



**MINISTÈRE
CHARGÉ
DES TRANSPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



VULNÉRABILITÉ DES AÉRODROMES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

NOTE D'INFORMATION TECHNIQUE



**MINISTÈRE
CHARGÉ
DES TRANSPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



VULNÉRABILITÉ DES AÉRODROMES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

NOTE D'INFORMATION TECHNIQUE

service technique de l'Aviation civile

Département Environnement, Sécurité des systèmes et des Opérations,
Planification

RÉDACTEURS

David **SMAGGHE**

Adjoint à la cheffe de la division Environnement

David **SMAGGHE**, ingénieur divisionnaire des travaux Publics de l'état a rejoint le STAC en 2010 et a commencé sa carrière dans l'aviation civile dans le domaine de la sécurité et de la planification des aéroports. Il a ensuite, au sein de la division Environnement, été en charge des questions liées aux émissions sonores des avions autour des aéroports et des questions d'adaptation des aéroports aux changements climatiques. Impliqué dans le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique, David a contribué au développement de la méthodologie VULCLIM pour évaluer la vulnérabilité des aéroports français aux impacts du changement climatique. Il est aujourd'hui l'adjoint de la division environnement en charge des questions liées au bruit, à la qualité de l'air, à la biodiversité, au péril animalier et dégivants déverglaçants.

Constance **ANELLI**

Ingénieur d'études

Constance **ANELLI**, ingénieure des études et de l'exploitation de l'aviation civile, a commencé sa carrière à la DSAC en tant qu'inspectrice de surveillance des opérations aériennes. Fin 2021 elle a rejoint le STAC pour être en charge des questions liées à la prévention du risque animalier et à la biodiversité. Dans le cadre de sa fonction au sein de la division Environnement, elle travaille également sur la poursuite des travaux débutés en 2013 au sujet de la vulnérabilité des aéroports face au changement climatique.



SOMMAIRE

1. UN DES AXES DU PLAN NATIONAL D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	6
1.1. INTRODUCTION	6
1.2. UNE ÉTUDE EN 3 PHASES	6
2. LES ALÉAS CLIMATIQUES ET LEURS IMPACTS SUR LES AÉRODROMES	7
2.1. LES ALÉAS CLIMATIQUES	7
2.2. LES IMPACTS DE CES ALÉAS CLIMATIQUES	7
3. UNE MÉTHODE POUR DIAGNOSTIQUER L'EXPOSITION D'UN AÉRODROME FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	9
3.1. LA MÉTHODOLOGIE	9
3.2. APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE, LE CAS DE L'AÉRODROME DE NICE CÔTE D'AZUR	10
3.3. UN DIAGNOSTIC POUR PRÉVENIR	11
3.4. L'OUTIL INFORMATIQUE VULCLIM	12
4. BIBLIOGRAPHIE	13
5. GLOSSAIRE	14



RÉSUMÉ - MOTS-CLÉS

RÉSUMÉ

Le STAC, associé aux acteurs du réseau scientifique et technique du ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, a répondu à la commande impulsée par le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC) lancé en 2011 à travers l'étude VULCLIM. Une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité des aérodromes a ainsi été développée.

Afin de pouvoir faire bénéficier de la méthodologie au plus grand nombre d'aérodromes, le STAC a développé un outil d'évaluation simple de type questionnaire en ligne. L'outil VULCLIM disponible sur le site internet du STAC s'adresse aux exploitants d'aérodromes de France métropolitaine désireux d'évaluer la vulnérabilité de leur plateforme face aux effets attendus du changement climatique.

MOTS-CLÉS

Climat, Changement climatique, PNACC, Vulnérabilité, Impacts climatiques, Aléas climatiques, VULCLIM, Adaptation, Résilience, Aéroports, Exploitants aéroportuaires.

EXECUTIVE SUMMARY

The STAC, in association with the actors of the scientific and technical network of the Ministry of Ecological Transition and Territorial Cohesion, responded to the order given by the National Plan for Adaptation to Climate Change (PNACC) launched in 2011 through the VULCLIM study. A methodology for assessing the vulnerability of airfields has thus been developed.

In order to make the methodology available to as many aerodromes as possible, the STAC has developed a simple online questionnaire-type assessment tool. The VULCLIM tool, available on the STAC website, is aimed at aerodrome operators in mainland France who wish to assess the vulnerability of their platform to the expected effects of climate change.

KEYWORDS

Climate, Climate change, NCCP, Vulnerability, Climate impacts, Climate hazards, VULCLIM, Adaptation, Resilience, Airports, Airport operators.

1. UN DES AXES DU PLAN NATIONAL D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Ce document s'adresse à tous les exploitants aéroportuaires, et ne nécessite pas d'expertises particulières pour le comprendre.

1.1. INTRODUCTION

L'étude confiée au STAC entre dans le cadre du Plan National d'adaptation au changement climatique (PNACC) qui a pour finalité de préparer notre pays aux impacts du réchauffement planétaire. Le PNACC prévoit un volet transport, la DGAC est en charge de la partie transport aérien de ce volet.

1.2. UNE ÉTUDE EN 3 PHASES

Phase 1 : identifier les aléas climatiques à retenir et leurs impacts potentiels sur l'aéroport.

Phase 2 : élaborer une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité des aéroports et appliquer cette méthodologie sur les aéroports de Nice et Marseille.

Phase 3 : développer un outil d'évaluation de la vulnérabilité pour tous les aéroports de métropole.



2. LES ALÉAS CLIMATIQUES ET LEURS IMPACTS SUR LES AÉRODROMES

2.1. LES ALÉAS CLIMATIQUES

Plusieurs aléas climatiques ont été retenus à partir de différentes sources (Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat, synthèse des scénarios climatiques de janvier 2011 confié à J. JOUZEL dans le cadre du PNACC, données Météo France...).



Évolution des températures



Évolution des précipitations



Évolution du régime des vents



Événements extrêmes



Évolution du niveau de la mer



Évolution de la biodiversité

2.2. LES IMPACTS DE CES ALÉAS CLIMATIQUES

Des impacts potentiels de ces aléas climatiques ont été identifiés sur la base du retour d'expérience d'exploitants et de l'état de l'art existant.

Trois « enjeux » caractérisant les éléments d'un aéroport susceptibles d'être impactés par le changement climatique ont été retenus : l'infrastructure (aire de mouvement, accès, parking voitures...), les bâtiments (terminaux, tour de contrôle...) et l'exploitation (zone de dépôt de carburant, zone réservée au SSLIA "service de sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs sur les aérodrômes")...

IMPACTS SUR L'ENJEU «INFRASTRUCTURE»

Les impacts retenus sont :

- * Évolution des distances de décollage dans certains cas et allongement de piste ou réduction de la masse au décollage rendus nécessaires;
- * Vieillissement accéléré des chaussées aéronautiques;
- * Fragilisation des sols supports, dégradation des aires de mouvement, phénomène de retrait gonflement des argiles;
- * Demande en produits de déverglacement réduite, baisse de la pollution et de la dégradation des sols induites;
- * Submersion des aires de mouvement, nécessité de construire des protections;
- * Effondrement des infrastructures côtières;
- * Orientation d'une piste non optimale suite au changement de direction des vents dominants.

IMPACTS SUR L'ENJEU «BÂTIMENT»

Les impacts retenus sont :

- * Augmentation de la température dans les aérogares et les tours de contrôles;
- * Évolution de la demande énergétique pour le chauffage;
- * Besoin accru de climatisation;
- * Risque d'incendie et de fermeture de l'aéroport en bordure de massifs forestiers;
- * Inondation, submersion d'aérogares littorales;
- * Retrait/gonflement des argiles avec fissures des bâtiments;
- * Destruction des éléments fragibles ou mobiles (passerelles) en cas de vents forts;
- * Destruction partielle et totale des bâtiments en cas de vents forts, d'inondation, de grêles, etc.



IMPACTS SUR L'ENJEU «EXPLOITATION»

Les impacts retenus sont :

- * Problèmes de visibilité générés par les fumées causées par les incendies de forêts en cas de sécheresse et canicule;
- * Inutilisation de pistes du fait de vents de travers de forte intensité plus fréquents;
- * Suite à des tempêtes ou forts vents, présence de FOD entraînant des fermetures temporaires de pistes;
- * Fermeture d'aéroports en cas d'alerte cyclonique, tempête ou suite à une tempête ou un cyclone, isolant ainsi les territoires (outre-mer);
- * Moins d'interruptions de trafic et/ou de retard dû aux mauvaises conditions météorologiques liées aux épisodes neigeux;
- * Pénibilité du travail sur les aires de trafic accrue, absentéisme induit durant les épisodes de vagues de chaleur par exemple;
- * Fermeture temporaire de pistes ou d'aires de trafic inondées suite à des épisodes de fortes précipitations;
- * Évolution du type d'oiseaux et de leurs aires de répartitions, présence en hausse aux abords des aérodromes, augmentation du péril aviaire.

3. UNE MÉTHODE POUR DIAGNOSTIQUER L'EXPOSITION D'UN AÉRODROME FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

3.1. LA MÉTHODOLOGIE

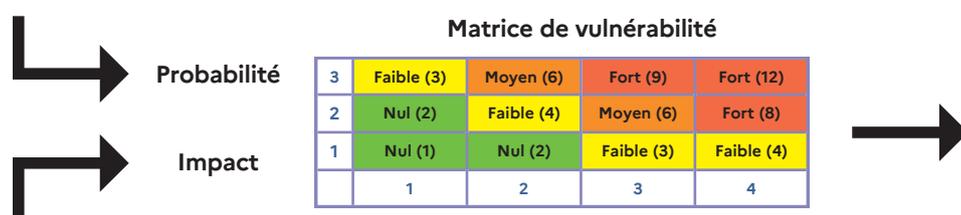
La méthode proposée est la cartographie des risques. Elle présente l'avantage de reprendre toutes les étapes d'une analyse de vulnérabilité en offrant un rendu visuel lisible et accessible. La démarche consiste d'une part à mener une analyse fine de l'aérodrome (ou enjeu) pour en avoir une connaissance exhaustive d'un point de vue « transport » (composition de l'enjeu, vulnérabilité avérée en cas de dysfonctionnements connus de type panne, éléments indispensables au bon fonctionnement de l'enjeu...) et d'autre part, de définir des scénarios du changement climatique où l'aléa climatique est clairement identifié et la description de scénario précisée. Toute la complexité de l'analyse de la vulnérabilité au futur climat réside dans l'appréhension d'une situation qui n'existe pas encore. En effet, une telle analyse fait appel à une projection de ce que pourra être le territoire sur les aspects climatiques (caractéristiques moyennes et extrêmes). L'analyse des événements passés, le retour d'expérience sont très importants dans la démarche notamment dans l'appréhension des événements extrêmes et font partie intégrante de l'analyse de vulnérabilité. La confrontation des deux analyses (enjeu aérodrome et aléas climatiques) permet alors de réaliser un tableau à double entrée croisant la probabilité d'occurrence de l'aléa climatique avec le niveau d'impact de l'aléa sur l'enjeu ; la donnée en sortie sera le risque effectif.



La grille d'évaluation de vulnérabilité se présente comme un tableau à double entrée qui regroupe d'une part les aléas moyenne climatiques susceptibles d'avoir un impact sur l'aéroport et d'autre part les composantes de l'enjeu aéroport...

Probabilité d'occurrence de l'aléa climatique		
1	Faible	Il est extrêmement peu probable que l'aléa se produise pour l'aéroport donné. L'aléa ne devrait pas se produire pendant la période de vie de l'infrastructure.
2	Moyenne	L'événement est déjà survenu (cf retour d'expérience). L'événement compte tenu des projections climatiques a des chances de survenir sur une période de retour assez faibles au cours de la vie de l'infrastructure.
3	Élevée	L'aléa est déjà survenu plusieurs fois sur l'aéroport. Les projections climatiques prévoient une augmentation de la fréquence et/ou l'intensité du phénomène sur l'enjeu

Niveau de vulnérabilité
Non applicable / Non concerné
Nul L'aérodrome n'est pas vulnérable à l'aléa climatique.
Faible Le changement climatique ne perturbera pas l'exploitation normale de l'aérodrome. L'aérodrome fonctionnera quelquefois en mode dégradé acceptable du fait des évolutions climatiques pour cet aléa.
Moyen Les changements climatiques auront un certain impact sur l'aérodrome, n'empêchant pas son fonctionnement. Toutefois, l'aérodrome fonctionnera souvent en mode dégradé contraignant ou acceptable du fait des conditions climatiques. La vulnérabilité devra être réévaluée régulièrement. Des mesures de protections/préventions pourront être prises afin de rendre l'aérodrome faiblement vulnérable.
Fort Les changements climatiques affecteront le fonctionnement de l'aérodrome, et sans mesures de protections/préventions l'aérodrome pourrait devenir inexploitable voire disparaître sous l'effet du changement climatique.



Niveau d'impact de l'aléa sur l'enjeu			
Niveau de l'impact		Fonctionnalité du système	
1	Sans gravité	Normal ou non dégradé	Pas de perturbation du système
2	Secondaire	Dégradé acceptable	Le système est affecté dans son fonctionnement
3	Grave	Dégradé contraignant	Le système dysfonctionne et sa pérennité est affectée (ou mise en péril)
4	Désastreux	Dégradé inacceptable	Disparition du système ou dysfonctionnement à long terme du système

3.2. EXEMPLE D'APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE, LE CAS DE L'AÉRODROME DE NICE CÔTE D'AZUR

Caractéristiques :

- * Troisième aéroport de France avec plus de 14,5 millions de passagers en 2019 pour 177 718 mouvements;
- * Une emprise de 370 ha avec plus de 200 ha construits sur la mer;
- * Doublet de pistes;
- * Deux terminaux;

Nom	Nice Côte-d'Azur
Code OACI/IATA	LFMN/NCE
Plan de situation	Vue aérienne



La grille de vulnérabilité de l'aéroport de Nice Côte d'Azur, renseignée avec l'aide de l'exploitant, permet de pointer les forces (zones jaunes et vertes) et faiblesses (zones orange et rouge) de l'aéroport face au changement climatique.

Exemple de croisement
Accès/Pluie abondante

Probabilité de l'Aléa élevée

Événement fréquent et scénario d'augmentation en intensité des pluies

3
2

6

Vulnérabilité moyenne

Gravité de l'impact secondaire

L'aéroport dispose de plusieurs accès, l'inondation a rallongé le temps d'accès à l'aéroport sans le couper complètement (l'accès à l'aéroport a fonctionné en mode dégradé acceptable).



Enjeux	Aléas	Événements extrêmes								
		Evolution du régime des vents	Évolution biodiversité	Evolution du niveau de la mer	Evolution des températures			Cyclones/Tempête/évolution pluviométrie, hausse en intensité, diminution en fréquence		
		Changement de direction des vents dominants	Evolution de la répartition des oiseaux migrateurs	Submersion marine	Vague de chaleur	Sécheresse	Fortes houles	Pluie abondante	Vents extrêmes	Chutes de neige
Infrastructures	Accès			3	3	1	3	6	2	1
	Parking			3		1	3	6		
	Piste, système de pistes	3 ou +	4	6	3	1	9	3	2	1
	Voies de circulation		4	3	3	1	6	3	2	1
Bâtiment	Aire de trafic			3	3	1	3	3	2	1
	Aérogares (terminaux passager et fret)			3	3	1	3	3	2	
	Infrastructure de liaison entre les terminaux			3	3	1	3	3	2	1
	Bureaux et autres bâtiments			3	3	1	3	3	2	
Exploitation	Passerelles			3	3		3	3	2	1
	Tour de contrôle			3	3	1	3	3	2	1
	Zones de dépôt de carburant			3	3		3	3	2	1
	Zones ou opérations de dégivrage			3	3		3	3	2	3
	Zone réservée pompiers SSLIA			3	3		3	3	2	1
	Tracteurs et engins d'assistance			3	3		3	3	2	1
	Capacité de l'aérodrome	2 ou +	2	3	3		6	6	2	2
	Equipements liés à la navigation aérienne			6			6	6	2	1
Personnel d'exploitation				3		6	6	2	2	

Certains coups de mer viennent perturber le fonctionnement de l'aéroport en ramenant des galets sur les pistes, en inondant une partie de l'aire de manœuvre ou encore en empêchant l'évacuation des eaux de ruissellement. La montée du niveau de la mer prévisible pourrait accentuer la vulnérabilité de l'aéroport à ces phénomènes.



3.3. UN DIAGNOSTIC POUR PRÉVENIR

En conclusion de l'étude menée, le risque le plus prégnant sur Nice est le couple "piste"/"forte houle". En effet, à Nice, le système de pistes, en partie construit sur la mer et de faible altitude, est vulnérable aux aléas liés à la présence de la mer comme la montée des eaux et plus particulièrement les fortes houles en cas de coup de mer. Ce phénomène va s'intensifier du fait de la montée du niveau de la mer. « Aéroports de la Côte d'Azur » a mené une campagne de travaux de maintien de la digue maritime existante. Les travaux d'un coût total de 10,40 M€ s'étalant de 2011 à 2013 avaient pour objectif de conforter les zones d'enrochement qui protègent les pistes (notamment les entrées et sorties de pistes) des coups de mer sur la façade maritime de l'aéroport.



3.4. L'OUTIL INFORMATIQUE VULCLIM

L'outil informatique d'évaluation de la vulnérabilité a été développé et mis à disposition de tous les aéroports qui en font la demande sur la page: <https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/fr/outil-devaluation-vulnerabilite-au-changement-climatique>

Il s'agit d'un questionnaire en ligne comportant une série de questions simples, qui sont systématiquement accompagnées d'une aide pour que l'exploitant choisisse la réponse la plus adéquate.

Exemple de question :

* 24 Quelle est la situation de l'aérodrome face à l'aléa de sécheresse ?
 Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

L'aérodrome est situé en zone blanche (2)
 L'aérodrome est situé en zone rose (3)

? Pour répondre repérez la position de l'aérodrome sur la carte suivante (nombre maximum de jours secs consécutifs – écart par rapport à la valeur de référence / Horizon 2071-2100 ; RCP 8.6 ; Moyenne annuelle ; issue des données DRIAS 2020), puis en déduire la réponse la plus adaptée. Si l'aérodrome se situe à la frontière entre deux zones, il est recommandé de retenir la couleur la plus foncée.



Exemple de matrice obtenue :

186

Matrice de vulnérabilité des infrastructures

	Changeement de régime des vents	Péril animalier	Montée des eaux	Vague de chaleur	Sécheresse	Forte houle	Pluies extrêmes	Vents extrêmes	Froid extrême et chutes de neige
Accès			4	6	3	6	4	1	
Parkings Automobiles			2	6	1	4	4	2	
Système de piste	2		2	6	4	2	2	3	
Voies de circulation	6		2	6	1	2	2	3	
Aire de trafic			2	6	2	4	2	1	
Aérogares			2	6	2	4	4	2	
Liaisons entre les terminaux									
Bureaux et autres bâtiments			4	6	1	6	4	2	
Passerelles			4				4	1	
Tour de contrôle			2	6	1	2	2	3	
Dépôt carburant et avitaillement			2	6	2	4	4	1	
Dégivrage				6	3	4	6	2	
SSLIA				6	1	8	2	1	
Engins et tracteurs			2	6	1	2	4	1	
Équipements d'aide visuelle				6	1	2	2	2	
Équipements d'aide radioélectrique				6	3	4	6	2	
Facteur humain			4					1	

L'ensemble des questions permet de déterminer la probabilité d'occurrence de chaque aléa climatique retenu et l'impact de celui-ci sur chaque enjeu de l'aéroport, et ainsi d'afficher à la fin du questionnaire la grille de vulnérabilité de l'aéroport.

Ainsi, l'aéroport peut identifier ses forces et vulnérabilités face au changement climatique et s'en servir de base pour déterminer les mesures adéquates d'adaptation de sa plateforme et dont l'objectif est de réduire sa vulnérabilité.

4. BIBLIOGRAPHIE

4. BIBLIOGRAPHIE

<https://www.eea.europa.eu//publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016> Site de l'agence européenne de l'environnement, page dédiée au changement climatique.

www.drias-climat.fr a pour vocation de mettre à disposition des projections climatiques régionalisées (France).

<http://www.cnrm-game.fr/spip.php?article531> Centre National de Recherches Météorologiques, Groupe d'études de l'Atmosphère Météorologique.

<http://pluiesextremes.meteo.fr/> site dédié aux "pluies extrêmes" dont l'objectif est d'informer sur la fréquence des évènements pluviométriques extrêmes et de présenter les épisodes les plus marquants qui se sont produits en métropole, depuis 1958 et jusqu'en 2009.

<http://flood.firetree.net/> simulateur de montée des eaux développé par Google.

<https://www.ecologie.gouv.fr/observatoire-national-sur-effets-du-rechauffement-climatique-onerc> Observatoire Nationale sur les Effets du Réchauffement Climatique.

<https://www.ecologie.gouv.fr/adaptation-france-au-changement-climatique> Adaptation de la France au changement climatique, PNACC.

<https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Climate-Change-Climate-Risk-Assessment,-Adaptation-and-Resilience.aspx> Documentation OACI sur le changement climatique (Évaluation des risques climatiques, adaptation et résilience).

<https://store.aci.aero/product/policy-brief-airports-resilience-and-adaptation-to-changing-climate/> Documentation ACI sur l'adaptation des aéroports face au changement climatique.

<https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-study-climate-change-risks-european-aviation> Étude d'EUROCONTROL sur les risques liés au changement climatique pour l'aviation européenne.

<https://meteofrance.com/changement-climatique> Articles Météo France sur le changement climatique.

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/ONERC_Climat_France_XXI_Volume_1_VF.pdf Scenarios climatiques de janvier 2011 - J.Jouzel

5. GLOSSAIRE

5. GLOSSAIRE

STAC : Service Technique de l'Aviation Civile

DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile

PNACC : Plan National d'Adaptation au Changement Climatique

GIEC : Groupement d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat

SSLIA : service de sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs sur les aéroports

FOD : Foreign Object or Debris

OACI : Organisation Internationale de l'Aviation Civile

IATA : International Air Transport Association

DRIAS : Site internet qui a pour vocation de mettre à disposition des projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat. Les informations climatiques sont délivrées sous différentes formes graphiques ou numériques.

Conception : STAC/Département Administration, Système d'Information et Diffusion

Couverture : © Adobe stock

Crédit photos : © Adobe stock 6, 8
© DGAC/STAC 10, 11

Illustrations : © DGAC/STAC
© Freepik
© Google earth

Novembre 2022



Direction générale de l'Aviation civile
service technique de l'Aviation civile
CS 30012 - 31 avenue du Maréchal Leclerc
94 385 Bonneuil-sur-Marne CEDEX FRANCE
Téléphone : 01 49 56 80 00

www.stac.aviation-civile.gouv.fr

www.ecologie.gouv.fr