

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES DE GESTION À FINALITÉ SPÉCIALISÉE

Comment répondre aux nouveaux défis environnementaux dans le domaine du contrôle du trafic aérien ?

ULENS, Vincent

Award date:
2023

Awarding institution:
Universite de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Comment répondre aux nouveaux défis environnementaux dans le domaine du contrôle du trafic aérien ?



Ulens Vincent

Directeur : Prof. Gallez Bertrand

Mémoire présenté en vue de l'obtention du titre de

Master 120 - Sciences de gestion
Finalité spécialisée

ANNÉE ACADÉMIQUE : 2021-2022

Remerciements

Ce mémoire de fin de master représente mon dernier travail en tant qu'étudiant à l'Université de Namur.

A titre liminaire, il me sera permis d'adresser mes plus vifs remerciements,

Tout particulièrement,

A mon directeur de mémoire et maître de stage, monsieur **Bertrand GALLEZ**,
Etroitement associé à la réalisation de ce mémoire, il m'a permis, par son expérience, de découvrir le monde des prestataires de services de la circulation aérienne en me proposant ce sujet passionnant. Ses explications détaillées, sur un sujet somme toute assez complexe, m'ont été d'une aide précieuse au même titre que sa disponibilité et sa bienveillance. Avec son soutien, l'accomplissement d'un stage dans un ANSP (skeyes) complété par plusieurs apprentissages ont nourri de nombreuses pistes de réflexion en vue de ce travail.

Au corps professoral de l'Université de Namur,

Sa proximité avec ses élèves, son ouverture et les nombreux apprentissages qu'il veille à proposer ont posé les balises de ma future vie professionnelle.

Mais aussi,

A tous ceux qui, dans mon entourage, m'encouragent sans désespérer dans le cadre de mon parcours et de mes choix et qui, lors de la rédaction de ce mémoire, ont veillé à m'apporter un regard critique lorsque cela s'est avéré nécessaire.

Résumé/Summary

Ce mémoire propose une analyse des différents enjeux et obligations auxquels sont confrontés les prestataires de services de la circulation aérienne dans les nouveaux challenges environnementaux. Les objectifs européens, précis en la matière, nécessitent de nouvelles actions afin de limiter la pollution provoquée par le domaine de l'aéronautique. Ce document dégage une vision claire des différents piliers concernant les opportunités de développement du secteur dans son ensemble, plus précisément les axes sur lesquels les ANSP peuvent travailler pour aider dans cette transition environnementale.

This thesis proposes an analysis of the different stakes and obligations faced by air navigation service providers in the new environmental challenges. The European objectives, precise in this matter, require new actions in order to limit the pollution caused by the aeronautical field. This document gives a clear vision of the different pillars concerning the development opportunities of the sector as a whole, more precisely the axes on which ANSPs can work to help in this environmental transition.

Note :

Certains termes et concepts présents dans cette thèse sont volontairement laissés dans leur langue originale, c'est-à-dire en anglais. En effet, le secteur de l'aéronautique est très souvent présenté dans cette langue et la traduction de certains termes en français entrainerait la perte de la technicité du mot ou groupe de mots.

Table des matières :

| | |
|--|-----------|
| Chapitre 1 : Introduction | 5 |
| 1.1. Contexte | 5 |
| 1.1.1. skeyes..... | 6 |
| 1.2. Motivation académique | 7 |
| 1.2.1. Problématique..... | 7 |
| 1.2.2. Pertinence du sujet..... | 8 |
| 1.3. Question de recherche | 8 |
| 1.3.1. Présentation..... | 8 |
| 1.3.2. Finalité..... | 9 |
| 1.4. Démarche et structure du mémoire | 9 |
| Chapitre 2 : Revue de la littérature | 10 |
| 2.1. Aviation | 10 |
| 2.1.1. Accent sur l'aéronautique générale..... | 10 |
| 2.1.2 Initiatives au niveau européen..... | 14 |
| 2.1.3. Cadre légal européen pour le contrôle aérien..... | 16 |
| 2.2. Managérial | 17 |
| 2.2.1. KPI et environnement..... | 17 |
| 2.2.2. Cartographie conceptuelle..... | 19 |
| 2.2.3. Green performance map..... | 19 |
| 2.2.4. Développement de nouveaux KPI..... | 20 |
| Chapitre 3 : Méthodologie | 22 |
| 3.1. Analyse des enjeux climatiques globaux avec un accent sur l'aéronautique | 22 |
| 3.2. Identification des initiatives européennes qui auront un impact sur les prestataires de service aérien | 22 |
| 3.2.1. Etude et explication du Green Deal et du plan de transition "Fit for 55"..... | 22 |
| 3.2.2. Explication du cadre légal..... | 23 |
| 3.3. Réalisation d'une cartographie conceptuelle | 23 |
| 3.4. Elaboration d'une green performance map | 23 |
| 3.5. Amélioration du balanced scorecard existant | 24 |
| Chapitre 4 : Analyse des données et résultats | 25 |
| 4.1 Analyse des données | 25 |
| 4.1.1. KPI's environnementaux chez skeyes..... | 25 |
| 4.1.2. KPI's environnementaux européens..... | 28 |
| 4.2 Résultats | 29 |
| 4.2.1 Cartographie conceptuelle des enjeux environnementaux pesant sur l'aviation..... | 29 |
| 4.2.3. Green performance map avec les indicateurs actuels..... | 31 |
| 4.2.4. Green performance map avec l'ajout des objectifs potentiels..... | 31 |
| 4.2.5. Mise en relation avec le balanced scorecard..... | 34 |
| Chapitre 5 : Discussion | 35 |
| Chapitre 6 : Conclusion | 38 |
| Références | 39 |
| Annexes | 41 |

Chapitre 1 : Introduction

1.1. Contexte

Durant l'année 2021, la zone gérée par EUROCONTROL a dénombré pas moins de 6,2 millions de vols soit une augmentation de plus de 25% par rapport à 2020 (Balanced scorecard EUROCONTROL, 2021). Les chiffres pour les premiers mois de 2022, de janvier à mai, sont également à la hausse (+114%). Ceci est principalement dû à la reprise des vols en nombre après la diminution conséquente provoquée par la crise de la Covid-19. Le nombre de passagers est donc également en augmentation. Afin d'assurer leur sécurité, de nombreux ANSP (Air Navigation Service Providers) travaillent quotidiennement pour gérer les différents avions d'une compagnie, d'une région ou d'un pays. Ils auront des missions principales telles que garder des distances minimales entre des avions, agencer au mieux les flux d'avions et l'espace aérien afin de répondre au mieux à la demande et bien plus encore.

Chaque ANSP aura donc une zone particulière qu'il devra gérer. Le ciel européen sera préalablement découpé en FAB (Functional Airspace Bloc) comme montré en figure 1-1. Ceux-ci seront alors composés de différentes sous-régions (figure 1-2). Pour ce qui est des mouvements aériens au-dessus de la Belgique et du Luxembourg à une hauteur entre 7500 et 24500 pieds, la surveillance et la gestion sont accordées à skeyes (anciennement Belgocontrol).

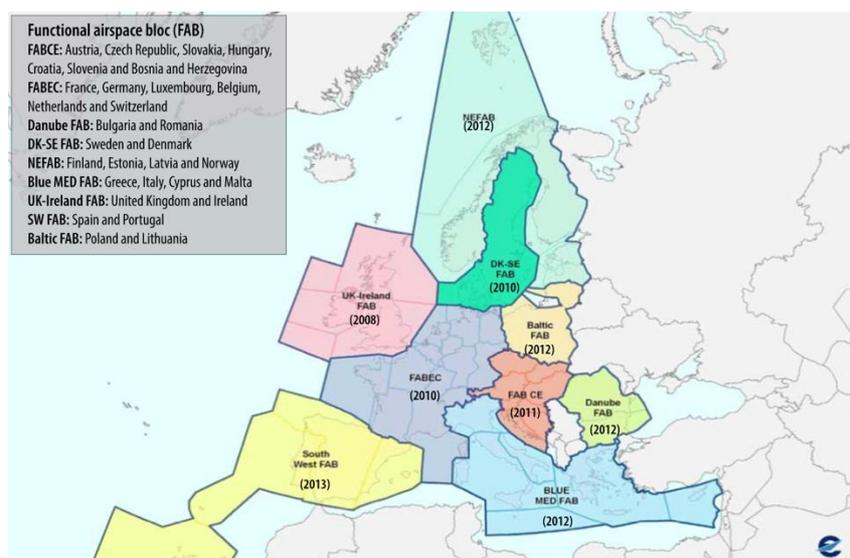


Figure 1.1 : Functional airspace bloc (FAB) (Source : EUROCONTROL)

1.2. Motivation académique

1.2.1. Problématique

A l'heure actuelle, un sujet prédominant dans le monde est la prise de conscience de la préservation de l'environnement. En effet, notre planète est en danger et il nous faut agir. La durabilité est devenue un point important dans les discussions tant au niveau politique, économique que sociétal.

Dans son dernier rapport, le GIEC décrit une influence de l'Homme sur le réchauffement climatique "sans équivoque". En effet, les changements climatiques d'origine humaine ont des effets négatifs généralisés. Ceux-ci provoquent des pertes et dommages aussi bien pour la nature que pour les populations. L'augmentation du nombre d'événements météorologiques extrêmes provoque des effets irréversibles sur notre système naturel ainsi que sur l'humain. Notre capacité d'adaptation pour y remédier devient de plus en plus ardue. Le rapport rappelle que les actions pour limiter le réchauffement climatique à 1,5°C réduiraient les pertes et les dommages que causerait une augmentation de ce dernier de plus de 1,5°C. Par contre, il n'est pas possible de les éliminer dans leur totalité. En ce qui concerne le moyen et long terme (au-delà de 2040), les impacts environnementaux sont évalués comme étant plusieurs fois supérieurs à ceux actuels. C'est pourquoi, à bref délai, des mesures d'atténuation et des adaptations doivent être prises étant donné que l'ampleur ainsi que la menace de ces impacts dépendent de celles-ci. Au plus le réchauffement climatique augmentera, au plus l'efficacité des adaptations se détériorera. Le rapport montre également que la vulnérabilité de nos écosystèmes et populations aux changements climatiques possède une grande variation en fonction d'une région à l'autre ainsi qu'au sein même d'une région.

De plus, la sauvegarde de la biodiversité et de nos écosystèmes doit être un sujet fondamental dans l'optique d'un développement résilient aux changements climatiques. Cela est très important au vu des menaces pesant sur eux et du rôle qu'ils ont à jouer dans les adaptations et atténuations. Cette sauvegarde nécessite un engagement et un suivi des politiques, cadres institutionnels permettant la mise en place des mesures et des instruments qui, accompagnés d'objectifs et de priorités clairs, amélioreront tant les connaissances sur les impacts que les solutions qui en découlent ; tout en mobilisant et augmentant l'accès aux ressources financières adéquates. Sans oublier de contrôler l'ensemble grâce aux suivis et aux évaluations, le tout en élaborant des processus de gouvernance inclusifs.

Il y a donc urgence dans les actions que nous devons mener afin d’aboutir à un développement résilient aux changements climatiques au niveau mondial. Les tendances de développement actuelles et passées n’ont pas fait progresser en ce sens les choses. C’est pourquoi les choix sociétaux des dix prochaines années vont être décisifs pour déterminer l’avenir de notre planète à moyen et long terme.

1.2.2. Pertinence du sujet

Le secteur aérien est un moyen de transport polluant, énormément pointé de doigt à l’heure actuelle. Des démarches managériales doivent donc être entreprises par les différents acteurs du monde aéronautique (compagnies aériennes, constructeurs aéronautiques, ANSP, aéroports, etc.). En effet, différents objectifs à courts et longs termes sont demandés par de grandes instances afin de diminuer l’empreinte carbone dans le monde.

1.3. Question de recherche

1.3.1. Présentation

Le sujet général qui m’a été attribué était “*un système de gestion de la performance efficace pour les prestataires de services de la circulation aérienne*”. Consécutivement à mes entretiens avec un professionnel du domaine (Gallez, B.), il est apparu évident que la question de recherche porterait sur les challenges environnementaux auxquels sont confrontés actuellement les différents ANSP et plus particulièrement skeyes. En effet, ce prestataire européen de services de la circulation aérienne est, comme tous les autres, soumis à un cadre de performance établi par la Commission européenne. Celui-ci doit également suivre des règles imposées au niveau national.

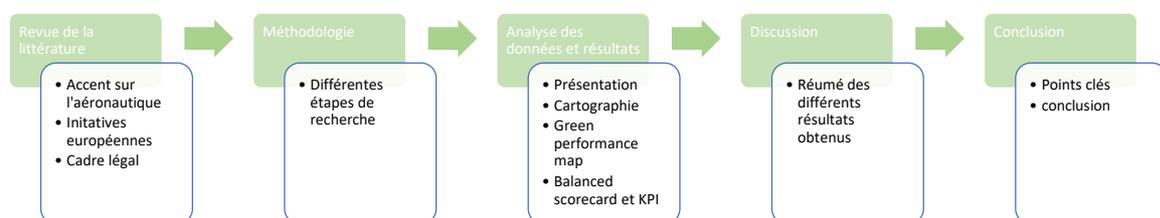
De plus, depuis l’avènement du Green Deal européen, le secteur aérien est pointé du doigt comme vecteur de pollution atmosphérique, entraînant une complexification dans la gestion de la performance de ces prestataires. La question de recherche qui a été choisie pour être traitée est donc « *Comment répondre aux nouveaux défis environnementaux dans le domaine du contrôle du trafic aérien ?* ».

1.3.2. Finalité

Les différents ANSP ont un rôle crucial à jouer dans la réduction des émissions dans le domaine de l'aéronautique. C'est pourquoi, il est utile de se pencher sur le sujet et d'en faire ressortir divers apprentissages qui pourront être mis en pratique. Les départements de performance, stratégie et environnement doivent donc mettre en place différents indicateurs clés qui pourront être utiles pour le suivi concret des performances environnementales. C'est une démarche assez compliquée étant donné l'existence d'indicateurs parfois contradictoires ; une amélioration dans un domaine pouvant entraîner une détérioration dans un autre.

1.4. Démarche et structure du mémoire

La partie théorique du mémoire débutera par une analyse de différentes revues de littérature en mettant, préalablement, l'accent sur l'aéronautique. En poursuivant sur les initiatives prises au niveau européen, pour terminer par un descriptif entourant le cadre légal d'application pour les prestataires de services de la circulation aérienne. Ce chapitre sera suivi par une présentation de la méthodologie, approche choisie en vue d'obtenir des résultats probants répondant à la question de recherche. S'ensuivra également la partie analyse des données et présentation des résultats avec la création d'une cartographie conceptuelle, d'une green performance map et de la modification du balanced scorecard avec le développement de KPI. Les deux derniers chapitres seront, quant à eux, dédiés aux différentes discussions et conclusions sous la forme d'un résumé des différents résultats obtenus, à la comparaison de ces derniers aux travaux existants pour enfin terminer par l'énoncé de certaines propositions managériales futures.



Chapitre 2 : Revue de la littérature

2.1. Aviation

2.1.1. Accent sur l'aéronautique générale

L'industrie de l'aviation dans son ensemble a, elle aussi, un rôle important à jouer dans l'amélioration de notre quotidien et de nos émissions de CO₂. Cela représente, néanmoins, un de ses plus grands challenges au vu de sa grande complexité.

En effet, l'aviation produit des effets aussi bien directs qu'indirects sur la pollution de l'air tels que le dioxyde de carbone (CO₂), l'oxyde d'azote (NO_x), les matières particulaires ainsi que les vapeurs d'eau. Les effets des émissions de CO₂ des avions persistent longtemps dans l'atmosphère et partout dans le monde tandis que, en ce qui concerne ceux des émissions de non-CO₂, beaucoup d'incertitudes subsistent. Et ce, en dépit d'une étude récente (Lee et al., 2021) montrant que ces derniers seraient plus importants compte tenu de la complexité de leur cycle de vie, de leur dépendance au temps et de leur localisation. Ces deux types d'effets différents se verront donc attribuer des objectifs bien distincts en vue de leur limitation. Pour ce qui est du CO₂, l'objectif sera la diminution du total des émissions nettes dues au carburant fossile. Par contre, pour ce qui est du non-CO₂, le choix portera plutôt sur l'évitement de la formation de traînées derrière les avions.

Selon les estimations, la responsabilité du secteur de l'aviation dans la production totale des émissions de CO₂ (provenant de l'homme) dans le monde, s'élèverait à environ 2 à 3% (Ritchie, 2020). En Europe (27+GB), le taux d'émission de gaz à effet de serre était de 4,3% (EEA, 2021), soit une augmentation de 125% depuis 1990. De plus, on remarque qu'entre ces deux années, le total des émissions de GHG (green house gas) a diminué de 25% alors que celui des émissions résultant du transport a augmenté de 31%. Il y a donc bien un réel problème en ce qui concerne les gaz à effet de serre corrélés aux transports, comme indiqué dans la figure 2.1 infra.

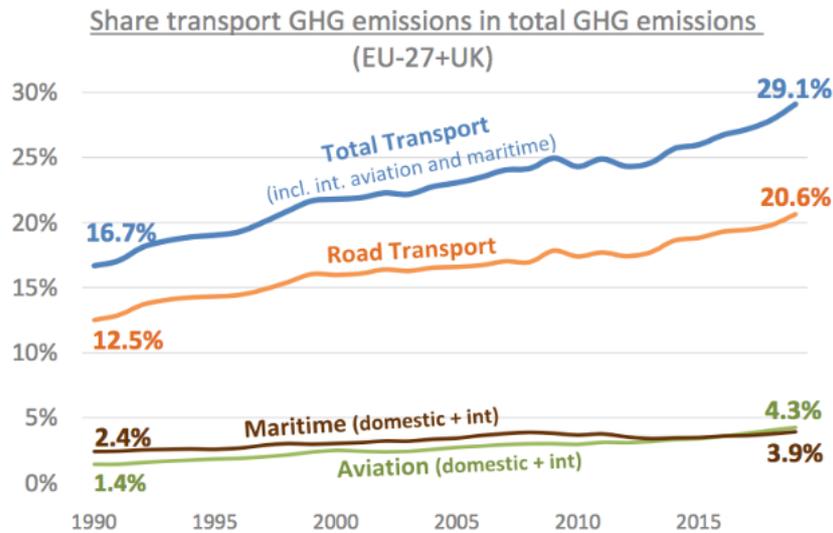


Figure 2.1: Share of transport in total GHG emissions (1990-2019) (Source: EEA)

C'est à partir de 2009 qu'apparaissent des ambitions ainsi que des cibles claires en ce qui concerne le domaine de l'aviation. En effet, cette année-là, l'IATA (International Air Transport Association) a adopté trois objectifs (IATA, 2021) qui sont :

- L'amélioration du taux annuel moyen de rendement du carburant de 1,5% / an jusqu'en 2020
- Le plafonnement des émissions nettes de CO₂ à partir de 2020
- La réduction des émissions nettes de CO₂ de 50% d'ici 2050

En 2010, l'ICAO (International Civil Aviation Organization) a un peu adapté ces trois objectifs en stipulant que l'amélioration du taux annuel moyen de rendement du carburant devra être de 2% jusqu'en 2050 et qu'il faudra une croissance neutre en carbone à partir de 2020.

En 2017, cette même organisation va ajouter une norme qui demande un standard d'efficacité pour les émissions de CO₂ des nouveaux avions. Le but étant de limiter le CO₂ en fonction du poids et de la taille d'un aéronef.

Malgré tous ces objectifs et normes, un risque subsiste de ne pas atteindre les attentes de l'accord de Paris ainsi que du Green Deal européen de 2019. Depuis début 2021, l'Union européenne a pour but de diminuer les émissions de gaz à effet de serre de 55% afin de devenir le premier continent sans GHG en 2050. Avec un impact significatif sur l'aviation puisque cela représenterait une diminution de 90% pour cette industrie.

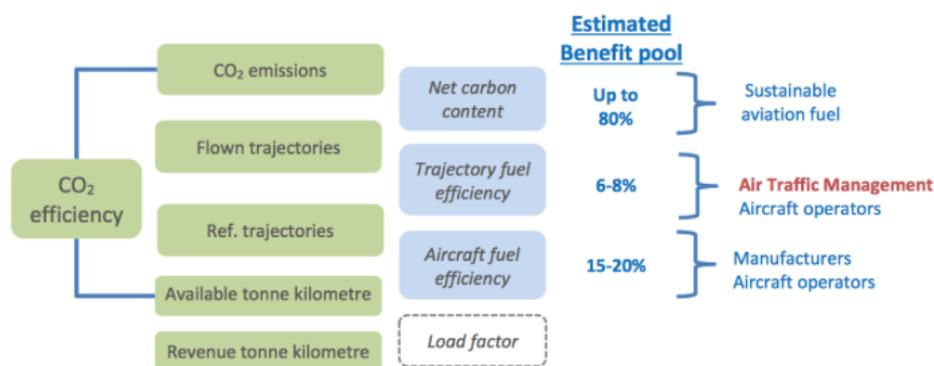


Figure 2.2: Factors affecting aviation CO₂ efficiency (Source: EUROCONTROL)

Une question apparaît alors évidente : Comment l’aviation pourra-t-elle y parvenir ? Clairement, cela sera un des défis les plus colossaux de l’industrie au regard des technologies actuelles. En effet, aucune recette miracle n’existe. Pour ce faire, il faudra un focus sur quatre différents piliers, à savoir :

- Technologie de l’avion (fuselage et moteur)
- Carburant durable (SAF)
- Mesures basées sur le marché
- Amélioration des infrastructures et opérations (efficacité opérationnelle)

Pour ce qui est des technologies, l’avenir semble être prometteur au vu de la dernière génération d’avions qui consomment déjà 15 à 20% en moins. Le but des compagnies aériennes sera de retirer ceux qui consomment le plus mais le problème est que la durée de vie d’un avion est de 20 à 30 ans. Par conséquent, certains ne sont pas près d’être remplacés. De plus, la volonté existe de développer de nouveaux fuselages et systèmes de propulsion alternatifs non-fossiles. Les bénéfices qui y sont liés prendront eux-aussi énormément de temps, pas avant 15-20 ans (EUROCONTROL, 2019). Ce pilier sera donc sur un bénéfice à long terme.

Concernant le deuxième pilier, le SAF peut potentiellement réduire les traînées de condensation suite à la baisse de suies émises. Ses deux principaux points négatifs sont d’une part son côté énergivore et d’autre part son coût financier. De plus, selon l’IATA, seul 0,1% du besoin en carburant de l’aviation est couvert actuellement par ces SAF. Une solution possible est la mise en place par l’Etat de différents stimuli afin de diminuer l’écart existant entre les carburants non-fossiles et fossiles, et ainsi d’augmenter la production du premier. C’est la raison pour laquelle, la Commission européenne a mis en place un objectif graduel dans son “ReFuel EU Aviation Initiative” (European Commission, 2021).

L'absorption des SAF sur le non-fossile devra donc être de :

- 2% en 2025
- 5% en 2030
- 32% en 2040
- 38% en 2045
- 63% en 2050

Par contre, comme pour les technologies, les effets sur les émissions de CO₂ ne seront visibles qu'en 2030 et donc sur le long terme.

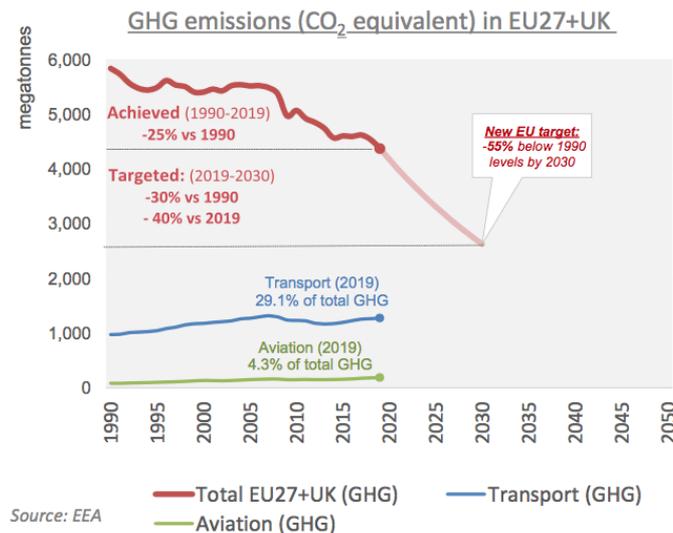


Figure 2.3 : EU GHG emission targets (Source : EEA)

Le troisième pilier, à savoir les mesures basées sur le marché, est un sujet très vaste au vu du large éventail de mesures possibles tel que des taxes, redevances, droits d'émission, etc.

Le quatrième pilier est très important pour les améliorations à court et moyen terme. Ce sont donc les ATM qui vont devoir remédier aux inefficacités opérationnelles grâce à divers projets et initiatives tels que :

- Performance based navigation (PBN)
- Free route airspace (FRA)
- Flexible use of airspace (FUA)
- Continuous climb or descent operations (CCO / CDO)
- Solutions SESAR

De nombreuses études ont tenté de quantifier le rapport entre la consommation de carburant et l'efficacité des vols mais la tâche est très compliquée.

En Europe, il a été dit que les ANSP peuvent améliorer de 6 à 8% la consommation de carburant de porte à porte comme présenté en figure 2.2 (EUROCONTROL Performance Review Commission, 2020). Néanmoins, une étude basée sur l'inefficacité dans la zone EUROCONTROL pour les petits courriers a montré un pourcentage entre 8,6 et 11,2%. Par contre, il ne faut pas perdre de vue qu'une certaine inefficacité ne pourra être évitée. En cause, l'existence de quelques contraintes telles que la distance de séparation minimale entre deux avions, les conditions climatiques, la suppression des zones de danger, etc. De plus, certains objectifs environnementaux peuvent être contradictoires entre eux. Par exemple, il est demandé de réduire la production de bruit aux abords des aéroports mais cela implique des trajectoires longues et par conséquent des émissions de CO₂ supplémentaires. Trouver les bonnes solutions s'avère donc être une tâche très complexe.

2.1.2 Initiatives au niveau européen

Dans le but de relever les défis climatiques ainsi que ceux liés à l'environnement, la Commission européenne a publié le 11 décembre 2019 le pacte vert (Green Deal). Son objectif principal étant de "transformer l'UE en une société juste et prospère, dotée d'une économie moderne, efficace dans l'utilisation des ressources et compétitive, caractérisée par l'absence d'émission nette de gaz à effet de serre d'ici 2050 et dans laquelle la croissance économique sera dissociée de l'utilisation des ressources" (Green Deal, 2019).

Pour y parvenir, il faut opter pour un projet juste et inclusif comme le stipule également le dernier rapport du GIEC (AR6). Cela signifie que tant les différents pouvoirs, aussi bien au niveau national que local, les citoyens et les acteurs du secteur économique doivent travailler ensemble et en partenariat avec les grandes institutions européennes. De plus, c'est également au niveau international que l'UE devra signer des accords avec des partenaires du monde entier. En effet, l'enjeu est d'ordre mondial et par conséquent, pour pouvoir atteindre les différents objectifs, il faudra un appui des différents pays du globe.

Le pacte vert s'oriente dans une multitude de domaines divers et variés. Ses différents éléments sont repris dans la figure 2.4 ci-dessous.

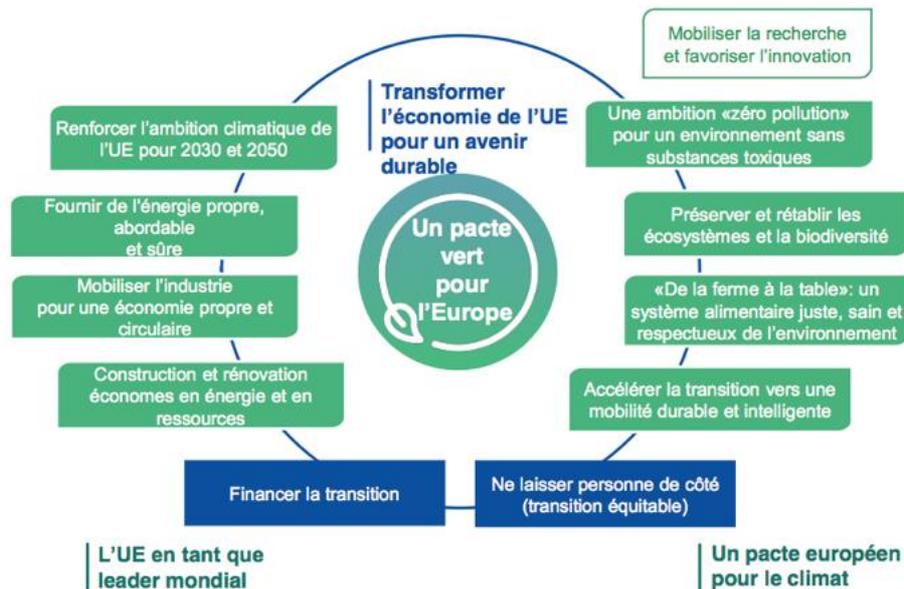


Figure 2.4 : Un pacte vert pour l'Europe (Source : Green Deal)

Dans le cadre des prestataires du secteur aérien, un focus sera mis sur l'objectif d'accélérer la transition vers une mobilité durable et intelligente. En effet, le secteur des transports dans tous ses types est responsable d'un quart des émissions de gaz à effet de serre des pays de l'Union Européenne. L'objectif sera donc de les réduire de 90% d'ici 2050. La commission conseille aux différents acteurs de mettre les usagers au centre des préoccupations afin de les inciter à utiliser les mobilités dites plus douces.

Pour ce qui est du secteur aérien plus précisément, ce pacte encourage de relancer les différents travaux menés avec pour objectif d'arriver à un véritable ciel unique européen. Le but de ce dernier étant une diminution considérable des émissions résultant des activités aériennes. Des actions seront coordonnées avec l'Organisation de l'aviation civile internationale (ICAO) qui est une institution spécialisée des Nations Unies. L'Union Européenne devra également travailler sur un autre pilier de cette transition en donnant une impulsion à la production et au déploiement de carburant de substitution durable (SAF) via de nouveaux plans législatifs clairs. De plus, il convient également d'améliorer la qualité de l'air à proximité des aéroports en luttant contre les émissions de polluants par les avions et les opérations aéroportuaires.

Afin de mieux planifier cette transition, la Commission européenne a également sorti le plan Fit For 55. Son but est donc de "mener à bien la transformation radicale nécessaire dans l'ensemble de notre économie, de notre société et de notre industrie." (Fit for 55, 2021).

2.1.3. Cadre légal européen pour le contrôle aérien

Il est demandé dans le règlement d'exécution 2019/317 de la Commission européenne un certain nombre de KPI's pour la fixation des objectifs à l'échelle de l'Union et indicateurs à utiliser pour le suivi au niveau de l'Union. En ce qui concerne l'indicateur de performance clé environnemental, il mesure l'efficacité horizontale moyenne des vols en route de la trajectoire réelle. Celle-ci est calculée par la comparaison entre la longueur de la partie en route de la trajectoire réelle à établir à partir des données de surveillance et la distance parcourue en additionnant les vols IFR effectués à l'intérieur de l'espace aérien. Afin d'avoir un suivi de cet indicateur, ce règlement demande d'en utiliser cinq autres (monitoring) :

| | |
|------------------------------|--|
| Indicateur de suivi 1 | L'efficacité horizontale moyenne des vols en route de la trajectoire contenue dans le dernier plan de vol déposé (horizontal en-route flight efficiency) |
| Formule | Différence entre la longueur de la partie en route de la trajectoire contenue dans le dernier plan de vol déposé et la partie correspondante de la distance orthodromique en additionnant tous les vols IFR effectués à l'intérieur de l'espace aérien européen ou le traversant |

Tableau 2.1 : indicateur de suivi 1 (adapté de (Règlement d'exécution (UE) 2019/317))

| | |
|------------------------------|--|
| Indicateur de suivi 2 | L'efficacité horizontale moyenne des vols en route de la trajectoire fixée la plus courte |
| Formule | Différence entre la longueur de la partie en route de la trajectoire fixée la plus courte disponible pour la planification du vol, telle que calculée par les algorithmes de calcul de trajectoire et les systèmes de validation des plans de vol du gestionnaire de réseau, mesurée entre les points de sortie et d'entrée de deux régions de contrôle terminales, et la portion correspondante de la distance orthodromique en additionnant tous les vols IFR effectués à l'intérieur de l'espace aérien européen ou le traversant |

Tableau 2.2 : indicateur de suivi 2 (adapté de (Règlement d'exécution (UE) 2019/317))

| | |
|------------------------------|---|
| Indicateur de suivi 3 | L'utilisation effective de l'espace aérien réservé ou séparé |
| Formule | $\frac{\text{Durée initiale attribuée pour la réservation ou la séparation de la circulation aérienne générale}}{\text{Durée finale attribuée utilisée pour l'activité nécessitant une telle séparation ou réservation}}$ |

Tableau 2.3 : indicateur de suivi 3 (adapté de (Règlement d'exécution (UE) 2019/317))

| | |
|------------------------------|---|
| Indicateur de suivi 4 | Le taux de planification par l'intermédiaire des structures d'espace aérien disponibles, y compris l'espace aérien réservé ou séparé et les routes conditionnelles, pour la circulation aérienne générale |
| Formule | $\frac{\text{Aéronefs déposant des plans de vol par l'intermédiaire de ces structures d'espace aérien}}{\text{Nombre d'aéronefs qui auraient pu déposer des plans dans le cadre de telles structures}}$ |

Tableau 2.4 : indicateur de suivi 4 (adapté de (Règlement d'exécution (UE) 2019/317))

| | |
|------------------------------|---|
| Indicateur de suivi 5 | Le taux d'utilisation des structures d'espace aérien disponibles, y compris l'espace aérien réservé ou séparé et les routes conditionnelles, par la circulation aérienne générale |
| Formule | $\frac{\text{Aéronefs transitant ces structures d'espace aérien}}{\text{Nombre d'aéronefs qui auraient pu déposer des plans dans le cadre de telles structures}}$ |

Tableau 2.5 : indicateur de suivi 5 (adapté de (Règlement d'exécution (UE) 2019/317))

De plus, au niveau local, certains indicateurs supplémentaires peuvent être mis en place tels que :

- Temps supplémentaire passé en phase de roulage au départ
- Temps supplémentaire passé dans l'espace aérien terminal (zone ASMA)
- Part des arrivées appliquant l'approche en descente continue (CDO)

Le but final étant l'évaluation de la « compatibilité des objectifs de performance nationaux ou des objectifs de performance des FAB avec les objectifs de performance à l'échelle de l'Union pour chaque année civile de la période de référence, en comparant les objectifs de performance nationaux ou les objectifs de performance des FAB avec les valeurs de référence de l'efficacité horizontale des vols en route définies dans la version la plus récente du plan d'amélioration du réseau de routes européen disponible au moment de l'adoption des objectifs de performance à l'échelle de l'Union. » (European Commission, 2019).

2.2. Managérial

2.2.1. KPI et environnement

Avec les différentes prises de conscience vis à vis de l'environnement, les entreprises ne peuvent désormais plus se contenter de fournir des rapports financiers ou économiques. Ils doivent maintenant également en fournir un environnemental qui servira autant pour les

performances environnementales précisément mais également pour la communication vis à vis de ces performances environnementales. Pour ce faire, il sera important d'analyser ce qui est demandé par la société (états, institutions, politiques, etc.) afin d'éviter des problèmes dans les performances environnementales. Une participation interne des employés sera préconisée pour arriver à de meilleurs résultats. Leur rôle actif aura une implication positive dans ce rapport. Pour ce faire, les balanced scorecard s'avèrent être un réel atout. Ce dernier représente un outil d'apprentissage dans le but de mettre en place une amélioration continue et être le plus performant possible.

La performance environnementale d'une organisation sera comme « les résultats de la gestion des aspects environnementaux d'une organisation. Dans le contexte des systèmes de management environnemental, ces résultats peuvent être mesurés par rapport à la politique environnementale de l'organisation (c'est-à-dire les intentions et l'orientation générales d'une organisation concernant ses performances environnementales, telles qu'elles sont formellement exprimées par la direction générale), aux objectifs environnementaux (buts environnementaux généraux, compatibles avec la politique environnementale, qu'une organisation se fixe d'atteindre) et aux cibles environnementales (c'est-à-dire les exigences de performance détaillées, applicables à l'ensemble de l'organisation ou à certaines de ses parties, qui découlent des objectifs environnementaux et qui doivent être fixées et satisfaites pour atteindre ces objectifs), ainsi qu'à d'autres exigences de performance environnementale. » (Hřebíček, J., et al , 2007)

Afin de mesurer au moins cette performance environnementale, l'entreprise devra mettre au point différents indicateurs clés de performance environnementaux qui serviront de réel outil. Ceux-ci sont des « mesures quantifiables qui reflètent la performance environnementale d'une organisation dans le contexte de la réalisation de ses objectifs et cibles plus larges que ceux de l'environnement. » (Hřebíček, J., et al. , 2007) Ils permettent également d'établir une relation solide entre les différents niveaux dans l'organisation, ce qui permet d'avoir les objectifs clairs pour tout le monde.

Selon l'EMAS (Community eco-management and audit scheme), la création de KPI environnementaux doit suivre certaines caractéristiques à savoir la comparabilité entre eux, l'équilibre entre les domaines problématiques et prospectifs, la continuité et l'actualité (mis à jour fréquente). De plus, ils devront également suivre un nombre de critères afin d'être

développés au mieux. Ils devront donc pouvoir donner une évaluation précise des performances environnementales, être compréhensible par tous les membres de l'organisation, être comparés d'une année à l'autre et entre eux mais doivent aussi être mis en lien avec les exigences réglementaires.

2.2.2. Cartographie conceptuelle

Cette technique d'abord basée sur l'apprentissage (Novak et Gowin, 1984) est un réel outil dans le langage visuel. Cette cartographie est efficace pour organiser les informations liées à un sujet central, une problématique. Le but est donc ici de rassembler les informations en notre possession en intégrant au fur et à mesure de nouvelles. Cette association d'idées montrera un ensemble de significations conceptuelles intégrées dans un cadre de propositions.

Après cela, il sera assez aisé de visualiser le nombre d'idées liées sur lesquelles il faudra se concentrer pour atteindre le problème central. En général, la cartographie conceptuelle sera élaborée de telle sorte que les concepts les plus généraux soient vers le haut et que les concepts les plus inclusifs soient vers le bas. (Martin, 1994)

Il est à noter également que cette cartographie ne doit pas rester figée dans le temps. En effet, des mises à jour de celle-ci vont améliorer son efficacité face au problème central.

2.2.3. Green performance map

Pour réaliser une bonne gestion de la performance environnementale, l'organisation ne doit pas seulement se limiter à un travail sur le sujet. La direction opérationnelle devra donc maîtriser les performances environnementales et le personnel opérationnel devra s'impliquer grandement dans l'amélioration continue des aspects environnementaux. Il y a donc un objectif de réduire le gouffre hiérarchique (entre les directions et les niveaux opérationnels) et le gouffre fonctionnel (entre la gestion environnementale et la gestion opérationnelle).

Pour ce faire, la mise en place d'une amélioration continue de type « lean management » via des objectifs environnementaux sera un réel atout. Les KPI devront être dynamiques et sensibles aux différents changements, aussi bien externes qu'internes, qui peuvent intervenir pour pouvoir assurer une amélioration continue.

Dans le but de mettre en place une bonne performance environnementale, un état cible doit être élaboré étant donné la complexité et la diversité des aspects environnementaux mesurés. Il devra donc être clairement explicité avec des mots aux différents acteurs de l'organisation. Cette référence doit être accompagnée d'indicateurs de performance clés.

Une méthode d'analyse pouvant être utile est la « Green performance map » qui pourra être utilisée pour identifier, hiérarchiser, mesurer et suivre les actions relatives aux aspects environnementaux. Cela représenterait donc une certaine méthode Kaizen (consiste à faire des petites améliorations directes et régulières dans le but d'améliorer notre performance à long terme) mais dans la finalité environnementale. La Green performance map aura deux fonctionnalités principales à savoir :

- Outil de gestion limpide pour visualiser la situation
- Méthode de collecte de données opérationnelles afin d'élaborer des décisions environnementales

La GPM donne donc à l'ensemble de l'organisation une vision d'ensemble mais complète de tous les apports environnementaux à effectuer et comment ils seront mesurés. Sa mise à jour fréquente permet d'apporter aux différentes équipes une forme didactique dans l'apprentissage des objectifs et performances environnementales. Il y a donc un réel « but de relier les experts en environnement aux équipes d'amélioration, et d'introduire des mesures de performance et des outils non spécialisés pour soutenir l'engagement opérationnel dans l'amélioration environnementale. » (Kurdve et Wiktorsson, 2013)

2.2.4. Développement de nouveaux KPI

Le développement de nouveaux KPI n'est pas une opération aisée. Beaucoup de données et de caractéristiques sont à prendre en compte dans l'élaboration de ceux-ci pour qu'ils mesurent et contrôlent au mieux les différents objectifs de l'organisation. Ils doivent par exemple être aussi bien compréhensif que concis.

Le cadre de travail pour établir de nouveaux KPI sera lié aux différentes dimensions présentes dans le Harvard School Balanced Scorecard model à savoir : Finance, Client, Apprentissage & Développement et processus internes. (Voir figure 2.6.) Il est néanmoins possible d'élargir ces 4 dimensions avec d'autres tels que l'environnement.

Le but du Balanced Scorecard est l'organisation et le pilotage du déploiement d'une stratégie propre à l'entreprise. Les intérêts seront alors divers comme :

- Le passage d'objectifs stratégiques en opérationnels
- Priorisation du projet
- Mesure et suivis dans l'avancement du processus
- Aide à la communication
- Permet une meilleure mise en œuvre

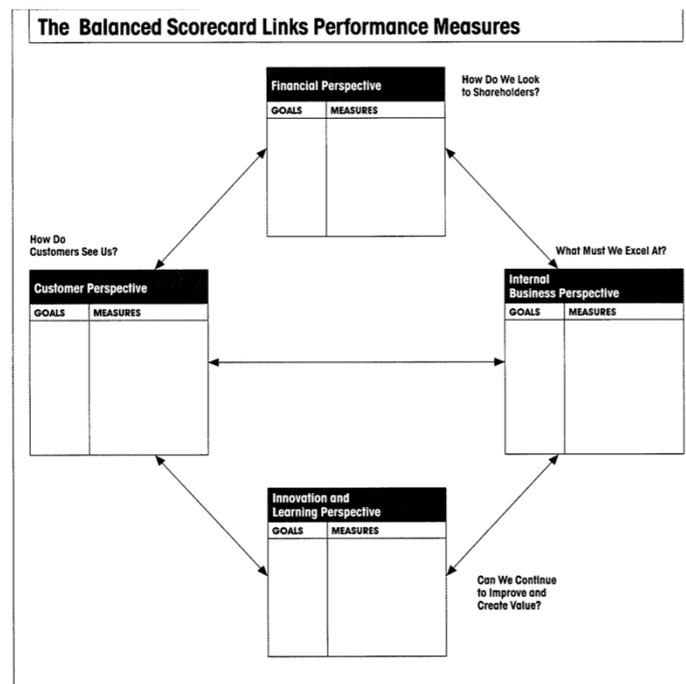


Figure 2.6. : The balanced Scorecard links performance measures (Kaplan, R. et Norton, D., 1992)

L'objectif sera ici de développer et de convenir d'une multitude d'indicateurs pouvant mesurer et comparer des résultats au sein de l'organisation. Le système de KPI sera par conséquent développé au départ de plusieurs combinaisons de moyens et de sources d'informations.

Le but final de ce travail étant d'élaborer de nouveaux indicateurs de performance clés permettant cette transition environnementale et de potentiellement les implanter dans un système de gestion de la performance, un plan a dû être mis en place afin d'y arriver. Les différentes étapes suivantes ont donc été choisies pour y parvenir.

3.1. Analyse des enjeux climatiques globaux avec un accent sur l'aéronautique

L'analyse du milieu macroéconomique est un point de départ nécessaire dans la compréhension des problèmes qui apparaissent dans le milieu de l'aéronautique au sens large. Elle permettra de mieux comprendre les choix et challenges faits par les différents ANSP qui s'occupent de la gestion des espaces aériens. Pour se faire différentes activités particulières ont été réalisées tels :

- a) Observation des taux de pollution des différents moyens de transport
- b) Regard sur les différentes causes de pollution dans le domaine de l'aéronautique
- c) Historique des décisions et planifications des grandes instances en domaine d'aéronautique
- d) Définition du poids que peut avoir l'ATM (Air Traffic Management) dans la transition environnementale de l'aéronautique

3.2. Identification des initiatives européennes qui auront un impact sur les prestataires de service aérien

Après avoir clairement identifié et analysé cet environnement macroéconomique, il est utile de se pencher plus précisément sur ce que vont faire et/ou vont demander les différentes instances de l'Europe.

3.2.1. Etude et explication du Green Deal et du plan de transition "Fit for 55"

La grande nouveauté en termes environnementaux au niveau européen est bien évidemment le Green Deal suivi de son plan de transition « Fit for 55 » qui seront les grandes lignes directrices pour les politiques et choix futurs dans ce domaine. Par conséquent, les divers objectifs présentés dans ces deux documents devront être analysés et expliqués afin de pouvoir les respecter à la lettre et maîtriser au mieux la transition à long terme que l'Europe veut mettre en place.

3.2.2. Explication du cadre légal

Cette grande transition environnementale planifiée par la Commission européenne devra bien évidemment être accompagnée de divers cadres légaux afin de suivre et de faire respecter au mieux les demandes de celle-ci. Ces différents articles permettent que tous les états membres soient axés vers une même optique et soient régis par les mêmes lois en la matière afin de pouvoir être sur un pied d'égalité les uns vis-à-vis des autres. Il y aura donc des exigences envers le transport aérien dans son ensemble mais également pour les prestataires de service aérien plus particulièrement qui devront être analysées et visualisées. Par conséquent, il sera utile de produire les deux activités suivantes :

- a) Identification de la contribution exigée de la part du transport aérien
- b) Identification de la contribution et des obligations qui en découlent pour les prestataires de service aérien

3.3. Réalisation d'une cartographie conceptuelle

Après avoir analysé toute cette documentation qui est assez lourde à la lecture, il est important de mieux visualiser tous les challenges et pistes disponibles, tant pour le domaine de l'aéronautique que pour les prestataires de service aérien plus précisément. Pour ce faire, un résumé présenté sous forme d'une cartographie conceptuelle (Novak et Gowin, 1984) des enjeux et obligations est réalisé afin que l'ensemble soit beaucoup plus visuel et compréhensible pour les différents acteurs du domaine.

En effet, la cartographie conceptuelle permet d'abord d'apprendre via la synthèse compacte d'une grande quantité d'informations, de pouvoir observer les relations entre les concepts et de continuer à l'améliorer dans le temps. De plus, elle est utile pour le transfert de savoir et la communication. Une synthèse graphique est lisible facilement par tout le monde et permet donc une compréhension mutuelle.

Cette cartographie pourra donc servir de point de départ sûr pour les travaux futurs dans le domaine tout en limitant une perte de temps considérable.

3.4. Elaboration d'une green performance map

La green performance map sera réalisée en deux parties distinctes à partir de la cartographie des enjeux et obligations liés au secteur du contrôle aérien.

Tout d'abord, les différents grands objectifs environnementaux auxquels les ANSP sont confrontés seront mis côte à côte afin d'avoir une vision globale. Ensuite, s'en suivra une classification des KPI déjà présents chez skeyes dans ces différentes colonnes. Le but étant ici d'apercevoir les points d'amélioration dont l'organisation a besoin en termes d'environnement.

Après, l'étape suivante sera d'implanter les différentes pistes d'améliorations trouvées dans les diverses sources au sein des grands objectifs de la vision globale.

L'utilisation de la green performance map permettra donc de visualiser la performance environnementale même de skeyes et pourra faciliter l'identification des priorisations d'objectifs et la communication aux équipes.

3.5. Amélioration du balanced scorecard existant

Pour finaliser cette analyse et cette étude, il sera utile de ressortir des pistes managériales pour le développement de nouveaux indicateurs de performance environnementaux pour les ANSP et plus particulièrement pour skeyes.

Pour ce faire, comme base de référence, le modèle du Harvard School Business Scorecard (Kaplan, R. et Norton, D.) ajusté d'une dimension supplémentaire sera utilisé en adéquation avec la green performance map réalisée à l'étape précédente.

Le but étant de connecter toutes les découvertes environnementales avec les grands objectifs stratégiques de skeyes.

Chapitre 4 : Analyse des données et résultats

4.1 Analyse des données

4.1.1. KPI's environnementaux chez skeyes

Au regard du catalogue d'indicateurs de performance de skeyes, nous pouvons apercevoir, pour certains d'entre eux, des liens directs ou indirects avec la protection de l'environnement.

En voici un tableau récapitulatif.

| <u>Indicateurs de performance</u> | <u>Explication</u> | <u>Impact sur l'environnement</u> |
|-----------------------------------|---|---|
| K3 – Mouvements BCAA | Décollage ou atterrissage d'un aéronef sur un aéroport dans le cadre de l'aviation (régulière, non régulière, générale et d'affaires), de l'aviation gouvernementale/militaire/policière et autre (travail aérien). Pour les besoins du trafic aéroportuaire, une arrivée (roues touchant le sol) est comptée comme un mouvement. Un départ (roues qui quittent le sol) est également compté comme un mouvement. Cela inclut les « touch and go » (atterrir sur une piste et redécoller sans s'arrêter complètement). Dans ce cas, chaque atterrissage (touch) et chaque départ (go) sont comptés comme un mouvement chacun (2 mouvements au total). Le dépassement de piste (atterrissage interrompu) - les roues ne touchant pas le sol - n'est pas comptabilisé. | Tous types de mouvements sur les pistes de l'aéroport impliquent une consommation de carburant et par conséquent des émissions de CO2. Cet indicateur étant indirect, il pourrait être utilisé pour pouvoir calculer plus précisément la pollution que produirait chaque aéronef si des données supplémentaires étaient transmises par les compagnies aériennes (quantité de carburant dans l'avion, type de carburant, poids précis de l'avion, etc.) |
| K13 - Approches manquées | Nombre d'approches manquées reportées par skeyes. Elles peuvent être initiées soit par le ATCO soit par le pilote. Celles-ci peuvent être dues à différentes raisons comme une approche instable, une proximité trop importante avec l'avion | Une approche manquée va impliquer une consommation supplémentaire en carburant ainsi qu'une augmentation de la pollution sonore. De plus, cet avion va devoir être réintroduit dans le trafic aérien en vol autour de l'aéroport. |

| | | |
|---|---|--|
| | précédent, du trafic de départ sur les pistes, des intempéries (vent, visibilité, etc.). | |
| K15 - Variable Taxi Time (VTT) | <p>Pourcentage d'avions au départ dont le temps de roulage (délai entre l'autorisation de rouler et l'heure réelle de départ) n'est pas supérieur aux temps de roulage par défaut décrits - uniquement à EBBR.</p> <p>Temps de taxi par défaut à l'aéroport de Bruxelles dans des conditions normales :</p> <p>Arrivées : le temps moyen de taxi à l'arrivée est d'environ 5 minutes.</p> <p>Départs : le temps moyen de départ en taxi pour :</p> <p>RWY25R = 15 minutes</p> <p>RWY02 & 07R = 20 à 25 minutes</p> <p>RWY20 = 15 minutes sauf lorsque la piste est également utilisée pour les arrivées</p> <p>RWY25L & 07L = 20 à 25 minutes</p> | <p>Le temps durant lequel l'avion est entre la porte d'embarquement et le décollage est très important pour l'empreinte environnementale.</p> <p>Celui-ci doit donc être le plus petit possible afin de limiter les effets polluants de ce trajet.</p> |
| K29 - Continuous Descent Operations - Fuel | <p>Proportion d'opérations de descente continue carburant effectuées par rapport au nombre total de vols d'arrivée.</p> <p>Un vol est considéré comme effectuant une CDO lorsque son profil vertical suit une descente continue sans vol en palier de plus de 2,5 NM avec une vitesse de descente inférieure à 200 pieds/minute, pour autant que le nombre de vols en palier soit fixé à 0.</p> <p>Les CDO sont mesurées à partir de la bande de niveau définie comme suit :</p> <p>Bande de niveau FL100 à 3000 pieds (efficacité énergétique).</p> <p>Cet indicateur de performance est d'application pour les EBBR, EBCL et EBLG.</p> | <p>Cette procédure d'atterrissage permet une diminution significative du carburant consommé par l'avion.</p> <p>En effet, lors de sa trajectoire d'atterrissage, le pilote va adopter une courbe en évitant des paliers. Grâce à cela, il sera en poussée minimale de ses moteurs et évitera un impact environnemental conséquent.</p> <p>De plus, il y aura donc une diminution du bruit émis par les moteurs de l'avion.</p> |
| K30 – Continuous Descent Operations - Noise | Proportion de vols de descente continue "bruyants" par rapport au nombre total de vols d'arrivée. | |

| | | |
|----------------------------|--|---|
| | <p>Un vol est considéré comme effectuant une CDO lorsque son profil vertical suit une descente continue sans vol en palier de plus de 2,5 NM avec une vitesse de descente inférieure à 200 pieds/minute, pour autant que le nombre de vols en palier soit fixé à 0.</p> <p>Les CDO sont mesurés à partir de la bande de niveau définie comme suit :</p> <p>Bande de niveau FL060 à 3000 pieds (efficacité acoustique).</p> <p>Cet indicateur de performance est d'application pour les EBBR, EBCL et EBLG.</p> | |
| K84 - ASMA Time Unimpeded | <p>Un temps ASMA non entravé est déterminé statistiquement sur la base des temps ASMA en période de faible demande de trafic.</p> | |
| K85 - ASMA Time Additional | <p>Le temps ASMA supplémentaire est une approximation du temps moyen d'attente sur la piste d'arrivée pour le flux de trafic entrant, pendant les périodes de congestion des aéroports.</p> <p>Il s'agit de la différence entre le temps ASMA réel d'un vol et un temps ASMA non entravé déterminé statistiquement sur la base des temps ASMA en période de faible demande de trafic.</p> | <p>Lors du contrôle des performances ASMA aux aéroports, il est important de noter que l'objectif n'est pas de réduire le temps ASMA au temps de référence non entravé - car cela pourrait avoir un impact négatif sur le débit de la piste - mais plutôt de réduire le temps ASMA supplémentaire et la consommation de carburant associée au minimum nécessaire.</p> |
| K86 - ASMA Time | <p>Arrival Sequencing and Metering Area (Séquence d'arrivée et zone de comptage)</p> <p>Le volume autour d'un aérodrome pris comme référence pour mesurer l'efficacité du traitement du flux d'arrivée. Il s'agit généralement d'un cylindre de 40 NM de rayon.</p> | |

Tableau 4.1 : KPI's en lien avec l'environnement chez skeyes (adapté de (Catalogue of (Key) Performance Indicators, skeyes))

4.1.2. KPI's environnementaux européens

De plus, EUROCONTROL met en avant un autre indicateur de performance intitulé “CO₂ emissions by State” qui est décrit comme suit :

“Les émissions de CO₂ ont été calculées à l'aide du SET (Small Emitters Tool) d'EUROCONTROL, qui permet d'estimer la consommation de carburant et les émissions de CO₂ associées pour un vol entier. Les résultats reflètent donc les émissions totales de CO₂ des vols contrôlés plutôt que les performances des ANSP/ATM.

Les émissions totales de CO₂ pour chaque État ont été calculées sur la base des vols IFR au départ facturés par le Bureau des redevances de route d'EUROCONTROL, du type d'aéronef et de la distance réelle parcourue (trajectoire complète de l'origine à la destination).

Par exemple, les émissions totales de CO₂ pour la trajectoire complète d'un vol de Bruxelles à New York seraient incluses dans les résultats pour la Belgique. En revanche, un vol de New York à Bruxelles ne sera PAS inclus dans les résultats pour la Belgique.” (EUROCONTROL Aviation Sustainability Unit, 2022)

Cet indicateur n'est pas très significatif au vu de sa méthode de comptage. En effet, les émissions sont rapportées au pays de départ du vol. Mais, par exemple, en ce qui concerne le cas de la Belgique, l'avion n'est pas contrôlé sur une longue durée par skeyes au vu de la petite grandeur de notre espace aérien. De plus, si le pays analysé opère énormément de vols long courrier alors ses émissions de CO₂ pourront être beaucoup plus élevées qu'un pays qui opère principalement des vols petit courrier.

Il est à noter que pour l'indicateur de performance clé qui est demandé dans le cadre légal européen, à savoir “Horizontal en-route flight efficiency”, il sera analysé par EUROCONTROL en fonction de deux sous-indicateurs à savoir le KEP et le KEA. (Voir tableau 4.2)

| <u>Sous-indicateur de performance</u> | <u>Explication</u> |
|--|--|
| KEP | L'indicateur d'efficacité de vol horizontal calculé en utilisant les derniers plans de vol déposés pour décrire les trajectoires |

| | |
|-----|---|
| KEA | L'indicateur d'efficacité de vol horizontal calculé à partir des trajectoires générées par les données radar. |
|-----|---|

Tableau 4.2 : Sous-indicateurs de performance utilisés pour l'Horizontal en-route flight efficiency (Source : EUROCONTROL)

4.2 Résultats

4.2.1 Cartographie conceptuelle des enjeux environnementaux pesant sur l'aviation

Au regard des différentes données provenant de la revue de la littérature et des données particulières liées aux indicateurs de performance clés environnementaux, il est intéressant d'élaborer une carte conceptuelle (Novak et Gowin, 1984) afin de visualiser au mieux les différents enjeux qui se dressent devant le monde de l'aviation en termes de développement environnemental.

Cette cartographie (Annexe 3) est tout d'abord basée sur les quatre piliers énumérés dans la revue de la littérature à savoir les technologies des avions, le carburant durable pour avions, les mesures basées sur le marché ainsi que les améliorations opérationnelles. En effet, ils constituent les quatre pistes qui gravitent autour du grand objectif environnemental européen à savoir une diminution des gaz à effet de serre de 56% afin de devenir le premier continent sans GHG en 2050.

Pour ce qui est des technologies des avions, il faudra principalement un remplacement de la flotte d'aéronefs consommateurs de beaucoup de carburant, du développement de nouveaux fuselages, carburant ou autres mais le résultat ne sera visible que sur le long terme.

Pour les SAF, une présentation simple de points positifs et négatifs ainsi que de l'objectif européen permettre de visualiser le challenge de ce domaine.

Les mesures basées sur le marché étant assez complexes et nombreuses, une analyse plus précise de ce domaine uniquement doit être réalisée.

Et enfin, les grandes améliorations opérationnelles seront présentées plus en détail dans la deuxième cartographie dédiée au secteur du contrôle aérien.

La cartographie conceptuelle est ensuite complétée plus précisément. Ce point fera donc un focus sur les améliorations opérationnelles qui sont les aspects principaux dans la réponse aux défis environnementaux pour les différents prestataires de services de la circulation aérienne.

La Free Route Airspace (FRA) représente la liberté dont dispose l'utilisateur dans sa trajectoire entre son entrée au point A et sa sortie au point B. Ce système permet de résoudre des problèmes d'environnement mais aussi d'efficacité et de capacité. En effet, une diminution des consommations de carburants ainsi que des émissions se produiront. L'espace aérien européen est à $\frac{3}{4}$ composé de cette FRA (EUROCONTROL, 2022).

Le Performance Based Navigation (PBN) est un point fondamental dans la réduction de l'impact environnemental. Cette méthode de vol, basée sur les signaux satellites au lieu d'équipements au sol qui envoient des signaux, va permettre aux différents aéronefs d'utiliser la trajectoire voulue au sein d'un réseau de points. Il est à noter que la navigation PBN sera obligatoire à partir du 1^{er} janvier 2024, avec une mise en œuvre totale en 2030.

Le Flexible Use of Airspace (FUA) ou Advanced Flexible Use of Airspace (AFUA) consiste dans le partage des données entre tous les partenaires (utilisateurs du ciel) aussi bien civils que militaires. C'est un réel partenariat entre les deux. Cela permet une gestion plus optimale de l'espace aérien avec une diminution des distances parcourues, du temps de vol ainsi que du carburant brûlé.

Les Continuous Descent/ Climb Operations permettent aux aéronefs de suivre des trajectoires de vol flexibles et optimales. Cela produira des avantages environnementaux et économiques majeurs grâce à la réduction de la consommation, des émissions de gaz et du bruit. Par exemple, une approche CDO utilisera une poussée minimale des moteurs via la réduction de paliers intermédiaires. Une étude de 2018 effectuée par EUROCONTROL démontre que la potentielle optimisation des CDO et CCO diminuerait de 1,1 million les tonnes de CO₂ émis et de 340 000 tonnes de fuels par an. Pour plusieurs raisons telles que la sécurité, la météo, les capacités des différents ANSP, il est impossible d'arriver à ce taux de 100%.

Enfin, les solutions SESAR représentent le développement et le déploiement de technologies pour transformer l'ATM européen. Le but étant de passer de l'architecture actuelle à l'architecture future (Annexe 4). Dans cette amélioration opérationnelle, nous pouvons

apercevoir qu'il existe une boucle dans la carte conceptuelle. Cela est dû au fait que les solutions SESAR permettent d'améliorer les différents autres points présents dans cette section.

4.2.3. Green performance map avec les indicateurs actuels

Il est à présent utile et essentiel de visualiser les aspects opérationnels de la cartographie conceptuelle en rapport avec les processus environnementaux déjà présents chez skeyes. Pour ce faire, un green performance map est réalisée à partir des différents KPI mis en place par cet ANSP dans sa gestion de la performance (figure 4.3).

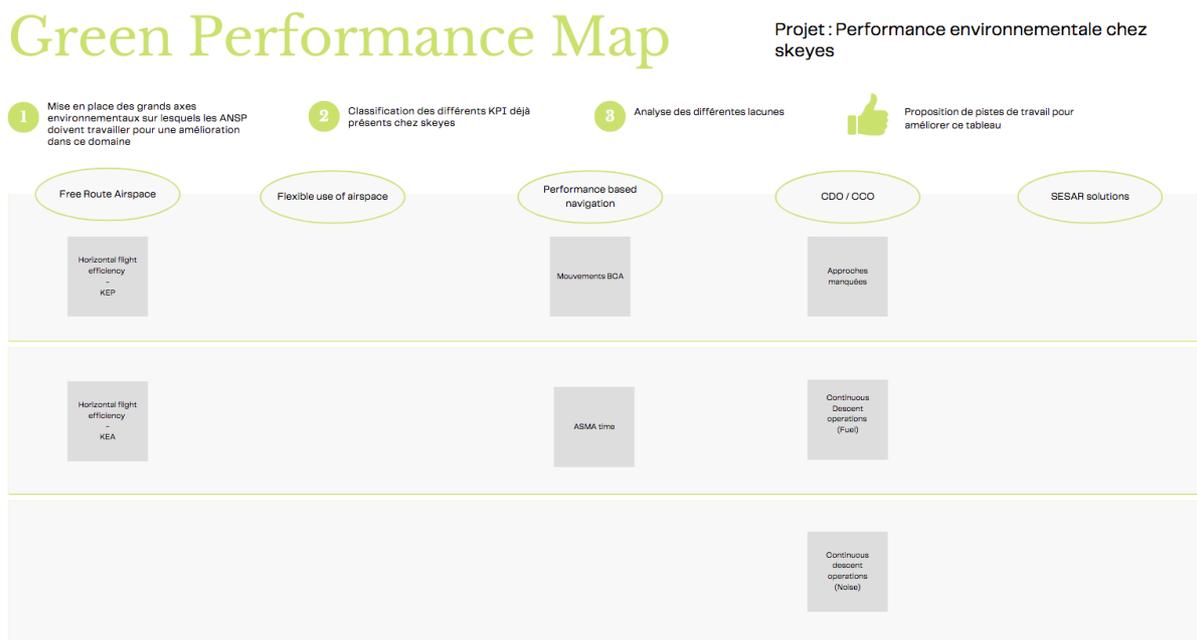


Figure 4.3 : Green performance map chez skeyes (Source : réalisation personnelle sur base de données skeyes)

Les lacunes sont clairement identifiables concernant les KPI environnementaux présents chez skeyes. Le pilier « Flexible use of airspace » ne possède actuellement aucun indicateur permettant de le mesurer, de le contrôler et de le comparer. Il n'y a également aucun moyen mis en œuvre afin de promouvoir l'utilisation des SESAR solutions.

4.2.4. Green performance map avec l'ajout des objectifs potentiels

Nous pouvons apercevoir dans la green performance map présentée au point précédent qu'il existe plusieurs pistes d'améliorations possibles.

Il est donc utile ici d'améliorer celle-ci avec de nouveaux points de recherche qui pourront par la suite être implantés dans le système de gestion de la performance via de nouveaux KPI clairs. Les améliorations (figure 4.4) sont élaborées en concordance avec des propositions existantes dans les nombreuses solutions SESAR présentes de le « SESAR solutions catalogue 2021 ».

Ceux choisis sont donc principalement :

- Permettre à l'utilisateur de choisir sa route
- Advanced flexible use of airspace
- Advanced short-term ATFCM measures
- Amélioration de l'échange de créneaux pour la gestion des flux de trafic aérien
- Time-based separation
- Base de référence pour les gestionnaires de départs

Green Performance Map

Projet : Performance environnementale chez skeyes



Figure 4.4 : Green performance map chez skeyes améliorées de propositions environnementales (Source : réalisation personnelle sur base de données skeyes)

Six indicateurs ont été proposés dans ce tableau pour le pilier FUA :

KPI 1 : Optimum en besoin d'espace aérien partagé pour la Défense par rapport à l'espace aérien actuellement disponible

- Visualisation des besoins de chacun par rapport à l'état actuel

KPI 2 : Pourcentage d'espace aérien partagé qui a été utilisé par rapport au total disponible

- Visualisation par la Défense si un espace aérien partagé est trop utilisé
- Visualisation par le civil des possibilités d'utilisation supplémentaire possibles

KPI 3 : Pourcentage d'espace aérien partagé demandé par la Défense réellement alloué pour eux

- Visualisation de la collaboration Défense/civil

KPI 4 : Pourcentage d'espace aérien partagé réellement utilisé par la Défense après une demande (en termes de superficie)

- Contrôler si la Défense ne réserve pas trop d'espace pour ses exercices

KPI 5 : Pourcentage d'espace aérien partagé réellement utilisé par la Défense après une demande (en termes de temps)

- Contrôler si la Défense ne réserve pas trop de temps pour ses exercices

KPI 6 : Mesure du temps de transition entre les deux types de partage

- Optimisation de l'utilisation de l'espace aérien

La deuxième grande lacune étant le non-contrôle dans la recherche et développement environnemental via les SESAR solutions, cinq grands points ont été ajoutés dans la figure 4.4 :

KPI 1 : Taux de participation aux « knowledge hub » organisés

- Favoriser la R&D via des entraides

KPI 2 : Nombre de solutions SESAR directement implémenté chez skeyes

- Contrôler l'implémentation réelle des processus d'améliorations

KPI 3 : Nombre de KPI développés par skeyes pour une solution SESAR

- Contrôler la performance du service dans le suivi des améliorations

KPI 4 : Nombre de contrôleurs participant aux refreshing trainings

- Suivre la participation de tous les contrôleurs aux différentes sessions expliquant les nouveautés de procédures ou autres à leur disposition

KPI 5 : Nombre de notes de knowledge monitoring validées par les contrôleurs

- Suivre la prise de connaissance par les contrôleurs au début de leur shift, des notes d'améliorations opérationnelles journalières

Deux autres KPI font également leur apparition dans ce tableau à savoir :

- Pour le pilier FRA : Pourcentage de vols réalisés en application du FRA
- Pour le pilier CDO / CCO : Continuous climb operations

Chapitre 5 : Discussion

Les prestataires de services de la circulation aérienne ont donc un rôle qui peut sembler minime au vu des pourcentages prévus de leur impact, 6-8% (EUROCONTROL, 2020), mais il est néanmoins crucial dans la diminution complète de la pollution dans l'avion. En effet, un des 4 grands piliers présentés précédemment est presque exclusivement réservé à ceux-ci, à savoir les améliorations opérationnelles.

Les réglementations européennes ou nationales en termes d'environnement ne sont pas très conséquentes mais celles existantes ne sont pas forcément objectives. En effet, leur analyse à l'échelle européenne, en comparant les différents ANSP entre eux, n'a pas vraiment de sens. Chacun d'entre eux a ses différences, spécificités et complexités qui font que chaque espace aérien aura sa propre gestion. Le fait de considérer tous les prestataires de services du contrôle aérien en tant que grande entité unique pour analyser leur performance ne sera pas concluant pour certains ANSP qui auront plus de contraintes. Ce qui est le cas du ciel belge qui est très complexe (carte des couloirs aériens disponible en figure 5.1) au vu de sa petite dimension ainsi que de certaines zones militaires en faisant partie. Par conséquent, lors d'exercices militaires aériens certaines parties du ciel peuvent également être réservées à des moments précis selon les besoins. Pour résoudre cette complexité et permettre une gestion de son ciel plus performante tant au niveau opérationnel qu'environnemental, skeyes doit gérer au mieux les FUA. C'est pourquoi l'apport de KPI dans ce domaine est primordial pour diminuer les dégâts environnementaux provoqués par l'aviation sur notre territoire.

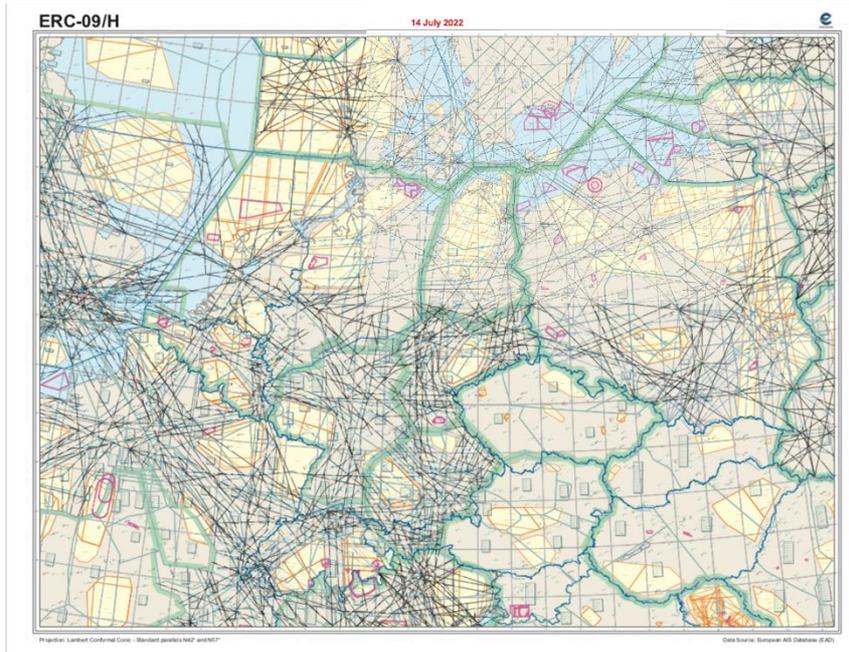


Figure 5.1 : couloirs sur l'espace aérien Benelux et Allemagne (Source : EUROCONTROL)

Il sera donc plus cohérent pour visualiser les performances environnementales de chaque ANSP de les prendre un par un. Chacun va devoir développer ses propres indicateurs clés de performance avec des objectifs à atteindre fixés eux-mêmes en collaboration avec les autorités compétentes. En effet, si à l'heure actuelle, le ministre belge des transports regarde l'indicateur européen « CO₂ emissions by State » et le compare aux autres états européens, il trouvera que la Belgique est très mauvaise, en termes de CO₂ émis dans notre espace aérien. En réalité, comme stipulé précédemment, la Belgique se voit octroyer les émissions de vols long courrier par exemple alors qu'ils ne sont que très peu de temps sur son espace aérien.

Néanmoins, des tables rondes doivent être organisées avec les partenaires européens afin d'innover dans les nouvelles technologies et de les implanter au mieux dans leur propre gestion. Les cinq grands axes pour le développement de la gestion aérienne d'un point de vue environnemental doivent être en constante amélioration afin d'atteindre les grands objectifs verts fixés par la Commission européenne. C'est pourquoi les KPI proposés pour stimuler la recherche et développement via les solutions SESAR sont cruciaux pour l'avenir. C'est par là que skeyes devra se développer pour pouvoir atteindre et anticiper les objectifs futurs.

De plus, les ANSP sont confrontés à d'autres problèmes qui vont les freiner dans ce développement environnemental. En effet, les compagnies aériennes doivent également suivre

les aménagements mis en place par les contrôleurs aériens afin de limiter la pollution. Mais ce n'est pas toujours le cas. Certaines compagnies gardent, par exemple, toujours les mêmes procédures de vols que précédemment et par conséquent, les pilotes ne pourront pas forcément suivre les conseils environnementaux de vols tels que des Continuous Descent Operations ou Continuous Climb Operations. Une collaboration est donc primordiale avec ces partenaires afin de diminuer les effets polluants de l'aviation.

Afin de pouvoir développer des indicateurs clés de performance environnementale qui soient les plus proches de la réalité que possible, il faudrait également disposer des données, comme par exemple, le poids des avions, la quantité de carburant dans les réservoirs de l'avion pour chaque phase de vol (pour pouvoir isoler les phases d'approche par exemple et ainsi vérifier les effets de CDO), etc. Mais cela s'avère pour le moment, une tâche compliquée étant donné que ces diverses informations sont tenues « off the record » par les compagnies aériennes dans le but de garder certains avantages concurrentiels et économiques sur leurs concurrents.

Le mot d'ordre pour atteindre les différents objectifs environnementaux est donc la collaboration. Sans cela, ni les prestataires de services de la circulation aérienne, ni les compagnies aériennes, ni les concepteurs d'avions ne pourront être au maximum de leurs possibilités. Tout le monde doit contribuer à (faire) changer les choses et surtout ensemble.

Chapitre 6 : Conclusion

Les différents ANSP européens ont donc bien un rôle important à jouer dans les démarches environnementales à réaliser afin d'améliorer l'espérance de vie de notre planète. Cela devra se faire par différents processus dans la gestion de la circulation aérienne. Ils possèdent 5 grands axes sur lesquels ils peuvent travailler à savoir le free route airspace, le performance based navigation, le flexible use of airspace, les continuous descend/climb operations ainsi que les solutions SESAR.

En plus des recherches et développement sur ces sujets, les prestataires européens doivent également travailler sur la façon dont ils pourront être contrôlés et analysés afin d'être le plus efficace possible. Par contre, ces systèmes de gestion de la performance devront être adaptés aux spécificités de chaque ANSP au vu de ses structures, stratégies, environnements et cultures propres. Une approche sur-mesure est donc nécessaire.

Ensuite, l'analyse des indicateurs clés de performance mis en place pourront aider ces prestataires dans l'apprentissage et l'amélioration (régulation) de leur contrôle aérien afin d'être irréprochable d'un point de vue environnemental.

Pour ce qui concerne l'ANSP skeyes plus précisément, ils doivent répondre à leur déficit de contrôle pour ce qui concerne le flexible use of airspace. Sans la mise en place de KPI et de suivis significatifs dans cette approche, les améliorations continues en termes d'environnement seront bloquées dans le futur. De plus, il doit y avoir une réelle stimulation via certains indicateurs pour favoriser la recherche et développement dans les knowledge hub organisés par différentes structures en lien avec l'aviation.

Pour conclure, il est également nécessaire de notifier que les ANSP ne peuvent, néanmoins, pas être efficaces à 100% dans les différentes démarches environnementales au regard de certains biais qui entre en compte telles que la sécurité entre les avions (distance de sécurité), la météo qui peut amener à des modifications de plan de vols, les procédures des compagnies aériennes et la capacité des différentes infrastructures.

Références

- Akinsanya, C. et Williams, M. (2004). *Concept mapping for meaningful learning*. *Nurse Education Today* (2004) 24, 41–46
- Aubin, D. et Lohest, F. (2011). La régulation de l’aviation civile en Belgique. *Courrier hebdomadaire du CRISP* 2011/35-36 (n°2120-2121) pages 5 à 101.
- Dagenais, C et al. (2009) *La méthode de cartographie conceptuelle pour identifier les priorités de recherche sur le transfert de connaissances en santé des populations : Quelques enjeux méthodologiques*. *The Canadian Journal of Program Evaluation* Vol. 23 No. 1 Pages 61–80
- EEA, 2021. *Greenhouse gases- data viewer*. [Online]
Disponible sur <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>
[Consulté 4 avril 2022]
- EUROCONTROL, (2019). *Think Paper #4 – The aviation network – Decarbonisation issues*.
- EUROCONTROL, (2020). *Performance review report (PRR) 2019*.
- EUROCONTROL, (2022). *Advanced flexible use airspace*. [Online]
Disponible sur <https://www.eurocontrol.int/concept/advanced-flexible-use-airspace>
[Consulté 22 juillet 2022]
- EURONCONTROL, (2022). *Continuous climb and descent operations*. [Online]
Disponible sur <https://www.eurocontrol.int/concept/continuous-climb-and-descent-operations>
[Consulté 25 avril 2022]
- EURONCONTROL, (2022). *CO₂ emissions by state*. [Online]
Disponible sur <https://ansperformance.eu/reference/dataset/emissions/>
[Consulté 25 avril 2022]
- EUROCONTROL, (2022). *Free route airspace*. [Online]
Disponible sur <https://www.eurocontrol.int/concept/free-route-airspace>
[Consulté 22 juillet 2022]
- EUROCONTROL, (2022). *Performance based navigation*. [Online]
Disponible sur <https://www.eurocontrol.int/concept/performance-based-navigation>
[Consulté 22 juillet 2022]
- European Commission, (2019). *Green Deal – COM(2019) 640 final*.
- European Commission, (2019). *Règlement d’exécution (UE) 2019/317 de la commission, annexe IV, 1.2*.
- European Commission, (2020). *COM(2020) 562 final – plan cible climat horizon 2030*.
- European Commission, (2021). *Proposal for a regulation of the European and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport*.
- Herremans, I., et al. (1999). *How an environmental report can help a company ‘learn’ about its own environmental performance*. *Eco-Mgmt. Aud.*6, 158–169

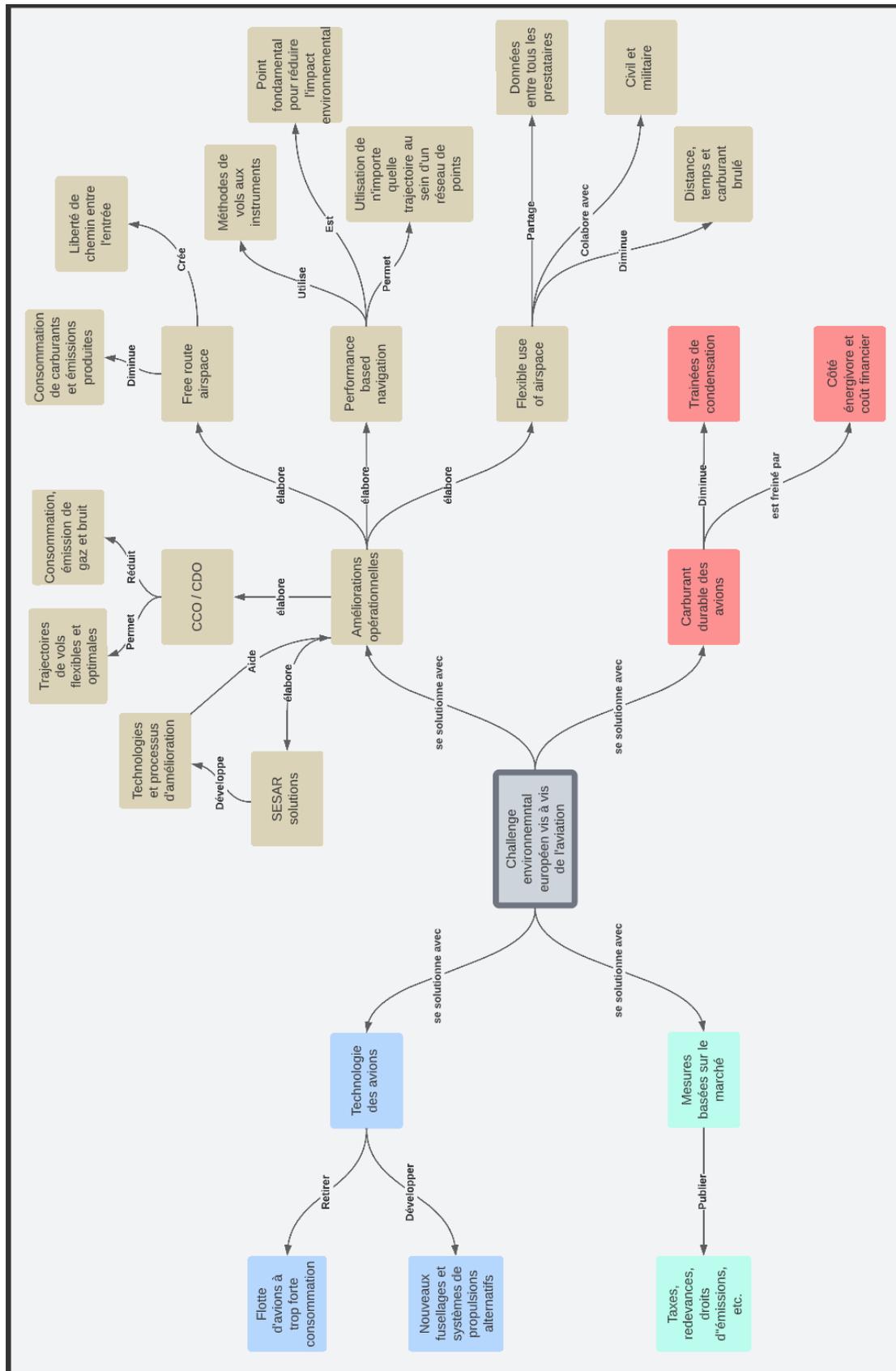
- Hooper, P., et Greenall, A. (2005). *Exploring the potential for environmental performance benchmarking in the airline sector. Benchmarking: An International Journal* Vol. 12 No. 2, 2005 pp. 151-165
- Hřebíček, J., et al. (2007). *Environmental Key Performance Indicators and Corporate Reporting*
- IATA, (2021). *Working towards ambitious targets*. [Online]
Disponible sur <https://www.iata.org/en/programs/environment/climate-change/>
[Consulté 4 avril 2022]
- ICAO, (2010). *Climate change*. [Online]
Disponible sur <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/climate-change>
[Consulté 5 avril 2022]
- ICAO, (2021). *Aviation green transition – Chartering a path to sustainable flying future* ICAO, (2021). *Climate change technology Standards*. [Online]
Disponible sur https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/ClimateChange_TechnologyStandards.aspx
[Consulté 5 avril 2022]
- Kaplan, R. et Norton, D. (1992) *The Balanced Scorecard - Measures That Drive Performance*. HARVARD BUSINESS REVIEW January-February 1992
- Kurdve, M. et Wiktorsson, M. (2013). *Green performance map: visualizing environmental KPI's*. 20th International EurOMA Conference in Dublin, Ireland, 7-12 June 2013
- Lee, D., et al. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *ScienceDirect*.
- Nations Unies, (2021). *Transport report*.
- Novak, D. (1990). *Concept mapping: a usefull tool for science education*. JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING VOL. 27, NO. 10, PP. 937-949 (1990)
- Rendall, E et al. (2006). *International Bus System Benchmarking: Performance Measurement Development, Challenges, and Lessons Learned*. Paper submitted for Transportation Research Board 86th Annual Meeting (2007)
- Ritchie, H. (2020). Climate change and flying: what share of global CO2 emissions come from aviation?. *Our world in data*.
- Rodrigues, V et al. (2016). *Process-related key performance indicators for measuring sustainability performance of ecodesign implementation into product development*. Journal of Cleaner Production Volume 139, 15 December 2016, Pages 416-428
- SESAR Joint Undertaking, (2021). *SESAR solutions catalogue 2021*.
- skeys, (2020). *About us*. [Online]
Disponible sur <https://www.skeyes.be/en/about-us/>
- Nair, S. et Paulose, H. (2013). *Emergence of green business models: The case of algae biofuel for aviation*. Energy Policy
- Watson, G. (1989). *What is... Concept mapping ? Medical Teacher, Vol. 11, No. 3/4*

Annexes

Annexe 1 - Acronymes

| <u>Acronymes</u> | <u>Nom complet</u> | <u>Introduit la première fois (page)</u> |
|------------------|---|--|
| ANSP | Air Navigation Service Providers | 5 |
| FAB | Functional Airspace Bloc | 5 |
| GIEC | Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat | 7 |
| CO ₂ | Dioxyde de carbone | 10 |
| NOX | Oxyde d'azote | 10 |
| GB | Grande Bretagne | 10 |
| GHG | Green House Gas | 10 |
| EEA | European Economic Area | 11 |
| IATA | International Air Transport Association | 11 |
| ICAO | International Civil Aviation Organisation | 11 |
| SAF | Sustainable Aviation Fuel | 12 |
| EU | European Union | 13 |
| ATM | Air Traffic Management | 13 |
| PBN | Performance based navigation | 13 |
| FRA | Free route airspace | 13 |
| FUA | Flexible use of Airspace | 13 |
| CCO | Continuous climb operations | 14 |
| CDO | Continuous descent operations | 14 |
| AR6 | Sixth assessment report | 14 |
| KPI | Key performance indicator | 17 |
| IFR | Instrument flight rule | 17 |
| ASMA | Arrival sequencing and metering area | 17 |
| BCAA | Belgian Civil Aviation Authority | 25 |
| ATCO | Air traffic controller | 25 |
| VTT | Variable taxi time | 26 |
| FL | Flight level | 26 |
| EBBR | Brussels Airport | 26 |
| EBCL | Charleroi Airport | 26 |
| EBLG | Liège Airport | 26 |
| SET | Small emitters tool | 28 |
| KEP | Key performance environment indicator based on last filed flight plan | 28 |

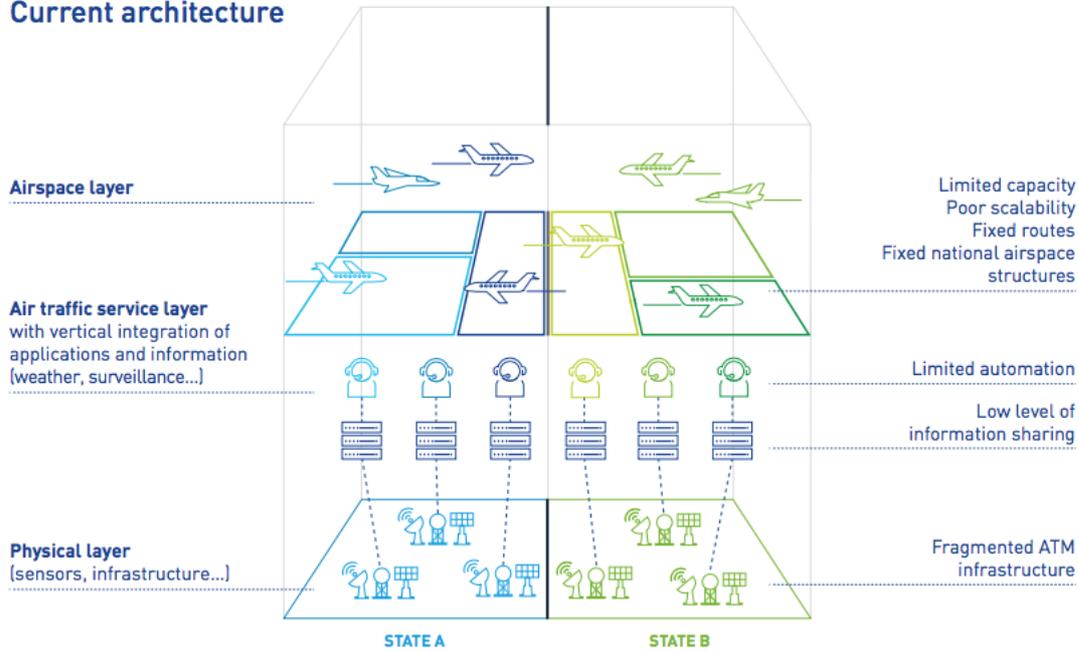
Annexe 3 – Cartographie conceptuelle des enjeux environnementaux pesant sur l’aviation
(création personnelle faite à partir de différentes revues de la littérature)



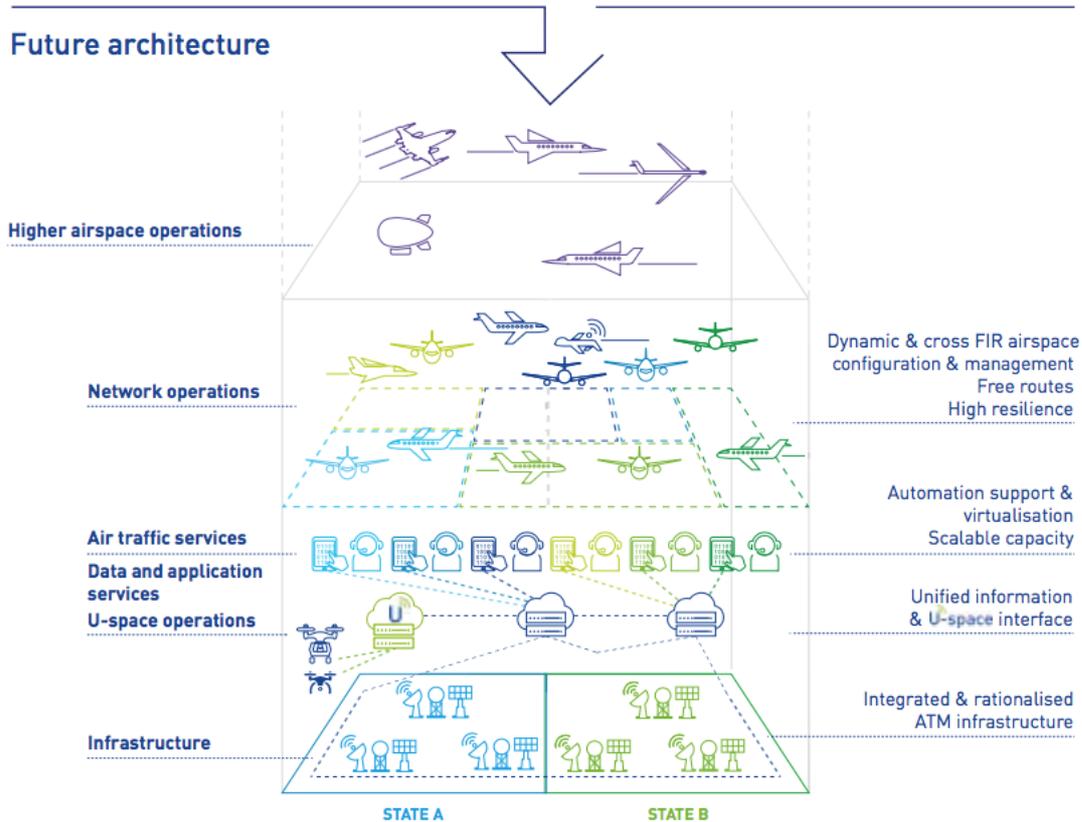
Annexe 4 - Evolution of the European sky (European ATM master plan 2020 – SESAR)

EVOLUTION OF THE EUROPEAN SKY

Current architecture



Future architecture



Annexe 5 – Balanced score card chez skeyes (Source : skeyes)

