

---

# Les impacts des changements climatiques sur l'aviation en Suisse

*Que disent les projections actuelles ? Faut-il accroître la résilience du secteur ?*



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'aviation civile OFAC

**Illustrations**

Selon sources indiquées

**Photos non référencées**

Photo de la page de titre: OFAC Hiltbrunner

Photo de l'introduction : OFAC Rwakabayiza

Photo de la conclusion : OFAC Hiltbrunner

Cette publication existe également en allemand et en italien.  
La langue originale est le français.

© Office fédéral de l'aviation civile (OFAC)  
Berne, 2019

## Résumé

Le présent document vise à exposer, en l'état des connaissances actuelles, les changements climatiques en Suisse qui pourraient affecter le secteur de l'aviation. L'évolution projetée de la température, des précipitations, du vent, et des phénomènes à fort impact mais petite échelle spatio-temporelle tels que ceux liés aux orages, y est décrite et reliée aux effets potentiels sur les infrastructures, opérations, et autres composants liés à l'activité aéronautique. Il en ressort que la Suisse n'est pas considérée comme le pays où l'aviation est la plus exposée aux aléas climatiques, mais qu'elle présente tout de même certains facteurs de risque qui pourraient être exacerbés selon le niveau de réchauffement. Cela montre l'utilité d'une intégration des changements climatiques dans la gestion des risques des aéroports suisses, qui prendrait bien sûr en compte leurs particularités et les projections climatiques locales. Cette gestion des risques climatiques est abordée en fin de document, par le biais d'un chapitre dédié à la résilience.

## Table des matières

1. Introduction .....	1
2. Changements climatiques et impacts sur l'aviation.....	1
2.1. La température .....	3
2.2. Les précipitations .....	6
2.3. Les vents de surface .....	8
2.4. Les orages et autres phénomènes météorologiques à fort impact sur l'aviation.....	9
3. Résilience et stratégies d'adaptation .....	10
4. Conclusion .....	11
5. Références.....	13



## 1. Introduction

L'aviation tient une place particulièrement importante dans la société et l'économie suisse. Près de 57.6 millions de passagers (locaux et en transfert) et environ 1.4 millions de décollages et atterrissages étaient enregistrés en 2018. Les infrastructures suisses, qui comptent trois aéroports nationaux, onze aéroports régionaux, cinq aérodromes militaires avec utilisation civile, quarante-quatre champs d'aviation et vingt-cinq héliports, ainsi que les opérations qui s'y déroulent, sont exposées à des conditions climatiques changeantes.

L'aviation, comme tout secteur qui exploite des énergies fossiles, participe au réchauffement climatique. Or, ce réchauffement présente aussi des risques pour l'aviation, qui, malgré qu'il soit habitué aux perturbations météorologiques, est un domaine sensible aux changements du climat. Une modification durable des paramètres météorologiques peut entre autres engendrer des impacts (souvent négatifs) sur les infrastructures aéroportuaires, sur les opérations, ainsi que sur les activités économiques liées à l'aviation. Les risques liés aux changements climatiques sont considérés pour le secteur de l'aviation comme inférieurs à ceux de certaines régions du monde (p. ex. pays côtiers, pays tropicaux), mais certains effets qui dépendent du niveau de réchauffement peuvent être envisagés.

La résilience représente la capacité d'un système à absorber une perturbation, à s'adapter. La nécessité de renforcer la résilience globale du secteur de l'aviation face aux manifestations grandissantes du réchauffement climatique est reconnue. La conscience du problème se développe en parallèle aux projections climatiques qui se précisent. Eurocontrol relevait ainsi en 2018 qu'une majorité des organisations européennes interrogées (86%) reconnaissent que des actions d'adaptation pourraient devenir nécessaires dès à présent ou à l'avenir. Cependant, seuls 52% des organisations avaient commencé à les planifier (Eurocontrol, 2018). L'accroissement de la résilience du secteur de l'aviation est nécessaire afin d'anticiper les changements. L'intégration de mesures d'adaptation entre dans les buts de l'Accord de Paris (2015), qui inclut un objectif d'adaptation globale face aux changements climatiques. Un nouveau chapitre sur la

résilience et l'adaptation du secteur aéronautique a également récemment été inclus dans le Manuel de planification d'aéroport de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI, DOC 9184).

L'objectif du présent document est de donner un aperçu de l'état des connaissances sur les changements climatiques projetés en Suisse qui pourraient affecter le secteur de l'aviation jusqu'à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle. Ainsi, l'évolution des paramètres et phénomènes météorologiques les plus importants (soit la température, les précipitations, les vents, les orages), y est mise en relation avec les effets potentiels engendrés sur les infrastructures et activités aéronautiques. Des premières pistes de réflexion à l'intention des parties prenantes quant à la gestion des risques climatiques des aérodromes en Suisse sont également abordées dans la dernière partie.

## 2. Changements climatiques et impacts sur l'aviation

Le changement climatique, dérèglement climatique, ou réchauffement climatique sont des termes généraux qui décrivent les modifications durables du système climatique global. Il s'agit en grande partie d'une conséquence directe de la hausse de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre d'origine anthropique. Le changement climatique a pour effet la modification durable de nombreux paramètres météorologiques interdépendants, dont la température, les paramètres liés au cycle de l'eau ou encore ceux liés aux vents. De par la nature hétérogène de la planète, les effets des changements climatiques varient au niveau spatial. La vulnérabilité face à ces changements varie elle aussi en fonction du type et de la répartition des infrastructures humaines.

Les modifications principales des paramètres météorologiques qui pourraient affecter globalement le secteur de l'aviation peuvent être résumées en deux catégories :

- Modification des paramètres météorologiques moyens (dont la température, les précipitations, la vitesse et la direction des vents).

- Modification de la fréquence et de l'intensité de phénomènes extrêmes (vagues de chaleur, sécheresses, orages, tempêtes, etc.).

L'aviation est un secteur dont le bon déroulement des opérations dépend directement des conditions atmosphériques et dont les infrastructures sont sensibles à certaines modifications ponctuelles ou durables des conditions météorologiques. Les effets sur l'aviation peuvent être classés selon plusieurs catégories (non-exhaustives) (ACRP, 2012; Eurocontrol, 2018) :

- Dommages aux infrastructures
- Perturbation des opérations
- Modification de l'impact environnemental
- Redistribution de la demande
- Impacts financiers

#### LES RISQUES LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Outre leurs impacts sur les écosystèmes, les changements climatiques présentent des impacts sur les humains, sur les infrastructures humaines et sur les activités. Dans le domaine environnemental, un risque est défini comme la probabilité que des conséquences néfastes (humaines, sociales, économiques, environnementales) puissent se produire avec la réalisation d'un phénomène naturel (aléa) dangereux (danger naturel). Lié aux interactions entre trois facteurs principaux qui sont l'aléa, l'exposition et la vulnérabilité, le risque peut être résumé ainsi (CH2018, 2018):

$$\text{Risque} = f(\text{aléa}, \text{exposition}, \text{vulnérabilité})$$

Le risque est donc fonction de l'aléa (en particulier de sa probabilité d'occurrence et de son intensité); de l'exposition ou autrement dit, de la distribution géographique des humains et des infrastructures et de la vulnérabilité, qui décrit le degré auquel l'exposition est affectée par un aléa spécifique.

Les risques liés aux changements climatiques peuvent être réduits sur le long terme en agissant sur une atténuation de l'aléa (réduction des émissions de gaz à effet de serre). A court terme, seules des stratégies de réduction de l'exposition et de la vulnérabilité sont efficaces.

#### Le cas suisse

Les projections de l'évolution des paramètres climatiques en Suisse exploitées dans ce document proviennent du rapport technique CH2018 du National Centre for Climate Services (NCCS). L'hétérogénéité spatiale de la topographie suisse se répercute sur les projections climatiques régionales. Les modèles climatiques à haute résolution utilisés permettent de distinguer certains gradients au niveau spatial. Il faut cependant garder à l'esprit que les projections présentent toujours une incertitude, dont la grandeur dépend du phénomène en question. Les phénomènes climatiques sont en effet complexes et les manifestations du réchauffement peuvent se concentrer sur certaines périodes (clustering) alors que la situation était « normale » pendant de nombreuses années.

Les principaux impacts projetés des changements climatiques sur l'aviation au niveau suisse proviennent des modifications des températures et des précipitations (projections les plus fiables). Les conséquences de ces changements s'étendent de la diminution de la performance des avions à la modification de l'impact environnemental (p.ex. bruit, émissions atmosphériques), en passant par la réduction de la capacité aéroportuaire. L'évolution des phénomènes à fort impact mais petite échelle spatio-temporelle tels que la convection et ses différents effets potentiels (cisaillement du vent à faible altitude, foudre, grêle, turbulences en air clair ou orographiques, givrage, faible visibilité, plafond bas) reste d'une manière générale encore difficile à projeter à l'heure actuelle (OMM, 2016).

La majorité des changements climatiques cités et illustrés dans ce document sont basés sur le scénario RCP8.5 («Representative Concentration Pathway 8.5», cf. encadré suivant) élaboré par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ce scénario est utilisé car il est probable à l'heure actuelle et que la prise en compte du pire scénario est pertinente dans les stratégies de gestion du risque (cf. encadré suivant). Les conséquences sur l'aviation décrites sont focalisées sur l'espace aérien suisse et l'infrastructure correspondante. Les diverses contraintes opérationnelles causées par les changements climatiques à l'extérieur de la Suisse (p. ex. hausse du niveau des mers) ne sont pas traitées.

## MODÈLES CLIMATIQUES, SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS ET GESTION DES RISQUES

De par la nature complexe du climat, il est nécessaire de distinguer les fluctuations naturelles à court terme du climat et les changements climatiques à long terme. Les conditions météorologiques varient fortement à petite échelle spatio-temporelle et la fiabilité des prévisions diminue très rapidement. De même que pour les prévisions météorologiques mais à une échelle temporelle beaucoup plus grande, des modèles climatiques sont développés afin de simuler l'évolution des conditions climatiques à long terme. Il n'est pas possible de connaître la météo à une date lointaine donnée, mais il est possible d'établir des statistiques météorologiques, autrement appelées prévisions climatiques (Académie suisse des sciences, 2016). Ces prévisions sont issues de modèles complexes mais restent une simplification de la réalité. Elles présentent par conséquent une certaine incertitude, qui est aussi causée en grande partie par la variabilité météorologique naturelle à court terme.

L'évolution des émissions anthropiques de gaz à effet de serre est également source d'incertitude. C'est pourquoi des scénarios d'émission ont été développés par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Ils correspondent à des séries temporelles d'évolution de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre suivant certaines hypothèses. Les scénarios d'émissions les plus optimistes et pessimistes sont les deux scénarios RCP (pour Representative Concentration Pathways) suivants (IPCC, 2018):

- RCP2.6. Il caractérise l'évolution de la concentration atmosphérique de gaz à effet de serre en cas de mesures significatives de protection du climat (avec respect des objectifs de l'Accord de Paris sur le climat (2015)).
- RCP8.5. Il caractérise une situation sans changement de politiques de protection du climat, avec une continuité de croissance des émissions de gaz à effet de serre.

Il apparaît souvent que le scénario RCP8.5 soit plus à même de montrer les variations entre les conditions climatiques d'une période de référence et celles d'une période d'étude projetée. Il permet en effet d'observer un contraste davantage prononcé en terme de variations spatiales et temporelles des signaux, grâce à l'amplification de ces derniers. Le scénario RCP8.5 est également le scénario crédible et probable à l'heure actuelle, puisqu'il correspond au réchauffement projeté en cas de continuité de la croissance actuelle des émissions de gaz à effet de serre (Climate Action Tracker, 2017). L'exploitation du pire scénario envisageable joue aussi un grand rôle en gestion du risque. La stratégie du moindre regret, souvent utilisée, passe en effet par l'identification des risques de pertes les plus grands.

### 2.1. La température

La hausse actuelle de la température globale est une conséquence directe de l'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre, qui engendre une modification du forçage radiatif terrestre (rayonnement entrant > rayonnement sortant). En Suisse, il existe des données temporelles fiables de température depuis 1864. La sensibilité face au réchauffement globale y est particulière puisque la hausse de température depuis cette époque est chiffrée à 2°C, soit un chiffre plus de deux fois plus élevé que la hausse de température moyenne globale de 0.9°C (CH2018, 2018). L'amplitude du réchauffement futur dépend fortement du scénario d'émission considéré. En effet,

la hausse de la température moyenne annuelle en Suisse entre la période préindustrielle et la fin du 21<sup>ème</sup> siècle (2070-2099) est chiffrée de 2.1°C à 3.4°C selon le scénario RCP2.6 et pourrait atteindre 6.9°C selon le scénario RCP8.5 (CH2018, 2018).

Le réchauffement projeté en Suisse affecte les quatre saisons et l'ensemble du territoire. Le réchauffement maximal se produit l'été. La Figure 1 expose les variations spatiales et saisonnières projetées de la température à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle (RCP8.5). Le réchauffement moyen le plus élevé se concentre sur la région alpine.

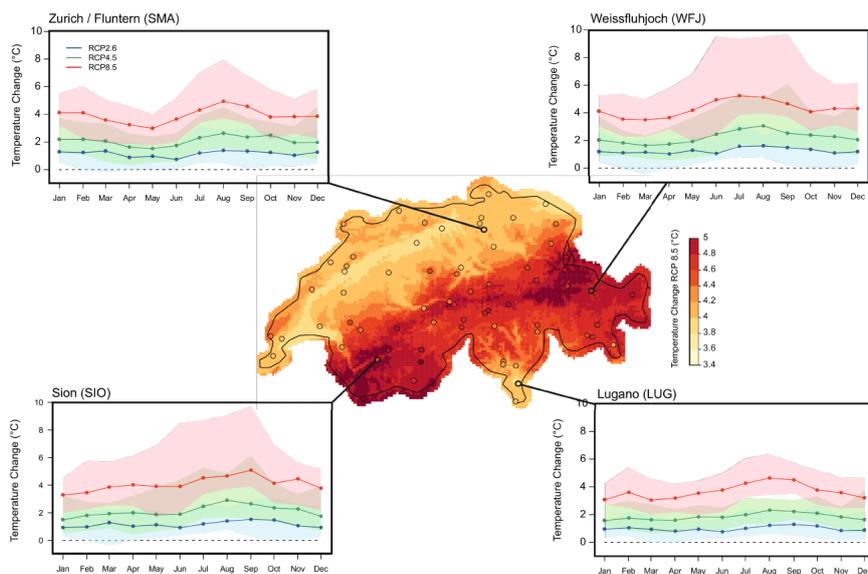


Figure 1: Au centre : changement de température moyenne simulé en Suisse (combinaison multi-modèle, projection médiane) entre la période de référence (1981-2010) et la fin du 21<sup>ème</sup> siècle (2085), selon le scénario RCP8.5. Les graphiques en coin indiquent les variations mensuelles de température projetées pour différentes stations. (CH2018, 2018).

Les projections climatiques en Suisse montrent que les températures maximales auront tendance à augmenter davantage que les températures moyennes. Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de fortes chaleurs est donc prévue. Différentes projections l'indiquent, telles que celle de l'augmentation de la température du jour le plus chaud de l'année ou que celle de l'augmentation du nombre de journées tropicales (température supérieure à 30°C). Ainsi, la Figure 2 montre la variation spatiale de l'augmentation projetée du nombre de journées tropicales en Suisse entre la période de référence (1981-2010) et le milieu du 21<sup>ème</sup> siècle (RCP8.5) (NCCS, 2018). Cette manifestation du réchauffement se produit majoritairement dans les régions de basses altitudes, en particulier en région genevoise et dans les vallées alpines basses (vallée du Rhône, zone de confluence Rhin antérieur et postérieur, vallées tessinoises).

L'augmentation des températures moyennes et instantanées va de pair avec la réduction de la fréquence et de l'intensité des vagues de froid mises en évidence par les modèles climatiques. L'isotherme du zéro degré en hiver pourrait lui augmenter de 400 à 650 mètres au milieu du siècle et de 700 à 1050 mètres à la fin du siècle (RCP8.5) (NCCS, 2018).

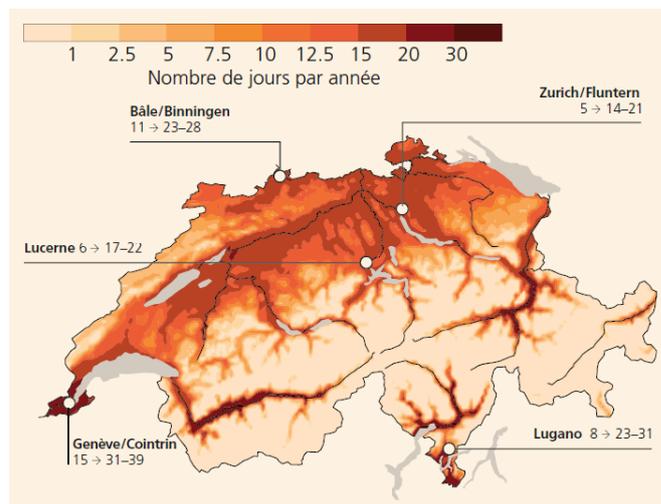


Figure 2: Evolution simulée du nombre de journées tropicales en Suisse entre la période de référence (1981-2010) et le milieu du 21<sup>ème</sup> siècle (2060) selon le scénario RCP8.5. (NCCS, 2018)

### QUELLES CONSÉQUENCES SUR L'AVIATION ?

Les conséquences d'une élévation de température moyenne ainsi que d'une hausse de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur dépendent du niveau de réchauffement. La localisation de l'aérodrome définit également son exposition. Certains effets cités peuvent être réduits ou amplifiés selon la situation géographique.

- Une augmentation de température, à altitude constante, a pour conséquence principale une diminution de la performance des moteurs et une réduction de la portance aérodynamique des appareils. Ces effets sont accentués par une l'humidité de l'air potentiellement plus grande (cf. chap. 2.2.). Cette baisse de densité de l'air peut seulement être compensée jusqu'à une certaine limite et par certains moteurs (p. ex. turboréacteurs, turbopropulseurs, moteurs à pistons turbocompressés). Mais selon l'intensité d'un épisode de forte chaleur, l'altitude d'un aérodrome donné, la longueur des pistes, le type d'avion (et son domaine de vol certifié), des restrictions opérationnelles temporaires ou durables peuvent devenir nécessaires. Ce risque est supérieur pour des infrastructures aéronautiques à haute altitude équipées de pistes courtes.
- Une hausse des émissions sonores et des émissions atmosphériques est aussi une conséquence de la baisse de densité de l'air. En effet, pour produire la même poussée à une température supérieure, un moteur doit fonctionner à plus haut régime.
- Une hausse des températures influence les besoins potentiels en refroidissement des infrastructures aéroportuaires. Une croissance de la demande en climatisation (c.-à-d. d'énergie) est à prévoir pendant la saison estivale. De plus, pour certaines infrastructures, une hausse du nombre de passagers (redistribution saisonnière de la demande) pourrait aussi contribuer à la hausse des besoins énergétiques.
- Un réchauffement hivernal et une réduction de l'intensité et de la fréquence des vagues de froid peuvent présenter certains aspects positifs pour le secteur aérien, principalement par une réduction de la demande hivernale en chauffage, en dégivrage et en déneigement.



*Image 1 : La performance des moteurs, de même que la portance aérodynamique, sont dépendantes de la température. Selon la température, l'humidité et l'altitude, la longueur d'une piste peut devenir un facteur limitant pour certains appareils.*

(Photo : OFAC Hiltbrunner)

## 2.2. Les précipitations

Le réchauffement climatique influence le cycle de l'eau et donc les précipitations. Un paramètre physique, la capacité hygrométrique de l'air, est à prendre en compte en particulier. Cette capacité de l'air à contenir une certaine quantité d'eau sous forme de vapeur augmente avec la température<sup>1</sup>. Cela influence directement la quantité et la répartition temporelle de la pluie et par extension l'intensité des événements pluvieux.

Les précipitations sont marquées par une forte variabilité spatio-temporelle. Malgré cette variabilité naturelle des précipitations, les simulations pour la Suisse mettent en évidence certaines tendances futures, dont l'augmentation des précipitations hivernales et la réduction des précipitations estivales. Ces changements sont davantage visibles pour le scénario RCP8.5. Selon ce dernier, cette modification de la répartition annuelle des précipitations s'exprimera à la fin du siècle par une augmentation (en général de plus de 15%) des précipitations hivernales et par une baisse (en général de plus de 10%) des précipitations estivales (CH2018, 2018). Selon ces projections, l'été sera marqué par une

extension du climat méditerranéen, avec une baisse des précipitations et une hausse de l'évaporation. Au printemps et en automne, les changements sont considérés comme inférieurs, voire mineurs. La Figure 3 illustre les variations spatiales et saisonnières projetées de l'évolution des précipitations moyennes en Suisse à court terme (2035), au milieu du siècle (2060) et à la fin du siècle (2085) (RCP8.5).

Des tendances claires au niveau spatial sont difficilement identifiables, en particulier avant la fin du siècle. La gamme d'augmentation des précipitations hivernales s'étend de 12% (Alpes occidentales) à 22% (sud de la Suisse) et celle de la réduction des précipitations estivales s'étend de 10% (Alpes orientales) à 24% (Suisse occidentale) (CH2018, 2018). Il est à noter que les projections pour les régions de Genève et du Tessin, qui sont marquées par une réduction supérieure des précipitations estivales (par rapport au reste du pays), sont aussi marquées par les fortes chaleurs estivales (cf. chap 2.1.). Ces conditions sont propices à une augmentation des feux de forêt.

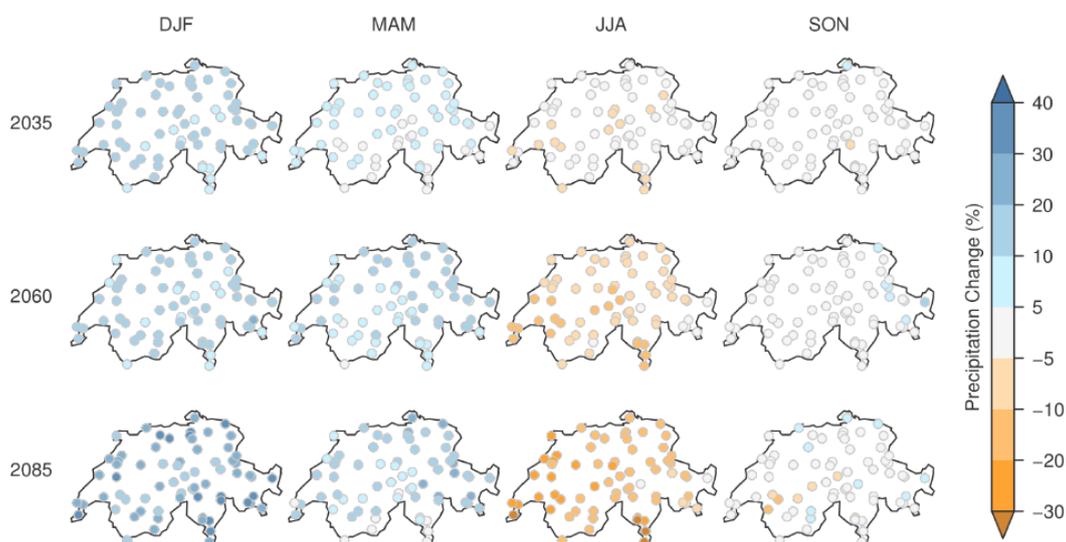


Figure 3: Evolution simulée des précipitations moyennes (en %) en Suisse (combinaison multi-modèle, projection médiane) entre la période de référence (1981-2010) et l'an 2035, 2060, et 2085, selon le scénario RCP8.5. (CH2018, 2018)

<sup>1</sup>Selon la relation de Clausius-Clapeyron.

Pour l'aviation, les changements dans la répartition temporelle des précipitations sont importants. Les simulations du rapport technique CH2018 montrent en effet que l'intensité des épisodes de pluie augmenterait approximativement de manière linéaire avec le réchauffement. Cela est directement lié à l'augmentation du contenu maximal de vapeur d'eau de l'air projetée avec la hausse de température (cf. chap. 2.1.). Le nombre et l'intensité des pics de précipitations pourrait de ce fait augmenter bien plus que les précipitations moyennes et pourrait même augmenter en parallèle d'une réduction des précipitations moyennes (concentration des pluies sur de plus courtes périodes et augmentation de la fréquence et de l'intensité d'événements extrêmes).

Finalement, les modèles mettent en évidence une réduction de la fréquence et de la quantité de précipitations sous forme solide (neige). Avec le réchauffement de l'atmosphère, une élévation de l'altitude de l'isotherme du zéro degré est effectivement projetée. Cependant, l'influence de phénomènes météorologiques locaux sur les précipitations neigeuses, telles que les situations d'inversion locale, reste grande. Elle peut donc nuancer le propos selon lequel les hivers seront moins enneigés (NCCS, 2018).

#### QUELLES CONSÉQUENCES SUR L'AVIATION ?

Des modifications durables de régimes pluviométriques locaux et surtout l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements pluvieux (hivernaux et estivaux) ont un impact potentiel sur les infrastructures et les opérations.

La hausse de l'intensité des précipitations est associée à une augmentation des dangers naturels liés à l'hydrologie, tels que les coulées de boue et glissements de terrains pour les infrastructures et voies d'accès exposées. Elle est aussi associée à une augmentation du risque de crues et d'inondation des infrastructures.

Le besoin en capacité de drainage peut augmenter avec la hausse projetée de l'intensité des précipitations. En cas d'incapacité à réguler le surplus d'eau, une réduction temporaire ou durable de la capacité aéroportuaire peut en résulter.

Au contraire, d'autres conséquences négatives pour l'aviation peuvent être liées à un manque de précipitations. L'extension projetée du climat méditerranéen, marqué par une augmentation de sécheresses estivales, engendre des situations favorables aux feux de forêt qui peuvent causer des contraintes opérationnelles.



Image 2 : Le réseau hydrographique dense expose plusieurs infrastructures aéronautiques suisses (ici l'Aéroport de Bern-Belp en 1999) au risque d'inondation. (Photo : DDPS/Forces aériennes suisses)

### 2.3. Les vents de surface

En Suisse, les systèmes typiques favorables à la formation de vents de surface relativement forts peuvent être liés à des situations de foehn, de bise, de vent d'ouest ou se former lors d'orages (CH2018, 2018 ; MétéoSuisse, 2015).

L'analyse de l'évolution projetée des vents de surface en Suisse, fortement dépendante de la topographie locale, ne montre pas de tendances spatiales claires. Les changements projetés en terme de vitesse sont généralement faibles, peu importe le scénario considéré (CH2018, 2018).

L'étude de l'évolution future des vents extrêmes est d'un intérêt particulier pour l'aviation. Malgré les difficultés de modélisation de ces phénomènes, plusieurs études suggèrent une augmentation potentielle de la fréquence et de l'intensité d'épisodes de vents extrêmes en Europe centrale et en Europe de l'Ouest qui pourraient affecter la partie Nord de la Suisse (Goyette, 2011 ; Donat et al., 2011). D'autres études relèvent une diminution de ce type d'événements au Sud de l'Europe (Mölter et al., 2016). Des incertitudes concernent donc l'évolution de ces événements en Suisse, puisque le pays est situé entre ces zones de projection (CH2018, 2018).

#### QUELLES CONSÉQUENCES SUR L'AVIATION ?

D'une manière générale, une modification de la direction et de la vitesse du vent, voire une modification des caractéristiques des vents extrêmes (fréquence, intensité), pourrait impacter l'aviation, en particulier par une perturbation du déroulement normal des opérations.

Pour un aéroport donné, une modification de la direction du vent dominant serait susceptible d'engendrer une augmentation des vents de travers. Une modification des procédures pourrait alors devenir nécessaire pour les aéroports équipés de pistes à axes divergents, ayant pour conséquence une modification de l'impact environnemental (émissions sonores). Pour les aéroports non-équipés d'une telle configuration des pistes, les opérations pourraient aussi être perturbées. L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vents extrêmes aurait quant à elle la capacité d'engendrer des réductions temporaires de la capacité aéroportuaire.

Image 3 : L'impact sonore des aéroports munis de pistes à axes divergents peut changer en cas de modification temporaire ou permanente de la direction et de l'intensité des vents dominants. (orthophoto : Aéroport de Zürich. Issue de : map.geo.admin.ch)



## 2.4. Les orages et autres phénomènes météorologiques à fort impact sur l'aviation

Les phénomènes météorologiques locaux tels que les orages, la foudre, la grêle, ne disposent pas encore d'assez d'observations pour permettre d'établir des tendances sérieuses sur la modification de leurs caractéristiques en Suisse (NCCS, 2018 ; MétéoSuisse, 2013). Certaines études relèvent cependant l'influence potentielle du réchauffement du climat sur les phénomènes orageux.

Une augmentation de température et d'humidité de surface résulte dans une augmentation de l'instabilité verticale thermodynamique, typiquement représentée comme « énergie potentielle de convection disponible » (Allen, 2018). Cette hausse d'instabilité conduit à une augmentation de la vitesse maximale du courant ascendant, suggérée comme favorisant l'occurrence et l'intensité des orages, même hors saison chaude (Diffenbaugh et al., 2013;

Hoogewind et al., 2017 ; Allen, 2018). Certains modèles montrent ainsi une augmentation du nombre d'orages violents et de la fréquence de la foudre avec une augmentation de la température de l'atmosphère (Romps et al., 2014). Cependant, l'augmentation de la vitesse du courant ascendant avec le réchauffement climatique pourrait aussi être inhibée ou compensée (Trapp & Hoogewind, 2016 ; Allen, 2018).

### QUELLES CONSÉQUENCES SUR L'AVIATION ?

Les orages s'accompagnent de plusieurs phénomènes à fort impact sur les opérations et la sécurité de celles-ci. Il s'agit typiquement de turbulences, de la foudre, de la grêle, du cisaillement du vent, d'une visibilité réduite ou encore du givrage (OMM, 2016). Une augmentation de l'intensité et de la fréquence des orages aurait donc un fort impact sur l'aviation qui se traduirait en particulier par une augmentation des perturbations des opérations (vols retardés, dérouterés, annulés).

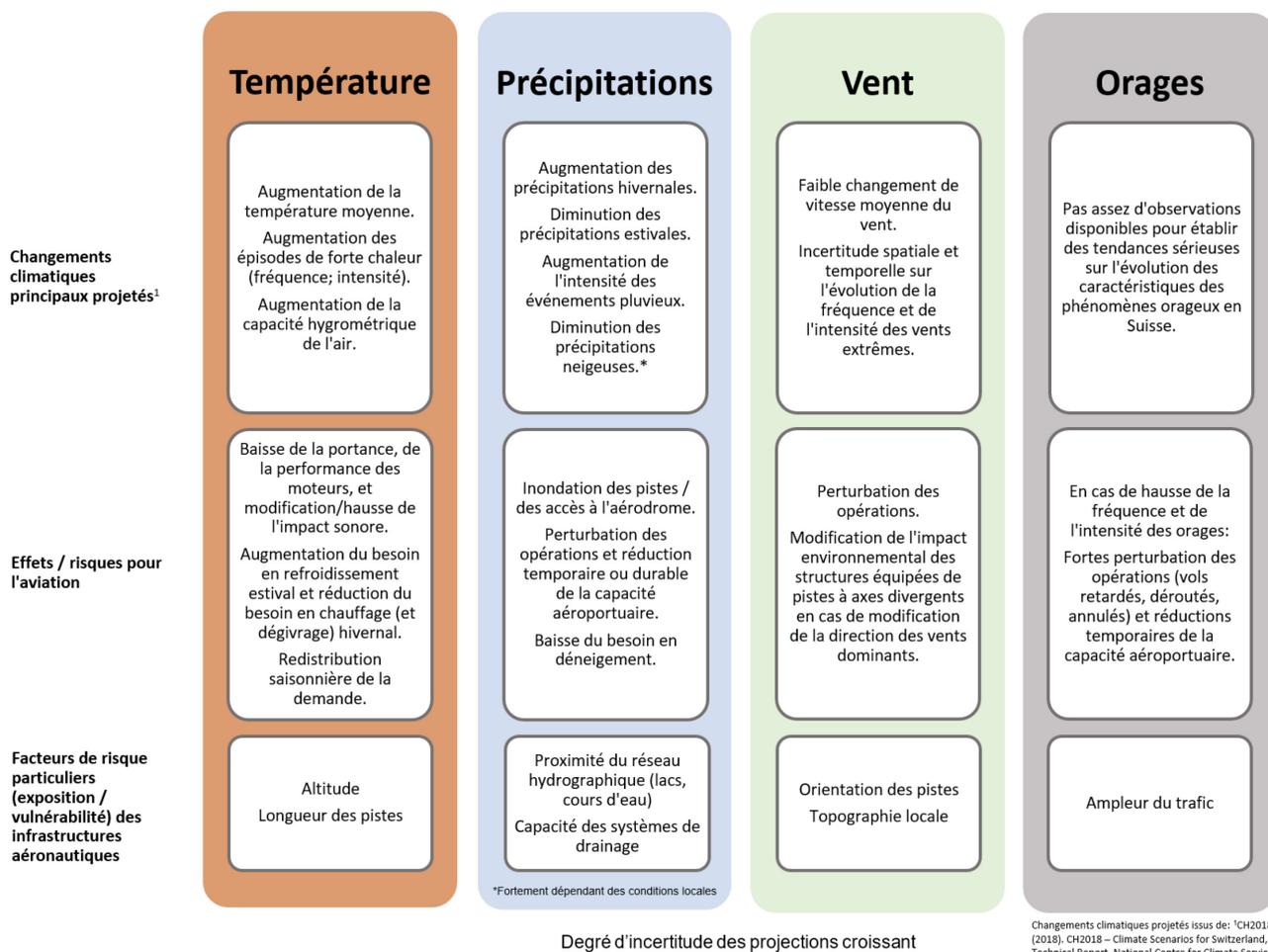


Figure 4: Récapitulatif des changements climatiques projetés en Suisse et de leurs conséquences potentielles sur l'aviation.

### 3. Résilience et stratégies d'adaptation

Les changements climatiques projetés en Suisse permettent d'envisager plusieurs impacts de degré divers dépendants du niveau de réchauffement et de l'exposition des aérodromes. Les enjeux sociaux, environnementaux, économiques et sécuritaires montrent le besoin de résilience du secteur et du développement de stratégies d'adaptation. Le secteur de l'aviation est caractérisé par l'interdépendance de ses acteurs. Une perturbation à un seul niveau peut perturber tout le réseau. Développer la résilience du secteur passe donc par une approche globale et collaborative des parties prenantes en matière de gestion des risques climatiques.

La gestion des risques climatiques pour un aérodrome donné passe par plusieurs étapes et diffère selon la

stratégie utilisée. Cette gestion peut être incorporée dans une méthodologie existante d'évaluation du risque, ou faire l'objet d'une nouvelle méthodologie spécifique à l'évaluation des risques climatiques (ACRP, 2012 ; ACI, 2018). D'une manière générale, les premières questions à se poser dans le cadre de la gestion des risques liés aux changements climatiques d'un aérodrome sont résumées dans la Figure 5.

Les possibilités de mesures d'adaptation, matérielles ou organisationnelles, sont multiples. Il existe entre autres des mesures d'adaptations opérationnelles (p. ex. possibilité d'intégration d'horaires de décollage temporairement restreints), ou d'adaptation des infrastructures (p. ex. amélioration des systèmes de drainage). Différents critères peuvent être mis en évidence afin de permettre l'évaluation des mesures prioritaires. Parmi ceux-ci on retrouve le degré de probabilité d'occurrence de l'aléa et des modifications de ses caractéristiques avec le réchauffement du climat, l'ampleur des effets

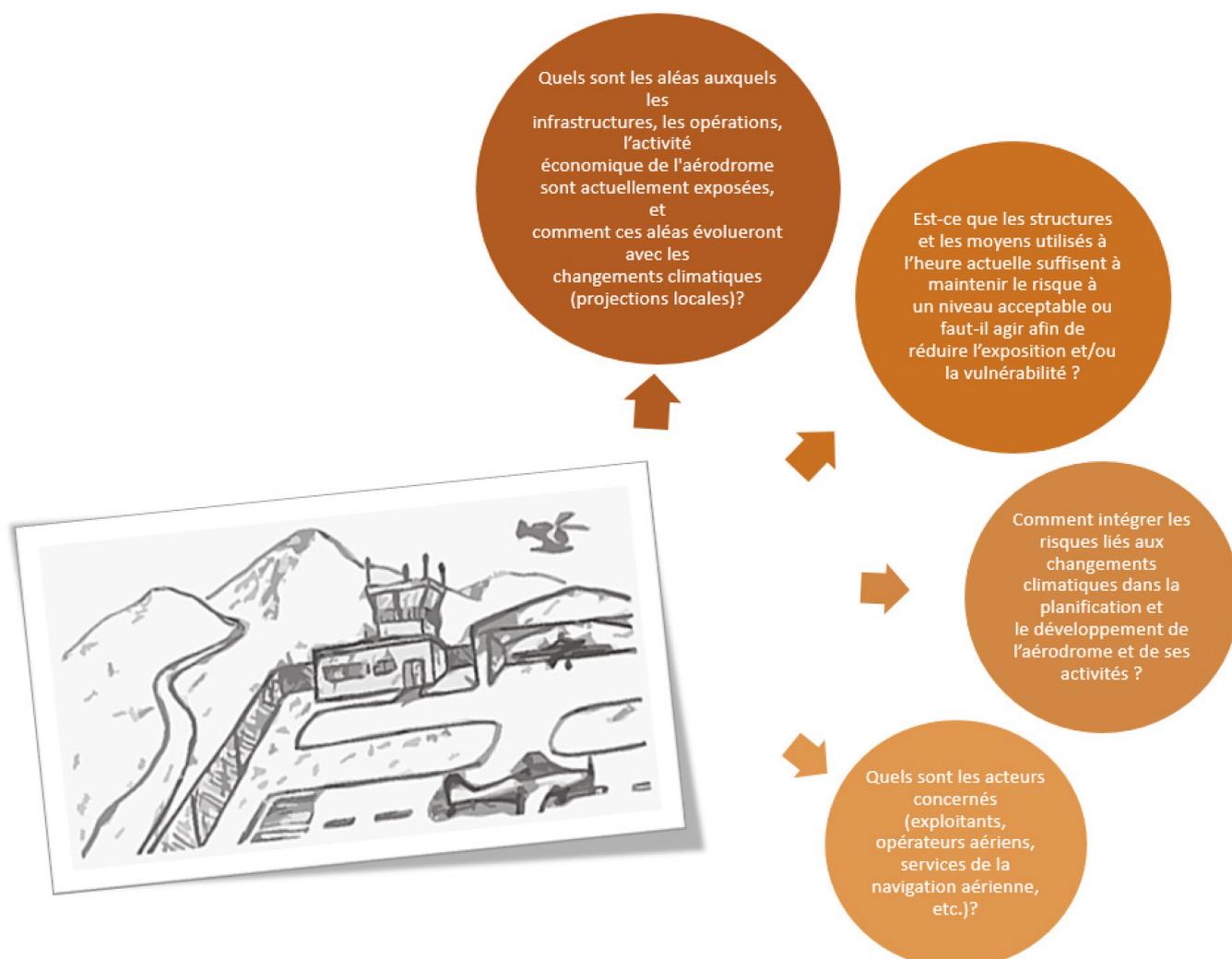


Figure 5: Gestion du risque climatique d'un aérodrome donné, état des lieux.

potentiels (aux infrastructures, à l'activité etc.), le coût et l'efficacité d'une mesure, ainsi que la polyvalence des effets positifs d'une mesure (certaines mesures sont en effet capables de contribuer à la réduction simultanée de plusieurs risques). Les décisions en matière d'action d'adaptation à mener sont très dépendantes des circonstances locales et des modèles de gestion du risque des organismes concernés (ACRP, 2012 ; Eurocontrol, 2018).

## 4. Conclusion

En comparaison à d'autres régions du monde, l'aviation suisse n'est pas considérée comme étant la plus exposée aux effets problématiques liés aux changements climatiques. En effet, son exposition à des températures extrêmes qui pourraient grandement limiter les décollages ou même engendrer des dégâts aux infrastructures est inférieure aux régions équatoriales et tropicales par exemple. De même, n'étant pas un pays côtier, son exposition à la hausse du niveau des mers qui menace de nombreuses infrastructures aéronautiques dans le monde est nulle. Cependant, certaines manifestations projetées du changement climatique (p. ex. hausse de la température et de l'intensité des précipitations), mises en relation avec les particularités des aéroports suisses et de la topographie permettent d'envisager des effets (p. ex. perturbation des opérations, dommages aux infrastructures) qui doivent être pris en considération dans la gestion des risques des aéroports et dans la planification du développement de leurs infrastructures et de leurs activités. En outre, le trafic aérien entre la Suisse et les régions du monde les plus durement touchées par les effets du changement climatique peut être affecté par les perturbations qui s'y produisent.

Les principales manifestations du changement climatique pouvant affecter le secteur de l'aviation en Suisse sont également celles dont les projections sont les plus fiables, soit la température et les précipitations.

La hausse de température ainsi que la hausse de la fréquence et de l'intensité d'épisodes de forte chaleur (canicules) projetées sont susceptibles d'engendrer des perturbations temporaires des opérations, une redistribution spatiale et saisonnière

de la demande (nombre de passagers), une modification de la demande énergétique et une modification de l'impact sonore des aéroports.

Les modifications projetées des caractéristiques des précipitations (augmentation des précipitations hivernales, réduction des précipitations estivales, hausse de l'intensité des épisodes pluvieux) sont quant-à-elles aussi susceptibles d'engendrer des perturbations du déroulement normal des opérations, mais aussi de causer des dégâts aux infrastructures.

Il est par contre difficile à l'heure actuelle d'isoler des tendances spatiales concernant l'évolution des caractéristiques des vents (dont ceux des vents extrêmes) en Suisse. Cependant, il est possible d'envisager qu'une modification de la direction et de l'intensité des vents dominants toucherait d'abord les opérations et l'impact environnemental d'un aéroport.

L'évolution des phénomènes à fort impact mais petite échelle spatio-temporelle nécessite quant-à-elle des recherches supplémentaires. Une augmentation de fréquence et d'intensité de phénomènes orageux aurait en effet un fort impact sur l'aviation, en particulier sur les opérations.

Les enjeux sociaux, environnementaux et économiques liés au secteur de l'aviation en Suisse montrent la nécessité du développement de résilience face aux changements climatiques. Ce développement doit passer par une approche globale et collaborative des différentes parties prenantes (exploitants d'aéroports, opérateurs aériens, services de la navigation aérienne, etc.). La gestion des risques climatiques, qui représente une grande part des stratégies d'adaptation des aéroports, dépend en priorité des circonstances locales (climat projeté, configuration des infrastructures et des opérations, développement programmé des activités, etc.), mais aussi des modèles de gestion du risque des organismes concernés.

Le thème de la résilience et celui de la mitigation du réchauffement climatique sont finalement étroitement liés. L'ampleur des effets des changements climatiques sur l'aviation et donc l'ampleur des mesures d'adaptation nécessaires sont en effet dépendantes du scénario climatique considéré, d'où le rôle crucial de la mitigation dans le développement d'une aviation résiliente.



## 5. Références

- Académies suisses des sciences (2016). *Coup de projecteur sur le climat suisse. Etat des lieux et perspectives*. Swiss Academies Reports 11 (5).
- ACI (2018). *Airports' resilience and adaptation to a changing climate*. Airport Council International. ACI Policy Brief. September 2018.
- ACRP (2012). *Airport Climate Adaptation and Resilience. A Synthesis of Airport Practice*. ACRP Synthesis 33. Airport Cooperative Research Program. National Academy of Sciences. Transportation Research Board. Washington D.C. 2012.
- Allen, J.T. (2018). *Climate Change and Severe Thunderstorms*. Oxford Research Encyclopedia of Climate Science. Jul 2018.  
DOI:10.1093/acrefore/9780190228620.013.62.
- CH2018 (2018). *CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report*. National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pp. ISBN: 978-3-9525031-4-0.
- Climate Action Tracker (2017). *Improvement in warming outlook as India and China move ahead, but Paris Agreement gap still looms large*. <http://climateactiontracker.org/publications/briefing/288/Improvement-in-warming-outlook-as-India-and-China-move-ahead-but-Paris-Agreement-gap-still-looms-large.html>.
- Diffenbaugh, N. S., Scherer, M. & Trapp, R. J. (2013). *Robust increases in severe thunderstorm environments in response to greenhouse forcing*. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 110, 16,361–16,366.
- Donat, M. G., Leckebusch, G. C., Wild, S., and Ulbrich, U. (2011). *Future changes in European winter storm losses and extreme wind speeds inferred from GCM and RCM multi-model simulations*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 1351-1370, <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1351-2011>, 2011.
- Eurocontrol (2018). *European Aviation in 2040, Challenges of Growth. Annex 2, Adapting Aviation to a Changing Climate*. EUROCONTROL, June 2018.
- Goyette, S. (2011). "Synoptic conditions of extreme windstorms over Switzerland in a changing climate," Climate dynamics, vol. 36, no. 5-6, pp. 845–866.
- Hoogewind, K. A., Baldwin, M. E., & Trapp, R. J. (2017). *The impact of climate change on hazardous convective weather in the United States: Insight from highresolution dynamical downscaling*. Journal of Climate. Advance online publication.
- IPCC (2018). *Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- MétéoSuisse (2013). «*Scénarios climatiques Suisse – un aperçu régional*», rapport technique n° 243 MétéoSuisse, 36 pages.
- MétéoSuisse (2015). *Situations météorologiques typiques dans la région des Alpes. Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse*. 28 p.
- Mölter, T.; Schindler, D.; Albrecht, A.T.; Kohnle, U. (2016). *Review on the Projections of Future Storminess over the North Atlantic European Region. Atmosphere* 2016, 7, 60.
- NCCS (2018). *CH2018 - scénarios climatiques pour la Suisse. National Centre for Climate Services, Zurich*. 24 pages. Numéro ISBN 978-3-9525031-1-9.
- OMM (2016). *Catastrophes (peu) naturelles : Expliquer les liens entre les événements extrêmes et le changement climatique*. Organisation Météorologique Mondiale. Bulletin Vol. 65 (2) – 2016.
- Romps D. M., Seeley J. T., Vollaro D., Molinari J. (2014). *Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming*. Science, vol. 346, no. 6211, pp. 851–854.
- Trapp, R. J., & Hoogewind, K. A. (2016). *The realization of extreme tornadic storm events under future anthropogenic climate change*. Journal of Climate, 29, 5251–5265.