

REDUIRE L'IMPACT DES EMISSIONS AÉROPORTUAIRES SUR LA QUALITE DE L'AIR LOCAL, L'EAU ET LE SOL

BONNES PRATIQUES A L'ATTENTION DES
AUTORITES LOCALES, SOCIETES
D'EXPLOITATION AÉROPORTUAIRE,
ASSISTANTS D'ESCALE ET COMPAGNIES
AERIENNES

SOMMAIRE

Sommaire.....	1
I. Contexte / Introduction	2
II. Les différentes sources d'émissions sur les aéroports.....	3
A. Les sources aéroportuaires d'émissions atmosphériques	3
1. Le trafic routier induit et le trafic traversant.....	5
2. Les engins de piste et l'assistance en escale	6
3. Les installations de chauffage, de climatisation et de la production de l'énergie.....	7
4. Les ateliers de maintenance	7
5. Les opérations hivernales.....	8
6. Le stockage et la distribution de kérosène.....	8
7. L'entretien des espaces verts	8
8. Les exercices incendie	9
9. Les avions.....	9
B. Les principaux polluants aéroportuaires et leurs effets.....	11
III. Les voies de réduction de la pollution atmosphérique et de la pollution des milieux sur un aéroport.....	14
A. Le trafic routier induit et l'accessibilité à la plateforme.....	14
1. Le transport public	14
2. Les taxis ou navettes vertes et les voies douces	14
B. Les engins de piste et l'assistance en escale.....	15
1. Le verdissement des engins de piste	16
2. L'éco conduite.....	17
3. La mutualisation des matériels.....	17
4. Les filtres à particules	17
5. Le retrofit électrique.....	18
6. Le choix du modèle en fonction de l'usage.....	18
C. Les installations de chauffage, de climatisation et de production de l'énergie	19
1. Les installations de chauffage et de la climatisation	19
2. La production de l'électricité ou l'achat d'électricité verte.....	21
3. Les technologies combinées de chaleur et d'électricité	22
4. Les bâtiments	23
D. Les ateliers de maintenance	24
E. Les opérations hivernales	26
1. Le dé-verglaçage des chaussées aéronautiques.....	26
2. Le dégivrage et l'antigivrage des aéronefs	27
F. Le stockage et la distribution du kérosène	29
G. L'entretien des espaces verts.....	30
H. Les exercices incendie.....	30
I. Les avions	31
1. Les réacteurs d'avion	31
2. Les moteurs auxiliaire de puissance	38
IV. Résumé	40
V. Annexes.....	41

I. CONTEXTE / INTRODUCTION

L'Autorité a publié en juin 2020 un « [Rapport sur la gestion de la qualité de l'air sur et autour des plateformes aéroportuaires](#) » et en janvier 2021 l'« [Etat de l'environnement sur et autour des grands aéroports français](#) ».

Le présent guide de bonnes pratiques est largement issu de ces travaux. Il présente les voies de solutions permettant d'éviter et/ou de réduire les émissions atmosphériques impactant la qualité de l'air, la pollution des eaux et la pollution des sols.

Il s'adresse aux gestionnaires aéroportuaires, aux assistants en escale et aux compagnies aériennes. Il intéressera aussi les autres professionnels du secteur aérien et les services des administrations (Etat et collectivités territoriales).

Ce rapport a été rédigé par Mme Réka Vallier, assistante du pôle technique de l'Autorité de contrôle, et relu par Nathalie Guitard, cheffe du pôle et Anais Barcet, adjointe.

Les observations des personnalités et organismes suivants ont été intégrées :

- Nadine Allemand, membre du collège de l'Autorité nommée pour ses compétences en matière d'émissions atmosphériques de l'aviation ;*
- Raphaël Costa, Responsable Développement Durable, Union des aéroports et francophones associés ;*
- Mildred Dauphin, responsable développement durable, à la Chambre Syndicale des Assistants en escale ;*
- Thierry Decot et son équipe, directeur du laboratoire des Aéroports de Paris ;*
- Jean-Marie Durand, membre du collège de l'Autorité nommé pour ses compétences en matière d'impact des activités aéroportuaires sur l'environnement ;*
- Stéphanie Kerbrat, cheffe de la subdivision Qualité de l'air au département Environnement du service technique de l'aviation civile ;*
- Guillaume Van Reysel, adjoint au chef du bureau du climat de la qualité de l'air et des sujets émergent, DGAC/DTA/SDD1 ;*
- Isabelle Vandrot, membre associée au collège de l'Autorité au titre des aéroports, directrice de l'environnement de l'aéroport de Nice Côte d'Azur.*

Ce rapport a également été présenté au collège de l'Autorité de contrôle le 7 juin 2021.

II. LES DIFFÉRENTES SOURCES D'ÉMISSIONS SUR LES AÉROPORTS

Sur une plateforme aéroportuaire les sources d'émissions sont nombreuses. Ces émissions peuvent dégrader la qualité de l'air ambiant et/ou impacter la qualité des eaux, des sols et la biodiversité. Seront successivement présentées les sources d'émissions atmosphériques et les sources potentielles de pollution des milieux.

A. LES SOURCES AÉROPORTUAIRES D'ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES

Les concessions aéroportuaires concentrent de nombreuses activités émettrices de polluants atmosphériques, notamment les avions en escale (roulage, groupes auxiliaires de puissance (APU)), le trafic routier induit ou traversant, les divers engins et véhicules de piste, etc. La figure n° 1 présente les principales sources aéroportuaires de polluants atmosphériques.



Figure 1 : Les sources d'émissions polluants aéroportuaires

Nombre de ces sources présentent également des risques de pollution des eaux et des sols. La figure 2, extraite de la note technique « Problématique de la pollution des sols aéroportuaires » du Service technique de l'aviation civile (STAC), présente un schéma d'ensemble d'un aéroport indiquant les zones potentielles de pollution.

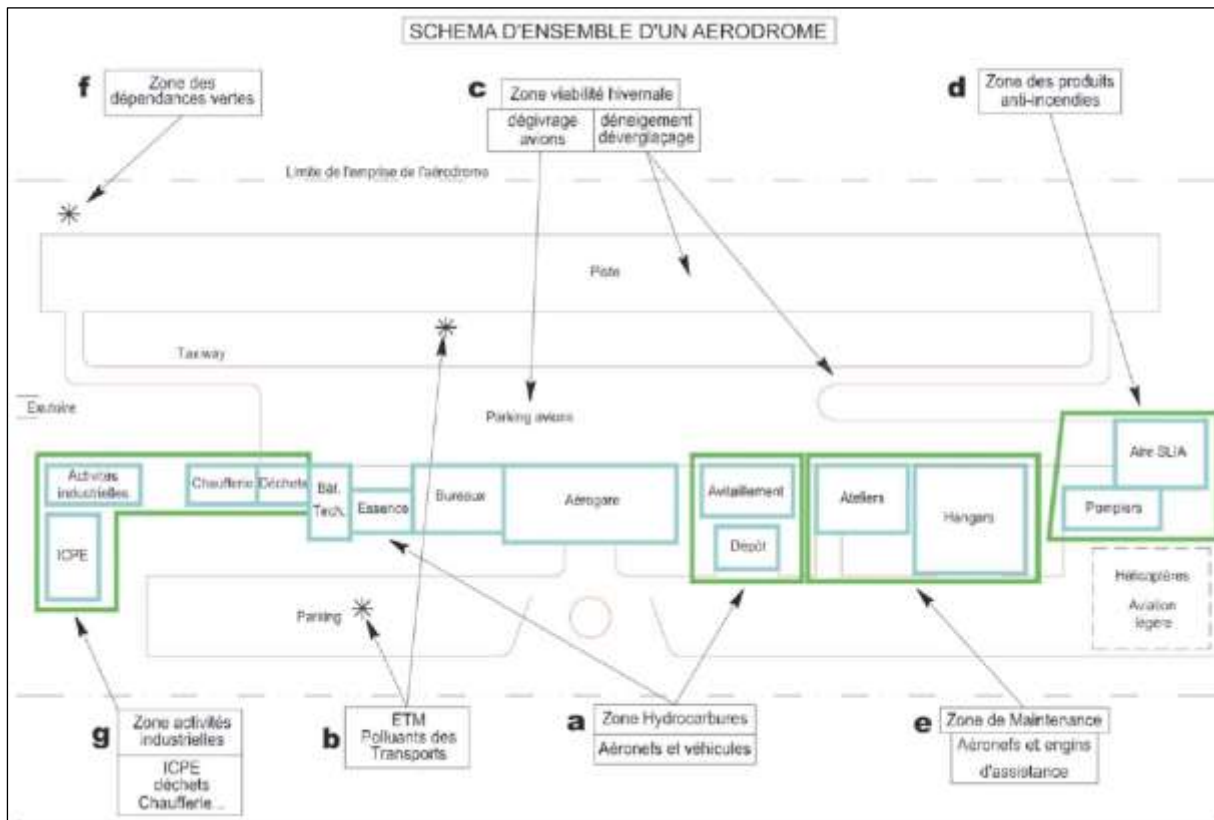


Figure 2: Schéma d'ensemble d'un aéroport - sources de pollution des sols (source : STAC)

¹ Problématique de la pollution des sols aéroportuaires, DGAC/STAC, 2007

L'aéroport est composé pour une partie de surfaces imperméabilisées. Ces surfaces sont à l'origine d'un ruissellement chargé de polluants (particules, hydrocarbures, etc) issus des activités aéroportuaires.

Les pollutions peuvent être :

- Chroniques dues aux activités régulières (le lavage des avions, les opérations de ravitaillement, etc),
- Saisonnières (activités de viabilité hivernales, produits phytosanitaires, etc)
- Accidentelles (accidents véhicules, déversement, etc).

La présence d'un aéroport peut fortement impacter les milieux aquatiques par sa consommation en eau ou par celle qu'il rejette sous forme d'eaux usées dans le milieu naturel.²

1. LE TRAFIC ROUTIER INDUIT ET LE TRAFIC TRAVERSANT

Le trafic routier est une source importante d'émissions de polluants atmosphériques sur et autour d'un aéroport. Pour les autres milieux (eau et sol) le risque de pollution est principalement de nature accidentelle (accidents véhicules).

La présence d'un aéroport génère non seulement du trafic pour y accéder (passagers et employés) mais aussi un trafic routier supplémentaire pour accéder aux différentes zones d'activités (hôtels, logistique, boutiques etc.) qui ont été développées sur la concession en raison de la présence de l'aérogare. Plus un aéroport regroupe d'activités, plus il génère des émissions. En revanche selon un rapport d'Envisa sur la réduction de l'empreinte carbone des aéroports³, le trafic routier génère souvent plus d'émissions par passager sur les petits aéroports que sur les grands puisque les connexions intermodales sont souvent moins développées que sur ces derniers.

La présence de grands axes routiers aux abords des plateformes aéroportuaires (sans que cela soit du trafic induit) contribue également à la pollution atmosphérique autour des aéroports.

L'*Airport Regions Conference* (ARC) avait publié il y a quelques années une étude « *15 ways to reduce carbon footprint in airport regions* » (2010) rendant compte de la répartition des différents modes de transport de personnes pour neuf aéroports européens⁴ :

- 70 % des passagers et salariés venaient ou repartaient de l'aéroport en voiture ou en taxi ;
- 16 % en bus ;
- 14 % en train.⁵

Selon une étude publiée en 2016 par l'Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Ile de France publiée, la moyenne mondiale de la part des voyageurs utilisant un mode de transport privé

² Eau et aéroport, Conception et dimensionnement des réseaux de drainage des aérodromes, Guide technique, DGAC/STAC, 2000

³ Airport carbon footprints : finding benchmarks to guide emission reductions, ENVISA, juin 2015

⁴ Aéroports de Stockholm - Arlanda, Bruxelles - Airport, Paris - Charles-de-Gaulle, Londres - Gatwick, Göteborg - Landvetter, Londres - Luton, Malte, Paris - Orly et Rotterdam - La Haye.

⁵ Airport Regions Conference, « 15 Ways to Reduce the Carbon Footprint in Airport Regions », WSP Analysis & Strategy, 2010

pour accéder à un aéroport était également autour de 70%. Les aéroports où la part modale en transport collectif est la plus élevée sont les aéroports d'Oslo (68%), de Tokyo – Narita (59%) et de Hong-Kong (63%).⁶ En Ile de France, il est probable que ce % se réduira avec la mise en service progressive des tramways, bus, métros et trains programmés pour améliorer la desserte des aéroports de Paris CDG et Paris Orly.

Au-delà du trafic induit, les territoires aéroportuaires subissent les émissions du trafic traversant ou contournant les aéroports dont les émissions peuvent être très élevées.

2. LES ENGINES DE PISTE ET L'ASSISTANCE EN ESCALE

Les engins de piste sont des véhicules ou engins spéciaux intervenant sur les aéroports pour assister les avions et les passagers durant les escales.

Concernant l'assistance des avions au sol, les engins de piste permettent :

- De charger et décharger les avions (bagages, fret, plateaux repas catering...) ;
- D'embarquer et de débarquer les passagers ;
- D'alimenter l'avion (en électricité, chauffage ou climatisation, kérosène et en eau potable) ;
- D'entretenir la cabine (nettoyage, vidange eaux usées) ;
- De réaliser des opérations de maintenance ;
- De tracter les avions vers leur zone d'entretien ou de repousser les avions du point de parking
- De transporter le fret en piste.

Concernant l'assistance aux passagers, les véhicules et engins de piste permettent :

- De transporter les passagers et les équipages entre les aérogares et les avions ;
- De transporter des personnes à mobilité réduite prêtes à l'embarquement ;
- D'embarquer et débarquer les passagers.

Sur le marché des engins de piste dits « GSE » (*Ground Support Equipment*), on recense une vingtaine de types d'engins de piste différents (cf. annexe 1). Sur les aéroports, leur nature dépend des choix réalisés en matière d'équipement des postes avion en énergie, du type d'avions fréquentant l'aéroport et des contrats passés entre les parties (assistants en escale et compagnies aériennes).

Les véhicules circulant en zone réservée, type véhicules légers ou utilitaires, sont ceux des services publics (police, douanes, pompiers, contrôle aérien, ...), du gestionnaire d'aéroport, des assistants en escale et des autres prestataires. Ces véhicules ont tous leur part dans les émissions en zone réservée.

Ces véhicules et engins sont des sources non négligeables d'émission de polluants atmosphériques. Sur les aéroports, ils représentent, la deuxième ou la troisième source (selon les aéroports) la plus importante en fonction du polluant après les avions. Dans le bilan global des émissions d'une plateforme aéroportuaire, les engins d'assistance en escale et véhicules

⁶ L'accessibilité terrestre aux aéroports internationaux, Tome 1 – Les enseignements pour l'Ile de France, IAU Ile de France, mars 2016

circulant en zone réservée représentent environ 5 % pour les émissions des oxydes d'azote (NOx) et 6 % des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) ⁷.

La pollution des milieux due aux engins et véhicules de piste peut être chronique, saisonnière ou accidentelle (comme pour les véhicules et le trafic routier induit).

3. LES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE, DE CLIMATISATION ET DE LA PRODUCTION DE L'ÉNERGIE

Les aéroports, en général, comprennent des bâtiments de grande capacité d'accueil. Afin d'assurer une bonne gestion de la température, l'installation d'un système de chauffage/climatisation est nécessaire. Ces systèmes ont malheureusement rarement été conçus pour fournir le chauffage et la climatisation aux aéronefs. Certains aéroports peuvent également être équipés d'installations pour leur propre production d'énergie. En fonction du combustible utilisé, ces installations sont plus ou moins des sources importantes de pollution. Aujourd'hui un nombre important d'aéroports ont recours aux énergies renouvelables (centrales photovoltaïques, éoliennes urbaines, géothermie, etc.) ou achètent de l'électricité en provenance de sources renouvelables. La part de l'énergie renouvelable produite par le groupe ADP par exemple s'est élevée à 13,1% de la consommation finale interne en 2019 (objectif fin de l'année 2020 : 15%) et la part d'achat d'électricité verte avec garantie d'origine a été de 70% en 2019 (objectif 2021 : 100%).⁸

Les aéroports sont des grands consommateurs d'électricité. Ils font l'objet d'une grande attention de la part de RTE (Réseau de transport d'électricité). Pour des raisons de sécurité ils doivent assurer une alimentation en énergie sans coupure.

L'impact sur la qualité de l'air est directement lié aux rejets atmosphériques de ces installations tandis que l'impact sur les autres milieux va être dû aux retombées au sol et aux fuites/coulures accidentelles.

4. LES ATELIERS DE MAINTENANCE

Les avions, les véhicules légers et les engins de piste ont tous besoin d'interventions plus ou moins régulières. Il s'agit non seulement de maintenance mais également de nettoyage pour des questions de sécurité, d'économie de carburant, etc.

Diverses sources de pollutions sont présentes dans un atelier de maintenance, notamment en ce qui concerne la pollution atmosphérique. En fonction des activités, il peut s'agir de fumées de soudage, de vapeurs de solvants, d'émanations de peinture, etc. En termes de pollution des milieux, les produits de maintenance ayant un impact sont nombreux, notamment les huiles, les graisses, les solvants, le méthanol, les liquides dégrippants, les liquides hydrauliques et de refroidissement, les liquides anticorrosion, les liquides spéciaux (pour étanchéité par exemple) toluène, l'acétone, les peintures, etc. Ces pollutions peuvent être chroniques ou accidentelles.

⁷ https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/programme-actions-aerodromes_2018.pdf

⁸ <https://entrevoisins.groupeadp.fr>

5. LES OPERATIONS HIVERNALES

Les opérations dites « hivernales » consistent en deux types d'interventions sur les aéronefs : l'antigivrage (procédure préventive destinée à protéger l'avion de la formation de givre et de glace) et le dégivrage (opération curative destinée à décontaminer l'avion de toute trace de givre, de glace ou de neige).

Les deux interventions se font le plus souvent par l'utilisation du propylène glycol. Il est utilisé à froid, dilué à 50 % avec de l'eau pour l'antigivrage. Pour le dégivrage le glycol est appliqué chaud, dilué à 20 % glycol - 80 % eau.

Vis-à-vis de la pollution atmosphérique, il s'agit donc principalement de la pollution en composés organiques volatiles non méthaniques (COVNM), néanmoins le risque de pollution des eaux et des sols est plus élevé au cours de ces opérations, on parle alors de pollution saisonnière.

Il peut être également nécessaire en fonction de la météorologie d'appliquer des produits déverglaçants sur les pistes, les bretelles d'accès et les aires de stationnement mais surtout sur les pistes. Les produits utilisés sont souvent à base d'acétate, de formiate de potassium ou de sodium. Ces produits sont non volatils. Toutefois, si le produit utilisé contient des solvants, des COVNM sont émis.⁹

6. LE STOCKAGE ET LA DISTRIBUTION DE KEROSENE

Lors du stockage et de la distribution de kérosène, l'évaporation du carburant peut dégrader la qualité de l'air locale (COV, hydrocarbures - HC). Tandis que le déversement, les fuites et autres accidents peuvent générer une pollution du sol et des eaux par ces matières organiques à base de carbone et d'hydrogène.

Les installations de stockage des produits pétroliers sont les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Un site d'entreposage et de stockage pétrolier est soumis à plusieurs rubriques, notamment la rubrique n° 1434 (installation de remplissage ou de distribution de liquides inflammables, liquides combustibles de point éclair compris entre 60°C et 93°C, fiouls lourds, pétroles bruts), la rubrique n°4734 (produits pétroliers spécifiques et carburants de substitution) et pour la distribution de carburant, autre que le carburant d'aviation, la rubrique n°1435.

7. L'ENTRETIEN DES ESPACES VERTS

Pour l'entretien des espaces verts, les gestionnaires peuvent avoir recours aux produits phytosanitaires, aux engrais, etc. Par l'utilisation de produits phytosanitaires, l'objectif est d'éliminer certaines espèces ou de limiter leur croissance. Ces produits peuvent être lessivés et entraînés vers les milieux aquatiques, ou encore peuvent impacter la qualité de l'air locale.

L'arrêté du 15 janvier 2021 relatif aux mesures de protection des personnes lors de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques dans les propriétés privées, les lieux fréquentés par le public et dans les lieux à usage collectif vient modifier la loi Labbé en élargissant à partir du 01 juillet 2022 d'utiliser des produits phytosanitaires - hors produits de biocontrôle, à faible

⁹ https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/eval_qual_air.pdf

risque, ou utilisables en agriculture biologique. Les aérodromes affectés à titre principal au ministère chargé de l'aviation civile, côté ville, sur les espaces autres que ceux prévus au II. de l'article L. 253-7 du code rural et de la pêche maritime, et côté piste, à l'exception des zones sur lesquelles le traitement est nécessaire pour des motifs de sécurité aéronautique ou de sûreté aéroportuaire sont ainsi visés.

8. LES EXERCICES INCENDIE

Les pompiers interviennent sur les aéroports lors des accidents ou des incendies sur place. Leur présence est également obligatoire lors de l'avitaillement des aéronefs en cours d'embarquement. Outre des interventions nécessaires, les exercices d'incendie et les essais de leurs matériels font partie de leur travail et peuvent être sources de pollution.

Les exercices sur feux réels sont réalisés dans des fosses à incendie. Les rejets émanant de ces fosses peuvent engendrer des pollutions sur le sol, les eaux superficielles et souterraines en fonction de l'exutoire final.¹⁰

9. LES AVIONS

a) Le cycle Landing Take Off (LTO)

Quand il s'agit de la pollution de l'air locale, les émissions lors de la phase croisière ne sont pas prises en compte car il est usuellement considéré que leur impact concerne alors surtout le climat, notamment en raison des émissions de CO₂ et autres gaz à effet de serre. Ainsi, ne sont considérées que les émissions pendant le cycle LTO, entre 0 et 3 000 pieds (915 m), hauteur correspondant à la hauteur de couche limite moyenne annuelle (cf. Figure n° : 6). Il convient cependant de noter que la hauteur de cette couche limite varie beaucoup en fonction des conditions météorologiques.

¹⁰ Etat de l'environnement sur et autour des grands aéroports français en 2020, février 2021, ACNUSA/EODD

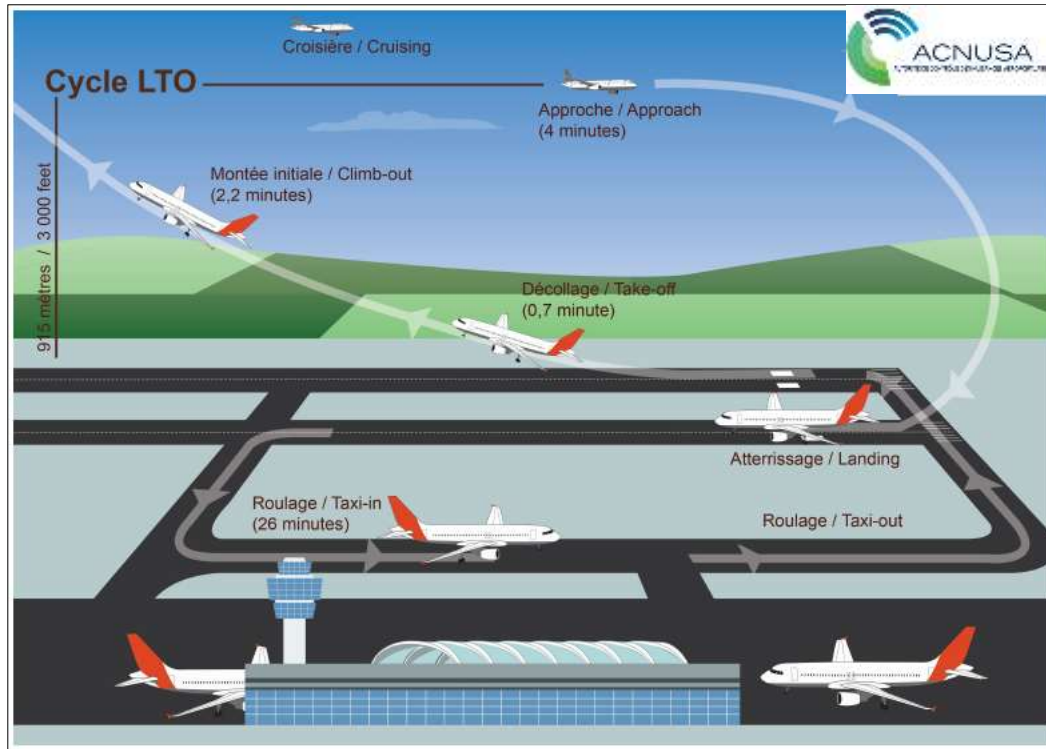


Figure 3 : Le cycle LTO (Landing - Take-Off)

Dans les réacteurs d'avion, l'air comprimé est brûlé dans la chambre de combustion, ce qui propulse l'avion. Le schéma ci-dessous montre l'hypothèse de la combustion idéale et ce qui se passe en réalité, c'est-à-dire la combustion réelle. La différence est assez importante en ce qui concerne les gaz impactant la qualité de l'air.

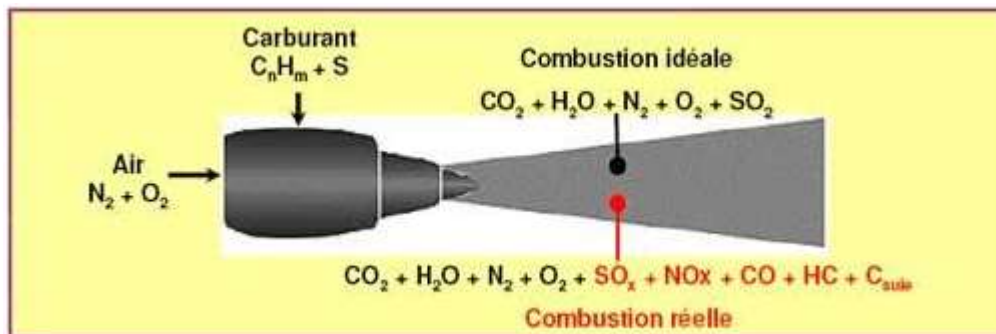


Figure 4 : Polluants émis par les réacteurs d'avion (source : STAC)

Il existe un risque de pollution des milieux également, notamment en cas de retombées au sol du carburant ou des fuites/coulures accidentelles.

b) Les moteurs auxiliaires de puissance des aéronefs (APU)

L'APU est un petit turboréacteur embarqué, situé en général à l'arrière du fuselage, qui permet à l'avion d'être autonome, lors de l'escale, pour l'air (compresseur haute pression) et l'électricité (génératrice courant alternatif 115 V 400 Hz). Il fournit :

- Au sol, l'énergie électrique nécessaire à l'avion et l'air pour la mise en route des réacteurs et pour le système de climatisation ou de chauffage ;

- Au décollage, le conditionnement d'air en soulageant les moteurs lorsque des performances optimales sont requises ;
- En vol, un secours en énergie électrique, en conditionnement d'air et une assistance au redémarrage moteur en cas d'arrêt accidentel.

Les émissions ont principalement lieu au sol, impactant la qualité de l'air (polluant atmosphériques typiques issus des moteurs thermiques) et présentant un risque potentiel de pollution des milieux (retombées au sol, fuites/coulures). Il convient de relever que les APU ont également des émissions sonores significatives impactant les personnels travaillant au service de l'aéronef et les passagers.

B. LES PRINCIPAUX POLLUANTS AÉROPORTUAIRES ET LEURS EFFETS

Les tableaux suivants présentent les polluants atmosphériques (tableau n°1) principalement émis sur une plateforme aéroportuaire et les polluants impactant la qualité des eaux et des sols (tableau n°2), ainsi que leurs effets sur la santé et sur l'environnement.

Tableau 1 : Polluants atmosphériques aéroportuaires

Polluants	Sources importantes sur une plateforme aéroportuaire	Conséquences sur l'environnement	Effets sur la santé
Particules en suspension < 10µm (PM10)	- APU (résidus de combustion) - Réacteurs d'avion - Engins piste (idem)	- Salissures des bâtiments - Retombées sur les cultures	- Altération de la fonction respiratoire - Propriétés mutagènes et cancérogènes
Particules en suspension < 2,5µm (PM2.5)	- APU (résidus de combustion) - Réacteurs d'avion - Engins piste (idem)	- Salissures des bâtiments - Retombées sur les cultures	- Altération de la fonction respiratoire - Propriétés mutagènes et cancérogènes - Risques cardiovasculaires
Dioxyde d'azote (NO ₂)	- Trafic routier - APU (combustion des carburants - à température de combustion élevée) - Engins de piste (idem) - Centrale d'énergie thermique (combustion de combustibles à température de combustion élevée) - Réacteurs d'avion	- Pluies acides - Formation d'ozone - Effet de serre (indirectement)	- Irritation des bronches - Favorise les infections pulmonaires chez les enfants - Augmente la fréquence et la gravité des crises chez les personnes asthmatiques
Composés organiques volatiles (COV)	- Engins de piste (combustion incomplète) - Ateliers de maintenance (évaporation des solvants) - Stockage et distribution des carburants	- Formation d'ozone et gaz à effet de serre (indirect)	- Irritations et diminution de la capacité respiratoire - Certains composés sont considérés comme cancérogènes (par exemple le benzo(a)pyrène)
Ozone (O ₃)	Polluant secondaire (réaction chimique à partir d'oxydes d'azote ou COV sous l'effet des rayons de soleil)	- Effet néfaste sur la végétation - Contribue indirectement à l'effet de serre	- Toux - Altération pulmonaire - Irritations oculaires

Des polluants émergents peuvent s'ajouter à cette liste, notamment le *black carbon*, des particules ultrafines dont les études nationales et internationales sont en cours dans le domaine de l'aviation civile.

Tableau 2 : Polluants aéroportuaires impactant les milieux

Polluants	Sources importantes sur une plateforme aéroportuaire	Conséquences sur l'environnement	Effets sur la santé
HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques)	Hydrocarbures et d'autres produits de combustion : véhicules, engins, réacteurs d'avion ou encore les centrales thermiques (par les retombées sur le sol ou par les coulures accidentelles)	Certains HAP (Benzo(a)pyrène) persistent dans l'air pendant plusieurs années. Ils peuvent contaminer les plantes (à partir de l'air ou du sol). Le benzène joue un rôle important dans la formation de l'ozone troposphérique. Ils interviennent dans les mécanismes de formation des GES. [1]	Mutagènes et cancérogènes : cancer de la peau, du poumon et du scrotum des ramoneurs en passant par des irritations diverses et une diminution de la capacité respiratoire. Effets sur le foie, sanguins, immunologiques. [2]
Alcanes	Hydrocarbures et d'autres produits de combustion : véhicules, engins, réacteurs d'avion ou encore les centrales thermiques (par les retombées sur le sol ou par les coulures accidentelles)	Les alcanes pénètrent dans l'environnement et constituent un effet nocif sur la diversité biologique. [3]	Toxicité : Les vapeurs des alcanes agissent sur le système nerveux central (céphalées, nausées, somnolence), sont irritantes pour les muqueuses pulmonaires et des irritants cutanés. Risques d'asphyxie : les premiers représentants de la série des alcanes sont de simples asphyxiants provoquant la privation d'oxygène. [3]
Eléments traces métalliques (MTE) ¹¹ -plomb -cadmium -zinc -chrome -etc.	Engins de piste, véhicules (dans les lubrifiants, les pneumatiques, les freins) Déchetteries aéroportuaires (piles au cadmium, batteries au plomb) Dans les clôtures et glissières de sécurité routière	- Plomb : Bioaccumulation dans les chaînes alimentaires. [4] - Cadmium : Il s'accumule dans de nombreux organismes. Il se trouve, en plus faible concentration, dans les légumes, les céréales. [5] - Zinc, chrome : cf annexe 2	- Plomb : A fortes doses, conduit à des encéphalopathies, des neuropathies et au décès. Il provoque également des effets digestifs et des effets sur la pression artérielle. [4] - Cadmium : effets toxiques sur les reins, le squelette et l'appareil respiratoire. Classé comme cancérogène. [5] - Zinc, chrome : cf annexe 2
Glycol	Produits utilisés pour la viabilité hivernale (antigivrage, dégivrage)	Il ne s'accumule pas dans les organismes et ne produit des effets nocifs chez les organismes qu'à des doses élevées. [8]	Des troubles digestifs (nausées, vomissements, douleurs abdominales) et d'une dépression du système nerveux central. [8]
Acétates, Formiates	Produits utilisés pour la viabilité hivernale (déverglaçage des pistes, des voies de circulation)	Les Acétates ne font pas l'objet d'une bioconcentration dans les organismes. [9] Les formiates sont classés comme représentant un faible danger pour l'environnement. [10]	Acétates : L'acétate d'éthyle est irritant pour les voies respiratoires et les yeux et provoque les effets narcotiques. [9] Formiates : La toxicité aiguë de l'acide formique est considérée comme modérée par voie orale et faible par inhalation. Le formate de sodium a une toxicité aiguë faible par voie orale et légère par inhalation. La toxicité aiguë du formate de méthyle est modérée par voie orale et faible par inhalation et contact dermique. La toxicité aiguë du formate d'éthyle est légère par voie orale et faible par inhalation ou contact dermique. [10]

¹¹ ETM : regroupent les éléments d'une densité supérieure à 5 grammes par cm³ comme le plomb, le cadmium, le zinc, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le sélénium, le cobalt, le platine, le vanadium, le palladium, l'arsenic, le manganèse, le baryum et le thallium. L'appellation « Eléments Traces » regroupe environ 80 éléments.

Polluants	Sources importantes sur une plateforme aéroportuaire	Conséquences sur l'environnement	Effets sur la santé
Pesticides, fongicides, etc.	Entretien des espaces verts	Pesticides : des effets sur la diversité biologique, une réduction de l'offre de nourriture, la pollution de l'eau. [21, 22]	Pesticides : l'infertilité masculine, des cancers, l'empoisonnement, des risques cutanés ou oculaires, des troubles neurologiques (Alzheimer, Parkinson, autisme), des troubles génétiques. [21, 22]
Substances perfluoroalkylées (PFAS)	Aire d'entraînement à la lutte contre les incendies [23]	Pollution de l'eau, effets sur la diversité biologique, effets toxiques sur les organismes marins [24]	Maladie thyroïdienne, taux élevés de cholestérol, lésions au foie, maladie inflammatoire de l'intestin (colite ulcéreuse), cancer du rein, des testicules et du sein. Effets sur le développement de l'enfant à naître : retard de développement de la glande mammaire, réponse réduite aux vaccins, faible poids à la naissance, obésité, puberté précoce, risque accru de fausse couche, nombre et mobilité faibles des spermatozoïdes, délai de grossesse plus long, hypertension/pré-éclampsie due à la grossesse [25]

La version complète du tableau n°2 et la liste des sources bibliographiques se trouvent en annexe 2.

III. LES VOIES DE REDUCTION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE ET DE LA POLLUTION DES MILIEUX SUR UN AEROPORT

A. LE TRAFIC ROUTIER INDUIT ET L'ACCESSIBILITE A LA PLATEFORME

Le développement des différents modes de transport « moins émissifs » est une mesure essentielle pour réduire les émissions du trafic routier. Bien que cela ne relève pas uniquement du domaine de compétence du gestionnaire d'aéroport, ce dernier peut mettre en place des actions, seul ou en coopération avec les autorités organisatrices des transports, pour une réduction efficace de la pollution.

1. LE TRANSPORT PUBLIC

La première solution est de favoriser l'utilisation des **transports publics** : l'amélioration de l'accessibilité des aéroports via les transports en commun reste un sujet important sur la plupart des grands aéroports français. En effet, c'est le moyen le plus efficace pour réduire le trafic routier induit et donc la pollution que celui-ci provoque. Il importe de trouver des solutions répondant aux besoins de chaque public (salariés, passagers et visiteurs) et de chaque échelle territoriale (locale, régionale, nationale).

Coté salariés et visiteurs, les employeurs ont leurs responsabilités. Ils sont tenus de mettre en place des plans de mobilité. Le gestionnaire a tout intérêt à réaliser un plan de déplacement interentreprises afin de favoriser des solutions adaptées (transport collectif à la demande, covoiturage, autopartage, mise à disposition de bornes pour véhicules électriques sur le lieu de travail, incitation à prendre les transports en commun...).

Côté passagers, l'information est un point clef pour augmenter la part des passagers empruntant les transports en commun. Une information claire sur les possibilités (et le prix) des services de transport de ou vers les aéroports permet aux passagers de mieux préparer leurs déplacements.

Afin d'inciter les passagers à recourir de plus en plus à ce mode de transport, différentes solutions ont été trouvées avec les autorités organisatrices de transport sur différents aéroports :

- Distribution, par le gestionnaire d'aéroport de titres de transport gratuits aux passagers arrivant à l'aéroport (par exemple, à l'aéroport de Genève) ;
- Partenariats entre les compagnies aériennes et les opérateurs de transport public pour la vente de titres de transport combinés ;
- Ajustement des horaires et des connexions selon la demande¹².

2. LES TAXIS OU NAVETTES VERTES ET LES VOIES DOUCES

Pour réduire la pollution atmosphérique causée par le trafic routier, il est également utile de favoriser des **taxis ou navettes verts** par la mise en place des partenariats entre l'aéroport et

¹² GSA mag – making airports greener (2013)

les sociétés taxis avec la ville centre et les communes avoisinantes. En parallèle, la mise en place d'une offre de véhicules électriques en location avec des facilités de libre-service est également intéressante.

Pour faciliter la mise en place des partenariats indispensables, les gestionnaires doivent installer des postes de recharge aux véhicules électriques ou des stations de ravitaillement en hydrogène, et ainsi faciliter le ravitaillement des véhicules des particuliers arrivant à l'aéroport. Les postes de recharge électriques sont de plus en plus développés, mais des exemples existent également pour la mise à disposition de stations d'hydrogène, par exemple, à l'aéroport de Munich ou de Los-Angeles. Sur le sol français, à Paris – Charles – de –Gaulle et Paris – Orly des stations de distribution d'hydrogène sont présentes et permettent d'alimenter la flotte de taxis Hype (flotte de taxi 100% hydrogène). Une station H₂ aéroportuaire est en cours de réalisation à l'aéroport de Toulouse. Installée au cœur de l'aéroport de Toulouse-Blagnac, elle sera associée à un électrolyseur capable d'assurer la production de 330 kilos d'hydrogène vert par jour. Située sur le tarmac et en zone publique, elle sera destinée à l'ensemble des usagers potentiels, particuliers ou professionnels. Elle servira notamment à alimenter une flotte de quatre bus à hydrogène assurant la desserte de l'aéroport.

D'autres solutions, comme la mise en place de partenariats spécifiques (stations vélos en libre-service) et/ou l'aménagement de voies dédiées aux modes actifs entre les communes riveraines et les différents pôles de l'aéroport peuvent également encourager les personnels à ne pas utiliser de véhicules individuels.

B. LES ENGINS DE PISTE ET L'ASSISTANCE EN ESCALE

Réduire les émissions liées aux activités d'assistance en escale a plusieurs avantages, notamment la réduction de l'empreinte carbone, l'amélioration de l'environnement de travail (moins de bruit, moins d'émissions atmosphériques), la réduction des frais d'exploitation (réduction de la consommation de carburant) et la réduction de risque de pollution accidentelle lors du ravitaillement par exemple.

Le service peut être assuré par l'aéroport même ou par une ou plusieurs société(s) d'assistance en escale en contrat direct avec l'aéroport, et/ou en contrat avec les compagnies aériennes. La décision concernant par exemple le verdissement d'un parc d'engins piste dépend donc en partie de l'offre et de la demande mais également des engagements des différents acteurs. Pour les engins électriques, des aménagements techniques sont également indispensables. Dans le modèle le plus usuel, le gestionnaire fournit le réseau électrique. L'achat et l'installation de bornes électriques est à la charge de l'assistant en escale, qui est propriétaire des bornes.

Pour diminuer les émissions liées aux engins de piste et des véhicules circulant en zone réservée, plusieurs actions sont disponibles.

Le **verdissement des engins et véhicules** (électrification, gaz naturel, hydrogène etc.) est la mesure la plus efficace, non seulement pour la réduction des émissions atmosphériques mais également pour la réduction de la pollution des eaux et des sols car il n'y a plus de risque de

déversement de carburant par exemple. Cette solution demande des investissements. Il existe d'autres actions plus ou moins onéreuses pour limiter les émissions. Ces solutions sont développées ci-dessous.

1. LE VERDISSEMENT DES ENGIN DE PISTE

En fonction du type d'engin de piste, les versions plus écologiques (électriques, ou GNV¹³/bio-GNV) sont actuellement disponibles pour la majorité des types d'engins de piste et présentes de façon assez hétérogène sur les aéroports français. C'est le cas notamment des tracteurs bagages, avec une part des engins verts égale à 90% du parc, des tapis bagages (33%) ou les plateformes élévatrices (14%)¹⁴.

Des programmes de renouvellement des flottes thermiques au profit d'appareils moins polluants sont en cours chez certains opérateurs. Par exemple, dans le cadre des travaux communs entre la Chambre syndicale de assistants en escale (CSAE) et le Groupe ADP une comparaison coûts/bénéfices a été réalisée en 2019 entre les véhicules classiques et ceux considérés comme « propres » pour définir une ambition et une feuille de route commune pour le verdissement des véhicules et engins d'assistance en escale. Le tableau ci-dessous présente la comparaison des coûts et des bénéfices des différentes motorisations des engins de piste.

Tableau 3 : Comparaison coûts/bénéfices entre des véhicules et engins de piste classiques et considérés comme « propres »

	Classique		Propre		
	Diesel	Essence	Electrique	(bio-)GNV	Hydrogène
Coût du carburant	✓✓ + Incitations fiscales	✓	✓✓✓✓	×	× ×
Coût du véhicule	✓✓	✓	× Dispositif d'aide à l'achat	× × Surcoût de 10 à 30% pour achat véhicule	× × × Environ 70 000 euros pour une citadine (ex: Toyota Mirai)
Autonomie	✓✓✓	✓✓	× ×	✓✓	✓✓
Durée « à la pompe »	✓✓	✓✓	× × ×	✓	✓
Impact environnemental	CO ₂ : × Particules : × × NOx, autres : × × (impact limité si hybride)	CO ₂ : × × Particules : × NOx, autres : × × (impact limité si hybride)	✓✓✓ (si électricité verte) 0 émissions directes	CO ₂ : ✓ → ✓✓✓ (si bio-GNV) Particules : ✓✓✓ NOx, autres : ✓✓ Moins de bruit et vibrations	× × → ✓✓✓ (si mode de fabrication « vert ») 0 émissions directes
Commentaires	✓ : fiscalité attractive ✓ : consommation plus faible qu'un véhicule essence	× : Pas de moteur essence de grosse cylindrée en Europe	✓ : améliorations techniques sur l'autonomie × : ne s'applique pas aux véhicules jaunes qui consomment trop du fait des équipements	× : Nécessite d'installer une infrastructure de recharge aujourd'hui inexistante sur les plateformes. ✓ : Peut être du bio-GNV : pas de modification moteur à prévoir.	× : Peu de modèles disponibles actuellement. × : Production de l'hydrogène pas encore propre.

A noter, que le verdissement des engins de piste nécessite des infrastructures d'approvisionnement adéquates en zone réservée : points de charge électrique, stations GNV, voire stations hydrogène (H₂). Cela suppose donc de disposer d'une puissance réseau suffisante pour accompagner la transition des engins vers l'électrique, ainsi que de réserves

¹³ GNV : gaz naturel véhicule

¹⁴ http://csae-aero.fr/pdf/24-CSAE_Environnement_chiffres_cle_2020.pdf

foncières en zone réservée pour l'installation de stations de distribution GNV ou H₂, et de la capacité à distribuer respectivement du gaz et de l'hydrogène jusqu'à ces stations.

2. L'ÉCO CONDUITE

L'éco-conduite est non seulement un comportement de conduite mais également la préparation optimale des véhicules qui permet de réduire la consommation de carburant jusqu'à 15% et donc réduire également la pollution. Pour la bonne préparation du véhicule il est indispensable de vérifier l'état des pneus (les pneus sous-gonflés entraînent une augmentation de la résistance au roulement et donc une surconsommation de carburant de 2,4 % par 0,5 bars.), le filtre à air, la climatisation, etc. Ensuite, dès le démarrage et durant le trajet, plusieurs recommandations ont été définies par l'ADEME et le Centre national d'information de la route, notamment de ne pas faire chauffer le moteur à l'arrêt, de passer la vitesse supérieure autour de 2500 tours/minutes pour un véhicule à essence et autour de 2000 tours/minutes pour un véhicule diesel, de couper le moteur en cas d'arrêt prolongé et encore d'autres recommandations.¹⁵

3. LA MUTUALISATION DES MATÉRIELS

Le «*pooling*» est le système de partage des engins entre plusieurs sociétés d'assistance en escale. Il permet de mutualiser des engins et ainsi réduire le nombre d'engins sur site (moins d'encombrement, moins d'accidents) et partager les coûts d'exploitation et de maintenance. Cela peut faciliter les investissements dans des engins moins émissifs. Le "pooling" nécessite de bien définir le modèle juridique (question d'assurance notamment).

4. LES FILTRES A PARTICULES

Pour les véhicules et engins déjà existants dans le parc de véhicules/engins de la société d'assistance en escale, il est tout à fait possible d'installer des filtres à particules (FAP). Selon l'étude de l'aéroport de Genève, le post-équipement est pertinent pour les engins et véhicules lourds. Celui des véhicules légers se révèle moins efficace que l'accélération du renouvellement du parc.

Les FAP retiennent les particules par filtration des gaz d'échappement. Le fonctionnement d'un FAP comporte trois phases ; captation des particules, régénération du filtre par combustion des particules accumulées et nettoyage périodique.

L'utilisation typique aéroportuaire des engins, notamment les distances parcourues limitées, ne permettent pas une régénération optimale des filtres (les moteurs ne montent pas suffisamment en température pour se régénérer seul). Il semblerait que les filtres actifs (avec régénération active) ou/et avec additifs donnent de meilleurs résultats

Le filtre à particules peut être couplé à un catalyseur d'oxydation qui permet de réduire les émissions de CO et de HC et/ou des NOx.¹⁶

¹⁵ https://www.bison-fute.gouv.fr/IMG/pdf/la_fiche.pdf

¹⁶ https://issuu.com/gva-airport/docs/guide-pratique-r_duction-emissions-gazeuses/6

5. LE RETROFIT ELECTRIQUE

Le retrofit est la transformation des véhicules ou engins thermiques en électrique à batterie ou à pile à combustible. Cette solution permet d'offrir une seconde vie aux anciens véhicules ou engins thermiques, en s'inscrivant parfaitement dans une économie circulaire. Les conditions de sa mise en œuvre sont définies dans l'arrêté du 13 mars 2020 relatif aux conditions de transformation des véhicules à motorisation thermique en motorisation électrique à batterie ou à pile à combustible.

Sont acceptés pour une conversion électrique les véhicules à motorisation des catégories M (engins comptant au moins 4 roues et conçus pour le transport de passagers : voitures particulières, minibus, autobus y compris les modèles articulés, autocars, etc.) et N (véhicules conçus pour l'acheminement de marchandise et ayant au moins 4 roues : utilitaires légers, camions de tous tonnages) de plus de 5 ans à la date de conversion. Le délai est ramené à 3 ans pour les engins qui entrent dans le groupe L (véhicules motorisés à 2, 3, ou 4 roues : cyclomoteurs, motos avec ou sans side-car, quadricycles divers, etc.).

Cette pratique semble pour le moment peu répandue pour les engins de piste car son coût n'est pas peut-être pas assez attractif par rapport à l'achat d'un engin électrique neuf. De plus, les engins de piste présentent souvent de fortes usures sur la carrosserie en raison de la co-activité en piste avec les autres engins. Actuellement, dans le parc français, le nombre d'engins thermiques « éligibles au retrofit » ayant des carrosseries et structures en assez bon état et pouvant être utilisable le temps d'amortir le coût du retrofit apparaît limité.

Le retrofit des moteurs présente néanmoins un avantage pour les engins thermiques où une solution de substitution propre (électrique, gaz ou hydrogène) n'existe pas actuellement sur le marché comme c'est le cas pour les camions tracteurs de fret en piste.

6. LE CHOIX DU MODELE EN FONCTION DE L'USAGE

L'aéroport de Genève a classé les meilleurs choix en termes technologiques par rapport aux émissions en fonction du type de véhicule et d'engin de piste en considérant leur usage principal et leurs caractéristiques. Un premier classement avait été fait en 2012¹⁷. Depuis cette date un certain nombre d'avancées technologiques ont permis d'actualiser ce classement, notamment en ce qui concerne les « *ground power unit* » (GPU) dont des modèles électriques sont arrivés sur le marché.

Tableau 4 : Les choix du modèle des engins piste en fonction de l'usage

Type de véhicule et lieu d'utilisation	Usage principal et caractéristique	Motorisation la plus efficiente
Voiture ou utilitaire légère – utilisation dans l'enceinte aéroportuaire et/ou en ville	Livraisons, services et commerces, transports de personnes et de matériel, maintenance, nettoyage. Déplacements courts, peu de kilomètres.	1. Electrique 2. Hybride ou petit essence efficient (norme EURO6) 3. Gaz naturel comprimé (GNC) 4. Essence efficient (EURO6)
Voiture ou utilitaire légère – utilisation ville, route et aéroport	Autorités, services et commerces, voitures de fonction ou d'astreinte, livraisons, véhicules piste (Follow-me, lutte aviaire), transport des personnes et de matériel	1. Hybride ou petit essence efficient (EURO6) 2. GNC (gaz) 3. Essence ou diesel efficient avec FAP

¹⁷ https://issuu.com/gva-airport/docs/guide-pratique-r_duction-emissions-gazeuses/6

Type de véhicule et lieu d'utilisation	Usage principal et caractéristique	Motorisation la plus efficace
Camions, bus, engins avec châssis et moteurs camion (routiers)	Transport de passagers, catering, PMR, avitaillement, déneigement, dégivrage, maintenance, entretien, transport de matériel, livraisons, déchets. Distances parcourues et durées variables.	1. Electrique 2. Hybride ou GNC 3. Diesel avec FAP adapté à l'usage Installation de FAP (post équipement) possible et efficace
Engins spécifiques aviation « légers »	Tracteurs à bagages et petits tracteurs, élévateurs, petits tracteurs avions.	1. Electriques (bien adaptés et choix entre plusieurs modèles) 2. Hybrides
Engins spécifiques aviation « lourds »	Tapis bagages, escaliers passagers, élévateurs, loaders. Peu de déplacements (courtes distances) mais beaucoup d'heures de fonctionnement	1. Electriques 2. Diesel efficace (dernière norme en vigueur) Test d'engins avec pile électrique (hydrogène)
	Gros tracteurs d'avions (push-back), GPU. Puissance importante nécessaire.	1. si GPU alors électrique, si non diesel efficace (dernière norme en vigueur) avec FAP Installation de FAP possible
Engins de chantier, d'entretien des surfaces et des espaces verts	Balayeuse, tracteurs, engins de déneigement	Diesel répondant à la dernière norme en vigueur avec FAP. Installation de FAP possible
Engins d'urgence et de sécurité	Camions sécurité et feu, ambulance	Diesel répondant à la dernière norme en vigueur

C. LES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE, DE CLIMATISATION ET DE PRODUCTION DE L'ÉNERGIE

1. LES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE ET DE LA CLIMATISATION

Afin de diminuer la pollution atmosphérique due aux installations de production de chaleur ou d'air réfrigéré les gestionnaires peuvent, soit **remplacer les anciennes installations par des installations plus performantes, soit se tourner vers des énergies renouvelables, au moins pour une partie de leur consommation.**

a) Le remplacement des anciennes installations par des installations « nouvelle génération »

Le remplacement des anciennes chaudières par la mise en service de nouvelles chaufferies avec une gestion opérationnelle optimisée (vérification des températures, réglage des brûleurs, etc.) permet une diminution de la consommation de ces installations et donc une diminution des émissions également.¹⁸

Pour la climatisation des bâtiments, des solutions moins énergivores existent également. Par exemple, sur l'aéroport de Paris – Orly, deux groupes frigorifiques à vitesse variable ont remplacé l'ancienne installation. Ces deux groupes sont équipés de la technologie dite « haute pression flottante » (HPF). Ce dispositif adapte les besoins de refroidissement à la température extérieure : moins il fait chaud dehors, moins les ventilateurs de réfrigération seront utilisés. Ces équipements consomment un tiers d'électricité de moins que les installations frigorifiques classiques.¹⁹

¹⁸ Bilan national du programme d'actions des aéroports établi par l'ADEME, En application du décret n°2016-565 et de l'article 45 de la loi n°2015-992

¹⁹ https://www.parisaeroport.fr/docs/default-source/groupe-fichiers/rse/expert-rse/environnement/environnement.pdf?sfvrsn=1036edbd_2

b) L'installation de centrales d'énergie renouvelables

Pour le chauffage et la climatisation, le recours aux énergies renouvelables est la solution la plus vertueuse. Plusieurs technologies sont à disposition des gestionnaires :

- Géothermie :
 - Centrale géothermique avec l'énergie des couches profondes de la terre ;
 - Pompe à chaleur, en valorisant la chaleur de la terre dans les couches peu profondes ;
 - *Géocooling*, l'échangeur air-sol pour la climatisation ;
- Centrale biomasse (pour le chauffage) ;
- Centrale de chauffage solaire (production de l'eau chaude grâce aux rayons solaires : cette eau peut ensuite être utilisée telle quelle dans les sanitaires, ou pour le chauffage.).

Le schéma ci-dessous présente l'installation de la centrale de géothermie sous le terminal E de l'aéroport de Kloten – Zurich. Le terminal est construit sur un sol argilo-limoneux et ses fondations sont constituées de 350 piles de 27 m de hauteur et d'un diamètre compris entre 90 et 150 cm. Ces piles d'énergie fournissent 70% des besoins en chaleur du terminal. Le refroidissement du bâtiment est également assuré par des piles d'énergie, 53% en *free cooling* et 15% en utilisant la pompe à chaleur.²⁰

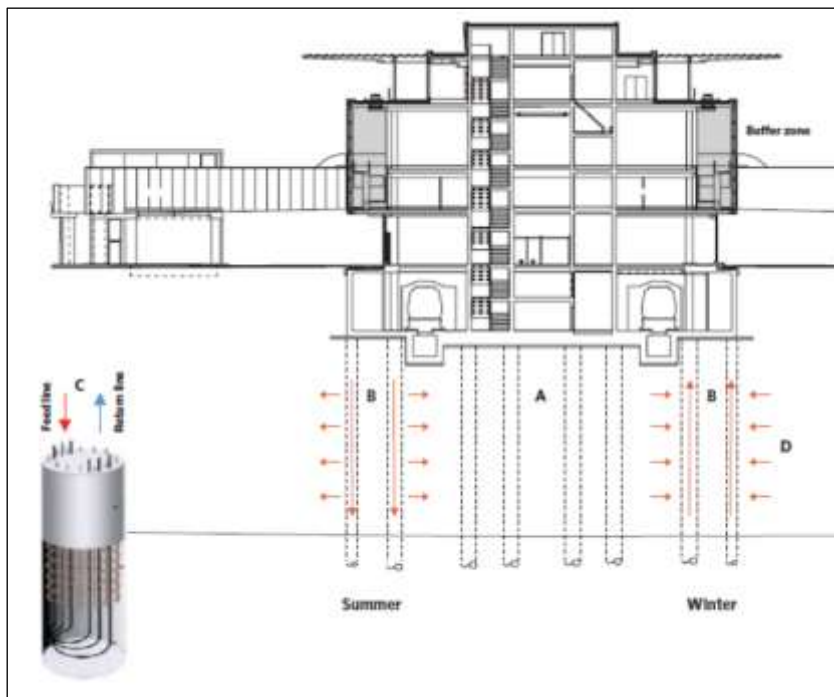


Figure 5 : Piles d'énergie à l'aéroport de Kloten – Zurich (source : OACI²¹)

L'aéroport de Paris – Orly s'est également équipé, en 2010, d'une centrale géothermique. Cette installation, en revanche, profite de la chaleur (74°C) d'un aquifère à 1800m de profondeur (voir le schéma ci-dessous). L'aéroport a vu 40% de ses besoins en chauffage couvert par

²⁰ https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/2014-GreenTechnology/5_Oh_Aci.pdf

²¹ Organisation de l'aviation civile internationale

l'installation de cette centrale géothermique. Elle permet d'éviter le rejet de 9000 tonnes de CO₂ par an²²



Figure 6 : Centrale géothermique à Paris – Orly (source : ecoCO2.com)

2. LA PRODUCTION DE L'ELECTRICITE OU L'ACHAT D'ELECTRICITE VERTE

a) Le renouvellement des installations de production d'électricité

Comme pour le chauffage/climatisation, le remplacement des installations obsolètes par des installations performantes permet de maîtriser la consommation et de diminuer la pollution.

La mise en place de centrales d'énergies renouvelables permet une production verte de l'électricité. La plupart des sources d'énergie naturelle sont exploitables sur ou autour d'une plateforme. Le choix se fait en fonction du contexte local géographique et/ou météorologique :

- Centrale biomasse (quantité de matière suffisante) ;
- Centrale biogaz (quantité d'intrants à collecter suffisante) ;
- Centrale photovoltaïque (ensoleillement suffisant) ;
- Centrale éolienne urbaine (ressources en vent et turbulences) ;
- Centrale géothermique (capacité thermique du sous-sol).

²² <https://www.parisaeroport.fr/groupe/rse/decouvrir/engagements/maitrise-des-impacts/energie>



Figure 7 : Eoliennes urbaines installées à l'aéroport de Boston Logan (source : *enerzine.com*)

b) L'achat de l'électricité verte

En plus de la production de l'électricité grâce aux énergies renouvelables, aujourd'hui nombreux aéroports ont mis en place des contrats spécifiques « électricité d'origine renouvelable » via le mécanisme de garantie d'origine avec leurs fournisseurs d'électricité.

On voit également apparaître les PPA "Power Purchase Agreement". Le Groupe ADP a signé début 2020 un « Corporate PPA » avec un fournisseur (Gazel Energie) et un développeur (Urbasolar). ADP s'engage ainsi à acheter l'ensemble de la production solaire photovoltaïque produite par les centrales qu'ils construiront spécifiquement pour le Groupe ADP. Cela permet de soutenir la création de trois centrales photovoltaïques au sol en France (dans le Var, le Gard et en Charentes), dont la production devrait représenter 10 % des consommations électriques d'Aéroports de Paris SA.

3. LES TECHNOLOGIES COMBINÉES DE CHALEUR ET D'ÉLECTRICITÉ

Les technologies combinées de chaleur et d'électricité (CHP) produisent de l'électricité ou de l'énergie mécanique et récupèrent la chaleur perdue, leur permettant d'atteindre des rendements de 85%.²³ Des **centrales de cogénération**²⁴ (figure n°7) sont en cours de construction ces dernières années. Une centrale de cogénération nécessite, en revanche, beaucoup plus d'espace qu'une centrale conventionnelle. A l'aéroport de Suvarnabhumi de Bangkok (Thaïlande) par exemple, une nouvelle centrale de cogénération de 52,5 Mwe a permis une réduction de 24% de la consommation d'énergie primaire.²⁵

²³ Cardona, E.; Piacentino, A.; Cardona, F. Energy saving in airports by trigeneration. Part I: Assessing economic and technical potential. Appl. Ther. Eng. 2006, 26, 1427-1436.

²⁴ La cogénération consiste à produire en même temps et dans la même installation de l'énergie thermique à flamme et de l'énergie mécanique. (source : EDF)

²⁵ W. Somcharoenwattana, C. Menke, D. Kamolpus, D. Gvozdenac, Study of operational parameters improvement of natural-gas cogeneration plant in public buildings in Thailand, Energy and Buildings, Volume 43, Issue 4, April 2011, Pages 925-934

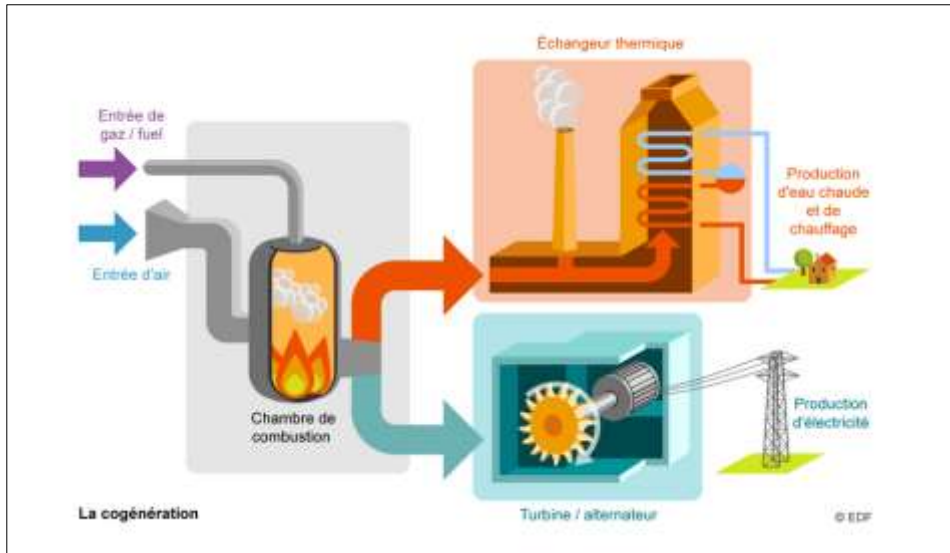


Figure 8 : Schéma de la cogénération (source : EDF)

Dans la plupart des cas, les centrales de cogénération sont alimentées au gaz naturel comme source d'énergie primaire. Cependant, d'autres options telles que l'utilisation de l'énergie solaire ou de la biomasse sont disponibles. La biomasse, l'huile végétale ou le biogaz sont utilisés dans l'usine de cogénération de l'aéroport de Bari en Italie par exemple.

4. LES BATIMENTS

En complément des actions de réduction des émissions, la rénovation thermique des anciennes aérogares, ou la construction des nouveaux bâtiments énergétiquement performants (isolation, etc.) permettent de réduire les besoins énergétiques des bâtiments. De nombreux labels existent, comme le BBC (Bâtiment basse consommation) ou le HQE (Haute qualité environnementale) par exemple pour certifier les performances environnementales ou énergétiques des bâtiments.

La nécessité de réduire la consommation d'énergie conduit les chercheurs à développer des systèmes de gestion énergétique des bâtiments (BEMS), en particulier pour les grands bâtiments. Ces systèmes sont conçus pour surveiller et contrôler les paramètres environnementaux et d'exploitation du bâtiment et pour minimiser la consommation d'énergie et les coûts d'exploitation. En adoptant le concept d'i-BEMS (BEMS intelligent), les aéroports peuvent se concentrer sur l'efficacité énergétique sans compromettre la fiabilité et le confort. La clé est d'adopter des solutions intelligentes qui exploitent des capteurs, des appareils connectés et des analyses de données. Les données générées par les capteurs en temps réel facilitent le diagnostic des inefficacités opérationnelles et l'exécution des travaux de maintenance au moment optimal, réduisant ainsi considérablement le gaspillage d'énergie. Ce système entièrement intégré peut économiser de l'énergie même avec l'augmentation du nombre de voyageurs aériens.²⁶

Une autre technologie innovante est la façade climatique qui est utilisée dans le bâtiment de satellite du terminal 2 de l'aéroport de Munich par exemple. Un tampon climatique d'un mètre

²⁶ <https://www.ltts.com/blog/optimizing-energy-efficiency-airport-terminals-intelligent-building-management-systems>

de large séparant l'intérieur climatisé du bâtiment de la façade extérieure a été érigé sur les côtés longitudinaux du bâtiment, baignés de lumière et dotés de façades en verre. La couche d'air assure une meilleure isolation du bâtiment, à l'instar du principe d'une bouteille thermos. La façade elle-même se compose d'un verre : il laisse entrer la lumière du jour, mais son revêtement spécial empêche le chauffage excessif du rayonnement solaire.²⁷

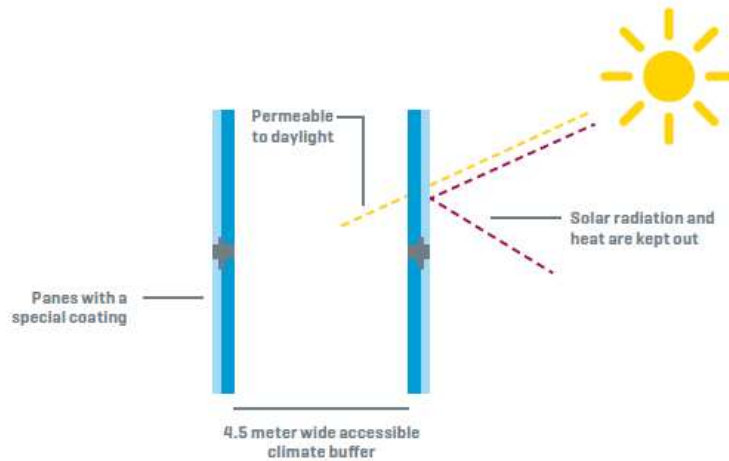


Figure 9 : Schéma de la façade climatique à l'aéroport de Munich

D. LES ATELIERS DE MAINTENANCE

Airbus a présenté, dans le cadre du projet ACADEMY (*Airbus corporate answer to disseminate environmental management system*), les mesures pertinentes pouvant être mises en place dans le cadre des opérations d'entretien ou de réparation dans le secteur de l'aviation. Dans son rapport « Limitation de l'impact environnemental des opérations de maintenance des aéronefs²⁸ », sont citées les actions suivantes :

- Identifier toutes les opérations exigeant de l'énergie, de l'eau ou d'autres ressources, et les exigences pertinentes ;
- Identifier tous les cadres réglementaires applicables ;
- Identifier tous les dangers pertinents et collecter toutes les fiches de données de sécurité ;
- Sélectionner les consommables à recommander pour les opérations de maintenance en respectant les règles concernant les dangers pour l'environnement, la santé et la sécurité ;
- Fournir une formation appropriée aux utilisateurs si nécessaire ;
- Assurer que des contrôles réguliers sont effectués ;
- Identifier tous les matériaux nécessaires pour limiter les déversements, les fuites, les émissions, etc. et les dommages environnementaux et garder ces matériaux disponibles, en particulier dans des situations anormales ;
- Sélectionner les opérateurs (y compris les services externes) sur la base des exigences environnementales et leur donner une formation appropriée.

²⁷ https://www.nachbarschaftsbeirat.de/_b/00000000000000004328927bb5b2a017b/Klimaschutzbrosch_en.pdf

²⁸ ACADEMY. Minimising environmental impact in Aircraft maintenance operations, 2008

En appliquant des mesures pour maîtriser les risques professionnels spécifiques liées à la maintenance, les pollutions accidentelles pourront également être limitées. Le guide sur l'organisation générale de la maintenance et de l'aménagement²⁹ réalisé par l'Assurance maladie et le CARSAT³⁰ regroupe les mesures à mettre en place pour limiter les accidents au travail (mesures pour le stockage des produits, la ventilation et captage de polluants, etc.). Ci-dessous se trouvent quelques exemples qui permettent de limiter la pollution de l'air et/ou des milieux :

Stockage des produits chimiques :

- Stocker les produits chimiques sur des bacs de rétention adaptés à leurs volumes ;
- Stocker les produits inflammables dans des endroits éloignés de sources de chaleur ou dans des armoires adaptées et ventilées ;
- Faciliter le transvasement des produits chimiques par tout moyen adapté.

Ventilation et captage :

- Remplacer les solvants chlorés ou produits pétroliers par des produits lessiviels³¹ ou des fontaines biologiques pour le nettoyage de pièces mécaniques ;
- Capter les polluants à la source (fumées de soudage, vapeurs de solvants, émanation de peinture, etc.) avec des dossierets aspirants³², hottes ou bras aspirants ;
- Prévoir le rejet des polluants à l'extérieur (le recyclage est à proscrire) ;
- Prévoir une extraction dans les locaux à pollution spécifique (local de stockage des produits chimiques, armoire chimiques, local de recharge des batteries, ...) ;
- Prévoir une ventilation de l'atelier permettant de diluer les polluants non captés à la source ;
- Assurer une maintenance régulière des installations de ventilation.

Hygiène :

- Prévoir la gestion des déchets de l'atelier ;
- Récupérer tous les liquides vidangés dans un contenant étanche ;
- Collecter et traiter tous les déchets et les rejets liquides.

L'étanchéité des sols est également très importante pour limiter les pollutions. Elle implique des traitements chimiques et structuraux empêchant le liquide d'éroder les surfaces (principalement le béton). Il existe plusieurs méthodes d'imperméabilisation :

- Barrières positives / négatives : des barrières positives sont appliquées sur des surfaces humides ou extérieures pour protéger les intérieurs en béton et en acier de l'eau. Des barrières négatives sont appliquées à la sous-surface sèche des matériaux et empêchent l'eau de pénétrer et de se répandre.

²⁹ CARSAT. Maintenance – Organisation générale de la maintenance et de l'aménagement de l'atelier, 2019

³⁰ CARSAT : Caisse d'Assurance Retraite et de la Santé au Travail

³¹ Dissolution aqueuse de produits détersifs qui sert aux lavages et nettoyages ménagers ou industriels.

³² Les dossierets aspirants sont des « murs » dotés de fentes qui vont aspirer les polluants effectués par l'opérateur directement face à lui, qu'il s'agisse de vapeurs, de gaz, de poussières ou de fumées. (source : directindus.fr)

- Membranes / revêtements : revêtement polyuré, liquide polyuréthane (membrane), résine vinylester, injection d'époxy, revêtement bitumineux.
- Système de joints d'étanchéité qui sont des solutions gel / liquide injectées dans les ouvertures entre les surfaces pour empêcher l'eau de pénétrer.³³

E. LES OPERATIONS HIVERNALES

Afin de limiter la pollution des eaux et des sols par les produits appliqués lors des opérations hivernales, plusieurs mesures existent en fonction de l'intervention.

Dans un premier temps, il est primordial d'assurer le stockage des produits. Cela peut se faire dans des bacs de rétention qui permettent de stocker les produits de même nature et éviter le mélange des produits incompatibles. Le stockage peut se faire sur une zone étanche en protégeant bien les stocks pour éviter tout déversement et donc le lessivage par les eaux.

Dans un deuxième temps, il faut bien définir les procédures, que ce soit fait par le comité neige des aéroports pour les chaussées aéronautiques (plan neige) ou par des prestataires en charge du dégivrage/antigivrage des aéronefs. L'objectif doit être de privilégier les traitements préventifs avec de faibles quantités de produits, néanmoins selon les conditions météorologiques le traitement curatif peut s'avérer inévitable.

1. LE DE-VERGLAÇAGE DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

Pour le déneigement des chaussées aéronautiques, il convient d'utiliser des produits chimiques qu'en complément des moyens mécaniques. Selon le rapport « Boîte à outils pour les opérations hivernales »³⁴ du projet européen *Green Sustainable Airports*³⁵ (GSA), l'alternance de différentes interventions non-chimiques peuvent substituer l'application des produits, notamment par :

- L'élimination mécanique intensive ;
- L'application de sable grossier (ou de l'ardoise) ;
- L'enlèvement du sable sur l'accotement en temps sec ;
- L'utilisation intensive des souffleuses et des balayeuses pour maintenir la chaussée sèche et propre.

En France (par comparaison avec ce qu'on peut trouver au Canada par exemple) où on a des successions de vagues humides et froides, la piste peut avoir du verglas sans nécessairement avoir une couche de neige dessus suffisamment importante pour nécessiter le passage d'une déneigeuse. Dans ce cas de figure, les opérationnels pourront plutôt utiliser directement du produit déverglaçant.

Afin de réduire l'impact des produits de dé-verglçage, l'utilisation de la technologie de pulvérisation à pression basse, permet un dosage plus précis et plus efficace des produits.

³³ <https://www.totalrestorationservices.net/concrete/what-are-waterproofing-maintenance-services/>

³⁴ TRF Winter Management Toolkit ; Green Sustainable Airports (GSA) ; 2013

³⁵ <https://trimis.ec.europa.eu/project/green-sustainable-airports#tab-outline>

2. LE DÉGIVRAGE ET L'ANTIGIVRAGE DES AÉRONEFS

Pour le traitement des avions, la priorité est à la sécurité. Un avion atterrissant contaminé (c'est-à-dire avec du givre dessus) devra nécessairement être traité de manière curative (pour enlever le givre) et un traitement préventif pourra éventuellement être appliqué pour éviter l'apparition de givre avant le prochain mouvement de l'appareil, surtout si les conditions météorologiques sont défavorables. Le traitement doit être réalisé, dans la mesure du possible le plus près des seuils de pistes ou sur des aires dédiées au dégivrage ou antigivrage. Les aires de dégivrage comprennent des réservoirs de stockage, un abri pour l'équipement de dégivrage, du personnel et des réservoirs souterrains pour recueillir les eaux de ruissellement.

Le rapport du GSA présente également, entre autres, la technologie « *Prop-mix* » qui permet de fournir un mélange d'eau et de glycol entièrement automatisé (mélange contrôlé et optimisé selon les conditions prévalant).

Enfin, après le traitement classique des avions, les eaux chargées de produits chimiques doivent être recueillies et traitées. Parmi les solutions envisageables pour le traitement, on trouve :

- Station d'épuration ;
- Lagunage ou marais filtrant, filtre à graviers aéré ;
- Traitement spécialisé du glycol sur des sites dédiés.³⁶

Ces solutions peuvent être mises en place individuellement ou associées comme par exemple l'installation d'un bassin biologique avec un traitement de finition du type marais filtrants.

Le rapport de l'ACRP (Airport Cooperative Research Program) « Guidance for Treatment of Airport Stormwater Containing Deicers »³⁷ de 2013 présente des solutions de traitement des eaux de ruissellement chargées en fondants hivernaux. Ces solutions sont présentées sur la figure suivante :

³⁶ <https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/eauaero.pdf>

³⁷ <https://www.nap.edu/download/22440>

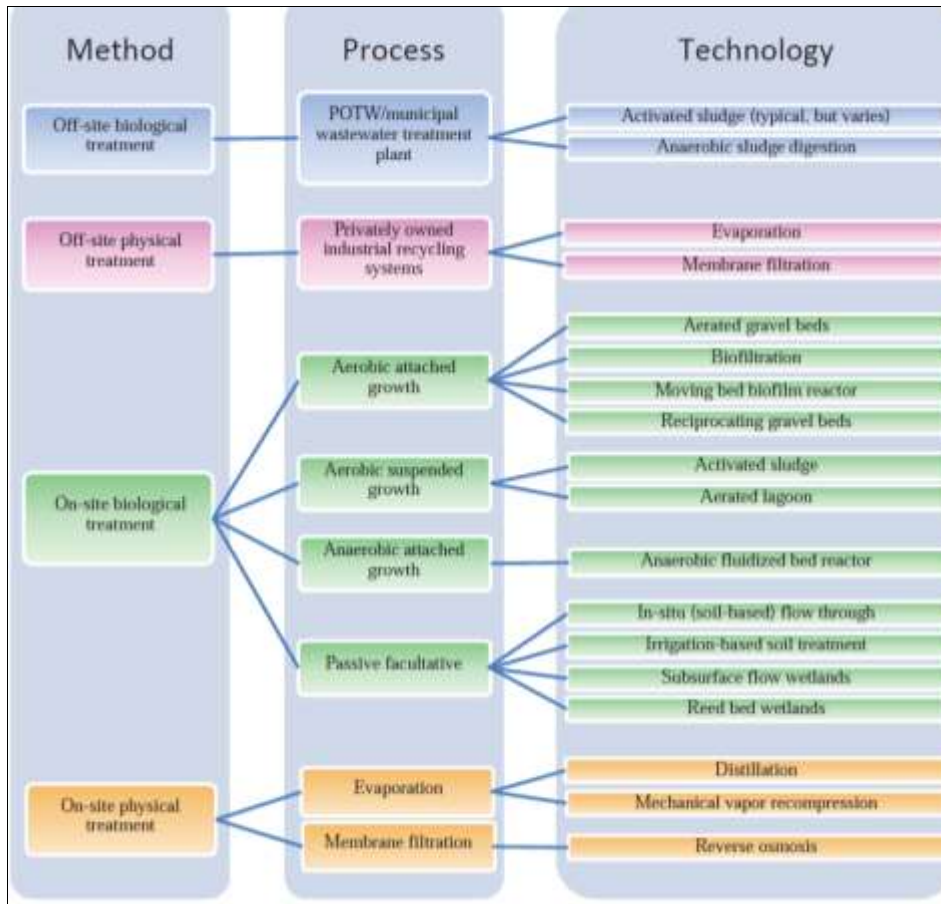


Figure 10 : Systèmes de traitement de dégivrage (source : ARCP, 2013)

Nouvelle technologie : En Norvège, en 2019, dans le cadre du projet de recherche européen « *Runway Star* », financé par l'Union Européenne, une nouvelle technologie a été développée par la société MSG Productions. Le *Multi Solution Gate* (MSG) est le premier système automatique de lavage et de dégivrage des avions. Le système MSG est constitué de 4 étapes : le démarrage, l'élimination de la neige et de la glace, le contrôle qualité et l'application des produits antigivrage³⁸ :

³⁸ <https://msgproduction.no/processes/de-icing/>

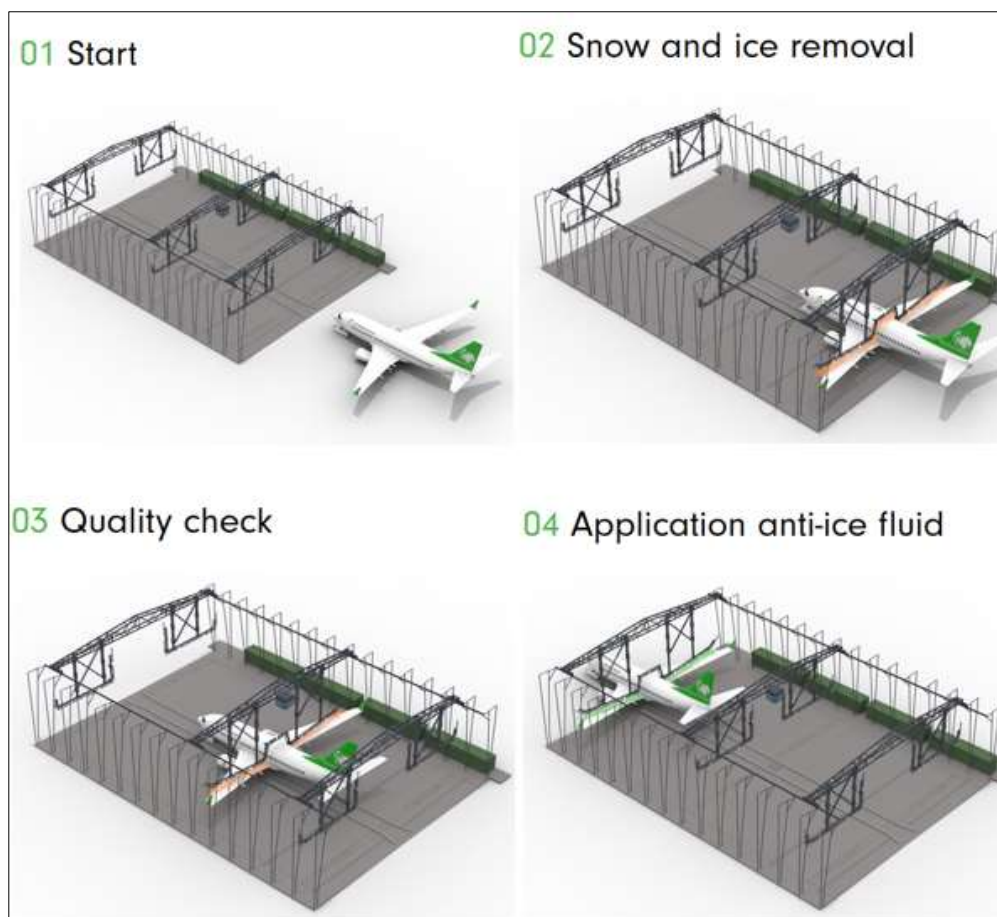


Figure 11 : Les quatre étapes du MSG (source : MSG Productions)

Ce système présente plusieurs avantages environnementaux : le fait d'être à l'intérieur d'un hangar facilite la récupération des produits et le système de recyclage sur place permet le traitement rapide du fluide, qui peut ensuite être réutilisé. L'automatisation permet également d'optimiser la quantité de produits pulvérisé par avion.³⁹

F. LE STOCKAGE ET LA DISTRIBUTION DU KEROSENE

Les installations de stockage et de distribution de carburants sont classées ICPE. Plusieurs dispositifs existent pour permettre la surveillance des installations de stockage des carburants et pour éviter toute fuite et pollution de l'environnement :

- Cuve à double-paroi ou double-enveloppe ;
- Cuve enterrée sous dôme béton et sable ;
- Aire de dépotage / plateforme de rétention aménagée pour les cuves/citernes aériennes ;
- Installation d'un séparateur d'hydrocarbure ;
- Présence de vannes spécifiques permettant la fermeture des cuves ;
- Système automatisé de détection de fuite (alarme, fosse)⁴⁰.

³⁹ <https://cordis.europa.eu/article/id/397836-an-environmentally-friendly-approach-to-aircraft-washing-and-deicing/fr>

⁴⁰ Etat de l'environnement sur et autour des grands aéroports français en 2020, février 2021, EOOD

G. L'ENTRETIEN DES ESPACES VERTS

De nombreux aéroports français sont dans des démarches d'utilisation de produits biosourcés et zéro-phyto. Plusieurs solutions alternatives existent à l'utilisation de ces produits tel que :

- Le désherbage mécanique ;
- Les traitements raisonnés des prairies aéronautiques ;
- L'éco-pâturage, etc.

En cas d'impossibilité de réduire à zéro l'utilisation des produits phytosanitaires, en respectant certaines consignes, la pollution des eaux et des sols peut être évitée :

- Utiliser un herbicide adapté à l'emploi et aux milieux auxquels il est destiné ;
- Suspendre les traitements durant les pluies et en période de sécheresse ;
- Éviter le traitement lorsque le sol est gelé ;
- Respecter les dosages ;
- Ne pas rejeter les eaux de rinçage ni dans le réseau d'assainissement ni dans le milieu naturel (les eaux doivent être stockées avant élimination par une société spécialisée) ;
- Stocker puis éliminer les emballages vides et tous les outils réformés qui ont été en contact avec les produits ⁴¹ ;
- S'assurer que le personnel (interne ou sous-traitant) a été formé à l'utilisation et aux risques des produits phytosanitaires (Depuis le 26 novembre 2015, tous les professionnels utilisant des produits phytosanitaires doivent être détenteurs d'une attestation Certiphyto⁴² délivrée par la Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt).

Dans le cadre l'appel à projet national Ecophytoll+ de l'Office Français de la Biodiversité, des travaux menés par l'UAF en partenariat avec ADP et la DGAC sont en cours pour produire des outils d'accompagnement à la transition et des guides de bonnes pratiques.

H. LES EXERCICES INCENDIE

Sur les aéroports, les entraînements sur feux réels sont réalisés dans les fosses à incendie. Afin d'éviter les pollutions des eaux et/ou des sols dues à ces entraînements il est nécessaire de respecter quelques règles lors de la construction, de la rénovation et de l'exploitation des fosses :

- La fosse doit être réalisée en béton à feu, équipée d'un muret de retenu et ceinturée par une aire en béton, l'ensemble étant étanche ;
- Les eaux de ruissellement doivent être récupérées et traitées (séparateur à hydrocarbures si nécessaire par exemple) ;

⁴¹ <https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/eauaero.pdf>

⁴² L'objectif du Certiphyto est de favoriser l'utilisation de ces produits dans le cadre d'une démarche responsable et respectueuse de la santé des utilisateurs et de l'environnement

- La fosse doit régulièrement être nettoyée. Les produits résiduels doivent être éliminés par une entreprise agréée.⁴³

Une autre possibilité pour limiter les pollutions dues aux exercices incendie est la mise en place d'un système de simulation d'incendie fonctionnant au gaz au lieu du kérosène. La société Dräger propose, par exemple, cette solution qui permet un entraînement sur feux réels tout en limitant les impacts sur l'environnement. Plusieurs scénarii d'accident sont disponibles dont les feux de surface, des incendies dans les zones de fret, en cabine, dans la turbine, au niveau des ailes ou de la coque.⁴⁴

Il est également possible de faire des entraînements virtuels, puisque des simulateurs de sauvetage et de lutte contre les incendies d'aéronefs ont été également développés, comme celui proposé par la société Thoroughtec simulation⁴⁵ ou celui de la firme ETC Simulation. L'utilisation de la 3D permet des entraînements réalistes, tout en diminuant l'impact écologique et les coûts⁴⁶.

I. LES AVIONS

1. LES REACTEURS D'AVION

Afin de réduire les pollutions liées à la combustion de carburant d'aviation lors du cycle LTO, plusieurs mesures sont à disposition des compagnies aériennes et des gestionnaires d'aéroport.

a) Le système incitatif à l'utilisation des moteurs moins émissifs en oxydes d'azote

Un système incitatif à l'utilisation des moteurs les moins émissifs en NOx (taxe, redevance ou une modulation des redevances d'atterrissage en fonction des émissions en NOx) peut être mis en place afin d'inciter les compagnies aériennes à l'utilisation des moteurs les moins émissifs en NOx.

Une redevance est déjà mise en place sur plusieurs aéroports européens, notamment en Allemagne, en Suède, etc.⁴⁷ et est intégrée, en général, dans les tarifs aéroportuaires. Sur l'aéroport de Frankfurt par exemple, la « *emission-based charge* » NOx est égale à 3,08€ par kg de NOx émis lors du cycle LTO pour l'atterrissage et pour le décollage.⁴⁸

Cette redevance est, dans la plupart des cas, établie à partir du modèle européen ERLIG⁴⁹ (ERLIG = *Emission Related Landing Charges Investigation Group*, ECAC, *European Civil*

⁴³ STBA, « Eau et Aéroport - Conception et dimensionnement des réseaux de drainage des aérodromes – Guide Technique » 2000

⁴⁴ https://www.draeger.com/en-us_us/Products/Aircraft-fire-training-systems

⁴⁵ <https://www.thoroughtec.com/fr/cyberdrive-simulateurs-de-sauvetage-et-de-lutte-contre-les-incendies-daeronefs/>

⁴⁶ <https://www.industrie-techno.com/article/les-pompiers-d-aeroport-adoptent-la-simulation-3d.41454>

⁴⁷ Selon le benchmark « La redevance NOx dans l'Union Européenne (UE27) » réalisé par l'ACNUSA en 2016, les aéroports ayant une taxe/redevance NOx parmi les 30 les plus fréquentés en Europe (en 2010) : Francfort-Main, Munich, Düsseldorf, Berlin-Tegel, Hambourg, Cologne-Bonne, Stockholm-Arlanda, Londres-Heathrow, Londres-Gatwick, Londres-Stansted, Manchester, Copenhague, Barcelone-El Prat. En-dehors l'UE mais toujours en Europe : Genève – Cointrin, Zurich, Lugano et Bern – Belp

⁴⁸ Airport Charges according to Art. 19b Air Traffic Act (LuftVG) – Frankfurt Airport, valid as of January 1, 2021

⁴⁹ Emission value = quantité de NOx émis * a

Aviation Conference). Ce modèle propose un calcul pour déterminer l'« *émission value* » en oxydes d'azote. Cette dernière est calculée à partir de la base certifiée des émissions en oxydes d'azote (NO_x) et en hydrocarbures (HC) des moteurs d'avion et pour un cycle LTO selon le règlement OACI (Annexe 16, Volume II).

b) “*Le collaborative decision making (CDM)*”

Le concept de l'*Airport Collaborative Decision Making* (A-CDM) développé par Eurocontrol et soutenu par l'Airport Council International (ACI) et IATA, permet d'améliorer la prédictibilité et l'efficacité des opérations aéroportuaires et l'échange d'informations plus précises sur les départs, en particulier les heures de décollage cibles, avec le réseau européen ATFCM⁵⁰, ce qui améliore la planification en route et sectorielle.⁵¹

L'A-CDM contribue également à réduire l'impact environnemental du trafic aérien par l'optimisation des opérations aéroportuaires, notamment par la réduction du temps de roulage.

La mise en place de l'A-CDM sur l'aéroport de Paris – Charles – de – Gaulle a permis de réduire le temps de roulage de 8% soit 4 minutes par vol en 2013⁵². Sur l'aéroport de Lyon – Saint-Exupéry, cela a permis de réduire le temps moyen de roulage de 25 secondes, soit 220 heures de roulage (par an) en moins réduisant les émissions de CO₂ et les polluants.⁵³

c) Le roulage à n-1 ou n-2 moteurs

Lors de la phase de roulage, le roulage n-1 (ou n-2 moteurs) consiste à ne faire fonctionner qu'un moteur pour les avions bimoteurs (ou que deux moteurs pour les aéronefs quadrimoteurs) principalement à l'arrivée. De nombreuses compagnies aériennes ont déjà adopté cette pratique.

Pour inciter plus fortement à la développer sur les aéroports, il convient de :

- Communiquer vis-à-vis des compagnies pour les inciter à mettre en œuvre ces bonnes pratiques ;
- Encourager les aéroports pour qu'ils facilitent le recours à cette pratique (par exemple via le A-CDM) ;
- Étudier les cheminements les moins coûteux en carburant (faible pente, pas de virage serré, etc.).

L'instauration d'une mesure incitant au roulage n-1 moteur n'a de portée réelle que sur les aéroports sur lesquels les temps de déplacement au sol sont importants. Attention, certains

Quantité de NO_x émis : $\text{NO}_x.\text{aéronef}[\text{kg}] = (\text{nbr de moteurs} \times \Sigma \text{mode temps} [\text{s}] \times \text{consommation de carburant}[\text{kg/s}] \times \text{Facteur d'Emission} [\text{g/kg}]) / 1000$

« a » : Cette valeur permet de prendre en compte les émissions en hydrocarbures lorsque celles-ci excèdent la valeur certifiée de 19,6 g/kN.

$a = 1$; si $\text{DpHC}/\text{F00} \leq 19,6 \text{ g/kN}$

$a = (\text{DpHC}/\text{F00}) / 19,6 \text{ g/kN}$; si $\text{DpHC}/\text{F00} > 19,6 \text{ g/kN}$ avec une valeur maximale de 4.

avec : Dp = Masse de tout polluant gazeux émis au cours de CAD (cycle d'émissions de référence à l'atterrissage et au décollage) et F00 = Poussée nominale

Calcul de la taxe : Taxe = *émission value* * tarif aéroportuaire

⁵⁰ Air traffic flow and capacity management

⁵¹ <https://www.eurocontrol.int/concept/airport-collaborative-decision-making>

⁵² <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/CDM.pdf>

⁵³ <https://developpementdurable.lyonaeroports.com/assets/files/autres/infographie-qualite-air.pdf>

aéronefs ne sont pas certifiés par le constructeur pour cette procédure. Si l'avion est certifié, le pilote doit être également formé à ces procédures. D'autres freins à cette pratique peuvent cependant exister, comme par exemple ses conséquences sur la répartition de la masse du kérosène dans les différents réservoirs qui peuvent remettre en cause la stabilité de l'aéronef au décollage ou en termes de sécurité dans certains cas (pour plus d'information voir pages 85-86 du rapport sur la gestion de la qualité de l'air en milieu aéroportuaire, ACNUSA, 2020).

d) Les solutions innovantes pour la phase de roulage

Concernant les émissions des aéronefs lors du roulage, la société TLD a développé le **TaxiBot**. Il s'agit d'un tracteur diesel-électrique qui permet un roulage commandé depuis le cockpit (l'énergie du tracteur provient d'un moteur diesel mais sa propulsion est assurée par des moteurs électriques logés dans les roues). La technologie développée consiste à capter les commandes émanant de l'avion et à les répercuter sur la traction (temps de réponse de l'ordre de 200 millisecondes). L'opération de taxiing se déroule donc avec les réacteurs éteints mais avec l'APU en fonctionnement. Le démarrage des moteurs intervient peu de temps avant le décollage (environ 2 à 3 minutes). La vitesse de déplacement du TaxiBot est équivalente à celle de l'avion, à savoir entre 10 et 20 nœuds. L'usage du TaxiBot est pertinent d'un point de vue environnemental sur les plateformes dont le temps de roulage est de l'ordre de 15 à 17 minutes. Certains points faibles comme la compatibilité avec le CDM ou la multiplication d'engins roulant côté piste sont également à prendre en compte.

Pour diminuer également les émissions au roulage, une autre technologie a été développée par la joint-venture Safran/Honeywell : l'**EGTS – electric green taxiing system**. Un moteur électrique est intégré dans chaque train d'atterrissage principal et permet ainsi le roulage au sol de l'avion sans recourir aux réacteurs principaux (ce projet était en test sur l'A320 et a été présenté lors du salon du Bourget 2013). Ces moteurs électriques sont alimentés par l'APU. L'EGTS peut être employé aussi bien pour un « *push-back* » autonome de l'avion à la passerelle que pour le roulage (décollage/atterrissage). Ce système à destination des court- et moyen - courrier réduit la consommation en carburant et donc les émissions de polluants. S'agissant des long-courriers, le procédé ne semble pas pertinent puisque les gains environnementaux engendrés en phase de roulage ne compensent pas la surconsommation de kérosène en phase croisière générée par le poids de l'EGTS. Pour 6 minutes de temps de taxi, le recours à l'EGTS (où seul l'APU fonctionne) versus 2 moteurs allumés engendre une réduction de la consommation en fuel de 51 % qui se traduit par une baisse de l'ordre de 62 % en émissions de CO, de 41 % de NOx, et de 29 % de HC (pour plus d'information voir le rapport 2014 de l'ACNUSA).

Ce projet est actuellement suspendu suite au désistement d'Airbus en 2019 de ne pas équiper ces A320 néo avec l'EGTS (ce projet mené par SAFRAN était à l'étude avec Airbus depuis 2013 et Boeing ne s'est jamais montré intéressé par le projet).

e) Les technologies futures pour les moteurs à faibles niveaux d'émissions

La réduction des émissions polluantes des moteurs d'aéronefs nécessite d'agir simultanément sur la baisse de la consommation (au niveau de la technologie moteur) et sur les émissions générées par la combustion (au niveau de la technologie de la chambre de combustion).

L'amélioration du moteur induit une réduction des émissions de CO₂, tandis que l'amélioration de la chambre de combustion va plutôt induire une réduction des NOx et des particules (suies).

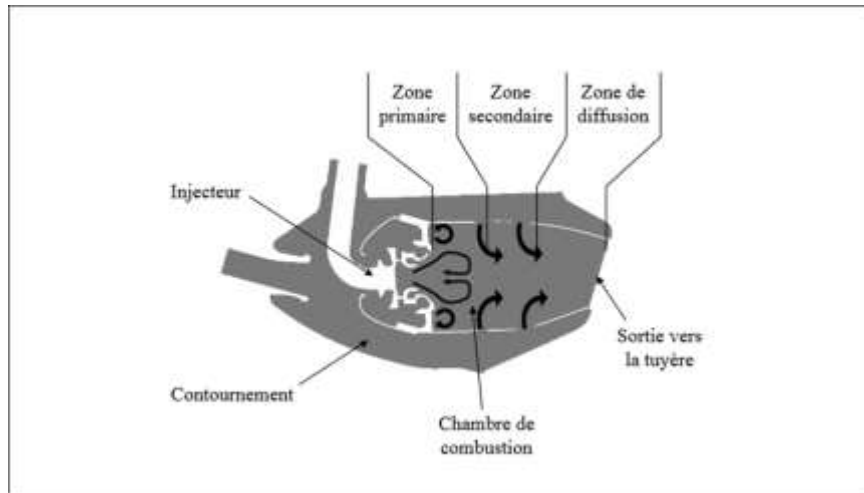


Figure 12 : Schéma d'un moteur conventionnel et les différentes zones de production des polluants⁵⁴

La technologie de chambre de combustion la plus répandue aujourd'hui est la combustion riche dite RQL 55 (*Rich-burn, Quick quench, Lean burn*). Son développement et son optimisation sont toujours poursuivis (« RQL+ ») mais ce concept peut impliquer un compromis entre la réduction des NOx et celle des PM, les deux ne pouvant être optimisés simultanément.

Concernant la technologie des chambres futures, la stratégie adoptée par Safran Aircraft Engines est la combustion en régime pauvre, « *Lean burn* »⁵⁶, permettant de réduire significativement les émissions de NOx et de particules. (A noter que cette technologie est difficilement transposable sur les moteurs les plus petits.)

Différentes contraintes doivent être respectées, telles que l'opérabilité moteur. La chambre de combustion TAPS (*Twin-Annular Pre-Swirling mixer*) est un exemple de chambre de combustion pauvre. Cette technologie, à mélange pauvre et faible taux d'émissions, a été développée par General Electric et mise en œuvre sur le LEAP (moteur nouvelle génération de CFM International sélectionné pour les A320neo et les B737max).

Une autre technique de combustion pauvre est la technique LPP⁵⁷ (*Lean Premixed Prevaporized*), le principe repose sur le fait de mélanger le carburant et l'air dans une enceinte avant de les injecter. On obtient alors un mélange homogène, ce qui permet de réaliser une combustion optimisée, et donc de réduire les émissions de polluants. Cette technique a été développée dans le cadre des projets européens LOPOCOTEP (*Low Emissions Combustor Technology Developments In The European Programmes*) et TLC (*Towards Lean Combustion*).

⁵⁴ <https://core.ac.uk/download/pdf/78385072.pdf>

⁵⁵ https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00771860/file/Ths_burguburu_j.pdf

⁵⁶ Pauvreté du mélange air/carburant par rapport à un mélange normal. Il s'agit de diminuer la proportion de carburant dans le mélange air-carburant utilisé par le moteur. Ainsi, on évite les zones de forte température où se forment les polluants, tels les oxydes d'azote.

⁵⁷ <https://core.ac.uk/download/pdf/78385072.pdf>

La figure ci-dessus donne une information sur les émissions de NO_x en masse par rapport à l'OPR (*Overall Pressure Ratio*), on peut voir que ces émissions ont diminué en fonction des normes CAEP.

À l'issue du cycle réglementaire CAEP10 en 2016 de nouvelles normes ont été définies sur les particules en masse (un équivalent du *smoke number*) et le CO₂, pour une application à partir du 1^{er} janvier 2020. Le standard CAEP11 prend en compte la masse et le nombre et n'est plus lié au *smoke number*. En ce qui concerne la réduction du CO₂, des progrès sur les matériaux des avions notamment grâce aux matériaux composites⁶² ont été observés de même que sur les taux de dilution. Ainsi, en réduisant la consommation, on réduit les émissions de CO₂. Pour les particules, le phénomène d'émissions est moins bien connu, et on développe donc des techniques de simulation des chambres de combustion, pour comprendre ce phénomène et améliorer la conception des moteurs. C'est ce qui est réalisé à travers le projet SOPRANO⁶³ (*Soot and Particles Reduction in Aeroengines through inNOvations*), développé par Safran.

f) Les carburants alternatifs

(I) Les biocarburants

Les biocarburants constituent à court terme l'un des leviers pour initier la transition énergétique du secteur et commencer sa décarbonation. Toutefois, les bénéfices de l'utilisation de biocarburants pour la qualité de l'air local demandent encore à être évalués finement. En conséquence, le sujet des biocarburants n'est pas détaillé dans ce document et fera l'objet d'une fiche spécifique.

(ii) L'hydrogène

L'hydrogène (H₂), en tant que carburant d'aviation est actuellement en phase d'étude pour devenir une nouvelle alternative pour remplacer les carburants fossiles. En effet, pour la décarbonation du secteur mais également en termes de qualité de l'air, l'hydrogène vert pourrait être une solution pour réduire les émissions de polluants et de CO₂ du secteur puisque lors de sa combustion est produit principalement de l'eau. Il reste néanmoins à évaluer l'impact de l'augmentation des émissions de vapeur d'eau sur le climat.

Aujourd'hui trois questions restent à résoudre pour cette technologie : la production verte de l'hydrogène, son transport et stockage et le développement du concept de l'avion à propulsion d'hydrogène.

- *Production* : La production de l'hydrogène vert (par électrolyse de l'eau grâce à une électricité bas carbone) reste à privilégier par rapport à celle de l'hydrogène bleu (par vaporeformage du gaz naturel⁶⁴ ou par oxydation partielle du charbon) ou de

⁶² <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/lavion-du-futur-selon-le-cnrs-44052/>

⁶³ <https://www.safran-group.com/fr/media/safran-met-soprano-en-musique-20161121>

⁶⁴ Le plus souvent avec du méthane, à une température comprise entre 700 et 1 100 °C, la vapeur d'eau réagit avec le gaz (le méthane) en donnant du monoxyde de carbone et de l'hydrogène. La purification de l'hydrogène étant plus facile sous forte pression, le reformage est réalisé sous une pression de vingt atmosphères. (source : <https://www.h2life.org/fr/hydrogene/sources/vaporeformage>)

l'hydrogène turquoise (par la pyrolyse du méthane, technologie très émettrice en CO₂). Disposer d'une quantité suffisante d'énergies renouvelables pour produire l'hydrogène vert sera également un challenge à relever pour le secteur. Le mode de production de l'hydrogène vert reste primordial puisque, selon le rapport du « *The Shift Project* »⁶⁵, le bilan émissif total d'un avion propulsé avec de l'hydrogène non vert, produit par le procédé vaporeformage par exemple serait probablement plus important que pour un avion classique fonctionnant avec du kérosène.

- *Transport et stockage* : Le stockage de l'hydrogène liquéfié est très complexe en raison de sa forte capacité d'évaporation, de son inflammabilité et en raison des conditions spécifiques nécessaires à son stockage à -253°C. Pour ces mêmes raisons, son transport et sa distribution pose également problème, il faudrait notamment assainir les lignes de distribution et les réservoirs pour éliminer toute trace d'oxygène (pour raison de sécurité), d'humidité (pour empêcher la formation de cristaux de glace qui pourraient obstruer des injecteurs ou des filtres) mais également toute autre trace de gaz comme le CO₂ ou l'azote qui se solidifieraient à - 253°C. Pour pouvoir être stocké, l'hydrogène nécessite un espace de stockage quatre fois plus important que le kérosène. Deux solutions sont possibles pour stocker l'hydrogène comprimé, soit le stockage sous terrain (il en existe trois types⁶⁶ dont 2 privilégiés pour le stockage de l'hydrogène : en aquifère profond ou en cavité saline), soit en surface dans des réservoirs (très coûteux et très compliqué).⁶⁷
- *Aviation* : Le rapport du « *The Shift Project* »⁶⁸ présente, notamment, les défis liés au développement de cette énergie dans le secteur de l'aviation. Le premier défi est la construction d'un avion avec une nouvelle architecture (nouveau moteur avec un stockage adapté à l'H₂ dans l'avion, etc.). De plus, vu les difficultés liées à son stockage et sa distribution, la production de l'H₂ devrait étroitement suivre la demande. Les infrastructures aéroportuaires doivent également être adaptées dès sa mise en service, et ce dans une collaboration internationale synchronisée devant permettre au nouvel avion d'assurer des vols internationaux. Enfin, il reste à analyser également l'ensemble des émissions de la combustion de l'hydrogène.

Des projets de recherche et développement sont également en cours avec les constructeurs d'engins de piste et relatifs à l'utilisation de l'hydrogène comprimé pour alimenter les engins de piste⁶⁹. Ces solutions technologiques pourraient augmenter la diversification des usages de l'hydrogène sur les plateformes et permettre une meilleure rentabilité de l'installation des stations « hydrogène » sur les aéroports.

⁶⁵ https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/03/Pouvoir-voler-en-2050_ShiftProject_Rapport-2021.pdf

⁶⁶ https://www.cnrs.fr/mi/IMG/pdf/hydro2019_presentation_gombert.pdf

⁶⁷ L'hydrogène : espoirs et limites, La lettre de l'AAE – n°120 – janvier-mars 2021

⁶⁸ https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/03/Pouvoir-voler-en-2050_ShiftProject_Rapport-2021.pdf

⁶⁹ <https://www.h2-mobile.fr/actus/avion-hydrogene-decolle-ile-de-france/>

Enfin, un appel à manifestation d'intérêt (AMI) « H2 HUB AIRPORT » pour explorer les opportunités offertes par l'hydrogène sur les aéroports franciliens et relever le défi de la décarbonation du transport aérien a été lancé en février 2021. Cet AMI s'articule autour de trois thématiques :

- L'amont de la chaîne de valeur : production, stockage, transport et distribution de l'hydrogène (gazeux et liquide) en milieu aéroportuaire ;
- L'aval de la chaîne de valeur : diversification des usages et services de l'hydrogène dans les domaines aéroportuaire et aéronautique (véhicules et engins d'assistance en escale, transports ferrés sur les aéroports, alimentation énergétique des bâtiments ou d'avions lors des opérations en escale, etc.) ;
- L'économie circulaire autour de l'hydrogène (récupération de l'hydrogène dissipé lors d'un avitaillement en hydrogène liquide, valorisation d'un co-produit et d'une réaction en vue de produire de l'hydrogène décarboné, etc.).

2. LES MOTEURS AUXILIAIRE DE PUISSANCE

Comme présenté dans la partie II/A/9/b du présent rapport, l'APU a trois rôles sur un aéronef : la fourniture d'électricité au sol, la climatisation/chauffage de l'aéronef, et le démarrage des moteurs lors du départ ou en cas de panne en vol. Cette dernière fonction est très ponctuelle, ainsi pour réduire les pollutions liées à cet équipement, il faut viser les deux autres fonctions. A cette fin, il existe plusieurs solutions techniques et/ou réglementaires.

L'équipement des postes « avion » en moyens de substitution à l'APU (fixes ou mobiles) permet de réduire leur utilisation au strict minimum nécessaire. Pour cela, il convient d'équiper les postes au moins par une source d'alimentation électrique, soit en source fixe (400 Hz), soit en source mobile par des engins de piste fournissant de l'électricité, idéalement électriques (eGPU – *Ground power unit* électrique). Ensuite, afin d'assurer une température optimale dans le cockpit et dans la cabine, des moyens fixes ou mobiles doivent être mis à disposition : le PCA (*pre-conditioned air*) ou l'ACU (*air conditioning unit*) respectivement. Certains acteurs estiment que le PCA (ou l'ACU) ne serait pas essentiel pour éviter l'utilisation de l'APU en raison des conditions climatiques plutôt clémentes en France. Néanmoins pour préparer le premier vol du matin pour un avion basé ou pour les avions long-courriers qui ont des temps d'escale relativement longs, la mise à disposition des moyens fournissant la climatisation/chauffage peut se révéler nécessaire sur de nombreux aéroports.

Il existe aussi comme solution la fourniture simultanée d'électricité et d'air conditionné pour les avions régionaux et petits porteurs à partir d'un seul équipement mobile (le fournisseur Guinault commercialise ce type d'équipement appelé « Combo »).

Le tableau suivant – issu d'une présentation de l'aéroport de Schiphol lors de *Passenger Terminal Expo and Conférence* en 2017 – présente les points forts et les points faibles de différentes technologies existantes pour la substitution des APU pour la production de l'électricité, ainsi que les opportunités futures de ces technologies et les risques associés à chacune des solutions.

Tableau 5 : Comparaison des différents modèles de GPU et du 400 Hz

	GPU DIESEL	H2-GPU	400HZ	E-GPU
Points forts	- Technologie éprouvée - Beaucoup de fournisseurs	- Propre - Charge rapide - Indépendance vis-à-vis du réseau d'électricité pendant plusieurs semaines	- Silencieux et propre - Faible coût d'exploitation - Business case à long terme - Capacité illimitée	- Silencieux et propre - Même utilisation que le GPU - Composants technologiques éprouvés
Points faibles	- Pas « vert » (planète) - Pas bon pour la santé (travailleurs) - Bruyant (travailleurs et voyageurs) - Maintenance	- Coûts d'exploitation - Coûts d'investissement - Transport de l'H₂ vers l'aéroport	- Dépendant du réseau d'électricité - Non mobile - Manipulation de câble	- Solution innovante - Logistique nécessaire pour charger les GPU
Opportunités	- Biodiesel (+ vert)	- Production de l'hydrogène à partir de déchets	- Plus écologique si électricité provient d'une production solaire de l'aéroport	- Utilisation de batteries modulaires multi-usages - Réutilisation de batteries de seconde vie
Risques	- Augmentation du coût d'exploitation avec le prix du diesel ou avec le besoin de filtres	- Sécurité - Législation	- Capacité du réseau d'électricité	
Conclusion	- L'ère du diesel est passée	- Uniquement pour les process « critique » et les situations où les réseaux d'électricité sont non fiables	- Meilleure solution pour les nouveaux terminaux si la capacité « électrique » existe	- Système sans émission à un prix raisonnable et complémentaire au 400Hz fixe

En parallèle à l'effort d'équipement nécessaire, la limitation de l'usage des APU peut se faire par l'intégration dans la publication aéronautique française (AIP) et la publication d'un arrêté ministériel de restriction rendant possible des sanctions administratives en cas de non-respect des temps maximum d'utilisation édictés. Cette limitation d'utilisation par les compagnies aériennes doit être corrélée à une incitation à la fourniture de moyens de substitutions en électricité et en air par les aéroports et/ou les assistants d'escaliers. L'Autorité de contrôle a recommandé de fixer rapidement, par arrêtés ministériels, des temps maximum d'utilisation courts sur les aéroports français en déterminant au cas par cas, dans ces mêmes arrêtés, une disposition transitoire permettant de tolérer un temps d'usage plus important sur les postes avions non encore équipés. La concertation locale avec les collectivités et les opérateurs pourra permettre de calibrer précisément la durée de la période transitoire par poste de manière à pouvoir mettre fin à cette disposition transitoire le plus rapidement possible, notamment pour les aéroports situés sur des territoires où la qualité de l'air local n'est pas bonne.

IV. RESUME

Les sources de pollution sont multiples sur un aéroport et peuvent impacter la santé et l'environnement. S'agissant plus particulièrement de l'empreinte de l'aéroport sur la qualité de l'air, des eaux et du sol, des actions de réduction des émissions ont été identifiées et rassemblées dans ce document. Ces bonnes pratiques visent neuf grands items que sont :

- Le trafic routier et l'accessibilité à la plateforme ;
- Les engins de piste ;
- Les installations de chauffage et de climatisation ;
- Les ateliers de maintenance ;
- Les opérations hivernales ;
- Le stockage et la distribution de kérosène ;
- L'entretien des espaces verts ;
- Les exercices incendie ;
- Les avions.

Une liste synthétique des actions identifiées par item est présentée en annexe 4.

V. ANNEXES

ANNEXE 1 - FAMILLE D'ENGINS DE PISTE PRESENTES SUR LES AÉROPORTS (FONCTION, PUISSANCE, TEMPS D'UTILISATION)

Nature des engins	Fonction	Norme d'émission	Temps d'utilisation par rotation (source ; OACI)	Types de motorisation existante et commentaires
Groupe auxiliaire de puissance GPU	Produit de l'énergie électrique à l'avion en remplacement de l'APU et si branchement au terminal impossible	EMNR ⁷⁰	Equivalent au temps partiel ou complet de l'escale	Thermique et depuis peu électrique (en version mobile) D'autres moyens de substitutions fixes aux APU existent comme du 400 Hz en réseau pour les postes avions aux contacts ou des convertisseurs 50 Hz
Unité de démarrage à air ASU	Produit un flux d'air haute pression pour aider au démarrage des moteurs	EMNR	3-5 min	Thermique. Peu utilisé si l'avion est équipé d'APU Il est principalement utilisé en cas de panne APU - interdit sur certaines plateformes en raison des nuisances sonores et des effets de souffle
Unité de climatisation ACU	Produit de l'air climatisé ou chauffé qui alimente la cabine de l'avion (substitut de l'APU)	EMNR	En fonction de la température et du temps d'escale	Electrique/ Thermique Utilisation dépend de la météo
Repousseur avion	Aide l'avion à sortir du parking en le repoussant et en le remorquant sur pistes	EMNR	5-10 min Tractage : 30 à 45 min	Electrique/ Thermique
Escaliers Passager	Permet la descente ou la montés de passagers dans l'avion en cas d'absence de passerelles	EMNR	2-10 min	Electrique/ Thermique Peu utilisés sur les postes au contact relié directement au terminal par des passerelles
Chargeur de cargaison et de conteneur	Soulève les cargaisons et les conteneurs lourds jusqu'à la soute	EMNR	10-50 min	Electrique/ Thermique
Livreur de cargo	Transfert les cargaisons et les conteneurs du tracteur au chargeur.	EMNR	10-50 min	Electrique/ Thermique
Camion de restauration ou camion de nettoyage	Charge et décharge tout ce qui est destiné à la restauration pendant les vols (plateau repas) ou permet l'accès des équipes ménages à la cabine	EURO ⁷¹	10-30 min	Thermique

⁷⁰ Règlement (UE) 2016/1628 du Parlement européen et du Conseil du 14 septembre 2016 relatif aux exigences concernant les limites d'émission pour les gaz polluants et les particules polluantes et la réception par type pour les moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers, modifiant les règlements (UE) n° 1024/2012 et (UE) n° 167/2013 et modifiant et abrogeant la directive 97/68/CE (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)

⁷¹ Règlement n° 595/2009 du Parlement européen et du Conseil du 18 juin 2009, Règlement n°2016/1718 de la Commission européenne du 20 septembre 2016 et Arrêté du 21 juin 2016 établissant la nomenclature des véhicules classés en fonction de leur niveau d'émission de polluants atmosphériques en application de l'article R. 318-2 du code de la route

Nature des engins	Fonction	Norme d'émission	Temps d'utilisation par rotation (source ; OACI)	Types de motorisation existante et commentaires
Bus équipage/passager	Permet de faire la navette entre l'avion et le terminal pour les passagers et les personnels navigants (si passerelle indisponible)	EURO	-	Thermique Electrique GNV
Tapis bagage	Permet de charger les bagages en soutes depuis les tracteurs.	EMNR	10-50 min	Electrique/ Thermique
Camion de dégivrage	Permet de lancer du glycol sur les ails afin de dégivrer les avions avant le décollage (Utilisation hivernale)	EMNR	5-15 min	Thermique
Tracteur de cargaison et de conteneur	Tracteur qui transporte les conteneurs du terminal jusqu'à l'avion	EMNR	10-50 min	Thermique
Tracteur bagages	Tracteur qui transporte les bagages du terminal jusqu'à l'avion	EMNR	10-50 min	Electrique / thermique
Camion maintenance	Permet de faire les opérations de maintenance/mécaniques	EURO	-	Thermique
Camion de ravitaillement	Permet de ravitailler l'avion en carburant (en se branchant sur le réseau hydrants)	EURO	10-40 min	Thermique
Camion-citerne	Permet de ravitailler l'avion en carburant	EURO	10-40 min	Thermique
Camion poids lourd		EURO	-	Thermique
Camion eau sale ou d'eau potable	Vide les réserves d'eau usées de l'avion ou remplit les réserves d'eau potable de l'avion	EURO	5-20 min	Thermique

ANNEXE 2 - POLLUANTS AÉROPORTUAIRES IMPACTANT LES MILIEUX ET SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES - TABLEAU N°2 VERSION COMPLETE

Polluants	Sources importantes sur une plateforme aéroportuaire	Conséquences sur l'environnement	Effets sur la santé
HAP	Hydrocarbures et d'autres produits de combustion : véhicules, engins, réacteurs d'avion ou encore les centrales thermiques (par les retombées sur le sol ou par les coulures accidentelles)	Certains HAP (Benzo(a)pyrène) persistent dans l'air pendant plusieurs années. Ils peuvent contaminer les plantes (à partir de l'air ou du sol). Le benzène joue un rôle important dans la formation de l'ozone troposphérique. Ils interviennent dans les mécanismes de formation des GES. [1]	Mutagènes et cancérogènes : cancer de la peau, du poumon et du scrotum des ramoneurs en passant par des irritations diverses et une diminution de la capacité respiratoire. Effets sur le foie, sanguins, immunologiques. [2]
Alcanes	Hydrocarbures et d'autres produits de combustion : véhicules, engins, réacteurs d'avion ou encore les centrales thermiques (par les retombées sur le sol ou par les coulures accidentelles)	Les alcanes pénètrent dans l'environnement et constituent un effet nocif sur la diversité biologique. [3]	Toxicité : Les vapeurs des alcanes agissent sur le système nerveux central (céphalées, nausées, somnolence), sont irritantes pour les muqueuses pulmonaires et des irritants cutanés. Risques d'asphyxie : les premiers représentants de la série des alcanes sont de simples asphyxiants provoquant la privation d'oxygène. [3]
Eléments traces métalliques (MTE) ⁷² -plomb -cadmium -zinc -chrome -etc	Engins de piste, véhicules (dans les lubrifiants, les pneumatiques, les freins) Déchetteries aéroportuaires (piles au cadmium, batteries au plomb) Dans les clôtures et glissières de sécurité routière	- Plomb : Bioaccumulation dans les chaînes alimentaires. [4] - Cadmium : Il s'accumule dans de nombreux organismes. Il se trouve, en plus faible concentration, dans les légumes, les céréales. [5] - Zinc : Le zinc peut augmenter l'acidité de l'eau, interrompre l'activité du sol. [6] - Chrome : Le chrome (VI) est toxique pour les organismes et provoque des problèmes respiratoires. [7]	- Plomb : A fortes doses, conduit à des encéphalopathies, des neuropathies et au décès. Il provoque également des effets digestifs et des effets sur la pression artérielle. [4] - Cadmium : effets toxiques sur les reins, le squelette et l'appareil respiratoire. Classé comme cancérogène. [5] - Zinc : des crampes d'estomac; des irritations de la peau, des vomissements, des nausées, de l'anémie, des troubles respiratoires. De très hauts niveaux de zinc peut endommager le pancréas, perturber le métabolisme des protéines et provoquer de l'artérioclose. [6] - Chrome : Le chrome hexavalent, qui entraîne des inflammations des muqueuses et des ulcères, est cancérogène. [7]
Glycol	Produits utilisés pour la viabilité hivernale (antigivrage, dégivrage)	Il ne s'accumule pas dans les organismes et ne produit des effets nocifs chez les organismes qu'à des doses élevées. [8]	Des troubles digestifs (nausées, vomissements, douleurs abdominales) et d'une dépression du système nerveux central. [8]

⁷² ETM : regroupent les éléments d'une densité supérieure à 5 grammes par cm³ comme le plomb, le cadmium, le zinc, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le sélénium, le cobalt, le platine, le vanadium, le palladium, l'arsenic, le manganèse, le baryum et le thallium. L'appellation « Eléments Traces » regroupe environ 80 éléments.

Polluants	Sources importantes sur une plateforme aéroportuaire	Conséquences sur l'environnement	Effets sur la santé
Acetates, formiates	Produits utilisés pour la viabilité hivernale (déverglaçage des pistes, des voies de circulation)	- Acetates : ne fait pas l'objet d'une bioconcentration dans les organismes. [9] - Formiates : classés comme représentant un faible danger pour l'environnement. [10]	- Acetates : L'acétate d'éthyle est irritant pour les voies respiratoires et les yeux et provoque les effets narcotiques. [9] - Formiates : La toxicité aiguë de l'acide formique est considérée comme modérée par voie orale et faible par inhalation. Le formate de sodium a une toxicité aiguë faible par voie orale et légère par inhalation. La toxicité aiguë du formate de méthyle est modérée par voie orale et faible par inhalation et contact dermique. La toxicité aiguë du formate d'éthyle est légère par voir orale et faible par inhalation ou contact dermique. [10]
Chlorure de sodium	Produits utilisés pour la viabilité hivernale (aires de stationnement des voitures, des voies d'accès)	Le chlorure de sodium n'est pas classé comme dangereux pour l'environnement mais provoque des effets indirects sur l'eau et la qualité du sol, ainsi que la faune en augmentant la salinification. Les ions Na⁺ et Cl⁻ peuvent remobiliser les métaux lourds adsorbés à la surface des particules. [11]	Le sodium provoque de l'hypertension artérielle, des maladies cardiovasculaires, des accidents vasculaires cérébraux et des maladies coronariennes. [11]
Tridol S3 et S6	Les produits utilisés lors des exercices anti-incendie par des pompiers du SSLIA ⁷³ (émulseurs protéiniques, syntétiques filmogènes et fluorosynthétiques à base de Tridol S3 et S6)	Classés non dangereux pour l'environnement. Ils sont biodégradables et non toxiques. [12]	Lésions oculaires/irritation des yeux. [12]
Les produits de maintenance (divers huiles, les grasses, les solvants, le méthanol, les liquides dégriffants, les liquides hydrauliques et de refroidissement, les liquides anticorrosion toluène, l'acétone, les peintures, etc)	Entretien et réparations des engins et véhicules de piste, des aéronefs	- Huiles : toxicité, pollution des nappes phréatiques (peu solubles, densité < 1, très stables à la dégradation des bactéries). [14] - Solvants : trou dans la couche d'ozone stratosphérique, la production de smog photochimique et la contamination des sols et des eaux. [15] - Méthanol : soluble dans l'eau, biodégradable à faible concentration. [16] - Toluène : pollution de l'eau. La plus large part du toluène est libérée dans l'atmosphère. [19] - Acétone : pas danger pour l'environnement. [20]	- Huiles : des lésions de la peau (bénignes, cancers), des atteintes respiratoires. [14] - Solvants : des affections cutanées (irritation, brûlure, dermatose), des atteintes du système nerveux (vertiges, ébriété, paralysie...), du sang (anémie), du foie (hépatite), des reins. [15] - Méthanol : haute toxicité, nausées, maux de tête, troubles de la vue, cécité, empoisonnement systémique, troubles cérébraux, troubles de la vue et la cécité. [16] - Huiles hydrauliques : L'exposition excessive peut conduire à une irritation respiratoire, des yeux. [17] - Liquide de refroidissement : peut irriter la peau et provoquer une irritation oculaire sévère. [18] - Toluène : des irritations de la peau et des yeux, l'irritation cutanée. [19] - Acétone : des irritations des yeux et de la peau, des maux de tête, des nausées. [20]
Pesticides, fongicides, etc	Entretien des espaces verts	Pesticides : des effets sur la diversité biologique, une	Pesticides : l'infertilité masculine, des cancers, l'empoisonnements, des

⁷³ Service de Sauvetage et de Lutte contre les Incendies d'Aéronefs

Polluants	Sources importantes sur une plateforme aéroportuaire	Conséquences sur l'environnement	Effets sur la santé
		réduction de l'offre de nourriture, la pollution de l'eau. [21, 22]	risques cutanés ou oculaires, des troubles neurologiques (Alzheimer, Parkinson, autisme), des troubles génétiques. [21, 22]
Substances perfluoroalkylées (PFAS)	Aire d'entraînement à la lutte contre les incendies [23]	Pollution de l'eau, effets sur la diversité biologique, effets toxiques sur les organismes marins [24]	Maladie thyroïdienne, taux élevés de cholestérol, lésions au foie, maladie inflammatoire de l'intestin (colite ulcéreuse), cancer du rein, des testicules et du sein. Effets sur le développement de l'enfant à naître : retard de développement de la glande mammaire, réponse réduite aux vaccins, faible poids à la naissance, obésité, puberté précoce, risque accru de fausse couche, nombre et mobilité faibles des spermatozoïdes, délai de grossesse plus long, hypertension/pré-éclampsie due à la grossesse [25]

Références :

- Ismail, O. and R.S. Hameed, *Environmental effects of volatile organic compounds on ozone layer*. Adv. Appl. Sci. Res., 2013. 4: p. 264-268.
- Desalme, D., *Contamination atmosphérique par les hydrocarbures aromatiques polycycliques : toxicité et devenir du phénanthrène dans des systèmes sol-plante-microorganismes*. 2011.
- Fiche de données de sécurité selon le Règlement (CE) no 1907/2006 (REACH), modifié par le règlement no 2015/830/UE.
- HCSP. Détermination de nouveaux objectifs de gestion des expositions au plomb » du haut conseil de santé publique. 2014
- IRSN. Fiche radionucléide - Cadmium 109 et environnement. 2004.
https://www.irs.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucléides/Documents/environnement/Cadmium_Cd109_v1.pdf
- Miquel, S., *LES EFFETS DES MÉTAUX LOURDS SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTE*. 2000: p. 23-24.
- Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Rapport d'évaluation Le chrome et ses composés. 1994.
- INSERM. Esthers de glycol - Quels risques pour la santé ? Synthèse et recommandations. 1999.
- Vincoli, J.W., Risk management for hazardous chemicals : A-F. Vol. 1. Boca Raton : Lewis Publishers. (1997). [RM-515112].
- Gouvernement du Canada. Evaluation préalable des substances du groupe de l'acide formique et des formates. 2017.
- Centre d'information sur l'environnement de Longueuil. Réduire l'impact des sels de voirie sur l'environnement à Longueuil. 2011.
- Angus Fire. Fiche de données de sécurité - AMS N° 080 Tridol® C6 S3 Concentré de mousse à formation de pellicule aqueuse (CMFPA). 2018.
- Angus Fire. Fiche de données de sécurité - AMS N° 090 Tridol® C6 S6 Concentré de mousse à formation de pellicule aqueuse (CMFPA). 2018.
- ANIA. Réduire la présence d'hydrocarbures d'huiles minérales dans les aliments. 2019.
- INRS. Actualités sur les Solvants. Actes du symposium INRS - CRAM Rhône-Alpes 29e congrès de médecine et santé au travail Lyon, 1er juin 2006. 2006.
- INRS. Base de données fiches toxicologiques. Méthanol Fiche toxicologique n°5. 2018.
- ExxonMobil. Fiche de données de sécurité. Nom du produit: MOBILFLUID 426. 2016.
- WURTH. Fiche de données de sécurité conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006. Liquide de refroidissement organique -25° 20L. 2017.
- ANSES. Profil toxicologique du toluène (n° CAS 108-88-3) - Rapport d'expertise collective. 2014.
- INRS. Base de données fiches toxicologiques. Acétone Fiche toxicologique n°3. 2018.
- INSPQ. Les risques sanitaires des pesticides : des pistes d'action pour en réduire les impacts. MÉMOIRE Direction de la santé environnementale et de la toxicologie. 2019.

22. Isabelle Baldi, Sylvaine Cordier, Xavier Coumoul, Alexis Elbaz, Laurence Gamet-Payraastre, et al.. Pesticides : Effets sur la santé. Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM). 2013. Paris : Inserm : Editions EDP Sciences (ISSN : 1264-1782) / 1014 p. ffinserm-02102981f.
23. Ahrens L, Norström K, Viktor T, Cousins AP, Josefsson S. Stockholm Arlanda Airport as a source of per- and polyfluoroalkyl substances to water, sediment and fish. Chemosphere. 2015 Jun;129:33-8. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.03.136. Epub 2014 May 10. PMID: 24821232.
24. EPA, Basic Information on PFAS
25. <https://www.eea.europa.eu/fr/signaux/signaux-de-lae-2020/infographies/effets-des-pfas-sur-la/view>

ANNEXE 3 - EVOLUTION DES NORMES CAEP⁷⁴

Les activités actuelles de l'OACI en matière d'environnement sont dans une grande mesure menées par le Comité de la protection de l'environnement en aviation (CAEP).

Le CAEP aide le Conseil dans la formulation de nouvelles politiques et l'adoption de nouvelles normes sur le bruit des aéronefs et les émissions des moteurs d'aéronefs. Environ une fois l'an, le Groupe directeur du CAEP se réunit pour examiner l'avancement des activités des groupes de travail et donner des orientations. Lors des réunions officielles, le CAEP produit un rapport contenant des recommandations précises à l'intention du Conseil de l'OACI.

Concernant les normes en matière de la pollution de l'air, le tableau suivant présente l'évolution des normes sur les NO_x depuis le premier cycle de réunions du CAEP.

STANDARD	Date de réunion CAEP	NO _x			Standard CO/UHC	Fumées/ particules	Standard CO ₂ (avion)
		Date d'application pour les nouveaux moteurs certifiés	Sévérification norme (évaluée pour OPR-30, F00-89kN)	Arrêt des moteurs en production ?			
CAEP12	2022	S.O.	Inchangé	Cut-off probable sur CAEP8	Inchangé	« scoping study »	Inchangé
CAEP11	2019	S.O.	Inchangé	Pas de cut-off	Inchangé	2 ^{ème} std nvPM DP/F00=f(F00) Application >2023	Inchangé ; discussion modalités
CAEP10	2016	S.O.	Inchangé	Pas de cut-off	Inchangé	1 ^{er} std intl sur les particules fines (~SN) Application 1/01/2020	1 ^{er} std intl sur le CO2 application NT>2020 & InP>2028
CAEP8	2010	Janvier 2014	Moins 15% par rapport à CAEP6	Pas de cut-off	Inchangé	Inchangé	
CAEP6	2004	Janvier 2008	Moins 12% par rapport à CAEP4	Janvier 2013	Inchangé	Inchangé	
CAEP4	1998	Janvier 2004	Moins 16% par rapport à CAEP2	Pas de cut-off	Inchangé	Inchangé	
CAEP2	1991	Janvier 1996	Moins 20% par rapport à CAEP1	Janvier 2000	Seuil constant	Smoke Number	
CAEP1	1981						

⁷⁴ Présentation « Situation réglementaire vis-à-vis des émissions polluantes post CAEP11 » - Safran

ANNEXE 4 – SYNTHÈSE DES ACTIONS DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS ET DE LA POLLUTION

TRAFIC ROUTIER			
Action	Bénéfice principal pour la qualité de l'air	Bénéfice principal pour la qualité des milieux	Bénéfice pour la qualité de l'air et des milieux
Incitation à l'utilisation des transports publics	X		
Taxis et navettes verts, voies douces	X		
Plan de mobilité et plan de mobilité inter-entreprises	X		
Installation des stations de ravitaillement en électricité et/ou en hydrogène	X		

ENGINS DE PISTE			
Action	Bénéfice principal pour la qualité de l'air	Bénéfice principal pour la qualité des milieux	Bénéfice pour la qualité de l'air et des milieux
Verdissement des engins de piste et la hiérarchisation des modèles à utiliser selon leur motorisation			X
Ecoconduite	X		
Pooling			X
Filtres à particules	X		

INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE, DE CLIMATISATION ET DE PRODUCTION DE L'ÉNERGIE			
Action	Bénéfice principal pour la qualité de l'air	Bénéfice principal pour la qualité des milieux	Bénéfice pour la qualité de l'air et des milieux
Installations plus performantes	X		
Energies renouvelables (climatisation/chauffage, électricité)			X
Achat d'électricité verte	X		
Rénovation thermique des bâtiments, ou nouveaux bâtiments énergétiquement performants	X		

ATELIERS DE MAINTENANCE			
Action	Bénéfice principal pour la qualité de l'air	Bénéfice principal pour la qualité des milieux	Bénéfice pour la qualité de l'air et des milieux
Identification des risques, contrôles réguliers, formations , ...		X	
Limitation des risques (stockage des produits chimiques, ventilation et captage..)			X

OPERATIONS HIVERNALES – DE-VERGLACAGE DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES			
Action	Bénéfice principal pour la qualité de l'air	Bénéfice principal pour la qualité des milieux	Bénéfice pour la qualité de l'air et des milieux
Moyens mécaniques (souffleuse, balayeuse, sable grossier)		X	
Utilisation raisonnée des produits chimiques		X	

OPERATIONS HIVERNALES – DEGIVRAGE ET ANTIGIVRAGE DES AERONEFS			
Action	Bénéfice principal pour la qualité de l'air	Bénéfice principal pour la qualité des milieux	Bénéfice pour la qualité de l'air et des milieux
Opération à réaliser le plus près possible des seuils de pistes sur des aires dédiées, ou dans le MSG système		X	
Mélange eau/glycol contrôlé et optimisé selon les conditions prévalant		X	
Traitement des produits chimiques recueillis		X	

ENTRETIEN DES ESPACES VERTS			
Action	Bénéfice principal pour la qualité de l'air	Bénéfice principal pour la qualité des milieux	Bénéfice pour la qualité de l'air et des milieux
Démarche zéro-phyto		X	
Respect des consignes d'utilisation des produits zéro-phyto		X	

STOCKAGE ET DISTRIBUTION DU KEROSENE			
Action	Bénéfice principal pour la qualité de l'air	Bénéfice principal pour la qualité des milieux	Bénéfice pour la qualité de l'air et des milieux
Surveillance des installations pour détecter toute éventuelle fuite (système de détection de fuite)			X
Installation de stockage spécifique pour éviter toute fuite (cuve à double-paroi ou double-enveloppe,...)			X

LES EXERCICES INCENDIE			
Action	Bénéfice principal pour la qualité de l'air	Bénéfice principal pour la qualité des milieux	Bénéfice pour la qualité de l'air et des milieux
Entraînements à réaliser dans les fosses à incendie adaptées et entretenues			X
Système de simulation incendie fonctionnant au gaz ou exercices virtuels			X

AVIONS			
Action	Bénéfice principal pour la qualité de l'air	Bénéfice principal pour la qualité des milieux	Bénéfice pour la qualité de l'air et des milieux
Système incitatif à l'utilisation des moteurs moins émissifs en oxydes d'azote	X		
Mise en place du "collaborative decision making (CDM)"	X		
Roulage à n-1 ou n-2 moteurs	X		
Solutions innovantes pour la phase de roulage (EGTS, TaxiBot)	X		
Technologies futures pour les moteurs à faibles niveaux d'émissions	X		

APU			
Action	Bénéfice principal pour la qualité de l'air	Bénéfice principal pour la qualité des milieux	Bénéfice pour la qualité de l'air et des milieux
Moyens de substitution fixes (400 Hz, PCA)			X
Moyens de substitution mobiles (différents modèles de GPU, ACU)	X		
Limitations de l'usage des APU (AIP ou arrêtés)	X		

ANNEXE 5 : GLOSSAIRE

ACADEMY	Airbus corporate answer to disseminate environmental management system
A-CDM ou CDM	Airport Collaborative Decision Making
ACI	Airport Council International
ACNUSA	Autorité de contrôle des nuisances aéroportuares
ACU	Air condition unit
APU	Groupes auxiliaires de puissance
ARC	Airport Regions Conference
ARCP	Airport Cooperative Research Program
ATFCM	Air traffic flow and capacity management
CARSAT	Caisse d'Assurance Retraite et de la Santé au Travail
CHP	Technologies combinées de chaleur et d'électricité
CO	Monoxyde de carbone
CO2	Dioxyde de carbone
COV	Composés organiques volatiles
COVNM	Composés organiques volatiles non méthaniques
CSAE	Chambre syndicale de assistants en escale
ECAC	European Civil Aviation Conference
EGTS	Electric green taxiing system
FAP	Filtre à particules
GNC	Gaz naturel comprimé
GNV	Gaz naturel véhicule
GPU	Ground power unit
GSA	Green Sustainable Airports
GSE	Ground Support Equipement
H2	Hydrogène
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HC	Hydrocarbures
HPF	Haute pression flottante
IATA	International Air Transport Association
ICPE	Installations classées pour la protection de l'environnement
LTO	Landing and Take-Off
MSG	Le Multi Solution Gate
MTE	Eléments traces métalliques
NO2	Dioxyde d'azote
Nox	Oxydes d'azote
O3	Ozone
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
PCA	Pre-conditioned air
PDE	Place du plan déplacement entreprise
PDIE	Plan déplacement inter-entreprises
PM	Particules
SO2	Dioxyde de soufre
SSLIA	Service de Sauvetage et de Lutte contre les Incendies d'Aéronefs
STAC	Service technique de l'aviation civile