à hauteur de 1% des volumes de kérosène. Le deuxième texte porte sur l'intégration du dispositif mondial de compensation des émissions de carbone (CORSA) dans le droit de l'UE.

Les objectifs de la démarche

Les bouleversements normatifs apparus avec les transitions écologique et digitale produisent des effets sur les métiers de l'écosystème AA. Le contexte global de mutations environnementales, énergétiques et numériques appelé précédemment induit des changements progressifs dans les différents univers professionnels pour éviter certains écueils. De fait, il s'agit de réagir à ces mutations en adaptant l'offre de service et de formation associée pour porter une nouvelle impulsion au sein de la filière, en adéquation avec les attentes de la société. Dès lors, pour appréhender le changement dans ces différentes filières, il convient de dresser un diagnostic, un état des lieux des différents mouvements perceptibles au sein de l'écosystème AA.

Les mutations digitales et écologiques sont observables à plusieurs égards, de la flotte aérienne à la mobilité terrestre induite par la présence d'une infrastructure telle qu'un aéroport. La question énergétique est au cœur de ces bouleversements, puisque l'exploration de pistes alternatives pour les mobilités de demain, telles que l'hydrogène, l'énergie électrique et les carburants renouvelables, est un réel enjeu. Au-delà des flottes de véhicules et d'aéronefs, le sujet des infrastructures se pose également avec acuité. Il s'agira donc d'adapter les infrastructures aéroportuaires aux exigences futures en matière de sécurité et d'énergie. L'amélioration de l'offre de service est également à considérer dans cette dynamique pour que la transition écologique s'accompagne d'une réflexion de fond sur la dimension sociale et des emplois associés à la filière et à son écosystème. **Ce rapport a donc pour objectif de passer en revue les emplois et les compétences de l'écosystème AA (principalement orientés exploitation et maintenance), pour l'ensemble de la France, et mobilise les**

¹⁶ *Aviation civile* (magazine de la DGAC, Ministère chargé des Transports), n°384, avril 2022.

¹⁷ Norvège, Royaume-Uni, Géorgie, Islande, Suisse, Saint-Marin, Serbie, Albanie, Monaco et Moldavie.

¹⁸ Associations regroupant les constructeurs et équipementiers (Airbus, Safran, Dassault, ATR, Thales, Boeing), les compagnies (AF-KLM, IAG, easyJet), les aéroports (ADP, Vinci Airports), les syndicats du secteur, et plusieurs dizaines d'entreprises individuelles du secteur aérien et du secteur énergétique (notamment les producteurs de carburant d'aviation durable : TotalEnergies, Shell, Suez, Neste).

¹⁹ OACI, Résolutions adoptées par l'Assemblée – 41e session, édition provisoire, octobre 2022.

²⁰ Site internet de la Commission européenne, [Un pacte vert pour l'Europe | Commission européenne](#).

données des aéroports franciliens mais également de la région Ile-de-France pour offrir des tendances chiffrées sur la filière. Quelques comparaisons internationales permettent de mettre en perspective les pratiques actuellement rencontrées en France. Ainsi, ce diagnostic met à plat les évolutions déjà constatées et celles à venir qui affecteront la structuration des métiers dans un horizon temporel de 5 à 10 ans. Ce travail a pour ambition de mettre en lumière les axes à explorer, et les leviers d'action pour ensuite construire une offre de formation en adéquation avec les besoins futurs. La possibilité sera ainsi donnée aux entreprises de recruter une main d'œuvre indispensable à l'exploitation de l'aéroport de demain, au regard des compétences attendues et des enjeux de notre société.

Le premier axe retenu dans cet Appel à Manifestation d'Intérêt concerne la filière « devenir leader de l'hydrogène vert ». Il s'agit d'observer les évolutions aéronautiques (avion à hydrogène), les infrastructures à déployer pour une exploitation optimale de cette ressource, mais également les compétences attendues en matière de maintenance.

Le second axe concerne la « digitalisation et la décarbonation des mobilités ». L'intérêt est d'étudier les compétences nécessaires à l'essor de nouveaux modes de déplacement, mais aussi à leur maintenance. Au-delà des mobilités, le rapport appréhende les conséquences potentielles des phénomènes de digitalisation et de décarbonation sur l'ensemble des familles de métiers de laéroportuaire-aéronautique.

L'approche méthodologique

Une démarche qualitative a été privilégiée dans cette étude pour répondre au mieux aux objectifs de diagnostic et de prospective. En effet, pour saisir les changements et cerner les besoins en compétences, il a été nécessaire de recueillir la parole des professionnels, mais également de procéder à de l'observation en situation. L'approche méthodologique s'est déclinée en plusieurs temps.

Le premier a consisté à recueillir les éléments relatifs à l'écosystème AA, dans une logique d'imprégnation. Cela a permis de procéder à une délimitation des périmètres professionnels (familles de métiers) de l'étude. Ces éléments ont été fournis par une littérature professionnelle dense, et une production scientifique riche.

Dans un second temps, une soixantaine d'entretiens et des visites terrain ont été menés auprès d'entreprises, grâce à l'appui de certains acteurs clés de l'écosystème et membres du consortium (Groupe ADP, Air France, UAF, AKTO, FNAM, AMA). Cet ensemble d'entreprises regroupait des constructeurs aéronautiques, des exploitants aéroportuaires, des contrôleurs aériens, des fournisseurs d'énergie, des fournisseurs de services aéroportuaires (enregistrement libre-service, assistance en escale), des constructeurs de solutions bagages, des bureaux d'études, un incubateur de start-up et des Groupes d'intérêt. Des acteurs de la formation et de l'orientation tels que des organismes de formation, des organismes d'orientation et d'accompagnement, des établissements d'enseignement supérieur et de recherche ont également été sollicités. Les acteurs interrogés étaient situés en Ile-de-France, en Occitanie, en Auvergne-Rhône Alpes, dans la région Grand-Est, mais également en Suisse, aux Etats-Unis et en Italie.

Le travail de veille et les informations recueillies auprès de quelques partenaires internationaux permettent d'apporter plus d'éléments à l'analyse. Il est nécessaire de préciser que l'estimation quantitative du volume d'emplois pour chaque métier a été déterminée à partir d'un croisement de données (issues principalement de sources franciliennes)²¹. C'est pour cette raison que la plupart des estimations sont à l'échelle de la région Ile-de-France. Les éléments qualitatifs recueillis lors des entretiens et dans les rapports d'étude consultés ont également permis d'évaluer les conséquences des évolutions technologiques sur l'évolution du volume d'emplois (économie d'échelle ou renforcement des besoins).

Enfin, la prise en compte de différents scénarios en matière d'évolution du trafic passagers (facteur impactant fortement le niveau d'emploi) se traduit de la manière suivante :

- Scénario bas : stabilisation du trafic aérien au même niveau que l'année 2022 (-20% par rapport au niveau de 2019)
- Scénario haut : hausse du trafic aérien, accompagnant la décarbonation (+20% du trafic de 2019 d'ici 2030)²²

Pour cette raison, nous présentons des tranches au niveau de l'estimation des emplois.

²¹ Sources : Oriane, ACOSS-URSSAF, Défi Métiers, Paris CDG Alliance, Orly International (*liste non exhaustive*).

²² Rapport de l'ADEME et I CARE, « 3 scénarios pour décarboner le transport aérien », septembre 2022.

Cadrage du diagnostic

Sur le plan sectoriel :

- Le présent diagnostic s'est intéressé à toutes les familles professionnelles que l'on retrouve en lien avec les aéroports (correspondant aux familles professionnelles « transport aérien », « services aéroportuaires », « tourisme » et « logistique » détaillées aux pages 5 et 6 du présent rapport).

Sur le plan géographique :

- L'analyse des évolutions du secteur aéroportuaire et aéronautique s'est principalement basée sur le témoignage d'acteurs travaillant sur les plateformes aéroportuaires franciliennes (Paris-CDG, Paris-Orly et Paris-Le Bourget). Toutefois, elle fut complétée par des retours d'acteurs travaillant au niveau national (et même international) et par des visites sur d'autres aéroports/sites (Genève au niveau des aéroports ; Reims au niveau du contrôle aérien).
- Comme pour l'analyse des évolutions du secteur aéroportuaire et aéronautique, une première analyse détaillée en lien avec les emplois attendus a été faite sur la région Ile-de-France (compte tenu du périmètre de référence de Paris CDG Alliance et des Universités Paris 8 et Gustave-Eiffel). Ces données ont d'ailleurs été présentées dans les différents tableaux de la partie 2 (pages 31 à 55).
- Une extrapolation des données a ensuite été réalisée à l'échelle nationale, à partir du poids des aéroports franciliens dans le poids total des emplois du secteur de l'aéroportuaire/aéronautique. Cette quantification est disponible dans le tableau consolidé de synthèse, (pages 56 à 59).

Partie 1 : L'écosystème face aux mutations énergétiques et numériques

La présente partie a vocation à mettre en avant les évolutions technologiques et énergétiques de l'écosystème aéroportuaire et aéronautique dans les 10 prochaines années. Ce premier travail d'analyse permettra de mieux comprendre l'évolution de cet écosystème et de bien identifier les familles professionnelles affectées par ces mutations.

La digitalisation de l'écosystème aéroportuaire et aéronautique : une adaptation déjà bien entamée

Le déploiement d'innovations technologiques dans les aéroports est à l'œuvre depuis plusieurs années. Plusieurs étapes ont été concernées par le développement de solutions digitales permettant une automatisation du parcours passager :

- L'enregistrement du passager pour le vol prévu peut dorénavant s'effectuer en ligne, jusqu'à 30 jours avant le départ. Il peut également avoir lieu sur une borne en libre-service à l'aéroport.
- L'enregistrement et le dépôt des bagages bénéficie également de solutions digitalisées grâce aux bornes en libre-service permettant au passager d'imprimer les étiquettes bagages. Ce processus a d'ailleurs déjà entraîné une mutation.
- Le passager peut aujourd'hui profiter d'un accès automatisé aux contrôles de sûreté (Point Inspection Filtrage-PIF). Le déploiement de machines X-ray, de plus en plus répandues dans les aéroports - mais qui ne répondent pas à une obligation normative de l'Union européenne - permettent un gain de temps ainsi qu'une plus grande fluidité du parcours tout en renforçant le contrôle. Cela évite au passager de retirer certains produits de ses bagages cabine comme c'était le cas jusqu'à présent, à l'instar des produits liquides.
- Dans le cas des vols extra-Schengen, le contrôle effectué aux points de passage aux frontières a été automatisé dans plusieurs aéroports français (Paris-CDG, Paris-Orly, Marseille-Provence, Lyon Saint-Exupéry, Nice Côte d'Azur, Bâle-Mulhouse et Bordeaux-Mérignac). avec le déploiement du système PARAFE (passage automatisé rapide des frontières extérieures).
- Enfin, les portes d'embarquement peuvent, elles aussi, être automatisées. Le passager scanne son billet (imprimé ou dématérialisé via son smartphone) et accède à la zone réservée afin de rejoindre son vol.
- Les solutions digitales de libre-service déployées dans les aéroports répondent à un objectif d'optimisation de l'expérience passager. Elles sont envisagées comme des moyens de réduire les temps d'attente aux différentes étapes du parcours du passager.

« Le passager va pouvoir s'enregistrer de manière autonome, déposer son bagage sans nécessiter l'intervention poussée d'un agent d'enregistrement. Il va pouvoir dans un avenir moyen, passer des filtres de sécurité tout en étant reconnu, il va arriver à la porte d'embarquement, et au moyen de la reconnaissance, il n'aura plus à sortir son passeport, sa carte d'embarquement, il sera reconnu, et il ira directement dans l'avion. C'est au travers de ces technologies de capteurs que l'on va mieux comprendre ces problématiques de flux à l'intérieur de nos terminaux, pour optimiser le parcours passager, éliminer autant que possible les processus de congestion ; mieux optimiser

par la connaissance de flux nos infrastructures existantes. Des capteurs qui sont installés arrivent à nous montrer le niveau de congestion de nos infrastructures et nous rendent plus habiles sur la réorganisation des flux. »²³

Ces solutions impactent actuellement certains métiers en lien avec la relation au passager dans les aéroports (agent de sûreté aéroportuaire, agent d'accueil, agent d'escorte), qui voient leurs missions évoluer. Or, de nouvelles innovations technologiques vont se développer dans les prochaines années, ce qui impactera de nouveaux corps de métiers.

Tout d'abord, les **métiers de la sûreté aéroportuaire** vont continuer à évoluer avec le développement d'une surveillance à distance, *via* une salle de contrôle extérieure, et non uniquement aux contrôles des PIF (Postes Inspection Filtrage). Cette décentralisation permettra d'avoir un regard extérieur et d'identifier toute situation anormale avec plus de recul.²⁴

En outre, de nouveaux outils vont être mis en place de manière à améliorer la fluidité des flux, la sécurité des passagers et le **fonctionnement des infrastructures aéroportuaires** avec :

- La mise en place de système de reconnaissance faciale, aussi bien lors de l'enregistrement des passagers que lors des contrôles aux frontières.
 - « *La nouvelle génération du parcours passager, ce sont des portiques, où vous êtes préenregistrés, on vous connaît de manière digitale par de la reconnaissance faciale, de la reconnaissance d'empreintes digitales. »²⁵*
 - « *Après vous devez arriver à la police, et vous n'avez pas ce gentil policier qui vous tamponne votre passeport, mais un automate qui vous reconnaît et vous laisse ou pas passer. »²⁶*
- La mise en place d'une meilleure traçabilité des passagers, dans l'optique de mieux gérer les flux et d'optimiser l'espace en réunissant les passagers plus facilement dans une même zone.
- Le développement d'applications permettant d'avoir des informations en temps réel sur l'utilisation d'une machine (cadence, capacité, risque de dysfonctionnement), d'un espace ou d'un équipement.
 - « *Vous avez un trieur bagages qui est suroccupé, sursollicité, il va envoyer des alarmes en indiquant qu'il aura du mal à tenir la charge bien longtemps et risque de générer une congestion. »²⁷*
 - « *Avant on se déplaçait sur le terrain et on demandait à 3 - 4 ou 5 personnes compétentes de faire un diagnostic des réseaux enterrés, des canalisations, des choses comme ça. Maintenant, vous pouvez le savoir beaucoup plus rapidement, tout seul, en faisant appel au système d'information géographique. »²⁸*
 - « *Je vais vous donner un autre exemple : nous utilisons un nouveau logiciel d'aide à la maintenance. L'usage de ce type d'outils va optimiser la façon de travailler de nos équipes de maintenance. »²⁹*
 - « *On travaille éventuellement sur de l'instrumentation de pistes – l'aéroport de Toulouse a travaillé là-dessus – pour voir comment les couches de matériaux travaillent en dessous de la piste, se déforment, et essayer de voir si à un moment donné on arrive à un point de rupture et on sait qu'il faut changer. Et ça rejoint un peu le prédictif sur la maintenance au sens large. »³⁰*

²³ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, Direction générale des opérations.

²⁴ La décentralisation de certains postes d'inspection est déjà à l'œuvre, notamment à l'aéroport de Genève, selon les propos recueillis auprès du responsable de la sûreté.

²⁵ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, Directeur Général et chef des opérations.

²⁶ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, Directeur Général et Chef des opérations.

²⁷ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, Direction des systèmes d'information.

²⁸ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, Direction des systèmes d'information.

²⁹ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, chargé.e de développement.

³⁰ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, Direction des aires aéronautiques.

« On est en train d'installer des radars qui vont scanner la piste en temps réel, en permanence. Pas toute la piste, on va commencer par un petit bout. On a un bout qui est sensible, et on va scanner la piste pour voir s'il n'y a pas de débris sur la piste. »³¹

- Le développement de logiciels (intelligence artificielle) permettant d'optimiser le temps de roulage des avions depuis le poste avion jusqu'à la piste de décollage.
 - « Nous allons mettre en place des systèmes qui permettent à l'avion d'optimiser son cheminement pour arriver à son point de stationnement. »³²
 - « Comment utiliser l'Intelligence artificielle pour optimiser les opérations, mieux planifier et mieux comprendre ce qui va se passer, prendre de meilleures décisions et améliorer la ponctualité ? »³³
- La coordination des systèmes d'information des exploitants aéroportuaires au vu de la complexification dans la collecte des données.

Toutes ces évolutions auront pour conséquence de faire évoluer les processus dans certains métiers (agent d'escale, police aux frontières, agent de piste), de faire évoluer les compétences de certains **métiers de la maintenance et de l'entretien des équipements** (notamment BTP) et de développer de nouveaux besoins dans les **métiers de l'ingénierie informatique et de la donnée**.

La digitalisation va également avoir un rôle dans le secteur de l'aérien. Une digitalisation globale du **contrôle aérien** en route est d'ailleurs à l'œuvre en France. Initiée avec les projets 3E sur les centres de Brest et Bordeaux puis 4-Flight, décliné aujourd'hui à Reims depuis le 14 juin 2022 et en cours d'implantation à Aix-en-Provence (décembre 2022-janvier 2023). La modernisation du contrôle aérien français s'est fortement accélérée après le confinement. De ce fait, l'ambition européenne d'un Ciel Unique *via* le programme SESAR (*Single European Sky ATM Research*) semble se concrétiser peu à peu. Si la digitalisation du contrôle aérien français s'explique par la modernisation d'installations considérées comme vétustes³⁴ en remplacement de *strips* papier, en vue de réaliser des gains de productivité tout en maintenant un haut niveau de sécurité, il est à noter que des objectifs environnementaux pourraient être davantage associés à la démarche d'après les éléments de cadrage de 4-Flight de l'Etat et de la DGAC³⁵. D'ailleurs, les centres de navigation en route sont en réflexion sur le sujet, notamment au niveau de l'intégration d'axes environnementaux dans le travail quotidien des équipes de contrôle aérien *via* la refonte et/ou la création de dispositifs de formation pour réfléchir aux pratiques collectives. En effet, si la trajectoire de plusieurs vols était harmonisée au cours de l'activité de contrôle plutôt qu'une seule *via* une trajectoire directe, isolée dans le plan de vol général, alors, des gains de temps et de kérosène substantiels pourraient survenir de manière plus systémique. Cependant, si les contrôleurs aériens peuvent en partie participer à l'optimisation des vols par une meilleure synchronisation tout en respectant les normes de sécurité, il n'en demeure pas moins qu'ils n'ont pas beaucoup d'impact sur la formation de traînées de condensation, un des accélérateurs du forçage radiatif et donc du réchauffement climatique.

En outre, les métiers de l'aérien et notamment de **Flight Dispatcher ou agent d'opérations aériennes** au sein de compagnies aériennes acquièrent leurs lettres de noblesse et font désormais partie des débouchés professionnels de l'Ecole Nationale d'Aviation Civile (ENAC). Outre des évolutions réglementaires constantes et l'adoption de progiciels pour gérer la complexité au sol, l'élargissement des responsabilités de l'agent d'opérations aériennes sur le plan du déroulement du vol, conduisent à renforcer le degré de qualification de cet opérationnel pour être un interlocuteur crédible auprès des équipes de conduite (pilotes). De ce fait, le renforcement de la digitalisation du contrôle aérien et, par voie de conséquence du suivi des vols, induit un renforcement des compétences des **pilotes**, mais aussi de cette catégorie de personnel (Bac +2) au niveau de la maîtrise des outils informatiques.

Le secteur de la **maintenance aéronautique** est, lui aussi, touché par les évolutions digitales et technologiques. L'utilisation des robots-cobots se développe notamment pour assurer le ponçage et la peinture des aéronefs. Ils permettent de réaliser les tâches les plus chronophages ou les plus éprouvantes physiquement. D'un point de

³¹ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, Direction des aires aéronautiques.

³² Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, chargé.e de développement.

³³ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, Direction des aires aéronautiques.

³⁴ [Rapport d'information n° 568 \(2017-2018\) de M. Vincent Capo-Canellas, fait au nom de la commission des finances sur la modernisation des services de la navigation aérienne, déposé le 13 juin 2018.](#)

³⁵ « 4-FLIGHT, le futur système de contrôle aérien des centres en-route de la navigation aérienne (CRNA) », [Site internet du Ministère de la Transition écologique.](#)

vue opérationnel, ces robots-cobots peuvent être programmés facilement (par les peintres aéronautiques et les carrossiers), à l'issue d'une formation de deux heures. Le métier de mécanicien avion va également être impacté par la digitalisation du fait des changements considérables liés aux nouveaux types d'aéronefs. L'omniprésence de l'informatique embarqué, et la configuration très réglementée de l'environnement de travail du mécanicien avion lui imposent désormais un usage prépondérant des outils digitaux (tablette). Cela permet d'améliorer les process, de centraliser les informations et de les mettre à jour.

« Avant c'était beaucoup de paperasse, mais aujourd'hui avec des clics on a accès à tout. Ce sont des outils de support à la maintenance qui nous font gagner du temps. Mais après le mécanicien va prendre son outil, la pièce, et il va remplacer manuellement sa pièce. C'est un gain d'information également, quand il remplit sa gamme de travail, le bureau technique est immédiatement alimenté et il voit ce qu'a réalisé le mécanicien sur l'avion en temps réel. Et ça fait moins de 10 ans, ce sont de nouvelles pratiques qu'il a fallu apprendre en production. Chaque entreprise a ses propres pratiques. »³⁶

Aussi, il convient de souligner que de nouveaux besoins émergent avec la maintenance de ces nouveaux équipements.

Enfin, la digitalisation touche également les **entrepôts** permettant de stocker le **fret** transitant par les hubs aéroportuaires. Cette dynamique existe depuis plusieurs années mais est encore loin d'être généralisée. Aussi, d'après une enquête de l'AFT datant de 2015, près de 4 établissements de plus de 100 salariés sur 5, n'étaient ni robotisés, ni automatisés. Et lorsqu'ils l'étaient, c'était principalement pour installer des convoyeurs automatiques dans le déplacement des charges ou, dans une moindre mesure, pour avoir des *transstockers* afin de ranger les marchandises en hauteur³⁷.

Au vu des entretiens menés au cours de l'étude, la principale évolution technologique attendue sur cette filière réside dans le développement des drones. En effet, ces derniers sont en cours de développement et seront utilisés dans un premier temps très majoritairement dans le cadre de transports de biens/marchandises.

« Les drones, c'est essentiellement le transport de biens. Ce qui se met en place, et qui est en place, c'est les services que l'on peut rendre avec un drone, mais c'est du petit drone pour le moment. »³⁸

Cette dynamique ne sera pas sans conséquence sur les métiers et les compétences, puisque de nouveaux besoins vont émerger afin de **piloter, exploiter et maintenir ces drones**.

« Il sera demandé aux opérateurs d'avoir des connaissances plus poussées en maintenance ou pilotage de ces robots. »

D'autres évolutions vont également toucher la filière **transport-logistique**, en lien avec le développement du e-commerce (développement des livraisons courtes distances) mais également avec la prise en compte des impératifs en matière de transition écologique (qui rentre davantage dans le champ de la décarbonation). Elles auront ainsi une influence sur les **métiers de la manutention, de la conduite et de l'informatique**³⁹.

Enfin, il convient de souligner que l'utilisation des outils digitaux est très hétérogène d'une entreprise à une autre dans la **filière cargo**. Si le recours à des logiciels et des outils digitaux permettant de collecter et de centraliser de l'information est bien répandu dans les plus grosses structures, c'est moins le cas dans les structures de plus petite envergure.

« Au sein même d'un aéroport, la généralisation de la digitalisation n'est pas la même. Plus le groupe est grand, plus il s'adapte rapidement. »⁴⁰

Un travail reste donc à mener pour accompagner ces plus petites structures de l'écosystème cargo dans l'acculturation et la maîtrise des nouveaux outils digitaux.

³⁶ Entretien avec un.e responsable de l'AFMAé.

³⁷ Défis Métiers, Agnès GOUBIN et Béatrice PARDINI, « Les professionnels franciliens de transport et de logistique. Des emplois dynamiques et accessibles aux peu qualifiés, mais des conditions de travail difficiles », juin 2018.

³⁸ Entretien avec un.e responsable du Mastère Spécialisé *Unmanned Aircraft Systems Services and Management*, ENAC.

³⁹ Défi Métiers, « Les mutations du transport et de la logistique de marchandises : quels impacts sur les emplois franciliens de demain ? », mars 2017.

⁴⁰ Entretien avec une entreprise de la filière cargo, manager.

La filière AA décarbonée : dans un futur proche

Dans l'optique de la lutte contre le changement climatique, l'ensemble de la filière AA cherche des leviers d'action pour optimiser l'empreinte carbone de l'activité aéroportuaire et aéronautique sur le climat. D'autant qu'en parallèle, l'impact du changement climatique sur l'activité aéroportuaire et aéronautique en font un système d'infrastructure qui doit également développer des mécanismes de résilience (dégradation des conditions météorologiques qui nuisent au vol, survenue d'événements climatiques entraînant des risques de submersion des infrastructures, etc.).

De ce fait, la Coalition pour des infrastructures résilientes aux catastrophes (CDRI) qui est un partenariat entre les gouvernements nationaux, les agences et programmes des Nations Unies, les banques multilatérales de développement et les mécanismes de financement, le secteur privé et les institutions du savoir qui vise à promouvoir la résilience des systèmes d'infrastructure aux risques climatiques et de catastrophe à l'appui du développement durable, identifie ce secteur comme stratégique car « les aéroports sont les portes d'entrée vers les villes et les pays du monde. Ils sont l'épine dorsale de la circulation des personnes et des biens à travers le monde. Autrefois cantonnés à la périphérie d'une ville, les aéroports sont devenus des pôles d'attraction. [Enfin, en] cas de catastrophe, les grands aéroports et les aéroports régionaux deviennent un lien crucial pour les opérations humanitaires, donnant accès aux équipes de recherche et de sauvetage, aux équipes d'intervention médicale et aux fournitures de secours »⁴¹.

D'un point de vue scientifique, de nombreux leviers de décarbonation dans l'aéroportuaire et l'aéronautique existent. Et certains d'entre eux auront un impact important sur les emplois et compétences de demain, notamment :

1. L'augmentation de l'efficacité énergétique des avions,
2. La baisse de l'intensité carbone et autres gaz à effet de serre (GES) des vols,
3. Le développement de l'aéroport zéro carbone et de la multimodalité,
4. L'augmentation du remplissage des avions,
5. La capacité d'adaptation du trafic aérien

Les solutions aujourd'hui envisagées pour décarboner l'industrie affectant les métiers peuvent recouvrir un ou plusieurs de ces axes.

Dans ce contexte, l'Ecole Nationale d'Aviation Civile (ENAC) a lancé sa première Rentrée Climat à destination de l'ensemble de ses publics de formation en octobre 2022 :

- Ingénieurs ENAC pour la conception, la réalisation et l'exploitation de systèmes ou de services dans le domaine de l'aéronautique,
- Ingénieurs fonctionnaires ENAC dédiés aux études et à l'exploitation de l'aviation civile, amenés à devenir cadre au sein de la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC),
- Ingénieurs du contrôle de la navigation aérienne,
- Ingénieurs amenés à gérer les systèmes de la sécurité aérienne pour permettre aux contrôleurs aériens et pilotes d'assurer un écoulement sûr et optimisé du trafic aérien,
- Ingénieurs dédiés à la gestion de la sécurité et de l'exploitation aéronautique : chef d'équipe piste, concepteur de procédures d'approche, contrôleur d'aérodrome, auditeur qualité d'une compagnie aérienne, etc.,
- Pilotes de ligne,
- Agent d'opérations aériennes qui sont chargés, au sein d'une compagnie aérienne, de la préparation et du suivi des vols d'un point de vue opérationnel.

Parmi les éléments de sensibilisation et de formation aux enjeux de la transition écologique et du développement durable, l'école a, entre autres, synthétisé *6 leviers d'action*⁴² à court et moyen terme *sur l'activité d'un vol* en

⁴¹ [Site internet de la Coalition pour des infrastructures résilientes aux catastrophes](#)

⁴² L'ENAC avait également des conférences relatives au design des aéronefs, à l'énergie et aux SAF, à la mobilité et à la législation des compensations carbone, etc. Les points mis en avant ici ne constituent pas une liste exhaustive des sujets abordés au cours de cette rentrée climat. En revanche, leurs chiffrages respectifs sont

lien avec les missions des publics cités ci-dessus :

- L'énergie des aéroports,
- Le roulage des avions,
- Les ailes repliables,
- La vitesse de vol,
- Les traînées de condensation,
- Les opérations en descente continue.

Chacun de ces points relevés par l'ENAC fait donc ici l'objet d'un développement.

Par ailleurs, d'autres leviers sont également abordés dans ce rapport, à savoir :

- L'électrification de la flotte d'aéronefs,
- Les carburants d'aviation durable,
- Les actions de décarbonation des activités de la piste,
- Une meilleure planification :
 - Transport de passagers,
 - Évolution du contrôle aérien
 - Logistique et fret aérien - amélioration du *Supply Chain Management* à tous les niveaux,
- Développement et adaptation de la multimodalité air/sol,
- Le renouvellement des flottes d'aéronefs à long terme,
- Le programme de modernisation de la navigation aérienne - 4-Flight

Enfin, la question de l'hydrogène fait l'objet d'une partie dédiée.

⇒ Les leviers de décarbonation identifiés par l'ENAC

● L'énergie des aéroports

À court et moyen terme, la transition énergétique des aéroports passe par une évolution de cette infrastructure. L'aéroport est une mini-ville interconnectée avec son territoire, consommatrice d'énergies du fait de son activité aérienne, mais aussi de hub (transport de passagers, de salariés, maillon des chaînes logistiques, activités de service autour de la plateforme aéroportuaire, etc.) :

- Nœud intermodal : déplacement, services, etc.,
- Bâtiments et installations,
- Activités aéroportuaires au sol côté aérogare et côté ville (logistique bagage, véhicules de force pour tracteur les avions, taxis et navettes, parkings, etc.),
- Avitaillement des avions en kérosène, etc.

De ce fait, des axes de décarbonation déjà développés dans les secteurs de la construction et de la maintenance des infrastructures aéroportuaires vont se poursuivre et s'intensifier. Cela va se traduire par le recours à la LED pour l'éclairage, à la rénovation thermique, au développement de la géothermie, des panneaux solaires et de la biomasse, à une amélioration dans la gestion des déchets ou encore par l'utilisation de nouveaux matériaux dans la construction.

« L'enjeu va être de construire des bâtiments qui ne consomment pas, avec des matériaux bas-carbone qui n'ont rien consommé en termes de production. »⁴³

« Une mise aux normes est attendue avec la prise en compte des critères CER. »⁴⁴

Outre les infrastructures aéroportuaires, la décarbonation affectera également les équipements et les véhicules que l'on retrouve au sein des plateformes aéroportuaires : taxis, bus, véhicules de police, de sécurité et sûreté aéroportuaire, camions de pompiers, *loaders* (machines utilisées pour charger/décharger les conteneurs),

combinables, ce qui a la vertu d'offrir des tendances chiffrées pouvant aider à la décision.

⁴³ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, Direction du Développement durable et des Affaires publiques.

⁴⁴ Entretien avec un exploitation aéroportuaire, chef de projet développement.

camions d'avitaillement, dégivreuses, tracteurs de remorquage, *pushback* (pour pousser les avions depuis le parking vers les voies de circulation en marche), etc. Nous reviendrons sur ces questions dans la partie dédiée aux activités de la piste.

« Au niveau de l'aéroportuaire, les leviers relatifs à la baisse de l'empreinte carbone sont les suivants : géothermie, biomasse, panneaux solaires, optimisation du temps de roulage des avions, décarbonation des accès et baisse de l'utilisation du kérosène et de l'essence dans les véhicules/équipements. »⁴⁵

Parallèlement, l'électrification des activités aéroportuaires et la diversification du mix énergétique sont également de forts leviers de décarbonation de cette partie du secteur AA. À ce titre, puisque l'aéroport dispose de surfaces industrielles importantes, exploiter le site aéroportuaire pour la production d'énergie décarbonée serait possible, à condition de mobiliser les technologies *Smart Grid* pour en optimiser l'usage, de rester vigilant quant à la prise au sol de ces nouvelles sources d'énergie, voire d'investir dans les solutions de stockage et de distribution (hub énergétique). Outre l'électrification, une production locale d'hydrogène et de carburants d'aviation durable (SAF) *via* la biomasse grâce à la proximité de terres agricoles pourrait aussi être envisagée (circuit court).

● Le roulage des avions

En parallèle à la transition énergétique des aéroports, le roulage des avions est aussi un levier de décarbonation intéressant. Paris CDG possède 4 pistes de 2 700 à 4 200 mètres, plus de 10 kilomètres de voies avion, 300 postes avions et a pu effectuer jusqu'à 1 200 mouvements par jour en 2019 avec, en moyenne, 5 minutes de roulage à l'arrivée et 11 minutes au départ par avion.

- Plusieurs actions concernant le roulage des avions sont identifiées :
- L'optimisation des cheminements au sol : adapter les infrastructures aux types d'avion, éviter d'allonger les distances, etc.,
- Le renforcement de la coopération entre les contrôleurs aériens, les opérateurs de l'avion, la manutention en escale, les opérations aéroportuaires et les opérations réseau dans la gestion des escales (démarche *Airport Collaborative Decision Making*),
- L'optimisation de la mise en route des moteurs : attendre au poste avion moteurs éteints grâce à un meilleur calcul des temps de décollage (*Target Start Up Approval Time - TSAT*) pour réduire le temps de roulage de 2 minutes, soit 6500 tonnes de kérosène économisées annuellement (2.300 tonnes de CO₂ et 5400 tonnes de dioxyde de soufre (SO₂) et une meilleure utilisation des capacités de l'ensemble de l'espace aérien,
- Éteindre les moteurs au roulage et autres systèmes innovants : déplacement des avions par des véhicules de force optimisés pour le roulage, utilisation d'un seul moteur pour faire avancer l'avion, en prenant en compte les temps de préchauffage et de refroidissement des moteurs, développement de systèmes de roulage plus adaptés sur l'avion, etc. L'utilisation d'un seul moteur lors du temps de roulage au sol des aéronefs (*Single Engine Taxi* ou *One Engine Out*), après l'atterrissage ou avant le décollage permettrait une réduction d'environ 30% de carburant dédié au roulage et équivaldrait à une baisse d'environ 30% également d'émissions de CO₂.

« Par le passé, un avion était guidé jusqu'à son point de stationnement au travers d'un ensemble de processus qui étaient très efficaces. La problématique est la suivante : lorsque les ressources ne sont pas allouées, ou lorsque l'on a un pic de trafic, on peut avoir des difficultés à mobiliser toutes les ressources pour assurer le parking, le guidage, l'optimisation des mouvements des avions pour faire en sorte que les compagnies réduisent également leur impact environnemental, mais surtout de garantir un point qui est très important dans un aéroport, la ponctualité. Ce facteur est à prendre en considération puisque, s'il n'y a pas de ponctualité, il se produit un effet boule de neige. Le manque de ponctualité va se répercuter sur tous les autres aéroports concernés, et augmenter la consommation de carburant, une augmentation globale des coûts et une insatisfaction du client. »⁴⁶

Il est à noter que la transition énergétique des aéroports et l'optimisation du roulage des avions sont identifiés parmi les leviers de décarbonation de la filière AA les plus efficaces et les plus rapidement opérationnalisables (gain de respectivement 3 à 5% et de 1 à 3% d'émissions équivalent CO₂). Ainsi, accélérer la décarbonation des

⁴⁵ Congrès UAF et FA, « Attractivités aéroportuaires », 24 et 25 novembre 2022.

⁴⁶ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, Direction des aires aéronautiques.

aéroports à court terme est porteur de sens dans le cadre d'une stratégie nationale de sobriété énergétique et d'économie de l'innovation.

- **Les ailes repliables**

Au niveau de l'aéronautique, si des projets ambitieux sur l'approvisionnement énergétique des avions sont en cours à moyen et long terme, d'autres projets au niveau de la conception des avions méritent également d'être mentionnés, à commencer par les ailes repliables. Inscrites dans une démarche de biomimétisme en référence à l'albatros, les ailes repliables ont pour but d'augmenter l'envergure des avions tout en s'adaptant au dimensionnement des aéroports actuels. À trafic donné, la baisse d'émission potentielle liée à cette innovation serait de 5 à 10%, sous condition de résoudre les problèmes de performance et de sécurité posés par ce design, de créer des procédures adéquates, en lien avec les parties prenantes aéroportuaires et aéronautiques, etc. Cependant, à ce stade de développement, la possibilité de substitution d'ailes repliables sur un appareil déjà existant, ce qui aurait pour mérite de renouveler plus rapidement la flotte, n'est pas encore envisageable.

- **Le management de la vitesse de vol**

Concernant les compagnies aériennes, les leviers semblent, à première vue, porter sur le management de la vitesse de vol, dans l'optique de se rapprocher de la trajectoire optimale entre l'aéroport de départ et celui d'arrivée, en faisant des compromis entre coût du temps et coût du fuel. Il est cependant à noter que la trajectoire et le management de la vitesse de vol ne dépendent pas entièrement du pilote et de son équipe, mais du plan de vol général, des comportements des autres pilotes et des choix opérés par le contrôle aérien en situation : certains survols ne sont pas toujours possibles, notamment au-dessus de zones militaires, des vols peuvent apparaître sur des zones de contrôle de manière imprévue suite à des changements météorologiques, etc. Ainsi, le potentiel de décarbonation de la filière *via* la gestion de la vitesse de vol se situerait aux alentours de 2 à 3%.

- **Éviter les traînées de condensation**

Les conséquences du trafic aérien sur le réchauffement climatique sont de deux ordres : l'émission de carbone et d'autres gaz à effet de serre (NO_x, SO₂, etc.) qui accentuent le forçage radiatif. À cet égard, les traînées de condensation qui se forment sont des éjections d'air chaud et riche en vapeur d'eau, comportant des aérosols (particules fines). Ces « contrails » comportent des effets antagonistes, en fonction du cycle diurne et saisonnier :

- Effet parasol : réflexion du rayonnement solaire et refroidissement,
- Effet de serre : piège le rayonnement terrestre et réchauffement.

Si quelques actions stratégiques peuvent être décidées au niveau du contrôle aérien telles que limiter les vols de nuit ou en hiver en Europe, ces méta-règles ne sont pas valables de manière systématique dans l'ensemble des zones de vol de la planète ou gérables sur certains vols long-courriers. De manière plus certaine, utiliser des énergies émettant moins de particules ou construire des avions désignés pour ne pas voler aux mêmes niveaux sont des pistes plutôt robustes pour limiter ce phénomène.

- **Les approches en descente continue**

Enfin, les approches en descente continue (CDO) *via* la gestion du trafic aérien pourraient à la fois générer des gains de productivité, environnementaux et en matière de qualité de vie des riverains des aéroports. La descente continue est une technique d'exploitation des aéronefs dans laquelle un avion calcule son point de descente optimal et descend avec une puissance minimale en configuration lisse et évite les phases de vol en palier. Si les gains sont de l'ordre de 35 kg de CO₂ par vol, le pourcentage de réalisation de CDO est aussi un indicateur de qualité de service des services de contrôle aérien.

Outre ces pistes de l'ENAC pour décarboner un vol avec chiffrage associé, d'autres leviers sont également à aborder. Ces mesures sont parfois encore à l'étude, ou difficilement chiffrables du fait de scénarios de production multiples et à fortes hypothèses.

- **L'électrification des aéronefs** : une solution qui s'applique uniquement aux petits aéronefs

L'électrification est une solution envisageable pour les petits avions régionaux seulement dans la mesure où « le développement de grands avions tout électriques est limité par la densité énergétique massique des batteries électriques »⁴⁷.

Total Énergies, le Groupe ADP et la Fédération Française de l'Aviation se sont engagés à installer des bornes de recharge électrique sur l'ensemble des aérodromes franciliens. Cette décision confirme la volonté de décarboner l'aviation légère dans un premier temps, entreprise. L'avion Velis Electro, du constructeur Pipistrel, est actuellement le seul avion à propulsion électrique du monde à être certifié par l'AESA (Agence européenne de la sécurité aérienne). Il dispose d'une autonomie comprise entre 40 et 55 minutes. L'utilisation de cette flotte doit avant tout permettre de former les pilotes ou de réaliser des missions de surveillance sur le territoire.

- **L'utilisation de carburants d'aviation durables (CAD)**

Le développement des carburants d'aviation durable (CAD) ou *Sustainable aviation fuels* (SAF) constitue une voie potentielle de la décarbonation du transport aérien. Ils constituent le grand espoir de l'aviation en permettant à terme une réduction des émissions de CO₂ estimée à 65% selon le scénario « *Net Zero Emission by 2050* » élaboré par l'IATA.

Les carburants d'aviation durable peuvent être décomposés en deux grandes familles :

- Les biocarburants qui désignent des carburants de synthèse produits à partir de biomasse (cultures bioénergétiques dédiées, résidus agricoles et forestiers, huiles de cuisson usagées) qui peuvent être répartis en trois générations⁴⁸
 - Les biocarburants de 1^{ère} génération sont produits à partir de la valorisation de cultures végétales spécifiques. Cette catégorie pose un certain nombre de problèmes relatifs au changement d'utilisation des sols que leur production implique et encourage une certaine concurrence avec les cultures alimentaires.
 - Les biocarburants de 2^e génération sont issus de cultures énergétiques dédiées, mais également du recyclage d'huiles usagées, de graisses traitées ainsi que de la valorisation des déchets et résidus agricoles et forestiers.
 - Les biocarburants de 3^e génération sont produits à partir d'algues et de levures.
- Les électro-carburants (e-fuels ou encore *Power-to-Liquid*) qui constituent des carburants de synthèse produits à partir d'hydrogène obtenu par électrolyse de l'eau et de CO₂ provenant de l'atmosphère ou de sources industrielles.

Seuls les biocarburants de 2^e et de 3^e génération ainsi que les électro-carburants peuvent effectivement être considérés comme des carburants d'aviation durables. Les biocarburants et les électro-carburants constituent des carburants dits « drop-in » qui peuvent être incorporés dans les réservoirs des aéronefs actuels pour être mélangés au kérosène jusqu'à un seuil maximum actuellement réglementé à 50%.

Les biocarburants représentent actuellement la solution de décarbonation du transport aérien la plus mature du point de vue technologique⁴⁹. La production de biocarburants peut emprunter différentes voies mais la seule qui bénéficie d'un développement à l'échelle industrielle est la voie HEFA permettant de produire des biocarburants à partir d'huiles végétales. Bien que leur combustion émette autant de CO₂ que celle du kérosène, l'intérêt des biocarburants d'un point de vue environnemental s'explique par le fait que le CO₂ émis provient de l'atmosphère où il a été capté pendant la croissance de la biomasse, et non pas de réserves fossiles.

Si l'utilisation des CAD est l'une des solutions privilégiées par les différents acteurs de l'écosystème AA pour atteindre l'objectif de neutralité carbone d'ici 2050, un certain nombre de limites restent cependant à souligner, qu'il nous convient de rappeler⁵⁰.

⁴⁷ Référentiel ISAE-SUPAERO, Aviation et climat, synthèse, septembre 2021, p. 10.

⁴⁸ Rapport de l'ADEME et I CARE, Elaboration de scénarios de transition écologique du secteur aérien, septembre 2022.

⁴⁹ Référentiel ISAE-SUPAERO, Aviation et climat, synthèse, septembre 2021.

⁵⁰ Ces limites ont été identifiées dans le récent rapport de l'ADEME et I CARE, *Elaboration de scénarios de transition écologique du secteur aérien*, septembre 2022.

→ Des ressources très limitées

La très faible disponibilité des ressources nécessaires pour la production des CAD constitue une première contrainte majeure et un problème de taille, d'autant plus si elles entrent en concurrence avec l'approvisionnement alimentaire des populations. Si le secteur du transport aérien a pour ambition de privilégier des carburants qui se veulent effectivement durables, il s'agit donc de favoriser en particulier les biocarburants de deuxième génération *via* des productions issues de l'écologie industrielle, impropres à la consommation humaine d'un point de vue réglementaire, car produit sur des terres industrielles susceptibles d'être exposées à des rejets, afin d'alimenter tel ou tel aéroport local.

La rareté des ressources pose d'autant plus problème que l'aérien n'est pas le seul secteur qui se positionne en faveur des biocarburants et dont la demande va croître. Cela risque d'entraîner des conflits d'usage avec d'autres secteurs (dans le domaine des transports et en dehors). La production de carburants d'aviation durables nécessite un développement important de la biomasse et des politiques adaptées pour optimiser les usages de la biomasse et allouer sa part à l'aviation⁵¹.

« Il y a une forte demande d'autres secteurs. Il n'y a pas que le transport aérien. Et donc [ça demande d'] être capable d'avoir la matière première en quantité suffisante, de la produire, de la transformer, le plus localement possible aussi pour éviter aussi des émissions pendant la distribution. »⁵²

→ Une filière de production qui reste à structurer

Malgré la volonté du secteur d'alimenter les avions avec des carburants d'aviation durables, il n'y a pas aujourd'hui en France de filière de production structurée, de l'étape de la collecte de la biomasse jusqu'à la production finale :

« Dans les types de biomasse qu'on peut utiliser pour faire des SAF, il y a plusieurs voies possibles pour faire des carburants d'aviation durables. La première voie, ça s'appelle HVO, on utilise des huiles usagées. [...] Il y a beaucoup de réflexions parce qu'il n'y a pas aujourd'hui en France de collecte qui est vraiment organisée. La collecte des huiles usagées, par exemple, c'est quelque chose qui n'existe pas en France parce qu'il y a beaucoup, beaucoup de petits producteurs, et donc il manque clairement le besoin de structurer et de fédérer une filière de collecte d'huiles usagées. »⁵³

Enfin, si l'ambition qui sous-tend l'utilisation de carburants d'aviation durables est la décarbonation, les méthodes de production doivent également être bas-carbone. Ainsi, la production d'électro carburants (ou e-fuels) nécessite un développement important de l'électricité décarbonée.

→ Une alternative énergétique coûteuse

Enfin, les coûts des carburants d'aviation durables constituent aujourd'hui un sérieux frein à leur utilisation par les compagnies aériennes, comme l'ont relevé différents acteurs :

« Les biocarburants reviennent à 3 à 5 fois plus cher que le carburant conventionnel. »⁵⁴

« Pourquoi les compagnies aériennes ne les utilisent pas plus ? Il y a un enjeu de production. Les compagnies aériennes ne peuvent pas acheter parce que les pétroliers ne produisent pas et si on pouvait en acheter, ça coûterait très cher, ça coûte entre trois et dix fois plus cher. [Or] le kérosène, c'est 30% des coûts d'une compagnie aérienne. »⁵⁵

● Les activités de la piste

La décarbonation de l'écosystème AA se décline du côté de l'*airside* (aires aéronautiques), qui désigne la partie

⁵¹ Présentation de Philippe Novelli (ONERA), Les rendez-vous de l'innovation, ISAE-SUPAERO / ENAC, 22 septembre 2022.

⁵² Entretien avec un.e enseignant.e chercheur.e, ENAC.

⁵³ Entretien avec l'Observatoire de l'Aviation durable, DGAC.

⁵⁴ Entretien avec un.e enseignant.e chercheur.e, ENAC.

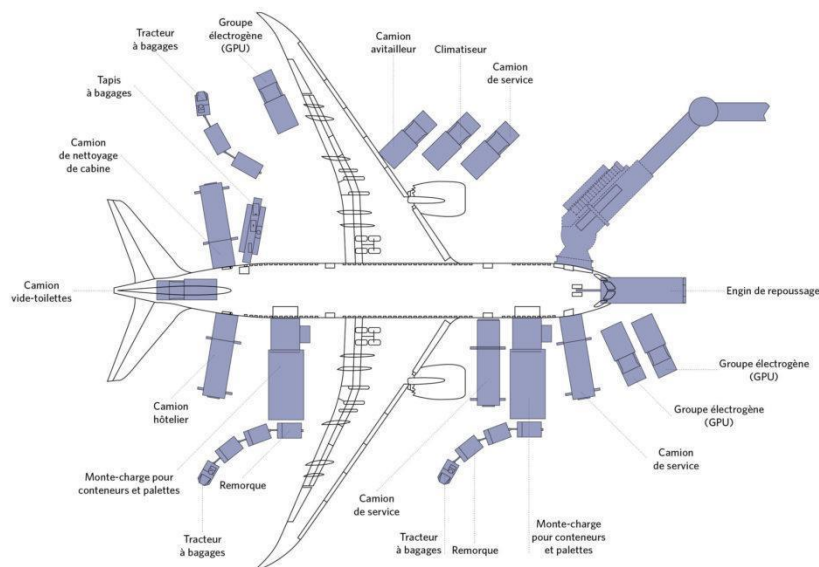
⁵⁵ Entretien avec l'Observatoire de l'Aviation durable, DGAC.

de l'aéroport située à partir des portes d'embarquement, incluant les passerelles d'accès aux aéronefs, les aires de circulation et de stationnement des avions ainsi que les pistes d'atterrissage et de décollage.

⇒ L'électrification (verte) de la flotte de véhicules et engins au sol

Les activités aéroportuaires recourent à une variété de véhicules et engins qui sont regroupés dans la famille des « *Ground support equipments* » ou équipements au sol. Ces derniers désignent tout véhicule motorisé ou non motorisé présent sur les tarmacs des aéroports (véhicules légers, poids lourds, bus et tous les engins de piste). Ces véhicules apportent le service logistique entre deux vols, rendent l'atterrissage et le décollage possibles, en toute sécurité et dans les délais impartis. Les équipements sont utilisés par les passagers lors de l'embarquement et le débarquement, veillent au chargement et au déchargement rapide des bagages et permettent à l'avion d'être repoussé vers la porte d'embarquement⁵⁶.

Les équipements au sol intervenant sur le tarmac d'un aéroport



Source : [Site internet de TCR France](#)

Le mouvement d'électrification de la flotte des véhicules qui interviennent sur le tarmac est à l'œuvre dans les aéroports, à l'instar de celui de Genève où l'électrification a progressé ces vingt dernières années. Actuellement, près de 30% de la flotte de véhicules est électrique et l'aéroport vise un objectif de 90% d'ici 2030⁵⁷. Outre l'enjeu de réduction des émissions, le véhicule électrique présente un intérêt en termes de maintenance : par sa plus grande fiabilité, les interventions sont moins nombreuses⁵⁸.

⇒ **L'arrêt de l'utilisation de l'APU (auxiliary power unit⁵⁹)**, moteur thermique pourvoyant aux besoins en énergie électrique et en climatisation des aéronefs et permettant la mise en route des réacteurs principaux.

« Alors les APU c'est les petites turbines qui sont sur les avions et qui permettent de fournir de l'énergie au sol pour l'avion. Donc c'est ces turbines qui font du bruit quand on passe près des avions au sol. Et aujourd'hui, l'idée, c'est de les éteindre, de ne les utiliser que dans les phases transitoires donc 10 min à l'arrivée et 10 avant le départ. Et entre la phase de départ et la phase d'arrivée de faire tourner des GPU au sol donc des groupes de puissance ou des convertisseurs électriques et puis des climats électriques ou

⁵⁶ [Site internet du groupe TCR, leader mondial de la location et de la maintenance d'équipements sur les sites des aéroports.](#)

⁵⁷ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, Département Environnement et Développement durable.

⁵⁸ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, service Mécanique.

⁵⁹ Moteur auxiliaire de puissance.

des réchauffeuses électriques. »⁶⁰

Aujourd'hui, cinq aéroports sont soumis en France à des arrêtés de restriction de l'utilisation des APU (les aéroports franciliens de Roissy-CDG, de Paris-Orly et du Bourget ainsi que ceux de Nantes-Atlantique et de Nice-Côte d'Azur). Le gouvernement a pour ambition de généraliser la limitation de l'utilisation des APU aux douze principales plateformes aéroportuaires⁶¹ afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de pollutions atmosphériques. Cette nouvelle réglementation va contribuer à faire progresser l'entreprise de décarbonation des opérations au sol conduite au sein des aéroports. À terme est prévue la publication d'un arrêté par aéroport afin de privilégier des « solutions thermiques ou électriques moins génératrices de bruit, de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques lorsque l'aéronef est en escale ».

Cependant, l'électrification des véhicules et des engins de piste en vue de la décarbonation des activités aéroportuaires n'est effective qu'à la condition que l'électricité soit elle-même décarbonée :

« Par exemple, quand vous vous adressez à un aéroport, s'il vous dit « je veux absolument électrifier la flotte, mais je reste avec une électricité totalement carbonée », ça n'a pas trop de sens. C'est ce que j'explique aux aéroports. C'est « quelle est votre source d'approvisionnement électrique ? Et est-ce qu'elle est décarbonée ? » Dans ces cas-là, ça vaut le coup d'électrifier. Sinon, ça ne sert à rien. Aujourd'hui les aéroports ont bien intégré le fait qu'effectivement, une stratégie de décarbonation des matériels au sol n'a de sens que si, effectivement, on a des contrats de fourniture d'électricité décarbonés à long terme. Sinon ce n'est pas vraiment cohérent. »⁶²

⇒ Le dégivrage des avions : vers des solutions plus écologiques

La formation de givre sur un avion peut poser des problèmes de sécurité en vol. Voici quelques scénarios causés par le givre :

- Les surfaces de contrôle (volets, ailerons...) et les mécaniques des gouvernes peuvent être paralysées par la glace et le givre.
- Le givre peut alourdir l'avion et donc modifier la répartition des masses et les caractéristiques aérodynamiques. Sa portance peut alors être réduite, pouvant mener au décrochage en vol de l'avion.
- Des morceaux de givre peuvent également se détacher en vol et être aspirés par les moteurs et les détériorer, ou venir frapper une hélice et l'abîmer.
- Le givre peut casser les antennes filaires et ainsi altérer le signal, voire le perdre complètement⁶³.

C'est pourquoi, il existe des solutions de prévention du givre et de dégivrage en vol et au sol. Au niveau d'un aéroport, le dégivrage peut se faire *via* des aires de dégivrages (CDG en compte 20) où des dégivreuses pulvérisent à haute pression un mélange d'eau chaude et de glycol ou *via* des portiques par lesquels il faut faire rouler les avions sur la piste, ce qui représente un coût supplémentaire économiquement et écologiquement important, comme nous l'avons vu précédemment. Cette opération prend habituellement entre 5 et 10 minutes, et jusqu'à 30 minutes si l'avion a été fortement exposé au givre.

Au niveau de l'avion, des méthodes d'antigivrage sont aussi possibles grâce à la pulvérisation d'un fluide. En vol, les systèmes électrothermiques (ETIPS) permettent de maintenir le blindage à 0°C. Il est aussi possible de prélever de l'air chaud dans certaines turbines, de mobiliser un système chimique (TKS) pour diffuser un liquide de dégivrage *via* des micropores (biomimétisme), ou encore de prévoir des systèmes pneumatiques qui gonflent et brisent la glace. De manière générale, les solutions de dégivrage sont fortement consommatrices d'énergie, coûteuses et à impact écologique du fait des produits chimiques mobilisés et nécessitent beaucoup de temps de travail. Ces questions font l'objet d'une partie du projet de recherche PARIDES mené par ATR et subventionné par la Direction Générale de l'Aviation Civile au travers du plan de relance décidé par le gouvernement et le

⁶⁰ Entretien avec un groupe de location et de maintenance des équipements d'assistance au sol.

⁶¹ Liste des 12 principales plateformes aéroportuaires : Paris-CDG, Paris-Orly, Paris-Le Bourget, Lyon-Saint Exupéry, Nantes-Atlantique, Bâle-Mulhouse, Toulouse-Blagnac, Bordeaux-Mérignac, Nice Côte d'Azur, Marseille-Provence, Lille-Lesquin, Paris-Beauvais.

⁶² Entretien avec un groupe de location et de maintenance des équipements d'assistance au sol.

⁶³ Site internet de Pytheas Technology, Actualités, Dégivrage d'ailes d'avion.

ministère des Transports⁶⁴.

- **Une meilleure planification au sein de l'écosystème aéroportuaire**

- La digitalisation au service de la décarbonation

Comme évoqué dans la partie « digitalisation », de nombreux outils numériques se développeront pour améliorer la fluidité des flux dans l'aérogare et optimiser le temps du parcours passager. Mais ces outils permettront aussi d'améliorer l'efficacité énergétique des équipements aéroportuaires et aéronautiques.

« Dans les métiers de l'informatique et de la data se développe l'ambition d'avoir des systèmes optimisés au niveau consommation énergétique (code durable). »⁶⁵

« L'analyse de données va devenir essentielle pour suivre les actions menées en matière de décarbonation et pour évaluer l'efficacité des outils/technologies/process mis en place. »⁶⁶

« L'entreprise a pour mission la fluidification du parcours des avions au moyen de dispositifs et d'opérations qui engagent à la fois des moyens digitaux, et une démarche de décarbonation. »⁶⁷

- Évolution du contrôle aérien

Le contrôle aérien français est porté par un élan stratégique global qui s'étend au-delà de l'introduction des outils digitaux tels que 4-Flight. En matière d'infrastructures et de Data Management, les transformations s'inscrivent dans un changement de paradigme. Cette nouvelle vision concerne les infrastructures techniques (Systèmes d'Information) qui sont amenées à évoluer, avec un impact immédiat sur la maintenance en termes de compétences métiers. Des enjeux de management de la donnée sont également à mettre en résonance avec ces bouleversements. Il sera donc nécessaire d'encadrer et de sécuriser ces environnements.

L'émergence de la mobilité urbaine aérienne (UAM) et l'arrivée imminente de nouveaux acteurs, à l'instar des opérateurs de drones (passagers/marchandises) complexifie la tâche. Le contrôle aérien aura ainsi à sa charge l'aviation civile, l'aviation militaire et la mobilité aérienne urbaine.

L'accompagnement au changement est un élément clé dans ce mouvement global. Des transformations majeures en ce qui concerne le Management sont à prévoir. Il s'agit d'accompagner le changement, notamment dans les manières de faire de la Recherche et de conduire les innovations. Un arrimage aux standards européens permettra une uniformisation des démarches. Cette dynamique de convergence concerne également le positionnement des instances de contrôle dans les espaces aériens.

L'introduction de nouveaux outils tels que 4-Flight entérine cette évolution. L'outil 4-flight est un élément d'optimisation technologique qui permet non seulement d'améliorer la performance du trafic aérien, mais également de contribuer à la décarbonation. Cet outil constitue une rupture nette avec les procédés en cours dans le contrôle aérien, et permet d'avoir de meilleures perspectives.

L'impact sur les métiers est bien entendu à prendre en compte pour accompagner ces transformations.

Le métier de contrôleur aérien sera impacté par cette dynamique à la fois du point de vue du sens de l'action (enjeux environnementaux), mais également dans l'acquisition de nouvelles compétences dans le maniement d'outils digitaux (4-Flight).

Le secteur de la navigation aérienne, devra intégrer à l'équation des profils d'ingénieurs en IA, des data Scientists, mais aussi des spécialistes de la cybersécurité. Des techniciens de maintenance des systèmes informatiques seront indispensables au bon fonctionnement de ces environnements. Des profils de Managers pour l'accompagnement du changement seront nécessaires pour soutenir ce nouvel horizon stratégique.

⁶⁴ Site internet de Pytheas Technology, Actualités, Dégivrage d'ailes d'avion.

⁶⁵ Entretien avec un.e enseignant.e chercheur.e, Ecole d'ingénieur.e.s.

⁶⁶ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, chef de projet développement.

⁶⁷ Entretien avec une entreprise de développement de produits et solutions pour aéroports.

Les métiers du contrôle aérien sont donc en pleine mutation avec l'avènement de ces transformations dans les dix prochaines années qui reposent sur une réflexion en amont à propos du sens de l'action et de l'appropriation des outils technologiques.

- Logistique et fret aérien : amélioration du *Supply Chain Management*

Il convient de rappeler que 74% des émissions de CO₂ émises par le transport sont issues du transport terrestre⁶⁸. Face à ce constat, un premier levier d'action consiste à décarboner le transport routier de fret et de passagers. Pour ce faire, l'évolution des véhicules (électrification de la flotte), le développement de l'éco-conduite ou encore l'optimisation des flux *via* les activités de *supply chain* constituent des pistes d'action pour atteindre ces objectifs.

Alors qu'actuellement 3 salariés sur 4 travaillant à Paris-CDG se rendent à leur travail en voiture, un second levier d'action consiste ensuite à développer de nouvelles modalités de transport pour se déplacer depuis/vers l'aéroport.

● Développement et adaptation de la multimodalité air/sol

Les principales sources de l'impact carbone d'un aéroport sont liées aux activités aéronautiques, aux infrastructures, aux activités sur la piste, mais aussi à la mobilité des passagers vers l'aérogare et des employés de la plateforme aéroportuaire.

Ce volet relève des leviers « adapter le trafic aérien » et « développer la multimodalité » de manière assez similaire à ce qui se fait dans les domaines du transport et de la logistique.

Plus fréquents en Allemagne qu'en France, le transport de passagers intermodal se développe petit à petit et permet de valoriser les territoires autour de l'aéroport d'un point de vue économique et social en favorisant les interconnexions au sein des villes périphériques, en diminuant la pollution aux particules fines et le bruit, etc. À titre d'illustration, le partenariat entre Air France et la SNCF pour une combinaison Air + Train s'étoffe en termes de destination, incluant par exemple la prise en charge du taxi entre la gare de Massy TGV et l'aéroport d'Orly⁶⁹. Cependant, la logistique bagage n'est, pour le moment, pas équivalente à une correspondance aérienne en matière de praticité. Bien que relevant de cultures d'entreprises très différentes, les interfaces entre les secteurs aérien et du rail sont donc en progression en France. D'autres pays européens tels que l'Allemagne ont été et sont encore plus avancés à ce sujet.

Au niveau de la mobilité décarbonée au sol, de nombreuses pistes existent, en commençant par la décarbonation des transports en commun et des flottes de véhicules d'entreprise et privées.

En outre, le développement des mobilités douces (à l'image des pistes cyclables et du recours au vélo électrique pour les salariés) constitue une piste intéressante pour limiter l'empreinte carbone des salariés des places aéroportuaires.

« Nous constatons un développement des mobilités douces et du déplacement en vélo, mais aussi de l'auto-partage. »⁷⁰

Enfin, de nouvelles technologies vont également voir le jour à court terme, à l'image des taxis volants qui se développeront dans les prochaines années et qui proposeront une offre de service de transport de passagers, en particulier pour le tourisme d'affaires. Un parcours complet décarboné et optimisé pour le passager « contrôle douane/sûreté décentralisé de l'aérogare → transport en taxi volant → embarquement dans une flotte décarbonée » est même envisageable d'ici 2030.

D'autres innovations pourront également se développer dans les prochaines années (exemple : navette autonome) et ainsi contribuer à l'enrichissement de la multimodalité dans l'écosystème aéroportuaire.

⁶⁸ Céline Deluzarche, d'après chiffres Citepa pour l'année 2017.

⁶⁹ [Train + Air, ou l'intermodalité selon Air France, Site internet d'Air France.](#)

⁷⁰ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, chef de projet développement.

En synthèse, les leviers de décarbonation de mobilité identifiés dans les secteurs de la mobilité au sol (automobile, rail, etc.) constituent des atouts de taille pour décarboner la filière AA sur le volet aéroport, dans une perspective écosystémique soulignée par la littérature scientifique *via* le concept d'aéropolis⁷¹ : prise en compte des réseaux de mobilité, de l'activité économique autour de l'aéroport comme mini-ville, du lien avec l'urbain, etc. Par exemple, les enseignements du projet REMED pour *Réussir l'Efficiency des Mobilités d'Excellence Décarbonnées*, lauréat de l'AMI-CMA volet 2 qui vise à l'électrification des véhicules et à l'utilisation de moteurs à hydrogène, constituent de solides pistes de recherche.

- **Le renouvellement des flottes d'aéronefs par des modèles moins énergivores**

Le remplacement des flottes d'aéronefs des compagnies aériennes par des modèles de dernière génération moins énergivores constitue l'un des leviers de décarbonation qui peut être classé dans la famille des ruptures technologiques réalisables dans un horizon de court à moyen terme (à la différence de l'avion à hydrogène dont la première mise en service n'est pas prévu avant 2035, ce que nous précisons plus tard dans la partie dédiée). La dernière génération d'avions commercialisée par Airbus émet environ 20 à 25% moins de CO₂ grâce à des moteurs moins consommateurs en kérosène.

« La dernière génération d'avions Airbus (A220, A320 NEO, A330 NEO, A350) consomme de l'ordre de 2L de carburant aux 100 km par passager (un peu plus de 60g de CO₂ au km). Seulement 13% des flottes mondiales sont équipées de cette dernière génération d'avions et leur renouvellement va permettre de baisser les émissions de 20 à 25%. »⁷²

À titre d'exemple, Air France a commandé 60 avions A220 (148 sièges) ainsi que 38 avions A350 (324 sièges), réduisant respectivement de 20 et 25% leur consommation de carburant et les émissions de CO₂ d'une part⁷³ (comparativement aux modèles précédents), et diminuant de 34 et 40% les émissions sonores.

⁷¹ Graham, A. (2019). Aerotropolis: London's Airports as Experiences and Destinations. In A. Graham et A. Smith (Eds.), *Destination London* (pp. 61–90). Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/j.ctvhrd0t9.7>

⁷² IHEDATE, Cycle 2021-2022 – Territoires et mobilités, Session 4, Décarboner les mobilités de longue distance, Table-ronde « L'aérien en pleine turbulence ? », 15 avril 2022, intervention de Marc Hamy, Vice-Président Affaires publiques - Airbus.

⁷³ IHEDATE, Cycle 2021-2022 – Territoires et mobilités, Session 4, Décarboner les mobilités de longue distance, Table-ronde « L'aérien en pleine turbulence ? », 15 avril 2022, intervention de Vincent Etchebehere, Direction du Développement durable - Air France.

L'apport de l'hydrogène dans l'écosystème aéroportuaire et aéronautique : un développement en deux temps

Parmi les leviers de la décarbonation de l'écosystème AA, figure l'hydrogène, un vecteur énergétique prometteur qui permettrait de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre, sa combustion n'émettant que de l'eau. Cependant, 95% de l'hydrogène produit aujourd'hui est dit « gris » car il est issu d'énergies fossiles⁷⁴ (majoritairement à partir de gaz naturel). Sa production est ainsi encore largement carbonée. Dans un contexte de décarbonation de l'écosystème AA, l'enjeu consiste à assurer la distribution et la production d'un hydrogène dit « vert », produit principalement par électrolyse de l'eau à partir d'électricité renouvelable (éolien ou solaire par exemple)⁷⁵. L'électrolyse de l'eau (H₂O) consiste à séparer l'hydrogène de l'oxygène grâce à un courant électrique sans émission directe de CO₂ ou autre GES ni de polluant⁷⁶. Afin que l'hydrogène soit décarboné, il s'agit de s'assurer que l'électricité utilisée pour le produire le soit également. Cette condition constitue un premier enjeu relatif au développement de l'hydrogène.

Envisager l'hydrogène comme une solution d'avenir dans l'écosystème AA nécessite de distinguer deux échelles temporelles. À court et à moyen terme, l'hydrogène constitue d'abord un vecteur énergétique devant permettre d'alimenter les véhicules au sol (desservant la zone aéroportuaire, côté piste et côté ville) ainsi que certains équipements (à l'instar de ceux de l'activité d'assistance en escale). À plus long terme, l'ambition partagée par les différents acteurs du secteur aérien - au premier rang desquels les constructeurs aéronautiques - repose sur l'alimentation des aéronefs.

⇒ Temps 1 - horizon court et moyen-termiste : le développement des infrastructures de stockage et de l'utilisation sur certains équipements (véhicules, machines et chauffage)

Plusieurs projets de stations de distribution - et à terme de production - d'hydrogène voient progressivement le jour sur le territoire national. Ces dernières se développent notamment sur les principales plateformes aéroportuaires, desservant à la fois la zone publique ainsi que la zone réservée des aéroports. La multiplication des projets de stations de distribution et de production d'hydrogène rend compte d'un soutien important des acteurs publics et privés, nationaux et locaux, et leur développement sur les plateformes aéroportuaires indique le rôle stratégique de ces dernières en tant que *hubs* de mobilités au sein des territoires où elles sont implantées :

→ L'aéroport de Toulouse-Blagnac est le premier site aéroportuaire où a été implanté une station de production et d'hydrogène vert, dans le cadre du projet HyPort, société créée et co-détenue par ENGIE Solutions et l'Agence régionale Énergie Climat Occitanie. La station, mise en service en 2022, doit alimenter quatre bus assurant le transport de passagers entre l'aérogare, les avions et / ou les parkings éloignés, des véhicules utilitaires et les flottes captives⁷⁷.

→ L'aéroport de Paris-CDG constitue le site d'implantation du projet de station multi carburants (hydrogène et bio-GNC) HyLandAir, lauréat de l'AMI H2 Hub Airport. Le projet, porté par Engie qui s'est associé dans le cadre d'un consortium à Setec, AKUO Energy et GEH, consiste à développer un écosystème hydrogène visant à alimenter les usages côté ville (en mobilité : camions, bus, bennes, et en alimentation d'énergie des bâtiments) ainsi que ceux côté piste (navettes de passagers, engins de piste pour l'assistance en escale) :

« La particularité du projet, c'est qu'il s'étale sur deux zones, vu qu'on est sur un aéroport, il est placé de façon à pouvoir desservir la zone réservée qui est vraiment uniquement pour les véhicules d'aide aux avions et les véhicules qui vont circuler sur le tarmac [...] tous les bâtiments de production d'hydrogène, etc., seront vraiment côté zone publique. Donc, c'est un peu un projet central pour l'aéroport. »⁷⁸

⁷⁴ France Hydrogène, *L'hydrogène en France*, Édition 2021, p. 6.

⁷⁵ Présentation de Philippe Novelli (ONERA), Les rendez-vous de l'innovation, ISAE-SUPAERO / ENAC, 22 septembre 2022.

⁷⁶ France Hydrogène, *L'hydrogène en France*, Édition 2021, p. 8.

⁷⁷ [Agence Régionale Energie Climat Occitanie, HyPort - Station hydrogène de l'aéroport Toulouse Blagnac, 27/11/2020](#)

⁷⁸ Entretien avec un fournisseur d'énergie, responsable de projets Hydrogène.

La première phase du projet porte uniquement sur la distribution (mise en service prévue en 2024). La phase 2 repose sur une logique de production sur place (2 tonnes par jour) qui devrait doubler en phase 3.

→ A l'aéroport de Lyon-Saint Exupéry, le partenariat entre Vinci Airports (gestionnaire de la plateforme), Airbus et Air Liquide se traduira à partir de 2023 par la mise en service d'une station de distribution d'hydrogène gazeux vert afin de répondre aux besoins des véhicules terrestres de l'aéroport (bus de piste, camions, engins de manutention), des véhicules des parties prenantes et des poids lourds circulant aux abords de l'aéroport⁷⁹.

Dans les aéroports, bien que les véhicules au sol soient avant tout concernés par l'électrification, les véhicules intervenant sur la piste et nécessitant plus de puissance devraient quant à eux davantage bénéficier du passage à l'hydrogène :

« Les entreprises qui produisent actuellement des Ground Power Units (GPU) ou des pushes, ou même des loaders, se sont posées la question de passer à la batterie, déjà, pour commencer... Effectivement, ils auraient pu dire « on est déjà au moteur thermique, on passe au thermique gaz et les choses sont faites », en fait, plutôt que de faire un passage par le gaz, ils vont directement faire le saut technologique pour aller vers l'hydrogène. »⁸⁰

« Certains types de véhicules demandent une grande puissance, comme les push, les véhicules monte-charge, qui pour le rapport poids puissance demandé passeront à l'hydrogène. C'est le cas également des moteurs au sol auxiliaires pour les avions. »⁸¹

⇒ Temps 2 - horizon long-termiste : l'alimentation des aéronefs à partir de 2035

Si dans un premier temps le développement des infrastructures de production et de distribution de l'hydrogène - déjà à l'œuvre et qui devrait se poursuivre dans les années à venir - permet d'alimenter les véhicules et machines au sol situés côté piste et côté ville, à plus long terme l'enjeu consiste à assurer l'alimentation des aéronefs qui auront été conçus pour voler grâce à l'hydrogène. Actuellement, l'avion à hydrogène fait l'objet d'un programme d'études chez le constructeur aéronautique Airbus qui ambitionne de développer le premier avion commercial à hydrogène d'ici 2035 :

« Airbus ambitionne la mise au point d'avions Zéro émission de type courts et moyens courrier, propulsés à l'hydrogène, pour une mise en service à l'horizon 2035, tout en continuant à améliorer la performance de ses avions long courrier. »⁸²

Pour utiliser l'hydrogène dans un avion, il faudra le comprimer ou le liquéfier (ce qui nécessite de la maintenir à - 253°C) afin de minimiser le volume occupé. Or, le stockage de l'hydrogène à bord des avions nécessitera des aménagements nouveaux conduisant les constructeurs à repenser l'architecture des aéronefs.

Ce vecteur énergétique ne pourra être utilisé que pour les avions régionaux, courts et moyens courriers en raison du volume d'hydrogène à embarquer qui est moins quatre fois supérieur à celui du kérosène :

« Sur la partie avions, l'hydrogène est envisagé pour les courts et moyens courriers (inférieurs à 2 000 nautical miles, soit 3 700 km). Pour les gros porteurs, les leviers sont plutôt les carburants aéronautiques durables qui existent déjà, bien qu'en petite quantité. L'hydrogène en revanche reste très hypothétique et pas avant 2035. »⁸³

Il convient de souligner que des projets de développement de court-courriers alimentés en hydrogène sont en cours et qu'ils pourraient être exploités avant 2030 (adaptation de la flotte ATR⁸⁴) pour certains usages (vols régionaux, aéronefs utilisés pour former les pilotes, tourisme d'affaires...).

⁷⁹ *Aéroport le mag* n° 97, nov./déc. 2021 – Spécial Développement durable, Interview du directeur technique de Vinci Airports, référent du pôle de compétence hydrogène de Vinci Concessions (pp. 48-48).

⁸⁰ Entretien avec un fournisseur d'énergie, responsable de projets Hydrogène.

⁸¹ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, direction du Développement durable et des Affaires publiques.

⁸² IHEDATE, Cycle 2021-2022 – Territoires et mobilités, Session 4, Décarboner les mobilités de longue distance, Table-ronde « L'aérien en pleine turbulence ? », 15 avril 2022, intervention de Marc Hamy, Vice-Président Affaires publiques - Airbus.

⁸³ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, direction du Développement durable et des Affaires publiques.

⁸⁴ *Les Echos*, [« À Toulouse, Universal Hydrogen convertit les avions ATR à l'hydrogène »](#), 17 août 2022.

L'utilisation de l'hydrogène, au sol dans un premier temps et à terme pour l'alimentation des aéronefs, pose un certain nombre de défis à relever dont certains que nous venons de relever, à l'instar de la reconfiguration architecturale et technique des aéronefs, ainsi que la mise en place d'une filière de production et de distribution.

Les différentes étapes constituant la chaîne de valeur de l'hydrogène (de sa production à son utilisation, en passant par son stockage, son transport ainsi que sa distribution) nécessitent une approche sécuritaire des risques de fuite et d'incendie et « *des compétences de sécurité qui sont optimum puisque c'est aujourd'hui une matière qui reste très dangereuse à manipuler.* »⁸⁵

Le coût associé à l'hydrogène représente aujourd'hui un frein important pour les acteurs susceptibles d'être intéressés par le développement des infrastructures de stockage et de production pour alimenter les véhicules et les engins au sol, côté ville comme côté piste :

*« Le souci est que ça coûte très cher. Aujourd'hui, les aéroports régionaux essaient de voir avec tous les partenaires s'il y a un besoin d'hydrogène et de voir pour acheter ensemble une cuve à hydrogène. Mais c'est compliqué parce que c'est extrêmement cher et on a assez peu d'idée de quand ce sera véritablement opérationnel. Compliqué d'avancer autant d'argent sans savoir si ça va vraiment servir. Il y a moins de souci avec l'électrification. C'est encore tôt pour dire si l'hydrogène est vraiment une solution pour le secteur aérien. »*⁸⁶

*« L'autre difficulté, je crois que ça n'échappe à personne, c'est qu'à l'heure, aujourd'hui, où les volumes ne sont pas là, c'est-à-dire que l'industrialisation n'est pas encore passée par là, on est sur des coûts stratosphériques [...] Un bus, aujourd'hui, coûte 250 000 euros. Un car, ça doit être un peu plus cher, mais enfin, c'est dans ces eaux-là. Le même véhicule en hydrogène, vous l'avez, maintenant, dans le meilleur des prix, à 600 000 euros. »*⁸⁷

La comparaison des coûts entre les véhicules utilitaires électriques et à hydrogène permet de rendre compte de l'écart tarifaire qui subsiste entre ces deux alternatives énergétiques aux véhicules roulant aux énergies fossiles.

*« Un véhicule électrique (utilitaire) coûte environ 80 000 € et bénéficie d'environ 300 km d'autonomie alors pour que son équivalent hydrogène, il faut compter 120 000 € pour un gain de 20 minutes de temps de charge. »*⁸⁸

Enfin, du point de vue de l'impact sur le climat, se pose la question des effets non CO₂ induits par l'hydrogène, en particulier la formation des traînées de condensation. Des travaux de recherche actuellement menés visent à mesurer les effets non CO₂ de l'aviation et s'intéressent notamment à l'hydrogène. Dans le cadre du programme de recherche Climaviation, financée par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), les équipes de recherche de l'IPSL⁸⁹ et de l'ONERA⁹⁰ avancent l'hypothèse selon laquelle « un carburant partiellement ou totalement décarboné, comme l'hydrogène, pourrait induire des effets non-CO₂ plus importants »⁹¹.

⁸⁵ Entretien avec l'Observatoire de l'Aviation durable, DGAC.

⁸⁶ Entretien avec une entreprise de conseil en solutions environnementales pour le secteur du transport aérien.

⁸⁷ Entretien avec un fournisseur d'énergie, responsable de projets Hydrogène.

⁸⁸ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, service Mécanique.

⁸⁹ Institut Pierre-Simon Laplace, dont les tutelles sont Sorbonne Université et le CNRS.

⁹⁰ Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales

⁹¹ G. Dannet, D. Hauglustaine, N. Bellouin, O. Boucher, « CO₂, NO_x, vapeur d'eau et aérosols : comment bien comptabiliser tous les effets de l'aviation sur le climat ? », The Conversation, 15/11/22.

Partie 2 : Impact de ces mutations en termes d'emplois et de compétences

Cette seconde partie a pour objectif de présenter précisément les métiers qui sont ou seront impactés prochainement par les évolutions technologiques et énergétiques de l'écosystème aéroportuaire et aéronautique (AA).

À cet effet, nous distinguons dans notre analyse :

→ Les métiers en développement (partie A), qui, au regard des évolutions technologiques et énergétiques présentées précédemment, connaîtront une augmentation du nombre de postes dans l'écosystème AA.

→ Les métiers en mutation (partie B), qui évolueront en lien avec la digitalisation, la décarbonation et/ou le développement de l'hydrogène et qui feront appel à de nouvelles compétences.

→ Les nouveaux métiers (partie C), qui devront répondre aux besoins émergents d'une nouvelle organisation de l'activité économique de l'écosystème aéroportuaire et aéronautique.

Nous présenterons enfin une synthèse des besoins en emploi en conclusion de cette partie (page 56).

Les métiers en développement (*existants mais en fort développement*)

En lien avec la digitalisation de l'aéroportuaire / l'aéronautique

La première famille professionnelle concernée par la digitalisation de l'écosystème AA est l'**ingénierie, en particulier informatique et relative aux systèmes d'information**. En effet, le développement de nouveaux logiciels/nouvelles applications aura pour conséquence de dynamiser les besoins sur ces métiers, dans l'optique de leur développement, leur ergonomie, mais également de leur maintenance.

En outre, la complexification des SI amènera les aéroports à se doter de profils compétents pour gérer des systèmes informatiques complexes. Or, ils sont aujourd'hui difficiles à recruter sur les places aéroportuaires.

Par ailleurs, la généralisation des outils numériques et digitaux entraînera une plus grande vulnérabilité des réseaux, ce qui demandera davantage de besoins en emplois dans la cybersécurité.

« Comme tout devient de plus en plus sur réseau commandable à distance, on a un enjeu de piratage de ces systèmes. »⁹²

Les métiers qui recruteront en lien avec l'ingénierie

Métiers ciblés	Impact de la digitalisation sur le métier	Emplois en Ile-de-France (<i>en lien avec les aéroports - horizon 2030</i>) *	Formations associées	État de la formation
Ingénieur software (conception des logiciels)	Besoins liés au développement de nouveaux logiciels liés à l'optimisation des flux / des process / la gestion de la performance énergétique	Emplois potentiellement délocalisables	Master ou diplôme d'ingénieur en informatique	29 formations en informatique en Ile-de-France ouvrant à un niveau Bac+5 ⁹³
Ingénieur Hardware (conception des schémas électroniques)	Besoins liés au développement de nouveaux logiciels liés à l'optimisation des flux / des process / la gestion de la performance énergétique	Emplois potentiellement délocalisables	Master en électronique, 3EA (électronique, énergie électrique, automatique/robotique ou ingénierie des systèmes complexes) Diplôme d'école d'ingénieurs avec une spécialisation en électronique	39 masters en France, dont 3 à proximité de CDG (Paris, CY et Gustave Eiffel)
Ingénieur Cogniticien (amélioration de l'accessibilité des machines ou des outils numériques)	Besoins liés au développement de nouveaux logiciels liés à l'optimisation des flux / des process / la gestion de la performance énergétique	Emplois potentiellement délocalisables	Diplôme d'ingénieur ou master dans les domaines des sciences cognitives, de l'informatique ou des mathématiques appliquées.	À noter : peu de formations spécialisées dans les sciences cognitives (ENSC à Bordeaux et Université de Lorraine)
Ingénieur intelligence artificielle (développe des logiciels capable de raisonner par eux-mêmes afin d'effectuer des tâches complexes)	Besoins liés au développement des outils de collecte de données : recours à l'IA	Emplois potentiellement délocalisables	Master informatique - parcours intelligence artificielle / Master Big Data	En plein développement : à titre d'illustration, 9 formations identifiées en Ile-de-France

⁹² Entretien avec un exploitant aéroportuaire, Direction des aires aéronautiques.

⁹³ Source : Oriane

<p>Chargé de projet SI/informatique (systèmes complexes) (Met en place et pilote des systèmes d'information complexes)</p>	<p>Besoins liés au développement des outils de collecte de données : rationalisation des SI indispensable</p>	<p>20 à 50 emplois principalement auprès des exploitants d'aéroports</p>	<p>Master ou diplôme d'ingénieur en informatique et/ou en transition digitale</p>	<p>29 formations en informatique en Ile-de-France ouvrant à un niveau Bac+5 dont à proximité de CDG (Paris 8)</p>
<p>Ingénieur cybersécurité / Cryptologie (analyse et traite les menaces pesant sur les SI et les données confidentielles des entreprises)</p>	<p>Vulnérabilité accrue du réseau avec le développement de nouveaux logiciels / outils numériques</p>	<p>10 à 20 emplois auprès des exploitants des aéroports et des sous-traitants</p>	<p>Diplôme d'ingénieur ou master en cryptographie, sécurité des systèmes d'information</p>	<p>Focus Ile-de-France : formations dans certaines universités / grandes écoles (Paris 8, Paris-Diderot, Centrale Supélec, Télécom Paris, etc.)</p>
<p>Responsable sécurité et risque des systèmes d'informations (évalue les risques de sécurité des SI des entreprises et définit des solutions techniques)</p>				

***Note de lecture :** Il s'agit d'une estimation du nombre total d'emplois et non du nombre de recrutements attendus. Par exemple, sur le métier de chargé de projet informatique, il devrait y avoir 20 à 50 emplois sur le métier de chargé de projet SI/informatique en lien avec l'écosystème aéroportuaire et aéronautique en Ile-de-France d'ici 2030.

Conclusion : Les besoins en emplois seront marqués sur ces métiers, mais l'offre de formation y est relativement importante. Il y a toutefois un risque de concurrence pour les entreprises de l'aérien et de l'aéroportuaire qui souhaitent recruter ces profils qui seront demandés dans d'autres secteurs d'activité.

Préconisation : Informer les plus jeunes (collégiens, lycéens) mais également les étudiants en informatique/électronique/SI que le secteur de l'aéroportuaire/aéronautique est porteur sur ces métiers.

La seconde famille professionnelle concernée est celle relative à la **gestion des données**. Comme nous l'avons vu précédemment, le recueil et le traitement des données vont devenir cruciaux dans de nombreux domaines de l'aéroportuaire et de l'aéronautique, à l'image du secteur de la maintenance.

« Et ça nous permet, par des analyses big data, d'intégrer de la maintenance prédictive au sein de la maintenance préventive. C'est-à-dire qu'on va réaliser des opérations de remplacement de pièces qu'on estime être arrivées en bout de potentiel. Et donc à intervenir avant que cette pièce ne tombe en panne. Et donc si on peut supprimer une intervention sur panne et qu'on l'intègre dans une opération de maintenance préventive, vous faites ce qu'on appelle de la maintenance prédictive. Et vous abaissez vos coûts. »⁹⁴

Par conséquent, les besoins en emplois vont progresser de manière significative dans cette famille professionnelle dans les prochaines années.

⁹⁴ Entretien avec un groupe de location et de maintenance des équipements d'assistance au sol.

Les métiers qui recruteront en lien avec l'analyse de données

Métiers ciblés	Impact de la digitalisation sur le métier	Emplois en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Formations associées	État de la formation
Data scientist (recueil, traite, analyse des données pour améliorer les performances d'une entreprise)	Développement de la collecte de données pour fluidifier les flux et accompagner la décarbonation (et l'évaluer)	300 à 400 emplois 180 salariés aujourd'hui sur le Grand Roissy Le Bourget en lien avec l'écosystème AA	Formation en mathématique (initiale ou continue) ou formation spécialisée big data (le plus souvent en formation continue)	4 formations spécialisées en Ile-de-France et 3 en région. Pour plus d'informations : https://www.oriane.info/metier/data-scientist/409
Technicien de maintenance prédictive (effectue des opérations de maintenance afin de prévenir les pannes)	Développement d'outils permettant de remonter des données en lien avec un équipement. Objectif : anticiper les dysfonctionnements de cet équipement. Développement de compétences en gestion de projet	500 à 800 emplois dans la maintenance des équipements terminaux (une partie d'entre eux seront spécialisés dans la maintenance préventive)	Formation technique Bac + 2 du domaine électronique, électrotechnique ou maintenance industrielle	Sur le plan quantitatif : nombreuses formations partout en France (BTS Electrotechnique, DUT génie électrique et informatique industrielle, ...) Sur le plan qualitatif : formations à adapter avec un approfondissement des compétences pour mieux comprendre les systèmes complexes/automatisés (cf. partie sur les mutations)

Conclusion : Deux métiers seront impactés différemment par le développement des besoins en matière d'analyse de données. Si le nombre d'emplois va croître pour le métier de data scientist, le métier de technicien de maintenance va lui se transformer avec l'apparition de certains postes dédiés à l'anticipation des pannes et avec l'adaptation d'autres postes mêlant le volet préventif et curatif.

Préconisation : Développer une formation dédiée à l'analyse de données en milieu aéroportuaire/aéronautique et adapter le contenu de l'offre de formation préparant au métier de technicien de maintenance des équipements terminaux.

Enfin, l'apparition de nouvelles applications ou encore de nouveaux outils/systèmes numériques va demander un accompagnement des professionnels qui les utiliseront.

« Les métiers liés au volet sécurité aéronautique (balayage, dégraissage des pistes et voies de circulation, ainsi que le risque animalier) vont être concernés par l'installation de radars pour détecter les débris ou les animaux : face à cela, il y a un enjeu d'appropriation des outils par les équipes. »⁹⁵

C'est pourquoi, des besoins croissants sur le métier de **formateur** ont été également identifiés, alors que celui-ci est fortement en tension depuis le début de la crise sanitaire.

Métier ciblé	Impact de la digitalisation sur le métier	Emplois en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Formations associées	État de la formation
Formateur / formatrice (spécialisé(e) dans les outils digitaux)	Pour bien maîtriser les nouveaux outils digitaux (cf. métiers en mutation), les utilisateurs devront bénéficier de l'accompagnement de formateurs/instructeurs	Emplois délocalisables (formateurs/instructeurs mobiles)	Pour devenir formateur : licence ou master spécialisé dans l'enseignement/formation Ou formation technique pour les formateurs en fonction du secteur visé	55 formations de niveau master en France, dont 5 en Ile-de-France

Préconisation : Créer une formation développant les compétences pédagogiques d'utilisateurs autour des nouveaux outils digitaux de l'écosystème AA ou développer les compétences techniques des formateurs professionnels.

⁹⁵ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, Direction des aires aéronautiques.

En lien avec la décarbonation de l'aéroportuaire et de l'aéronautique

Plusieurs familles professionnelles de la filière AA seront impactées par les évolutions liées à la décarbonation des mobilités.

La première identifiée concerne les **métiers en lien avec le développement durable**. Même si nous pouvons considérer que l'ensemble des métiers analysés sous le spectre de la décarbonation des mobilités répond à cet objectif, il n'en demeure pas moins que certains en font leur cœur de mission. C'est le cas des métiers ci-dessous qui présentent un objectif commun : optimiser l'empreinte carbone et la consommation énergétique.

Les métiers qui recruteront en lien avec le développement durable

Métiers ciblés	Impact de la décarbonation sur le métier	Besoins quantitatifs en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Formations associées	État de la formation
Écologue (Analyse l'impact des activités humaines sur l'environnement)	Développement de la décarbonation dans la filière AA : besoins importants en termes de sensibilisation des salariés des aéroports	Entre 5 à 10 emplois en IDF en lien avec les filières AA	Master mention économie de l'environnement, de l'énergie et des transports	13 masters en France dont 5 en Ile-de-France
Économe de flux (En charge de l'optimisation des dépenses énergétiques des entreprises)	Nombreux besoins liés à la réduction du budget énergie des entreprises et d'adaptation des équipements des plateformes aéroportuaires	Moins de 20 emplois en IDF (des emplois sur les aéroports les plus importants et au sein des principaux sous-traitants)	BTS fluides, énergies, domotique à Master en économie de l'environnement, de l'énergie et des transports	Une dizaine de BTS et 5 masters en Ile-de-France
Expert bilan carbone (Mesure les émissions de gaz à effet de serre des entreprises)	Augmentation des besoins liés aux nombreux diagnostics nécessaires pour mesurer les émissions de GES des entreprises	Moins de 20 emplois en IDF (associés aux grandes entreprises et aux exploitants aéroportuaires)	Diplôme d'ingénieur (Bac+5) généraliste ou spécialisé dans le domaine de l'environnement et des énergies, complété par une formation auprès de l'institut de formation carbone (IFC)	19 formations identifiées à l'échelle nationale (certaines pouvant être dispensées sur plusieurs territoires)
Ingénieur environnement (en charge du respect des normes environnementales au sein des entreprises)	Besoins liés à l'adaptation des infrastructures aéroportuaires (construction / maintenance), dans le respect des normes environnementales	Entre 10 à 30 emplois en IDF (principalement liés aux exploitants aéroportuaires ou à des cabinets de conseil)	Diplôme d'ingénieur (Bac+5) généraliste ou spécialisé dans le domaine de l'environnement et des énergies	
Chargé de projet RSE / développement durable (en charge du pilotage de projets en lien avec le domaine)	Développement de projets liés au développement durable au sein des exploitants aéroportuaires, mais également des entreprises de la logistique et de l'aérien	Difficilement mesurable et délocalisable (missions de conseil) Métiers parfois associés au RSE et à la logistique inversée, ce qui multiplie les débouchés	Master ou diplôme niveau Bac+5 spécialisé dans le développement durable, l'environnement ou les énergies. Formations possibles en RSE voire en supply chain management (logistique inversée comprenant la gestion des retours, le recyclage et la gestion des déchets)	Formations assez généralisées dans les grandes universités (exemples en Ile-de-France avec Paris-8, Paris-La Sorbonne, Paris-Saclay, Gustave Eiffel, ...)

Hydrogéologue (chargé de l'étude des nappes d'eaux souterraines et de l'évaluation de l'impact de l'homme sur celles-ci)	En lien avec la gestion de l'eau sur les territoires aéroportuaires et avec l'analyse de la pollution des nappes phréatiques	Entre 10 et 20 (en lien avec les exploitants aéroportuaires et, surtout, avec les collectivités publiques)	Master 2 spécialisé dans l'hydrogéologie ou diplôme d'ingénieur spécialisé	Une dizaine de formations existent en France
Technicien traitements et gestion des déchets (gère, prélève et analyse les déchets)	Besoins liés à la gestion et au traitement des déchets des plateformes aéroportuaires	Entre 10 et 20 (en lien avec les exploitants aéroportuaire et les collectivités publiques)	Formation de niveau Bac+2 ou Bac+3 → BTS Bioanalyses et contrôles, → BUT analyse, contrôle-qualité environnement → Licence pro métiers de l'énergétique, de l'environnement et du génie climatique	Plus d'une dizaine de parcours de formation débouchent sur les métiers de la gestion et du traitement des déchets

Conclusion : Ces métiers déjà existants vont voir leur volume d'emplois augmenter en Ile-de-France afin de répondre aux nouveaux objectifs environnementaux et limiter au maximum la consommation d'énergie des places aéroportuaires. Ils seront ainsi demandés majoritairement par les exploitants aéroportuaires mais également par certaines entreprises du secteur de l'aérien et de la logistique. La majorité d'entre eux nécessitent un haut niveau de qualification (Bac+5) et sont abordables grâce à des formations généralistes en école d'ingénieur ou en Master.

Préconisation : Transformer les formations de la filière AA pour que le développement durable fasse partie de l'ADN de cette filière.

Une deuxième famille de métiers impactée par les évolutions liées à la décarbonation des mobilités est celle des **métiers de l'ingénierie énergétique**. Bien que nous ayons souligné que certains métiers de l'ingénierie seront impactés par la digitalisation avec une place de plus en plus importante dans l'analyse de données, il n'en demeure pas moins que d'autres se développeront dans l'optique de construire/d'adapter de nouveaux systèmes énergétiques plus performants. Ces métiers de l'ingénierie seront aussi bien liés à la gestion des infrastructures aéroportuaires (aérogare) qu'à l'aérien (développement de nouveaux carburants par exemple).

Les métiers qui recruteront en lien avec l'ingénierie

Métiers ciblés	Impact de la décarbonation sur le métier	Besoins quantitatifs en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Formations associées	État de la formation
Chef de projet en rénovation énergétique (Accompagne le maître d'ouvrage dans un projet de rénovation énergétique)	Adaptation des infrastructures aéroportuaires (aux nouvelles normes et dans une logique d'amélioration énergétique)	Entre 20 à 50 emplois en IDF (difficilement quantifiable car dépendant des projets de rénovation énergétique des entreprises de l'écosystème AA)	→ Technicien supérieur d'étude en optimisation énergétique du bâtiment → Bac+3 métiers du BTP spécialité performance énergétique et environnementale des bâtiments → Bac+5 diplôme d'ingénieur spécialité énergétique du bâtiment	La Solive (école de transition écologique) propose une formation chef de projet en rénovation énergétique - sites à Paris et Lyon
Ingénieur en physique / mécanique (micro-fluidique) Micro-fluidique : nanotechnologies appliquées aux liquides permettant d'optimiser la consommation d'énergie	Besoins en ingénierie en lien avec l'évolution de la flotte aérienne et de certains équipements terrestres (engins sur les pistes, véhicules, bus, taxi-volants, ...)	Estimation : 1 500 ingénieurs en mécanique en lien avec l'aéronautique en Ile-de-France	Formation de niveau Bac+5, diplôme d'école d'ingénieur spécialisé en physique mécanique.	8 écoles d'ingénieurs offrent une formation spécialisée dans la mécanique des fluides en France. Pas de formation en physique et mécanique micro-fluidique identifiée.

Ingénieur en chimie (carburants durables)	Besoins en ingénierie en lien avec l'utilisation de nouveaux carburants décarbonés	Estimation : 5 000 ingénieurs en chimie en lien avec l'aéronautique en Ile-de-France	Formation de niveau Bac+5, Master 2 et diplôme d'école d'ingénieur généraliste avec une spécialisation en chimie en fin de cycle ou avec un cursus complet en chimie	Plus de 20 écoles proposent une formation d'ingénieur en chimie en France, mais pas encore beaucoup de spécialisations dans les carburants durables.
---	--	--	--	---

Conclusion : Trois métiers appartenant au secteur de l'ingénierie énergétique ont été identifiés. Ils représentent un volume d'emplois important en Ile-de-France et sont en forte croissance (+7% d'emplois depuis deux ans pour le métier d'ingénieur en efficacité énergétique par exemple). Il existe de nombreuses formations généralistes préparant aux métiers de l'ingénierie, mais peu d'entre elles proposent une spécialisation en physique et mécanique micro-fluidique ou en chimie des carburants durables. Concernant le métier de chef de projet énergétique, une seule formation spécifique existe.

Préconisations : Développer l'offre de formation préparant au métier de chargé de rénovation énergétique et créer des spécialités dans les écoles d'ingénieurs en physique / mécanique micro-fluidique et en chimie des carburants durables pouvant former des ingénieurs qui pourront ensuite se diriger vers les filières AA et leurs besoins futurs. Il faut s'attendre à une concurrence importante entre le secteur de l'aéronautique et de l'automobile sur ces profils, d'où la pertinence de développer un parcours de formation spécifique sur la filière AA.

Une troisième partition de métiers connaîtra une augmentation des besoins dans les années à venir : ceux en lien avec **l'exploitation des équipements énergétiques des exploitants aéroportuaires**. Comme nous l'avons vu, l'aéroport décarboné va accélérer la mutation de ses équipements, qu'il faudra installer et ensuite maintenir. C'est le cas notamment des installations électriques, pour produire de l'électricité verte et pour redimensionner les capacités de distribution.

Les métiers qui recruteront en lien avec les équipements énergétiques aéroportuaires

Métiers ciblés	Impact de la décarbonation sur le métier	Besoins quantitatifs en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Formations associées	État de la formation
Installateur et réparateur de bornes de recharges électriques	Pour les aéroports : développement des véhicules électriques et de l'électrification des équipements aéroportuaires Pour les aérodromes : développement de la flotte à hydrogène Création d'une complexité dans l'étape d'approvisionnement via cette diversification (omniprésence du kérosène)	Difficilement mesurable car le volume d'emplois est ajustable. De forts besoins à court terme pour l'installation puis une diminution des besoins une fois les aéroports équipés	Pour exercer ce métier, il faut être électricien qualifié puis obtenir la certification IRVE (Infrastructure de Recharge de Véhicules Électriques) auprès d'organismes d'accréditation. CAP Electricien	Plus d'une vingtaine de formations de CAP électricien en Ile-de-France. Plusieurs organismes tels que l'AFNOR et Qualifelec délivrent la certification IRVE en IDF
Gestionnaire des réseaux électriques	La hausse des besoins en électricité (notamment avec le développement de l'hydrogène) va conduire à une adaptation du réseau.	Entre 3 et 6 emplois sur les plateformes aéroportuaires franciliennes (d'autres besoins chez les fournisseurs avec le développement de ligne à haute tension)	Diplôme d'ingénieur généraliste ou spécialisé dans l'électricité	Plus d'une dizaine d'écoles d'ingénieur proposent une formation Bac+5 avec une spécialisation électricité en France

Installateur de panneaux photovoltaïques	Projets de champs solaires sur les espaces verts des aéroports afin d'alimenter les aéroports en électricité verte	Difficilement mesurable car le volume d'emplois dépendra de l'ampleur des projets de parcs solaires sur chaque aéroport	CAP préparation et réalisation d'ouvrages électriques, CAP Couvreur puis MC technicien en énergies renouvelables CAP électricien Bac professionnel technicien en installation des systèmes énergétiques et climatiques. En formation continue, il existe également les CQP installateur de panneaux solaires thermiques et photovoltaïques en couverture	Nombreuses formations en électricité
Technicien de maintenance des équipements photovoltaïques	Une fois les champs solaires installés, des emplois concernant la maintenance se développeront	Difficilement mesurable car cela dépend de l'ampleur des projets de parcs solaires (cependant le volume d'emplois concernant la maintenance des panneaux sera moins important que celui nécessaire à l'installation des parcs)	CAP électricien Bac pro technicien de maintenance des systèmes énergétiques et climatiques En formation continue, le CQP installateur, mainteneur en systèmes solaires, thermiques et photovoltaïques	Nombreuses formations en électricité

Conclusion : Les métiers en lien avec les équipements énergétiques aéroportuaires sont des métiers qui existent déjà et qui n'auront pas besoin d'incorporer une spécialisation AA. Les volumes d'emplois vont augmenter à court et moyen terme afin de favoriser la transition énergétique des infrastructures aéroportuaires puis ils se stabiliseront afin d'opérer la maintenance des équipements. L'offre de formation préparant à ces métiers est conséquente en Ile-de-France, tout comme les besoins sur ces métiers.

Préconisation : S'assurer que les formations existantes puissent fournir assez de main d'œuvre pour les projets des filières AA, concurrencées par d'autres filières en pleine transition énergétique.

Le métier d'**électromécanicien** sera également en croissance du fait de l'électrification des plateformes aéroportuaires.

« Le développement des sources d'énergie électrique dans les environnements aéroportuaires est important, aussi bien pour les avions que pour le matériel autour des avions [...]. Avec le développement de l'électrique, on passe d'une population de mécaniciens à une population d'électromécaniciens. »⁹⁶

Métier ciblé	Impact de la décarbonation sur le métier	Besoins quantitatifs en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Formations associées	État de la formation
Electromécanicien (en charge de la maintenance des véhicules électriques)	En fonction de la production et de l'usage répandu de véhicules fonctionnant à l'énergie électrique	Non déterminé	Bac pro maintenance des véhicules options voitures particulières, véhicules de transport routier ou motocycles MC (mention complémentaire) maintenance des systèmes embarqués de l'automobile : se prépare en 1 an après un CAP ou un bac professionnel du secteur de l'automobile	83 formations au niveau national dont 6 en Ile-de-France

⁹⁶ Entretien avec une entreprise de maintenance des équipements d'assistance au sol.

Préconisation : Adapter l'offre de formation des professionnels de la maintenance en adéquation avec l'évolution des véhicules et équipements électriques.

L'évolution de la flotte aérienne avec l'exploitation de carburant durable, va également accroître la demande sur certains métiers.

« Pour les SAF produits à partir de déchets ménagers, des emplois seront nécessaires autour de la collecte, du tri, de la logistique. »⁹⁷

Comme nous l'avons vu, les métiers de l'ingénierie seront de plus en plus demandés avec l'émergence des besoins liés à l'industrie aéronautique qui viennent s'ajouter à ceux de l'industrie automobile.

Mais d'autres métiers seront également concernés par la croissance de cette activité. En particulier ceux relatifs à la production des biocarburants ou encore à leur exploitation (avec le volet logistique). L'ampleur de cette croissance est toutefois difficile à déterminer à ce stade en raison des difficultés liées à l'industrialisation évoquées dans la première partie.

Métier ciblé	Impact de la décarbonation sur le métier	Besoins quantitatifs en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Formations associées	État de la formation
Logisticien SAF (en charge de la chaîne d'approvisionnement du biocarburant)	La production de biocarburant entraînera une chaîne logistique spécifique de la production à la distribution et une complexité qui n'existait pas alors sur la question de l'approvisionnement énergétique (omniprésence du kérosène)	Difficilement mesurable : quid du niveau d'industrialisation	Master ou diplôme d'ingénieur dans les métiers de l'énergie	Quelques spécialisations existent : exemple à Toulouse avec un parcours efficacité et logistique énergétique des systèmes industriels

Préconisation : Développer des parcours de formation spécialisés dans la logistique des SAF.

A noter : Les métiers liés à la production des biocarburants sont aujourd'hui en forte croissance, en raison de la demande dans les transports au sens large. Toutefois, nous ne développerons pas cette partie, identifiée comme filière d'avenir dans l'AMI CMA et, ainsi, analysée dans le cadre d'autres études.

Enfin, certains métiers connaîtront également une hausse de leurs besoins en raison du développement d'une nouvelle offre de transport décarbonée : c'est le cas notamment pour les **réparateurs de vélo**.

En lien avec l'hydrogène

Comme nous l'avons vu, le développement de l'hydrogène impactera directement les infrastructures aéroportuaires (équipements pistes, bâtiments et véhicules) et les aéronefs.

Cela se traduit, actuellement, par un travail d'**ingénierie** important qui vise à accompagner une transition énergétique s'appuyant sur l'hydrogène. Nous retrouvons ainsi certains métiers en lien avec **la production, le stockage et la distribution de l'hydrogène** : ingénieur électrolyse, ingénieur pile à combustible, ingénieur gaz, ingénieur mécatronique, ingénieur électronicien de puissance ou encore ingénieur contrôle qualité. Mais également des métiers plus opérationnels directement liés à son industrialisation (exemple : opérateur sur les lignes de production industrielle), afin de répondre à la hausse progressive de la demande et d'accompagner la baisse des coûts de cette énergie.

« Pour alimenter un très gros site industriel en hydrogène, généralement, c'est des sites qui tournent 24h/24, 7 j/7, donc il leur faut de l'hydrogène tout le temps. Donc de facto, l'électrolyseur ou l'outil de

⁹⁷ Entretien avec l'Observatoire de l'Aviation Durable, DGAC.

production devra tourner un maximum de temps. »⁹⁸

Ces métiers sont spécifiques à la filière hydrogène et se développeront sur tout le territoire (pas uniquement sur les territoires aéroportuaires). Aussi, nous ne détaillerons pas ces métiers, d'autant que plusieurs études existent sur ce sujet :

- [France Hydrogène, *Compétences-métiers de la filière Hydrogène Anticiper pour réussir le déploiement d'une industrie stratégique*, 40 p., avril 2021.](#)
- [ADEME, *Hydrogène : analyse des potentiels industriels et économiques en France*. 159 p., 2019.](#)
- [Carif-Oref de Normandie, *Filière Hydrogène - Panorama de l'offre de formation - Normandie*, mai 2020.](#)
- [2A TERRITOIRES - groupe Arthur Hunt, *Etude prospective - Métiers de la filière Hydrogène Auvergne-Rhône-Alpes*, septembre 2021.](#)

Si l'on s'intéresse plus spécifiquement aux places aéroportuaires, nous savons qu'elles seront équipées dans un premier temps par des stations de distribution d'hydrogène. L'objectif étant de pouvoir répondre aux besoins à la fois côté piste (partie privée : passage au contrôle sûreté obligatoire) et côté ville (partie publique : pour les véhicules).

Par conséquent, les premiers emplois localisés sur les territoires aéroportuaires seront en lien avec ces sites de distribution et de stockage, mais également avec la maintenance des équipements utilisant l'hydrogène comme énergie. Nous pouvons donc distinguer plusieurs catégories :

- Les métiers de l'exploitation des stations de stockage/de distribution, développés dans la partie relative aux nouveaux métiers.
- Les métiers de la maintenance des équipements aéroportuaires, abordés dans les métiers en mutation.

Dans un second temps, les aérodromes et les aéroports proposant du tourisme d'affaires seront concernés par l'évolution des aéronefs. Ce sujet sera également abordé dans les parties suivantes (métiers en mutation et nouveaux métiers).

Enfin, il convient de souligner que le développement de l'hydrogène entraînera nécessairement un accroissement des besoins en matière d'électricité. Et cela aura une incidence sur les métiers, avec une demande plus importante des techniciens en lignes basse / haute tension, les monteurs de réseaux électriques et des gestionnaires des réseaux électriques (métier déjà abordé).

« Après, on a d'autres enjeux, on veut alimenter en France une filière de production d'hydrogène, est-ce qu'on a l'alimentation électrique suffisante, le réseau. »⁹⁹

« Ce qui est sûr, c'est que la dimension électrique va devenir importante dans nos métiers. Par électrique, j'entends basse tension et haute tension. Et là, aujourd'hui, c'est clair qu'en haute tension, très peu de gens sont formés. »¹⁰⁰

Préconisation : Optimiser le remplissage des BTS Electrotechnique et ouvrir des perspectives aux apprenants sur le métier de technicien spécialisé dans l'installation/la maintenance des lignes haute tension (sachant que ce besoin sera à l'échelle nationale et que ce métier est actuellement en tension).

⁹⁸ Entretien avec un acteur de la filière hydrogène.

⁹⁹ Entretien avec un acteur de la filière hydrogène.

¹⁰⁰ Entretien avec une entreprise de maintenance des équipements d'assistance au sol.

Les métiers en mutation (marqués par l'évolution des compétences)

La première partie a été consacrée à l'identification des métiers actuels qui connaîtront une augmentation de leurs besoins d'ici 2030, sans évolution significative des compétences requises aujourd'hui. Désormais, l'analyse portera sur les métiers qui vont connaître une réorganisation de leurs missions et qui vont nécessiter de développer de nouvelles compétences.

En lien avec la digitalisation de l'aéroportuaire/l'aéronautique

Comme nous l'avons vu dans la première partie, de nombreux métiers qui opèrent aujourd'hui au sein de l'aérogare vont continuer à évoluer avec le développement des nouveaux outils numériques. Les solutions libre-service, qui se sont développées depuis plus de 10 ans et qui se généralisent dans les aéroports, ont vocation à complexifier les opérations des agents d'escale ou des agents d'accueil aéroportuaire.

« Avec les solutions libres-services, les agents vont devoir faire des opérations plus complexes que des opérations répétitives d'impressions d'une carte d'accès à bord ou d'une étiquette à bagage. »¹⁰¹

Il faut donc que les **métiers de l'accueil au sein de l'aérogare** soient à non seulement à l'aise avec les outils numériques à leur disposition, mais également dans leur capacité à désamorcer une situation problématique subie par le passager (exemples : bug informatique, incompréhension face à l'utilisation de l'outil, etc). Cette dernière compétence a d'ailleurs été identifiée comme fondamentale pour accéder aux métiers de la relation clients en milieu aéroportuaire dans un référentiel de compétences construit par les acteurs de la communauté aéroportuaire francilienne en 2021¹⁰².

Les agents en charge de l'accueil doivent également connaître parfaitement tous les outils numériques existants et essentiels à la relation clients dans l'aéroport. Il s'agit, en l'occurrence, des outils d'information et d'orientation dans l'aéroport ainsi que les outils digitaux à disposition des clients (usages et application du site internet de l'aéroport par exemple). En conclusion, le niveau d'exigence en matière d'accompagnement et de relation passagers va croître avec la digitalisation.

« L'hôtesse telle qu'elle existe aujourd'hui va être amenée à disparaître parce qu'il y aura un automate. Nous avons pour ambition de générer le besoin en apportant plus de services. Faire ce que la machine ne sait pas faire, comme proposer des services personnalisés avec un accompagnement humain dans un environnement stressant et anxiogène. Cela concerne aussi les problématiques de handicap et de retard de vols. »¹⁰³

En outre, les **agents de sûreté aéroportuaire** vont avoir une spécialisation de plus en plus importante dans leur mission. Certains continueront à réaliser les missions liées au contrôle PIF (Poste d'inspection Filtrage) avec les missions de gestion des flux et de fouille, alors que d'autres se spécialiseront dans la partie « accueil/orientation des passagers » en amont du contrôle PIF. Une dernière spécialisation amènera certains agents à devenir des experts dans l'analyse en imagerie et le contrôle à distance : ce sont les « top-opérateurs ».

« Auparavant, sur les postes d'inspection filtrage, les agents effectuaient plusieurs missions différentes. Nous avons actuellement une répartition des missions en fonction des métiers, avec notamment l'émergence des « top-opérateurs ». Ce sont des personnes qui travaillent dans des salles dédiées et qui ne font que de l'analyse d'écran. Pour les passagers, ces mutations ne paraissent pas comme des révolutions, mais elles modifient grandement l'organisation et les métiers nécessitent donc une forte

¹⁰¹ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les équipements aéroportuaires, vice-président services aéroports.

¹⁰² Paris CDG Alliance, Orly Paris, Groupe ADP, [Référentiel de compétences des métiers de la relation client en environnement aéroportuaire](#).

¹⁰³ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, Directeur Général et Directeur des Opérations

spécialisation. »¹⁰⁴

Les métiers de la relation passagers dans l'aérogare qui évolueront avec la digitalisation

Métiers ciblés	Impact de la digitalisation sur le métier	Emplois en IDF (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Nouvelles compétences attendues	Formations associées à adapter
Agent d'escale commercial (ou agent de passage) (enregistre les passagers et les bagages, est en charge de l'embarquement et du débarquement)	Complexification des opérations avec le développement des BLS et de nouveaux logiciels (ex : ALTEA) et connaissance des nouveaux outils numériques dans l'aérogare	3 000 à 4 000 emplois	<ul style="list-style-type: none"> → Maîtrise des outils/logiciels numériques (<i>évolution déjà entamée dans certaines formations</i>) → Capacité à désamorcer les situations conflictuelles en cas de problème → Connaissance des outils digitaux existants dans l'environnement aéroportuaire 	<ul style="list-style-type: none"> CQP Agent d'Escale Commercial MC Accueil dans les Transports
Agent d'accueil aéroportuaire / agent Welcome (accueille, informe et rassure les passagers)	Complexification des opérations avec le développement des BLS et connaissance des nouveaux outils numériques dans l'aérogare	400 à 600 emplois	<ul style="list-style-type: none"> → Maîtrise des outils/logiciels numériques (<i>évolution déjà entamée dans certaines formations</i>) → Capacité à désamorcer les situations conflictuelles liées au dysfonctionnement des outils numériques <ul style="list-style-type: none"> → Individualisation de la relation passagers → Connaissance des outils digitaux existants dans l'environnement aéroportuaire 	<ul style="list-style-type: none"> MC Accueil dans les transports Agent d'accueil aéroportuaire BTS Tourisme
Agent APMR (accompagne les personnes à mobilité réduite)	Connaissance des nouveaux outils numériques dans l'aérogare	700 à 1 100 emplois	<ul style="list-style-type: none"> → Capacité à désamorcer les situations conflictuelles en cas de problème → Connaissance des outils digitaux existants dans l'environnement aéroportuaire 	Pas de formation spécifique
Agent de sûreté aéroportuaire - top opérateur (contrôle les personnes, les bagages et les marchandises)	Développer des compétences en imagerie	Total agent de sûreté aéroportuaire (tous postes) : 5 000 à 7 000 emplois	<ul style="list-style-type: none"> → Analyse en imagerie <p>À noter : un module de compétence a été développé dans la formation à l'analyse d'image¹⁰⁵</p>	TFP ASA

Conclusion/préconisations : Dans les métiers de l'accueil, nous suggérons de prévoir des modules spécifiques dans les formations préparant au milieu aéroportuaire :

- Connaissance/ utilisation des outils numériques
- Capacité de médiation avec les supports numériques (borne, écrans, etc.) au service des passagers
- Capacité à gérer les moments difficiles (problèmes informatiques, gestion des conflits, stress des passagers)

¹⁰⁴ Entretien avec une entreprise de la sûreté aéroportuaire, PDG.

¹⁰⁵ Ministère chargé des Transports, DGAC/DSAC, Règles d'utilisation des modules de compétence - Formations à l'analyse d'images, août 2022

Dans les métiers de la sûreté aéroportuaire, des modules complémentaires peuvent être mis en place afin de développer les compétences en imagerie.

Dans les **métiers de la navigation aérienne**, de nouveaux outils vont impacter le métier de contrôleur aérien, à l'image du projet 4-Flight (cf. partie 1). En termes de compétences, cette évolution va se traduire par une coordination renforcée entre l'ensemble des parties prenantes associées aux plans de vol à échelle France, voire Européenne, pour améliorer la qualité de service globale sur l'ensemble des trajectoires traitées. Au niveau de la partie exploitation aérienne, ce levier entre le secteur public et le secteur privé constitue un des moteurs pour un renforcement de l'excellence opérationnelle et de sûreté de la filière AA et, à terme, une décarbonation du secteur efficace.

Aujourd'hui :

« Si on a peu de trafic, donc peu de travail, on va essayer de négocier des trajectoires directes. Mais l'expertise métier du contrôleur, c'est de faire ça parce que la charge de travail augmente. C'est pour cela que les gains du transport aérien sont réalisés dans les périodes de creux. »¹⁰⁶

Or, une meilleure prise en compte de la complexité via la digitalisation du contrôle pourrait permettre de réaliser ces gains, y compris sur des périodes plus intenses, à condition que le sens du travail et de la mission du contrôle aérien se maintienne, voire s'enrichisse à l'occasion de ce type de projet.

Les métiers de la navigation aérienne qui évolueront avec la digitalisation

Métiers ciblés	Impact de la digitalisation sur le métier	Emplois (au niveau national)	Nouvelles compétences attendues	Formations associées à adapter
Contrôleur aérien (gère les flux d'aéronefs dès leur décollage jusqu'à leur atterrissage)	→ Nouveau logiciel de travail → Réduction des émissions des aéronefs au sol et en vol en optimisant les trajectoires et les parcours	Données à l'échelle nationale : 2 900 à 4 300 emplois attendus	→ Maîtrise des outils digitaux → Connaissance des enjeux de décarbonation liés aux trajectoires de vol des aéronefs	Formation à l'ENAC (ATM)

Concernant les **métiers de la piste**, le recours à de nouveaux outils digitaux impactera considérablement le contenu du métier d'agent de trafic (appelé « chef avion »). En charge de la préparation d'un avion en amont d'un vol, celui-ci n'assurera plus de fonctions techniques à l'avenir. Il réalisera un travail de coordination des équipes travaillant sur la piste. L'agent de trafic évolue donc vers un métier de « coordinateur zone avion ».

« Le centrage est fait directement par le pilote avec sa tablette à bord. La compétence technique des agents a disparu, mais on a toujours besoin de lui car il a également une mission de coordination de l'ensemble des corps de métiers autour de l'avion pour s'assurer que l'avion parte à l'heure –avitaillement – catering – nettoyage- embarquement. »¹⁰⁷

Globalement, la digitalisation des outils et le développement de l'intelligence artificielle contribueront à la simplification des missions techniques des équipes travaillant dans les métiers de la piste.

« L'intelligence artificielle pourrait simplifier la planification et assister, voire soulager significativement le travail des coordinateurs. »¹⁰⁸

Par ailleurs, les tâches des agents de piste vont également évoluer avec l'appui de nouvelles technologies. Celles-ci faciliteront la réalisation de certaines opérations et amélioreront le niveau de pénibilité des salariés sur ce

¹⁰⁶ Entretien avec le CRNA-Est.

¹⁰⁷ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, Directeur Général et Directeur des Opérations.

¹⁰⁸ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, Directeur Général et Directeur des Opérations.

métier.

« Il y a ce que l'on appelle les push back, qui sont des équipements qui permettent de repousser l'avion. Ces équipements utilisent des barres. Il y a des push back qui se greffent directement sous la roulette de nez de l'avion, mais vous en avez certains qui utilisent une barre. Parfois, il arrive que les équipes au sol ne trouvent pas la barre. Le fait d'allouer un capteur, cela permet de géolocaliser le type de barre, sa référence, et cela permet un gain significatif. »¹⁰⁹

« L'échéance la plus probable est l'amélioration des conditions de travail pour le métier d'employé de piste, qui est soumis à toutes les contraintes en matière de pénibilité. Le principal critère est le port de charges lourdes. Les avancées technologiques se font à ce niveau (comme les exosquelettes, les outils d'aide à la manutention, les tapis déployables). »¹¹⁰

Les métiers de la piste qui évolueront avec les nouveaux outils numériques

Métiers ciblés	Impact de la digitalisation sur le métier	Emplois en IDF (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Nouvelles compétences attendues	Formations associées à adapter
Agent de trafic (gère et coordonne les différentes opérations autour de l'avion au sol)	Décentralisation de la mission de répartition des masses avec le développement de nouveaux logiciels : transformation vers un nouveau métier, celui de coordinateur	Estimation : entre 2 000 et 4 000 emplois sur les 2 métiers	→ Analyse de données / des informations transmises par les nouveaux outils/logiciels → Management → Capacité de coordonner des équipes	Formations spécialisées ou internes en entreprise
Agent d'opération piste (assure l'ensemble des opérations autour de l'avion directement sur piste)	Développement d'outils permettant d'assister l'agent de piste dans certaines postures/missions		→ Mise en route et réglages des nouveaux équipements et maintenance de premier niveau → Compréhension des informations/données transmises par les outils numériques	Formations spécialisées ou internes en entreprise

Préconisations : Apporter une coloration « maîtrise des outils numériques » et apporter un volet « analyse des données » (plus ou moins poussée en fonction du poste ciblé) dans les formations préparant aux métiers de la piste.

Mettre en place un système de formation continue afin de transférer les compétences des agents de trafic vers le métier de coordinateur zone avion.

Les **métiers de l'aéronautique** vont également évoluer avec la digitalisation, du fait du recours aux robots-cobots (cf. partie 1). Toutefois, cela n'implique pas une transformation majeure des compétences attendues pour certains métiers de cette famille professionnelle, car l'appropriation de cette technologie se fait très rapidement. Cette mutation aura donc peu d'impact sur le volet emploi-formation, mais permettra d'améliorer les conditions de travail. En revanche, les métiers de mécanicien avion, ou ceux en lien avec les bureaux d'études/bureaux techniques, connaîtront une évolution substantielle en lien avec le développement des nouveaux aéronefs, et l'incorporation des innovations technologiques.

« Ce sont nos jeunes qui sortent du BTS qui se dirigent vers ces métiers. Le métier en lui-même c'est du traitement de documentation, mais aujourd'hui, les documents sont traités avec de la technologie de nouvelle génération. Avant on parlait de carlingue d'un avion, et d'alliage, aujourd'hui, on parle de

¹⁰⁹ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, chargé de développement.

¹¹⁰ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, Directeur Général et Directeur des Opérations.

composite et de carbone. Finalement, c'est toujours la carlingue d'un avion, mais il n'est plus du tout composé du même matériau. On parlait d'aluminium, et maintenant, on parle de carbone. La connaissance du métier de mécanicien et des bureaux techniques évoluent, puisque la technologie évolue. » ¹¹¹

Préconisation : S'appuyer sur cette évolution pour valoriser les métiers de la maintenance aéronautique, en insistant notamment sur l'amélioration des conditions de travail.

En outre, certains **métiers de la maintenance des équipements aéroportuaires** vont s'adapter avec la digitalisation (au niveau du balisage des pistes, de l'anticipation des risques, des systèmes de commande des pièces, du reporting, etc) : la maîtrise des outils numériques devient ainsi essentielle pour les techniciens.

« Ce qu'on a digitalisé, c'est tout ce qu'on appelle le process d'utilisation. C'est-à-dire qu'aujourd'hui, un technicien fait une intervention. Il intègre les éléments sur sa tablette. Et automatiquement, il va pouvoir lancer la commande de pièces détachées, la préparation des actions pour une intervention ultérieure. » ¹¹²

« Je vais vous donner un autre exemple : nous utilisons un logiciel d'aide à la maintenance (...). L'usage de ce type d'outils va optimiser la façon de travailler de nos équipes de maintenance, car le fait de concentrer de l'information dans un seul outil va leur permettre très rapidement d'avoir accès à l'information. » ¹¹³

Par ailleurs, comme nous l'avons vu en partie 1, de nouveaux équipements se développeront du côté de l'aérogare mais également sur les aires extérieures (balisage, appui aux métiers de la piste). Aussi, les techniciens et agents de maintenance devront actualiser leurs compétences afin d'entretenir ces nouveaux équipements.

« Sur le balisage, on est passés d'un mode : « Je change une ampoule sur la piste » à, maintenant, des systèmes tout LED et qui sont commandés avec des systèmes de contrôle-commande, d'automates, etc. Donc le métier évolue un peu de « hier, j'étais allé changer une ampoule » et maintenant je deviens un peu plus, je ne vais pas dire automatique, mais je comprends mieux les systèmes, je vois comment je peux mieux commander les systèmes. » ¹¹⁴

Conclusion et préconisation : Les besoins se concentreront de plus en plus sur les techniciens de maintenance de systèmes automatisés ou en électrotechnique. Nous suggérons donc d'accompagner l'évolution en compétences des agents de maintenance vers ces métiers.

Il convient, par ailleurs, de souligner que de nouveaux métiers vont être créés dans la maintenance en lien avec le développement de nouvelles technologies, à l'image des taxis volants (cf. partie 3).

2. En lien avec la décarbonation de l'aéroportuaire et de l'aéronautique

La décarbonation de la filière AA va impacter les certifications, les réglementations, la consommation énergétique et favoriser le développement de services décarbonés ou encore le recours à des énergies alternatives. Ces évolutions vont ainsi toucher certains métiers existants qui vont devoir s'adapter et développer de nouvelles façons de faire.

En premier lieu, plusieurs **métiers de la piste** vont être impactés par des mutations liées à la décarbonation, en plus de celles liées à la digitalisation. C'est le cas de l'avitailleur qui devra développer de nouvelles compétences sur le plan technique (connaissances des nouveaux carburants) mais aussi réglementaire (nouvelles procédures en lien avec la sécurité). Mais également des mécaniciens en charge de la maintenance des véhicules côté piste.

¹¹¹ Entretien réalisé avec une Responsable de l'AFMAé

¹¹² Entretien réalisé avec une entreprise spécialisée dans les équipements aéroportuaires, responsable de projets stratégiques.

¹¹³ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, chargé.e de développement.

¹¹⁴ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, directeur des aires aéroportuaires.

Les métiers en lien avec la piste qui évolueront avec la décarbonation de la filière

AA

Métiers Ciblés	Impact de la digitalisation sur le métier	Emplois en IDF <i>(en lien avec les aéroports - horizon 2030) *</i>	Nouvelles compétences attendues	Formations associées à adapter
Avitailleur (ravitaile les aéronefs en carburant))	De nombreux carburants alternatifs moins carbonés devraient petit à petit remplacer le kérosène d'ici 2030 (SAF), et à plus long terme (hydrogène)	Pas de données	→ Maîtrise des procédures → Manipulation de produits inflammables → Connaissance des spécificités des SAF	Certifications FIMO et ADR Formation interne
Mécanicien / électronicien de véhicules (effectue la maintenance et la réparation des composants mécaniques, électriques et électroniques des véhicules)	Développement des flottes de véhicules électriques moins carbonés ou utilisant d'autres carburants plus durables côté piste	Non déterminé	Mise à jour/formation sur les nouveaux systèmes de fonctionnement et les éléments réglementaires en matière de décarbonation Pour la flotte fonctionnant à l'hydrogène : nouvelles connaissances techniques	→ Bac pro maintenance des véhicules options voitures particulières, véhicules de transport routier ou motocycles → Bac pro métiers de l'automobile

Conclusion : Les métiers de la piste vont principalement devoir incorporer des compétences liées aux nouvelles énergies et s'adapter aux évolutions réglementaires les accompagnant. Par ailleurs, les formations aux métiers de la piste sont spécifiques et font l'objet de formations internes dispensées par les entreprises.

Préconisations : Se focaliser sur la formation continue et non pas sur les formations initiales généralistes. Créer des modules de formation au sein des formations internes des entreprises sensibilisant à la réglementation et aux processus émergents imputables à la décarbonation de la filière.

« Certaines actions de formation continue commencent à être mises en place auprès des opérateurs aéroportuaires afin de les sensibiliser sur la décarbonation des aéroports (en particulier les appareils : systèmes annexes à l'avion qui viennent servir l'avion, les systèmes d'air conditionné, les systèmes de catering, de handling, de transport de bagages, de refueling). »¹¹⁵

En outre, les métiers de la **maintenance aéronautique** vont également devoir s'adapter dans les années à venir avec l'évolution d'une partie de la flotte aérienne. Une adaptation des compétences des mécaniciens/techniciens de maintenance est ainsi attendue.

A noter :

- ⇒ Les métiers liés à la construction aéronautique seront également impactés. Toutefois, ils ne seront pas abordés.
- ⇒ Les principales évolutions en matière de compétences seront principalement liées à l'émergence des courts-moyens courriers fonctionnant à l'électricité et/ou à l'hydrogène. Aussi, une très faible part des emplois dans la maintenance aéronautique sera concerné par ces évolutions d'ici 2030.
- ⇒ Les nouvelles attentes en matière de compétences liées à l'introduction des carburants durables seront plus marginales.

¹¹⁵ Entretien avec l'ENAC, responsable de la formation continue.

Les métiers de l'aéronautique qui muteront en lien avec la décarbonation de la flotte aérienne

Métiers ciblés	Impact de la décarbonation sur le métier	Emplois en IDF <i>(en lien avec les aéroports - horizon 2030) *</i>	Nouvelles compétences attendues	Formations associées à adapter
Technicien et mécanicien aéronautique (sont en charge de la maintenance et de la réparation des aéronefs)	Évolution des aéronefs, ce qui impactera la maintenance de ces derniers	Total mécanicien/technicien aéronautique : 3 000 à 4 000 emplois	Respect des nouveaux protocoles, en lien avec la réglementation et les enjeux environnementaux	Bac pro option Avionique et MC en avionique BTS en Maintenance et exploitation des matériels aéronautiques
Mécanicien révision moteur (est en charge de la maintenance et de la réparation des moteurs des aéronefs)	En lien avec l'évolution des aéronefs et de leurs moteurs	Pour rappel, une minorité de ces emplois sera impactée par une évolution en matière de compétences d'ici 2030.	Connaître le fonctionnement des moteurs et des nouvelles réglementations aéronautiques en lien avec les carburants durables	CAP Aéronautique (spécialité systèmes) ; Bac Pro Aéronautique (spécialité systèmes) BTS Aéronautique
Technicien en contrôle non destructif (S'assure de la bonne conformité et de la qualité des pièces au regard des exigences réglementaires et des standards attendus)	En lien avec le recyclage des pièces non conformes et des réglementations	Non déterminé	Améliorer l'efficacité dans le contrôle et le recyclage des pièces d'avion.	BTS métallurgie ou chaudronnerie Certificat de Compétences Professionnelles de technicien en contrôle non destructif.

Conclusion / préconisations : Le Bac pro aéronautique (qu'il soit option avionique, structure ou système) et le BTS aéronautique sont les principales formations préparant aux métiers de la maintenance aéronautique. Ces formations permettent de débiter une carrière en tant que technicien ou mécanicien aéronautique pour ensuite évoluer vers d'autres postes à l'aide de formations internes. Ainsi, il semble pertinent de développer un court module au sein des Baccalauréats Professionnels (Bac Pro) et des BTS aéronautiques mettant en avant les évolutions en termes de réglementation ainsi que les nouvelles compétences qui seront demandées en lien avec le développement de nouvelles énergies dans l'aéronautique. Un tel module devra également être mis en place dans les formations internes dispensées par les entreprises lors des évolutions de poste.

Enfin, un axe important de la décarbonation de l'aérien concerne les trajectoires des avions et leur consommation de carburant, et donc la **navigation aérienne**. Optimiser les flux d'aéronefs en vol mais également au sol est un enjeu majeur. Or, le développement des carburants alternatifs se faisant sur une période étalée dans le temps, il est nécessaire, pour réduire dès maintenant les émissions de GES des aéronefs, d'optimiser les flux en s'intéressant à la navigation aérienne. Nous pouvons citer trois métiers qui seront impactés à court terme par cette logique d'optimisation des flux, des trajectoires et des parcours au sol : les pilotes d'aéronefs (Personnel navigant technique), les contrôleurs aériens (cf. partie sur la digitalisation), ainsi que les chargés de mission conformité EASA.

Les métiers qui muteront en lien avec la navigation aérienne

Métiers ciblés	Impact de la décarbonation sur le métier	Emplois en IDF <i>(en lien avec les aéroports - horizon 2030) *</i>	Nouvelles compétences attendues	Formations associées à adapter
Personnel navigant technique (pilote d'avion)	Modification des procédures et des carburants utilisés pour faire voler les aéronefs	3 500 à 4 500 emplois attendus	Acquérir des connaissances sur les procédures et sur les propriétés des carburants durables	Formation de l'ENAC ou des écoles de pilotage des compagnies
Chargé de mission conformité EASA ¹¹⁶ (Supervise et anime le système de gestion de la conformité et de la sécurité aérienne)	Transformation de la flotte aérienne : analyse des risques et contrôle de conformité par rapport aux normes de sécurité aériennes	Non déterminé	→ Connaissances techniques liés au développement de nouveaux aéronefs → Maintien des connaissances en matière de sécurité aérienne	Formation spécialisée

Conclusion : Les métiers de la navigation aérienne ont commencé leur mutation et celle-ci va se poursuivre. L'École Nationale de l'Aviation Civile est l'un des principaux fournisseurs de personnels qualifiés pour les métiers de la navigation aérienne. Elle a d'ailleurs déjà adapté son offre de formation continue en intégrant un volet réglementaire dédié à l'environnement.

En lien avec l'hydrogène

Comme expliqué dans la première partie, le développement de l'hydrogène va engendrer une évolution des **métiers de la maintenance**, aussi bien aux niveaux **des véhicules, des engins de piste que des aéronefs**. Cependant, la temporalité ne sera pas la même :

→ L'utilisation de véhicules et d'engins de piste fonctionnant à l'hydrogène va se développer dans les prochaines années. Cependant, l'utilisation de l'hydrogène concernera plus particulièrement les engins les plus énergivores afin de pallier les limites engendrées par le développement des batteries électriques. Aussi, il faut s'attendre à une évolution des compétences dans certains métiers de la maintenance (véhicules, équipements des pistes, équipements de l'aérogare) dans les prochains mois, avant une généralisation de cette évolution sur l'ensemble des métiers (d'ici 5-10 ans). Cette généralisation sera corrélée à la capacité à industrialiser la production d'hydrogène afin de faire baisser les coûts et rendre cette énergie plus compétitive d'un point de vue économique.

« Sur les moteurs à combustion thermique à hydrogène, c'est pareil. On n'en est qu'au début. »¹¹⁷

« Les volumes ne sont pas là, c'est-à-dire que l'industrialisation n'est pas encore passée par là. »¹¹⁸

→ La mise en service d'une flotte aérienne fonctionnant à l'hydrogène n'est pas d'actualité avant 2035 pour les gros porteurs. En revanche, des projets de développement sont en cours pour exploiter une flotte alimentée par l'hydrogène. Cela concernera les avions régionaux (ATR notamment), l'aviation d'affaires, mais également les aéronefs les plus petits utilisés dans les aérodromes (pour la formation des pilotes par exemple).

« Et sur les moteurs à combustion thermique à hydrogène, c'est pareil. On n'en est qu'au début [...] c'est quand même une accessibilité qui va se faire quand, vraiment, on aura de l'hydrogène disponible sur les

¹¹⁶ <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA%20Brochure%20FR.pdf>

¹¹⁷ Entretien avec une entreprise spécialisée dans la maîtrise des risques, chef d'agence

¹¹⁸ Entretien avec une entreprise spécialisée dans l'énergie, directeur de projets hydrogène

aéroports. Donc, je ne pense pas avant 2025, entre 2025 et 2030. »¹¹⁹

Par conséquent, certains métiers spécialisés dans la **maintenance aéronautique** des petits avions seront concernés par cette évolution dans un futur proche, ce qui ne représente pas la majorité des emplois de la maintenance aéronautique. La généralisation (potentielle) de cette évolution dans la maintenance aéronautique interviendra plutôt entre 2035 et 2050.

D'un point de vue technique, l'évolution attendue en matière de compétences n'est pas conséquente : **il sera donc possible d'adapter rapidement et facilement les compétences des salariés par des modules de formation continue assez courts.**

« Le matériel technique qui est thermique aujourd'hui, va progressivement basculer sur de l'électrique ou de l'hydrogène. Cela ne modifie pas vraiment la manière de travailler. »¹²⁰

« Cela crée des besoins de maintenance, mais globalement, pour vos tracteurs, que ce soit une pile à hydrogène, du gaz, du diesel, ça ne change pas votre manière de travailler. »¹²¹

« Ce sont tous les métiers qui portent sur les domaines de l'énergie, de l'automobile et de l'aviation auxquels il va falloir ajouter la composante hydrogène, à la fois gazeux et liquide. »¹²²

Nous pouvons ainsi décomposer les familles professionnelles impactées par ces évolutions en deux catégories : la maintenance des équipements aéroportuaires (piste, véhicules, aérogare) et la maintenance des avions.

Les métiers liés à la maintenance des équipements aéroportuaires

Métiers ciblés	Impact de l'hydrogène sur le métier	Emplois en Ile-de-France	Nouvelle compétence attendue	Formations associées à adapter
Chauffagiste / installateur thermique (assure l'installation d'un équipement sanitaire/de chauffage et de sa maintenance)	L'hydrogène sera potentiellement exploité pour chauffer les bâtiments	Plus de 15 000 emplois dans l'installation/la maintenance des équipements thermiques (tous ne concerneront pas l'environnement aéroportuaire)	Apprentissage du fonctionnement des systèmes de chaleur générés par l'hydrogène	→ Bac pro énergétique, option maintenance des systèmes climatiques
→ BTS Fluides, énergie et environnement (niveau technicien)				
Technicien d'installation et de maintenance de systèmes énergétiques				→ Bac Pro TISEC (technicien en installation des systèmes énergétiques et climatiques)

« On va peut-être avoir besoin de chauffagistes qui savent comment fonctionnent des systèmes de chaleur générés à partir de l'hydrogène. »¹²³

A noter : Le métier « électronicien/mécanicien de véhicules » est concerné par cette évolution mais a déjà été abordé dans la partie décarbonation.

¹¹⁹ Entretien avec une entreprise spécialisée dans la maîtrise des risques, chef d'agence

¹²⁰ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, Directeur Général et Chef des opérations.

¹²¹ Entretien avec une entreprise spécialisée dans les services aéroportuaires, Directeur Général et Chef des opérations.

¹²² Entretien avec un exploitant aéroportuaire, responsable de projets hydrogène

¹²³ Entretien avec un exploitant aéroportuaire, responsable développement hydrogène.

Concernant les métiers liés à la **maintenance des aéronefs**, nous retrouvons une grande partie de ces métiers dans la partie décarbonation (mécanicien aéronautique, mécanicien moteur avion, technicien de contrôle non destructif) . Aussi, nous ne reviendrons pas sur ces derniers, d'autant que nous avons vu que les évolutions en matière de compétences se feront à la marge. Il convient, en revanche, de souligner que d'autres métiers seront impactés par l'adaptation de la flotte aérienne.

« La compagnie Amelia travaille actuellement à l'adaptation de sa flotte d'ATR 72, dans l'optique de fonctionner à l'hydrogène. Pour ce faire, il convient de changer la motorisation, la structure (passage de la porte passager de l'arrière à l'avant et suppression de certains sièges). »¹²⁴

Les métiers liés à l'évolution vers une flotte d'avions fonctionnant à l'hydrogène

Métiers ciblés	Impact de l'hydrogène sur le métier	Emplois en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Nouvelles compétences attendues	Formations associées à adapter
Ajusteur monteur de cellule (réceptionne et assemble les pièces d'une partie de l'aéronef)	Adaptation de la flotte régionale existante (ATR) et développement d'une nouvelle flotte	Total mécanicien/technicien aéronautique : 3 000 à 4 000 emplois	→ Connaître les différents matériaux métalliques et composites utilisés en aéronautique → Connaître la spécificité des matériaux dans une logique de décarbonation	CAP Aéronautique (spécialité structure) BAC Pro Aéronautique (spécialité structure ou spécialité mécanicien système cellule)
Peintre aéronautique (Peint l'ensemble de la structure d'un aéronef, intérieure et extérieure)	En lien avec l'évolution des aéronefs et des réglementations	De manière globale, une faible part des mécaniciens aéronautiques sera concernée par les évolutions liées à l'hydrogène d'ici 2030	Faire preuve de rigueur dans le respect de la réglementation en matière de qualité, sécurité et environnement	CAP peinture en carrosserie Certificat de Qualification Professionnelle de la Métallurgie de peintre aéronautique
Technicien support et service client (assure l'assistance et le support technique auprès des clients d'une entreprise)	En lien avec l'évolution des aéronefs et des réglementations	Non déterminé	Connaissances techniques des aéronefs fonctionnant à l'hydrogène	BTS/licence professionnelle en aéronautique BTS/DUT licence professionnelle technico-commercial.
Technicien d'essai - sol avion Hélicoptère (tests et exploite les résultats afin de déceler les anomalies)	En lien avec l'évolution des aéronefs et des réglementations	Non déterminé	Mise en œuvre des moyens et réalisation d'essais spécifiques aux aéronefs à hydrogène	BTS motorisations toutes énergies ; électrotechnique ; assistance technique d'ingénieur ; conception des processus de réalisation de produits (CPRP) DUT mesures physiques ; génie mécanique et productique.

¹²⁴ Congrès UAF et FA, « Attractivités aéroportuaires », 24 et 25 novembre 2022.

Les nouveaux métiers (n'existant pas jusqu'à présent)

Cette dernière partie met en avant tous les nouveaux métiers, qui n'existent pas aujourd'hui (ou qui commencent juste à l'être) et qui se développeront dans les prochains mois/prochaines années.

Très clairement, plusieurs phénomènes induisent la création de nouveaux métiers :

- L'évolution des attentes des passagers
- L'introduction de nouvelles mobilités, comme les taxis-volants
- Le développement de nouvelles infrastructures liées à l'hydrogène (exemple avec les sites de distribution sur les plateformes aéroportuaires)

A ce stade, il reste difficile de définir avec précision l'ampleur de cette création de nouveaux métiers. De manière générale, les acteurs interrogés ont avant tout souligné l'adaptation des métiers existants, plus qu'une création de métier à part entière.

« Les métiers vont évoluer un petit peu, mais les technologies fondamentales, c'est peut-être une réorientation de la pensée que réellement un changement des métiers. Par contre, les métiers qui émergent sur les mobilités liées à l'aéroportuaire/l'aéronautique – et ça on le voit avec certains partenariats qu'on a réalisés notamment – c'est toute la mobilité urbaine avec les drones, les taxis-drones. »¹²⁵

En lien avec la digitalisation de l'aéroportuaire/l'aéronautique

Les nouveaux métiers en lien avec la digitalisation seront avant tout guidés par l'évolution des attentes des passagers et par le développement de nouveaux services.

Une première attente exprimée concerne la gestion des mobilités pour venir à l'aéroport. En effet, la diversité des modes de transport permettant de se rendre à l'aéroport doit s'accompagner d'un service « d'aide à la décision » dans le parcours du voyageur. Très concrètement, l'ambition est de mettre à disposition une expertise permettant :

- ⇒ D'informer le voyageur de la situation actuelle en termes de trafic routier, trafic ferroviaire, ...
- ⇒ De proposer la meilleure solution en fonction de la situation actuelle

Certains outils numériques se développent afin d'informer les voyageurs de l'ensemble de l'offre de transport qui s'offre à lui. L'idée est d'aller encore plus loin en intégrant l'information relative à l'état du trafic sur chaque modalité et, ainsi, de proposer la meilleure solution.

« Il faudrait aussi des personnes capables d'analyser les flux routiers ou ferroviaires. Objectif : lancer des actions en temps réel pour aboutir à une fluidification des flux. »

A noter : le domaine de la logistique est également concerné par l'apparition de nouveaux métiers liés à la coordination des robots dans les entrepôts. C'est le cas par exemple de « chargés de solution service » qui ont la charge de gérer l'activité des robots autonomes.

Métier attendu	Impact de la digitalisation	Emplois en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Compétences attendues	Type de formation ciblé
Analyste des flux d'accès à l'aéroport (analyse les flux de	Partage de l'information en temps réel via des applications	5 à 10	→ Analyse de données → Réactivité → Connaissance de l'environnement aéroportuaire de référence	Formations liées à l'analyse de données avec une coloration « transport »

¹²⁵ Entretien avec l'ENAC, chef de pôle.

mobilité)				
-----------	--	--	--	--

La digitalisation accompagnera également le développement de nouvelles mobilités, à l'image des taxis-volants. Comme cette nouvelle offre de service aura également un impact sur la décarbonation, nous intégrerons son impact sur les métiers dans la partie suivante.

En lien avec la décarbonation de la filière AA

Les impératifs de décarbonation qui touchent l'ensemble de la filière AA stimulent le développement des nouvelles mobilités, à l'instar des taxis volants. Derrière ces modes de transports décarbonés, se trouvent des métiers qui couvrent l'ensemble de la chaîne de valeurs, allant de la construction à la maintenance. Les métiers de la conception et de la construction aéronautique concernés par ces nouvelles mobilités ne seront pas traités ici car, il s'agit de métiers déjà existants.

En ce qui concerne les métiers de l'exploitation (contrôle de sûreté/sécurité et accueil), ils subiront des modifications liées à la nature de l'activité. En effet, les métiers de l'accueil pour l'accès aux taxis volants seront, pour une grande partie, délocalisés (en dehors des sites aéroportuaires). Cela nécessitera notamment d'avoir une bonne connaissance de l'environnement aéroportuaire¹²⁶, du parcours, et d'amorcer un travail de pédagogie auprès des passagers.

La réelle nouveauté concerne le métier de conducteur/ pilote de drone passager/ taxi volant. Ce métier est en effet nouveau car, il s'inscrit dans un champ émergent, et son évolution est étroitement liée au développement d'un réseau de Taxis volant/Drone passagers.

« Ils seront pilotés, au début, parce qu'il y a des sujets d'acceptabilité, mais à terme, ils sont conçus pour être autonomes. Mais il y a 30% de nouveaux postes de travail qui vont s'ouvrir avec cette industrie-là qui n'existait pas, et qui va venir, effectivement, diversifier le marché du travail et ouvrir des postes et des opportunités qui n'existaient pas avant. Donc, même s'il y a des postes de travail qui, effectivement, seront remplacés par des systèmes automatisés, en tout cas, il y a 20 à 30% de nouveaux postes qui seront prévus pour de nouveaux métiers et de nouvelles compétences. »¹²⁷

Le développement de la mobilité aérienne urbaine (UAM)¹²⁸ favorise l'usage d'aéronefs d'un nouveau genre, qui seront pilotés ou télépilotés. L'effort de décarbonation de ces appareils se situe dans le choix d'une énergie moins émettrice de CO₂, à savoir l'électricité, et peut être à terme l'hydrogène. Globalement, l'UAM est porteuse d'innovation, et créatrice d'un univers de compétences, notamment dans le domaine infrastructurel.¹²⁹ En effet les plateformes dédiées aux drones passagers sont à mi-chemin entre le terminal d'aéroport et l'héliport. La construction d'un tel environnement nécessite de mobiliser des compétences précises, tout en prenant en compte les enjeux d'emprise au sol liés à la création d'un tout nouvel espace bétonné qui, d'une part, carbonerait ce nouveau service et, d'autre part, poserait problème en cas d'événement climatique majeur tel que des inondations (pas d'absorption de l'eau par les sols). Ces environnements sont donc à inventer, à créer, en conformité avec les obligations de la navigation aérienne, et les contraintes liées à un environnement urbain.

« Typiquement, même si derrière, on avait des architectes ou des ingénieurs qui concevaient grosso modo des terminaux, l'infrastructure dédiée aux drones passagers, n'est pas un terminal, ce n'est pas un aéroport, ce n'est pas non plus un héliport, c'est vraiment un truc qui est bien spécifique. »¹³⁰

Les premiers usages de ce nouveau type de mobilité seront consacrés au transport d'urgence, aux besoins médicaux et à la logistique. La construction de « vertiports » demeure un enjeu, puisqu'il s'agit d'installer dans un espace urbain à la fois des espaces d'atterrissage/décollage, des zones de garage, de recharge de batteries et

¹²⁶ Cela concerne principalement les trajets ville-aéroport, notamment pour des voyages d'affaires.

¹²⁷ Entretien réalisé avec un exploitant aéroportuaire au sujet de la mise en œuvre du projet de Taxi volant.

¹²⁸ Urban Air mobility (UAM)

¹²⁹ Un premier vol expérimental de e-VTOL (Electric Vertical Take-off and Landing) a été mené sur le site de l'aérodrome de Pontoise. Pour plus d'informations, voir le [site internet du groupe ADP, rubrique Actualités, e-VTOL, 04/04/22](#).

¹³⁰ Entretien réalisé avec une responsable de la mobilité aérienne chez un exploitant aéroportuaire.

de maintenance. Le déploiement de ces univers nécessitera la mise en commun des compétences en matière d'avionique, de batteries, d'infrastructures, d'opérations, d'intégration dans l'espace aérien et d'acceptabilité.

Métier attendu	Impact de la décarbonation	Emplois en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Compétences attendues	Type de formation ciblée
Pilote ou télépilote de Drone-passager / Taxi volant (dirige à bord ou à distance un aéronef)	Pilotage ou télé-pilotage en adéquation avec les objectifs de décarbonation	Difficile à quantifier (en fonction de l'ampleur du développement de ce mode de transport)	→ Maîtrise de la réglementation relative à l'UAM → Maîtrise du pilotage ou télé-pilotage de drones passagers	Formation au pilotage/télé-pilotage de drones civils
Electromécanicien aéronautique - drones passagers (entretien et répare les composants mécaniques, électriques et électroniques des drones)	Maintenance d'aéronefs électriques		→ Maîtrise de la maintenance des aéronefs électriques	Adaptation de la formation de la maintenance aéronautique avec une spécificité - maintenance des aéronefs électriques

Le nombre d'emplois attendus par métier à ce stade est difficile à déterminer, mais l'AESA estime que le domaine de la mobilité aérienne urbaine constitue un marché conséquent qui générera de l'emploi.¹³¹

Conclusion et préconisations : le domaine de la mobilité urbaine aérienne est en pleine construction. Son développement dans une logique de décarbonation, va générer de nouveaux métiers et compétences en lien avec la conception d'espaces dédiés (infrastructures), les opérations, le pilotage/télé pilotage d'aéronefs, et leur maintenance. Pour les métiers liés à l'accueil dans les vertiports, une adaptation de la formation des agents d'accueil par des modules spécifiques intégrant les particularités aéroportuaire et « verti portuaire » sera nécessaire. Des formations concernant la gestion des flux relatifs à l'UAM accompagneraient les changements générés par cette nouvelle mobilité. Le pilotage/ télé-pilotage des aéronefs constitue un domaine de formation primordial dans la perspective d'un développement des UAM. La maintenance de ces appareils est également à intégrer dans une offre de formation qui se voudrait complète.

En lien avec le développement de l'hydrogène

Le recours progressif à l'hydrogène dans les plateformes aéroportuaires va induire une évolution de certains métiers existants (cf. partie 2), mais également la création de certains métiers propres à cette énergie. Nous retrouvons ainsi plusieurs familles professionnelles impactées par la croissance de cette énergie et de son exploitation :

- **L'ingénierie**, afin de sécuriser son exploitation et de mettre en place les projets de développement
- **La gestion de stations** (et la maintenance associée), avec le développement des sites de distribution
- **La logistique**, afin de gérer le stockage de l'énergie

« On aura besoin des (...) compétences, des personnes capables de réaliser des études de risques, des personnes capables de réaliser des études d'installation d'infrastructure et des personnes capables d'en réaliser la maintenance et l'exploitation. »¹³²

Nous allons donc, dans un premier temps, mettre en avant tous les nouveaux métiers de la partie **ingénierie** impactés spécifiquement par la croissance de cette énergie. Celle-ci s'étend des fonctions réglementaires à la gestion de projet.

¹³¹ La Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) souligne dans le numéro 393 du magazine *Aviation civile*, paru en octobre 2021, que l'AESA estime à 90 000 le nombre d'emplois que générerait la mobilité aérienne urbaine (p. 14).

¹³² Entretien avec une spécialiste de l'énergie travaillant pour un exploitant aéroportuaire.

« Sur les aspects de sécurité et de réglementation, quand même, il y a des choses assez cadrées qui commencent à se mettre en place. »¹³³

Les nouveaux métiers de l'ingénierie en lien avec l'hydrogène

Métiers attendus	Impact de l'hydrogène	Emplois en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Compétences attendues	Type de formation ciblée
<p>Chef de projet normalisation et réglementation</p> <p>(Suivi de la maîtrise des risques dans la mise en place d'un projet)</p>	Développement d'un nouveau cadre réglementaire concernant l'hydrogène	Difficile à quantifier (dépend de l'ampleur du développement de la filière, en particulier sur les places aéroportuaires)	<p>→ Connaissances juridiques / réglementaires (forte exigence)</p> <p>→ Connaissances techniques de base, notamment pour gérer les hautes pressions (en mécanique, électronique ou en physique)</p> <p>→ Connaissances en matière de sécurité (normes ATEX, maîtrise des risques) 134</p>	<p>Formation spécialisée dans l'hydrogène</p> <p>Exemples :</p> <p>CMI H3E – hydrogène énergie et efficacité énergétique - Université Franche-Comté</p> <p>DU Hydrogène à Belfort et master « QHSE et Hydrogène » à Auxerre</p>
<p>Ingénieur conception - hydrogène</p> <p>(Réaliser des études de pré faisabilité / faisabilité des installations de site d'hydrogène)</p>	Création de nouvelles installations sur les plateformes aéroportuaires	Difficile à quantifier (dépend de l'ampleur du développement de la filière, en particulier sur les places aéroportuaires et postes potentiellement délocalisable)	<p>→ Connaissances techniques sur le fonctionnement de l'hydrogène (forte exigence)</p> <p>→ Connaissances en matière de sécurité (forte exigence)</p> <p>→ Bonnes notions en génie des procédés</p> <p>→ Connaissances permettant de gérer les matériaux utilisés</p>	<p>Master ou diplôme d'ingénieur spécialisé dans l'énergie (expérience en gestion de projet appréciée)</p> <p>Formation spécialisée dans l'hydrogène</p>
<p>Ingénieur chargé d'affaires - spécialisation hydrogène</p> <p>(Gestion commerciale d'un site hydrogène et contribution à son développement)</p>	Implantation de sites hydrogène : développement de partenariats entre les opérateurs des sites, les acteurs publics et les acteurs de la filière (exploitants aéroportuaires).	Moins de 10 (principalement rattaché aux exploitants aéroportuaires)	<p>→ Relation clients</p> <p>→ Connaissances techniques et réglementaires liées à l'hydrogène (forte exigence)</p> <p>→ Connaissances de l'écosystème aéroportuaire et des acteurs publics</p>	<p>Formation généraliste (énergie, électricité) de niveau Master ou école d'ingénieur : connaissance de la filière hydrogène impérative.</p> <p>La connaissance de l'écosystème aéroportuaire est un plus</p>

Conclusion et préconisation : Le plus souvent, un socle de compétences commun est attendu sur ces métiers, notamment sur le plan technique (connaissances en énergie, électricité ou gestion des fluides). Aussi, il serait approprié de cibler ces profils et de leur apporter un socle de connaissances spécifique à l'hydrogène autour de trois points : la maîtrise des risques (haute pression), les aspects réglementaires (voire juridiques) ainsi que la connaissance de tous les impératifs en matière de sécurité, notamment dans l'environnement AA.

Dans un second temps, **les métiers liés à l'exploitation opérationnelle d'un site hydrogène** seront mis en avant. Ils se développeront en même temps que l'implantation des stations de distribution et de stockage sur les territoires aéroportuaires. Certains emplois pourront également être rattachés aux sites de production (qui pourront être localisés plus ou moins loin des plateformes aéroportuaires en fonction du maillage énergétique décidé par les acteurs publics).

¹³³ Entretien avec un acteur de l'hydrogène

¹³⁴ Adaptation des compétences métiers aux spécificités de l'hydrogène, France Hydrogène, juin 2022.

« Les entreprises émettent le besoin de « coloration » de certaines formations existantes, de formations spécifiques et de certificats type ATEX (ATmosphères EXplosives). »¹³⁵

Les nouveaux métiers de l'exploitation de site en lien avec l'hydrogène

Métiers attendus	Impact de l'hydrogène	Emplois en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Compétences attendues	Type de formation ciblée
<p>Ingénieur d'exploitation - site hydrogène</p> <p>(Supervise l'exploitation d'un site hydrogène)</p>	Création de nouvelles installations sur les plateformes aéroportuaires	<p>Difficile à quantifier (variable en fonction de la taille du site)</p> <p>Hypothèse ; entre 1 à 3 par site</p>	<p>→ Connaissances techniques sur le fonctionnement de l'hydrogène (forte exigence)</p> <p>→ Bon socle de connaissance en gestion des flux (électrique et thermique)</p> <p>→ Connaissances en matière de sécurité : exemple avec la maîtrise des risques associés aux hautes pressions</p>	<p>Master ou diplôme d'ingénieur spécialisé dans l'énergie ou l'électricité</p> <p>Formation spécialisée dans l'hydrogène</p>
<p>Chargé d'exploitation de station à hydrogène</p> <p>(Assure l'exploitation d'un site hydrogène)</p>		<p>Difficile à quantifier (variable en fonction de la taille du site)</p> <p>Hypothèse ; entre 2 à 5 par site</p>	<p>→ Socle de base en matière de connaissances techniques (électricité, électronique, énergie ou fluide)</p> <p>→ Compétences en métrologie</p> <p>→ Habilitation ATEX</p> <p>→ Habilitations électriques</p> <p>→ Habilitations dédiées H2</p>	<p>Socle Bac +2/+3 (exemples : BTS électrotechnique, BTS Fluides, Energie, Domotique) et compléments sur le volet réglementaire</p>

Conclusion et préconisation : A l'image des métiers de l'ingénierie, nous retrouvons un socle de compétences assez proches pour les métiers liés à l'exploitation de site hydrogène : connaissances techniques et réglementaires (risque et sécurité). Outre le développement de formation spécifique à l'hydrogène, la formation continue peut être envisagée auprès d'exploitants de site de distribution d'énergie thermique en reconversion.

Un travail spécifique sera également mené en matière de **logistique**, en lien notamment avec le stockage de l'hydrogène en vue de l'alimentation des avions (dédiée aux plus petits porteurs avant 2035). En effet, pour exploiter l'hydrogène dans l'aérien, il ne faudra pas que son stockage excède plusieurs jours, ce qui amène à créer de nouveaux besoins en matière de gestion des stocks et d'approvisionnement. Le métier de « gestionnaire en approvisionnement de l'hydrogène » constitue un nouveau métier porteur, dont les besoins seront particulièrement marqués si les sites de production sont décorrélés des sites de distribution (avec un transfert s'opérant par voie terrestre).

¹³⁵ EMFOR Bourgogne-Franche-Comté, Filière Hydrogène Bourgogne Franche-Comté, Compétences, recrutements et formation, novembre 2021.

Métiers attendus	Impact de l'hydrogène	Emplois en Ile-de-France (en lien avec les aéroports - horizon 2030) *	Compétences attendues	Type de formation ciblée
Gestionnaire en approvisionnement de l'hydrogène (En charge du transport de l'hydrogène)	Risque de décorrélation entre la localisation de la production de l'hydrogène et son exploitation (si elle se fait en grande quantité) : transport de l'énergie par voie terrestre	Difficile à quantifier - baisse des besoins si les sites de production se font directement sur l'aéroport	→ Compétences en supply chain / optimisation des flux → Connaissances en matière de sécurité (normes ATEX, maîtrise des risques) 136	Formations dans la supply chain, incluant un volet « réglementation et sécurité » Exemples de formation dans la supply chain : DUT Gestion Logistique et transports, Licence professionnelle en exploitation logistique

A noter : Nous pouvons faire le parallèle avec l'approvisionnement SAF, qui sera très majoritairement produit en dehors des plateformes aéroportuaires et qu'il faudra transporter par voie terrestre sur les stations de stockage (puisqu'enfin, c'est l'avitailleur qui prendra le relais pour transférer le carburant vers les avions). Conséquence : les **conducteurs routiers** transportant du SAF et, surtout, de l'hydrogène, devront acquérir de nouvelles compétences en matière de sécurité, mais également de conduite sur ces nouveaux véhicules.

« Quand on conduit un bus thermique, ce n'est pas la même chose que quand on conduit un bus électrique, qui n'est pas encore la même chose que quand on va conduire à bus à hydrogène, parce qu'ils ont tous leurs spécificités et avec des contraintes liées à leur motorisation, enfin leur carburant. »¹³⁷

Enfin, le développement des sites de distribution, de stockage et, éventuellement, de production d'hydrogène entraînera nécessairement une croissance des besoins en maintenance sur les plateformes aéroportuaires, et ce dès 2024 en Ile-de-France.

Aussi, les agents et techniciens de maintenance en charge de l'entretien de ces sites devront également disposer de compétences spécifiques en matière de sécurité (habilitations ATEX, électriques, ...) et de réglementation.

Préconisation générale : La diversité des familles professionnelles concernées par une montée en compétence en matière de connaissances réglementaires et de règles de sécurité liées à l'hydrogène implique forcément la mise en place d'une formation continue spécifique. Elle permettrait d'accompagner la transition professionnelle de certains salariés vers les nouveaux métiers liés à l'hydrogène.

¹³⁶ France Hydrogène, Adaptation des compétences métiers aux spécificités de l'hydrogène, Recueil des besoins, juin 2022.

¹³⁷ Entretien avec un Campus des Métiers et des Qualifications d'Excellence, Directeur Opérationnel.

Bilan récapitulatif des besoins attendus au niveau national

Point méthodologique : Les recrutements annuels attendus portent sur le niveau national. Pour la majorité des familles professionnelles, cette donnée se base sur des données franciliennes, qui ont été ensuite extrapolées au niveau national à partir du poids de la région Ile-de-France parmi l'ensemble de la filière AA. En effet, l'Ile-de-France regroupe les 2/3 des emplois nationaux du secteur de l'aéroportuaire et de l'aéronautique au niveau national¹³⁸.

La colonne « encart méthodologique » détaille la méthode de calcul de chaque donnée mentionnée (en lien avec l'emploi)

Tableau 1 : Digitalisation et décarbonation des mobilités




Estimation au niveau national


Secteurs d'activité Concernés	Métiers concernés	Besoins annuels en formation attendus d'ici 2030 ¹³⁹	Encart méthodologique (en lien avec l'estimation relative aux emplois)	Actions de formation à cibler
Informatique & Intelligence Artificielle - Focus Systèmes d'informations dédiés au transport aérien	=> Chargé de projets SI complexe => Ingénieur software => Ingénieur IA	20 en formation initiale	Au total, 100 à 120 recrutements annuels sont attendus sur ce métier, parmi lesquels 10 à 20% de profils juniors <i>Sources : entretiens & analyse des recrutements sur ces métiers dans la filière AA), ce qui mène à un besoin de 20 nouveaux formés par an d'ici 2030.</i>	Développer une formation spécialisée d'une capacité de 20 étudiants sortants par an (niveau Bac+5 spécialisée en informatique)
Informatique / focus aéronautique - navigation aérienne	=> Chargé de projets SI complexe => Ingénieur software => Ingénieur Développement Logiciel	30 à 40 en formation initiale	15 à 20 recrutements de profils juniors sont attendus chaque semestre au niveau national. <i>Sources : entretiens & analyse des recrutements sur ces métiers dans la filière AA</i>	Développer deux formations spécialisées d'une capacité de 20 étudiants sortants par an chacune (niveau Bac+5 spécialisée en informatique). A noter : formation déjà existante à l'ENAC ¹⁴⁰
Enseignement/Formation (spécialisation outils digitaux et environnement)	=> Formateur expert en environnement / en outils digitaux	5 à 10 en formation initiale 10 en formation continue	Hypothèse : besoins croissants pour les exploitants aéroportuaires ainsi que les principales entreprises de l'aérien et du fret. Fonctions pouvant être opérées par des prestataires extérieurs.	Formation initiale : Orienter des professionnels de la formation (niveau Bac+3 à Bac+5) vers les métiers AA. Formation continue : Former les experts digitaux de la filière AA aux méthodes pédagogiques.
Expert en environnement / énergie - écosystème AA	=> Expert bilan carbone => Econome de flux => Ingénieur environnement	15 à 20 en formation initiale	Besoins croissants pour les exploitants aéroportuaires et pour les grandes entreprises de l'aérien/fret. Hypothèse : 5 à 10 recrutements par an en Ile-de-France et 1 recrutement par région hors IDF.	Orienter des profils de niveau Bac+2 et bac+5 spécialisés en environnement/énergie vers les métiers de la filière AA. Pas de création d'une formation dédiée au vu des besoins quantitatifs (peu nombreux dans le secteur) et des formations déjà existantes.

¹³⁸ Source : Données ACOSS-URSSAF à fin 2021 – calcul du poids des emplois franciliens dans les Codes NAF « Transports aériens de passagers », « Transports aériens de fret », « Services auxiliaires des transports aériens » et « Réparation et maintenance d'aéronefs et d'engins spatiaux » par rapport au volume national.

¹³⁹ Nouveaux entrants dans cette famille professionnelle (des profils juniors le plus souvent)

¹⁴⁰ <https://www.enac.fr/fr/master-international-air-transport-system-engineering-and-design-iatsed>

<p>Gestion de projet développement territorial</p>	<p>=> Chargé de projets</p>	<p>15 en formation initiale</p>	<p>Besoins croissants pour les exploitants aéroportuaires mais également pour les territoires environnants (développement des multimodalités, intégration des projets d'aménagement des infrastructures, ...)</p> <p>Hypothèse : 5 recrutements par an en Ile-de-France et 1 recrutement par région hors IDF.</p>	<p>Création d'un master spécialisé (Bac +5) dédié au développement territorial des places aéroportuaires</p>
<p>Analyse de données</p>	<p>=> Data Analyst / Data Scientist</p>	<p>30 à 40 en formation initiale</p>	<p>Hypothèse : 30 à 40 recrutements par an avec une croissance régulière des besoins dans les prochaines années. A titre d'illustration, il y'a actuellement 5 à 10 recrutements par an sur ce métier dans le transport aérien à Paris-CDG (source : Oriane => https://www.oriane.info/metier/data-scientist/409)</p>	<p>Cela peut se traduire par une adaptation de l'offre existante (ENAC par exemple) ou par le développement d'un master spécialisé (niveau Bac+5)</p>
<p>Navigation aérienne</p> 	<p>=> Contrôleur aérien</p>	<p>75 en formation initiale 250 en formation continue</p>	<p>Hypothèse : Mise à niveau de l'ensemble des contrôleurs aériens (50 par an par centre CNRA - 5 en France) & intégration des nouveaux entrants (75 par an)</p> <p>Source : entretiens avec la DGAC</p>	<p>Adaptation de l'offre de formation existante (niveau Bac+5) au regard des nouveaux outils numériques (opération déjà en cours par l'ENAC)</p>
<p>Maintenance des équipements aéroportuaires (aérogare)</p> 	<p>=> Electrotechnicien => Electromécanicien (équipements mécaniques) => Automaticien</p>	<p>60 à 80 en formation initiale 70 à 80 en formation continue</p>	<p>Deux facteurs ont été pris en compte : => Les nouveaux recrutements, liés au turn-over et au remplacement de départ en retraite (20 à 30 recrutements par an estimés à Paris-CDG / Sources : Oriane, Pôle emploi et Paris CDG Alliance) => L'évolution des compétences en lien avec le développement de la maintenance préventive, pour les salariés qui souhaitent évoluer en termes de compétences.</p>	<p>Adaptation de l'offre de formation existante (niveau Bac +2) en intégrant des modules spécifiques en lien avec la maintenance préventive.</p>
<p>Maintenance des véhicules</p>	<p>=> Electromécanicien (automobile)</p>	<p>30 en formation initiale 30 en formation continue</p>	<p>Hypothèses : => 10 recrutements par an en Ile-de-France et 2 sur chaque région (nouveaux besoins) => Prise en compte de l'évolution des salariés (formation continue). A titre d'illustration, il y'a 180 électromécaniciens sur le Grand Roissy-Le Bourget (tous secteurs confondus)</p> <p>Source : Oriane</p>	<p>Adaptation de l'offre de formation existante (niveau Bac +2) en adéquation avec l'évolution des véhicules et équipements électriques.</p>
<p>Mobilité durable</p>	<p>=> Analyste des flux => Pilote ou télépilote de Drone- passagers => Electromécanicien aéronautique</p>	<p>Difficile à quantifier (variable en fonction du niveau de développement et de son implantation dans l'écosystème aéroportuaire)</p>	<p>A noter : le déploiement des besoins sera progressif et croissant d'ici 2030. Nous avons potentiellement identifié 900 recrutements en lien avec cette filière dans les écosystèmes AA. Mais trop d'inconnus</p>	<p>Création de deux nouvelles offres de formation expérimentales : une en lien avec la production et l'exploitation des drones (niveau bac +2), et une seconde en lien avec leur maintenance (niveau bac+2).</p>
<p>Métiers de la piste</p> 	<p>=> Agent de trafic => Agent d'opération piste => Avitailleur</p>	<p>140 en formation initiale 250 en formation continue</p>	<p>Hypothèses : 140 nouveaux recrutements par an en lien avec le remplacement des départs (turn-over, retraites) et formation continue auprès de 25% des salariés déjà en poste, soit 1 500 (estimation de 6000 agents de piste au niveau national)</p>	<p>Adaptation de l'offre de formation (prise en compte de la digitalisation) de niveau CAP/BEP à Bac</p>

<p>Métiers de l'accueil aéroportuaire</p> 	<p>=> Agent d'accueil aéroportuaire => Agent Welcome => Agent APMR => Agent d'escale</p>	<p>120 en formation initiale 250 en formation continue</p>	<p>Hypothèses : 120 nouveaux formés par an et adaptation des compétences de 25% des salariés d'ici 2030 (estimation de 6 000 emplois, au minimum, dans l'accueil aéroportuaire au niveau national)</p>	<p>Adaptation de l'offre de formation de niveau Bac à Bac+2</p>
--	--	--	--	--

A noter : Ce tableau ne présente que les familles professionnelles pour lesquelles des mutations/besoins majeurs ont été identifiés.

Aussi, d'autres besoins en emploi ont également été identifiés dans les domaines des sciences cognitives, de la conduite du changement, ou encore de l'installation et la maintenance des équipements photovoltaïques. Cependant, ils représentent relativement peu de recrutements d'un point de vue quantitatif.

Nous avons également identifié des mutations dans les métiers de la logistique (Supply Chain), de la conduite (transport routier) ou encore de la sûreté aéroportuaire (avec le développement des top-opérateurs) mais celles-ci ne nécessiteront pas un bouleversement de l'offre de formation.


Tableau 2 : Hydrogène

Estimation au niveau national

Il convient de rappeler que l'hydrogène se déploiera dans une temporalité différente dans l'aéroportuaire et l'aéronautique :

=> Coté piste et côté aéroport, le déploiement de l'hydrogène est d'ores et déjà en train de se faire, avec la croissance de la demande des équipements pistes et des véhicules. Cela se traduit donc par des besoins en emploi dans la gestion, le stockage et l'approvisionnement en hydrogène.

=> Côté aéronef, en revanche, nous ne sommes qu'au stade du développement (ingénierie). Le déploiement des avions à hydrogène (court courrier) ne devrait pas intervenir avant 2025/2026.

Secteurs d'activité Concernés	Métiers concernés	Besoins <u>annuels</u> en formation attendus d'ici 2030	Encart méthodologique (en lien avec l'estimation relative aux emplois)	Actions de formation à cibler
<p>Construction et Maintenance aéronautique (flotte à hydrogène)</p> 	<p>=> Ajusteur monteur de cellule</p> <p>=> Technicien d'essai - sol avion Hélicoptère</p> <p>=> Mécanicien aéronautique</p>	<p>20 en formation initiale</p> <p>20 à 30 en formation continue</p>	<p>Nous recensons une cinquantaine de professionnels qui travaillent autour du développement d'avion de type ATR fonctionnant à l'hydrogène dans la région toulousaine. Ce chiffre devrait tripler à l'horizon 2030.</p> <p>Il conviendra également d'assurer un transfert de compétences afin que des premiers mécaniciens soient prêts à assurer la maintenance des premiers aéronefs fonctionnant à l'hydrogène (estimation : 20 à 30 par an).</p>	<p>Adaptation d'une ou deux formation(s) spécialisée(s) dans la maintenance aéronautique (niveau Bac+2) d'ici 2025/2026, avant éventuellement un déploiement plus massif.</p>
<p>Gestion d'une station de distribution et d'approvisionnement en hydrogène</p>	<p>=> Ingénieur/Technicien d'exploitation (station hydrogène et carburants durables)</p> <p>=> Technicien de maintenance</p>	<p>10 à 25 en formation initiale et/ou continue (niveau Bac/Bac +2)</p>	<p><i>Hypothèses :</i></p> <p>=> 3 à 10 emplois par site de distribution situé à proximité d'un aéroport, selon sa taille.</p> <p><i>A ce stade, 4 sites de distribution sont en projets (deux en Ile-de-France, un en Auvergne Rhône-Alpes et un en Occitanie). Nous partons du postulat que les besoins vont croître d'ici 2030, avec au minimum une station par région et des besoins accrus en Ile-de-France.</i></p> <p>=> Dans l'hypothèse haute, nous avons également intégré des emplois en lien avec la production d'hydrogène à proximité des places aéroportuaires.</p>	<p>Priorisation des actions de formation dans les régions Ile-de-France, Occitanie et Auvergne Rhône-Alpes, avant un éventuel élargissement (idéalement de niveau Bac/Bac+2, dans l'optique de pouvoir assurer l'exploitation d'une station de distribution d'hydrogène)</p> <p>Déploiement d'habilitations spécifiques pour pouvoir travailler au contact de l'hydrogène (ATEX, habilitations électriques¹⁴¹)</p>

A noter : Ce tableau ne présente que les familles professionnelles pour lesquelles des mutations/besoins majeurs ont été identifiés.

Aussi, des besoins en emploi se développeront en lien avec l'application des normes et règles de sécurité (chargé d'évaluation conformité) ou encore la gestion du stockage de l'hydrogène et/ou de son transport (routier ou pipeline), mais ils resteront quantitativement faibles sur les places aéroportuaires.

Par ailleurs, des mutations auront également lieu dans les métiers de la maintenance de véhicules/équipements pistes (avec le développement d'une flotte fonctionnant à l'hydrogène), mais celles-ci resteront relativement légères et pourront faire l'objet d'un module de formation rapide spécifique.

¹⁴¹ https://s3.production.france-hydrogene.org/uploads/sites/4/2021/11/France_20Hydrog_C3_A8ne_Livre_20blanc_20Comp_C3_A9tences-m_C3_A9tiers_Final.pdf

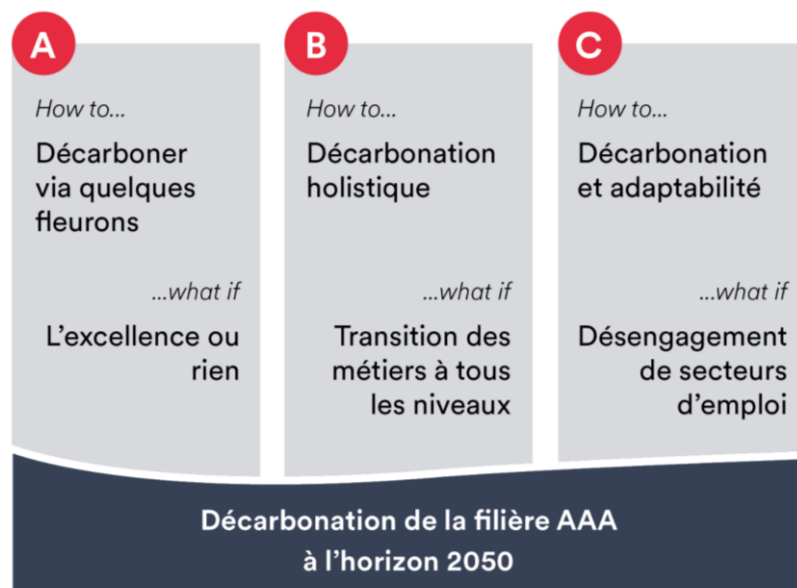
Partie 3 : Éléments de prospective

Établir une prospective sur les compétences et métiers d'avenir de la filière AA au regard de la transition écologique et digitale s'avère un exercice complexe. Afin de le mener à bien, il convient de rappeler plusieurs éléments.

D'abord, la digitalisation de la filière est actée dans l'écrasante majorité des secteurs et est déjà bien engagée dans ceux qui étaient encore à la marge de cette transition avant la pandémie. De ce fait, la digitalisation constitue déjà une tendance lourde et ancrée dans l'environnement de la filière AA. Il est donc moins nécessaire d'appliquer une démarche prospective pour éclairer la décision publique dans ce cas précis.

Ensuite, la décarbonation et l'intégration de l'hydrogène semblent des leviers importants de transformation des emplois actuels relatifs à l'exploitation de la filière AA. La neutralité carbone constitue un objectif de la filière mais est également portée par les pouvoirs publics et l'Airports Council International Europe (ACI-Europe). En juin 2022, les aéroports européens se sont engagés à ramener leurs émissions de carbone au niveau zéro d'ici 2050. L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a quant à elle signé un accord le 7 octobre 2022 pour atteindre la neutralité carbone en 2050.

Dans ce contexte, nous conduisons une démarche prospective de type « How to ? / What if ? » qui a pour objectif de saisir ce qui permettrait d'atteindre une situation-clé, ici la neutralité carbone, à un horizon commun à l'ensemble de nos parties prenantes (2050), et d'en saisir les conséquences en fonction des différents scénarios ayant conduit à cette situation-clé.



Le scénario de référence de la filière AA selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ne permet pas de tenir cet objectif au regard des variables choisies - atténuer le changement climatique, qualité et artificialisation des sols et paysages, biodiversité, pollution de l'air, bruit et risques technologiques - et en s'appuyant sur les sources d'hypothèses suivantes : le scénario central Europe, la DGAC et des calculs effectués par l'ADEME elle-même.

Ce 1^{er} scénario est constitué des éléments suivants :

- La société se développe selon les tendances actuelles, sans modération du trafic ou déploiement de technologies allant au-delà des technologies déjà maîtrisées actuellement,
 - Absence de rupture technologique et modernisation de la flotte *via* le remplacement des avions,
 - Les avions continuent d'utiliser essentiellement du kérosène du fait de la rareté et du prix d'autres sources d'énergie,
 - Le prix des billets reste stable : les augmentations du coût de l'énergie sont

- compensées par le progrès technologique en matière d'efficacité énergétique,
- Pas de frein au recours à l'avion, ce qui conduit à une forte augmentation du trafic.

Puisque ce scénario de référence de la filière de type *business as usual* ne permet pas d'atteindre la neutralité carbone à horizon 2050, il s'agit donc ici de se pencher sur d'autres scénarios plus ou moins disruptifs, mais aussi plus ou moins risqués pour atteindre l'objectif, et fortement distincts, comme le veut l'usage en matière de méthodes de scénarios prospectifs.

- A. Décarboner *via* quelques fleurons,
- B. Décarbonation holistique,
- C. Décarbonation et adaptabilité

Enfin, un 5^e scénario disruptif est à envisager : le non-respect de l'objectif de neutralité carbone par des États ayant exprimé des réserves à l'OACI tels que la Chine ou la Russie (qui était alors sous le coup de sanctions internationales et n'avait donc pas été consultée) ou encore des États ayant à gérer de multiples transitions avec des contraintes budgétaires fortes. À ce niveau, seule l'action politique et diplomatique permettra de convaincre et d'accompagner les acteurs étatiques du trafic aérien et la question de l'emploi n'a pas ici d'issue déterminée.

Le scénario A « Décarboner *via* quelques fleurons »

Des investissements importants sont réalisés dans les fleurons de l'aéronautique et la production de carburants d'aviation durables (CAD) afin de conserver un niveau de trafic élevé, dans une optique de développement du secteur à terme. À court terme, c'est un scénario dans lequel les émissions ne baissent que légèrement : seulement -15% entre 2019 et 2030 selon l'ADEME (2022), puis de manière beaucoup plus forte en cas de succès technologique. Dans ce scénario, les tests relatifs à l'avion à hydrogène jouent un rôle prégnant, à savoir l'essai d'un moteur à hydrogène en 2025 sur un A380 sur les 4 que comporte un avion ou encore le test d'avions à hydrogène ZEROe en 2035. De fait, si ces tests ne conduisent pas également à une accélération rapide de la décarbonation de la filière *via* une production multisites et un renouvellement éclair de la flotte, alors il y a de fortes chances que les ambitions de neutralité carbone ne soient pas atteintes à l'horizon 2050.

Le scénario B « Décarbonation holistique »

La décarbonation du secteur s'appuie sur tous les leviers disponibles afin de réduire le recours à des technologies de rupture non matures aujourd'hui et d'augmenter l'acceptabilité des mesures de modération du trafic telles que la limitation des vols de nuit pour limiter le forçage radiatif par exemple. Dans ce scénario, les tests relatifs à l'avion à hydrogène jouent un rôle important pour créer une nouvelle phase de décarbonation de la filière, qui pourrait même se prolonger au-delà de 2050 et atteindre la négativité carbone, à l'image des bâtiments à énergie positive et réduction carbone aujourd'hui. C'est un scénario dans lequel les émissions baissent légèrement à court terme, -20% entre 2019 et 2030 selon l'ADEME (2022), mais qui continuent en ce sens de manière plutôt équilibrée sur le temps long, tous secteurs confondus, sous condition d'investissements ciblés et orchestrés par la puissance publique.

Le scénario C « Décarbonation et adaptabilité »

Des mesures de modération du trafic et les CAD sont mobilisés pour minimiser les émissions cumulées entre 2020 et 2050. Ce scénario est particulièrement efficace pour réduire les émissions d'ici 2030. Cependant, la stabilisation du trafic affecterait négativement les différents acteurs de la filière AA : compagnies aériennes, aéroports, partenaires, constructeurs, acteurs du tourisme, voyageurs et utilisateurs de fret aérien, etc. Dans ce scénario, les tests relatifs à l'avion à hydrogène pourraient jouer un rôle pour lisser la réduction du trafic aérien. Enfin, ce scénario nécessite une volonté politique forte et est dépendant du bon vouloir des politiques et aéroports des pays voisins pour garantir son efficacité.

Ainsi, ces 3 scénarios « How to ? » pourraient aboutir à atteindre l'objectif de neutralité carbone pour 2050 de manière plus ou moins certaine. Cependant, leurs conséquences pourraient s'avérer différentes, notamment en matière de choix de société et d'emplois (« What if » ?).

Après un travail sur les variables « évolution numérique des métiers de la filière AA », « évolution des missions

des métiers aéroportuaires », « évolution des missions des métiers aérien », « évolution réglementaire autour du transport aérien », « évolution réglementaire autour de la consommation d'énergie du transport aérien » et « évolution du regard de la société sur le transport aérien », nous avons associé aux 3 scénarios précédents des scénarios de conséquences eu égard aux compétences et à l'emploi :

- A. L'excellence ou rien,
- B. Transition des métiers à tous les niveaux,
- C. Désengagement de secteurs d'emploi

Conséquences sur l'emploi du scénario « Décarboner via quelques fleurons » : **l'excellence ou rien**

Le premier scénario nécessite de faire confiance à l'industrie AA, et particulièrement au secteur aéronautique, pour *designer* des solutions techniques aptes à concilier efficacité énergétique, qualité de service et respect de l'environnement. À ce titre, la filière aéroportuaire et aéronautique centrée sur les opérations se sentant parfois plus démunie quant à ses potentiels leviers d'action (CAD, compensation, optimisation de flux, etc.) et à leur impact, pourrait se retrouver en retrait de cette transition que constitue la décarbonation. Outre le risque de ne pas atteindre les objectifs de 2050 si le progrès technologique ne se produit pas au bon moment et au bon niveau, ce scénario comporte également un risque social élevé. En effet, l'exemple des Gilets Jaunes a, entre autres, pu montrer qu'une planification écologique centralisée et menée par des acteurs associés à des élites, au détriment du pouvoir d'achat des classes sociales les plus fragiles ou plus généralement de ceux se vivant comme les « perdants » du changement, peut attiser une colère durable et paralysante pour l'action publique. Enfin, il n'est pas certain que les emplois qualifiés par ce scénario demeurent en France si la majorité du chiffre d'affaires s'obtient à l'étranger : États-Unis, Chine, etc.

Conséquences sur l'emploi du scénario « Décarbonation holistique » : **transition des métiers à tous les niveaux**

Le deuxième scénario consiste à mettre à contribution l'ensemble de la filière pour atteindre les objectifs de décarbonation, en développant une approche écosystémique. La filière AA ne s'arrête pas au transport aérien, elle est également en étroite connexion avec les réseaux de transport, les services, les villes ou encore les industries d'un territoire donné. Ainsi, travailler sur ces interfaces fait partie de l'équilibre écologique recherché. Au niveau des émissions de CO₂ globales de la France, qui jouit déjà d'un mix énergétique relativement peu carboné, les bâtiments et les infrastructures constituent, par exemple, une source majeure d'émission de CO₂, de même que les déplacements terrestres, ferroviaires, maritimes et fluviaux de transporteurs, des salariés et voyageurs, ou encore la gestion des flux. Ces leviers de décarbonation déjà connus et opérationnalisables sur un aéroport pourraient constituer un premier palier de mesures à compléter petit à petit par d'autres actions jusqu'à l'incorporation d'innovations plus disruptives autour de l'aérien. Ainsi, chaque niveau contribuerait à l'objectif de décarbonation de la filière au travers de gestes tangibles, voire d'extension des cultures professionnelles comme dans le cadre du contrôle aérien (4-Flight). Loin d'être spectaculaires à court terme, la somme et le rythme régulier d'implantation de ces actions de décarbonation, tant au niveau des opérateurs que du législateur ou d'autres parties prenantes, peuvent fédérer à tous les niveaux d'une organisation, rendre la charge supportable pour tous et enrichir le domaine de compétence de nombreux emplois souffrant aujourd'hui d'un déficit d'attractivité. Pour cela, d'importants plans de formation visant à intégrer les opportunités et contraintes associées au développement durable sont à envisager à court et moyen terme.

Conséquences sur l'emploi du scénario « Décarbonation et adaptabilité » : **désengagement de secteurs d'emploi**

Ce scénario s'appuie notamment sur une modération de l'activité plus marquée que dans les deux premiers scénarios *via* la réglementation, que ce soit de manière directe sur le transport aérien ou indirecte en encadrant ses consommations. Les métiers de la filière AA seraient en partie valorisés par l'intégration de politiques d'écologie industrielle ou encore de report modal, favorisant le dialogue avec d'autres cultures industrielles et de service. Cependant, l'objectif étant de restreindre l'activité, la filière serait plutôt amenée à s'adapter à des politiques de dé-mobilité et d'adaptation des infrastructures existantes (exemple : aéroports sans passagers). Cette politique comporte un risque élevé de perte d'emploi et peu de perspectives de reconversion dans un secteur aisément identifiable par la suite. En outre, si le pays se projette dans ce scénario, il faudra absolument veiller à ce que les partenaires européens joignent leurs efforts à cette politique pour éviter les effets de report de l'activité sur les aéroports étrangers de proximité par exemple et maintenir fermement les objectifs de décarbonation sur la scène internationale pour ne pas sacrifier un pan de l'économie française de premier plan sans obtenir le résultat escompté au niveau global.

Le choix d'un scénario désirable qui peut combiner des éléments de ces trois scénarios prospectifs volontairement distingués est du ressort du décideur public, en lien avec la filière AA, ses parties prenantes et la société dans son ensemble. Il est à noter que la prospective n'est pas une science du futur, mais participe à la prise de décision sur le temps long. Dans le cas de l'évolution de la filière AA, des mouvements d'oscillation, de reprise et de baisse du trafic ponctuelles peuvent contredire une tendance lourde ou un scénario quelque temps, sans que cela soit synonyme de manque de qualité puisque l'on ne raisonne pas sur la même échelle de temps.

Cependant, l'ensemble des scénarios révèle que la question de l'emploi et des compétences sera au cœur de la transition que devrait vivre la filière AA sur les 25 prochaines années. De ce fait, l'intérêt de poursuivre l'AMI-CMA sur le volet formation semble démontré par ce diagnostic. Enfin, de nombreux métiers de la filière AA tendent à se réduire en termes numériques du fait du progrès technique, de l'optimisation des organisations et de la gestion des infrastructures, ou encore du fait de restrictions réglementaires liées au trafic aérien. Pour autant, une proportion importante de métiers de la filière sont structurellement en tension, ce que la pandémie a encore renforcé avec la perte des salariés en contrat précaire et notamment d'une proportion importante de femmes. Tout l'enjeu porte donc sur l'enrichissement potentiel des missions, des emplois actuels amenés à se transformer au regard de la transition digitale et écologique *via* la formation ou la reconversion massive de ces mêmes professionnels. Cela sera fonction de choix politiques forts sur l'avenir de la filière.

Annexe 1 : tableau récapitulatif des entretiens

Domaines d'activité des personnes interrogées

Entreprises

- Constructeur Aéronautique
- Exploitant Aéroportuaire
- Fournisseur d'énergie
- Service aéroportuaire/solutions de libre service
- Service aéroportuaire/ assistant d'escale
- Constructeur Solution de bagages
- Bureau d'études
- Incubateur de start-up
- Groupement d'intérêt

Acteurs de la formation et de l'orientation

- Organisme d'orientation et d'accompagnement
- Organisme de formation
- Formateur aéronautique
- Enseignement supérieur et Recherche
- Administration



Structure	Fonction	Date d'entretien
Exploitant aéroportuaire	Responsable Département Environnement et Energie	juin-22
Entreprise spécialisée dans les équipements aéroportuaire	Responsable de projet stratégique	juil-22
Organisme d'orientation et d'accompagnement	Conseillère industrie aéronautique	juil-22
Entreprise spécialisée dans l'ingénierie des équipements aéroportuaire	Responsable commercial	juil-22
Exploitant aéroportuaire	Hydrogène Airport Project Manager	juil-22
Entreprise spécialisée dans les équipements aéroportuaire	Vice-président services aéroport	juil-22
Entreprise spécialisée dans les études et le conseil	Chef de la division aviation durable	juil-22
Enseignement supérieur et Recherche	Enseignant - chercheur	août-22
Entreprise spécialisée dans le conseil	Ingénieur environnement	août-22
Entreprise spécialisée dans les équipements aéroportuaire	Responsable ventes	août-22
Exploitant aéroportuaire	Directeur des services	août-22
Enseignement supérieur et Recherche	Pilote et enseignant	août-22
Exploitant aéroportuaire	Direction RH	août-22
Structure spécialisée dans l'hydrogène	Chargé de mission	août-22
Structure spécialisée dans l'hydrogène	Chef de projet	août-22
Incubateur de start-up	Responsable	août-22
Organisme de formation	Déléguée générale	août-22

Organisme d'orientation et d'accompagnement	Conseillère information et orientation	août-22
Exploitant aéroportuaire	Direction générale des opérations	août-22
Constructeur aéronautique	Direction des affaires générales	août-22
Enseignement supérieur et Recherche	Enseignante - chercheuse	août-22
Enseignement supérieur et Recherche	Enseignante - chercheuse	août-22
Enseignement supérieur et Recherche	Responsable de formation	août-22
Enseignement supérieur et Recherche	Responsable de formation	août-22
Enseignement supérieur et Recherche	Enseignante - chercheuse	août-22
Enseignement supérieur et Recherche	Enseignant - chercheur	août-22
Enseignement supérieur et Recherche	Responsable de formation	août-22
Enseignement supérieur et Recherche	Inspecteur d'études	août-22
Organisme de formation	Directeur d'agence	août-22
Organisme de formation	Direction du développement	sept-22
Entreprise spécialisée dans les équipements aéroportuaires	Directrice générale	sept-22
Enseignement supérieur et Recherche	Chef de département	sept-22
Campus des Métiers et des Qualifications	Directeur opérationnel	sept-22
Administration	Chef de projet Développement durable	sept-22
Exploitant aéroportuaire	Direction SI	sept-22
Exploitant aéroportuaire	Direction des aires aéronautiques	sept-22
Exploitant aéroportuaire	Innovation	sept-22

Exploitant aéroportuaire	Innovation	sept-22
Enseignement supérieur et Recherche	Enseignant-chercheur	sept-22
Enseignement supérieur et Recherche	Enseignant-chercheur	sept-22
Entreprise spécialisée dans les équipements aéroportuaires	Directeur commercial	sept-22
Enseignement supérieur et Recherche	Focus Group (étudiants)	sept-22
Fournisseur d'énergie	Directeur de projet	sept-22
Entreprise spécialisée dans la maintenance aéronautique	Innovation	oct-22
Administration publique	Observatoire	oct-22
Cabinet de conseil	Consultant	oct-22
Organisme de formation	Responsable pédagogique	oct-22
Organisme spécialisé dans l'innovation	Référent innovation	oct-22
Administration	Navigation aérienne	oct-22
Administration	Navigation aérienne	oct-22
Administration	Navigation aérienne	oct-22
Administration	Navigation aérienne	oct-22
Administration	Navigation aérienne	oct-22
Administration	Navigation aérienne	oct-22
Administration	Navigation aérienne	nov-22
Exploitant aéroportuaire	Pôle expérience clients	nov-22
Exploitant aéroportuaire	Chef de projet Développement	nov-22

Acteurs de l'aérien et de l'aéroportuaire	Congrès	nov-22
Entreprise spécialisée dans les services aéroportuaire	Directeur Général	nov-22
Entreprise spécialisée dans les services aéroportuaire	Directeur des Opérations	nov-22
Exploitant aéroportuaire	Département Environnement Développement Durable	nov-22
Exploitant aéroportuaire	Département sûreté	nov-22
Exploitant aéroportuaire	Service mécanique	nov-22
Exploitant aéroportuaire	Service Protocole	nov-22
Exploitant aéroportuaire	Pompiers	nov-22
Exploitant aéroportuaire	DRH	nov-22
Entreprise spécialisée dans le transport de fret	Manager	déc-22

Index des sigles

AA : Aéronautique, Aéroportuaire
ACA : Airport Carbon Accreditation
ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AESA : Agence Européenne de la Sécurité Aérienne
AFMAé : Association pour la Formation aux Métiers de l'Aérien
APMR : Assistance aux Personnes à Mobilité Réduite
APU : Auxiliary Power Unit
ATM : Air Trafic Management
CAD : Carburant d'Aviation Durable
CRNA : Centre en Route de la Navigation Aérienne
CEAC : Conférence Européenne de l'Aviation Civile
CORSIA : Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
CDRI : Coalition pour des Infrastructures Résilientes aux Catastrophes
DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile
EASA : European Union Aviation Safety Agency
ENAC : Ecole Nationale d'Aviation Civile
GES : Gaz à Effet de Serre
GPU : Ground Power Unit
IPSL : Institut Pierre Simon Laplace
OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale
ONERA : Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales
PIF : Postes d'Inspection Filtrage
PNC : Personnel Navigant Commercial
REMEDI : Réussir l'Efficiency des Mobilités d'Excellence Décarbonnées
SESAR : Single European Sky ATM Research
SSIAP : Service de Sécurité Incendie et d'Assistance à Personnes



GOUVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Paris CDG
Alliance

UNIVERSITÉ
PARIS8

 **Université
Gustave Eiffel**



Opération soutenue par l'Etat dans le cadre du programme « Compétences et Métiers d'Avenir » du Programme d'investissements d'avenir, opéré par la Caisse des Dépôts

Nous remercions l'ensemble des membres du consortium pour leur appui dans cette étude :

Air France, AKTO, l'Association des Métiers Aéroportuaires (AMA), la FNAM, le Groupe ADP, l'UAF, l'Université Paris 8 et l'Université Gustave Eiffel

www.pariscdgalliance.fr