

Turbulences: l'impact du réchauffement

La fréquence et l'intensité des brusques mouvements d'air qui perturbent les vols sont en hausse

Une expérience terrifiante et mortelle. Le 21 mai, un Britannique de 73 ans a perdu la vie et une centaine de personnes ont été blessées lors d'un vol de la compagnie Singapore Airlines reliant Londres à Singapour. En cause : des turbulences majeures, qui ont fait plonger l'appareil de 1800 mètres en quelques minutes, poussant le Boeing 777 à atterrir en urgence à Bangkok. Dimanche, douze personnes ont également été légèrement blessées dans un avion qui reliait Doha à Dublin, en raison de turbulences au-dessus de la Turquie. Les deux événements, pour lesquels des enquêtes sont en cours, ont relancé les interrogations autour de l'impact du changement climatique dans ces phénomènes météorologiques instables.

Les turbulences sont des mouvements de l'air, brusques et irréguliers, qui se produisent le plus souvent dans trois situations : au cours d'orages et de tempêtes ; au-dessus des montagnes ; dans un ciel sans nuages, ce que l'on appelle « en air clair ». Les deux premiers types sont facilement détectés par les pilotes. À l'inverse, les dernières sont les plus dangereuses, car elles s'avèrent invisibles et surviennent donc de manière inattendue.

Ces turbulences en air clair sont entraînées par des phénomènes de cisaillement vertical du vent, lorsque deux masses d'air se superposent et se déplacent avec des vitesses ou dans des directions différentes. « Un avion porté vers le

haut sur une distance peut ainsi ne plus être soutenu un peu plus loin, et donc tomber de quelques dizaines de mètres », explique Nicolas Bellouin, modélisateur climatique à l'université de Reading (Royaume-Uni) et chercheur à la chaire aviation et climat de Sorbonne Université. Les cisaillements se produisent le plus souvent à proximité des courants-jets (*jet-streams* en anglais), de puissants courants d'air qui se déplacent à une altitude de 8 kilomètres à 12 kilomètres, là où volent les avions.

Corrélation visible

C'est pourquoi la plupart des vols connaissent des turbulences, qu'elles soient légères, modérées, sévères ou extrêmes, un degré d'intensité défini en fonction de la vitesse verticale du vent. Il n'est pas possible à ce stade de déterminer quels types de turbulences a rencontrés le Boeing de la Singapore Airlines. « Il y avait des orages assez violents non loin, mais les conditions étaient également favorables pour des turbulences en air clair », indique Nicolas Bellouin.

Quelle que soit la cause de cet accident, le changement climatique – lié à la combustion d'énergies fossiles et donc, en partie, à l'aviation – va aggraver ce genre de situations. Les turbulences en air clair sont d'ores et déjà devenues plus fréquentes au cours des quarante dernières années, selon une étude britannique de référence, publiée en juin 2023 dans la revue *Geophysical Research Letters*. Les plus sévères d'entre elles se sont accrues de 55 % au-dessus de l'Atlantique Nord, passant de 17,7 heures par an en 1979 à 27,4 heures en 2020. Il s'agit de l'une des routes aériennes les plus fréquentées au monde, avec près de 2 000 vols par jour entre l'Europe et l'Amérique du Nord. Les turbulences modérées ont quant à elles augmenté de 37 % (pour atteindre 96 heures par an), et les légères de 17 % (547 heures). Les résultats de



L'intérieur d'un appareil de Singapore Airlines, après un atterrissage d'urgence à Bangkok, le 21 mai. VIRALPRESS/REUTERS

l'étude montrent des hausses similaires au-dessus des États-Unis.

Les turbulences modérées ou sévères sont également en forte hausse en Asie de l'Est, au Moyen-Orient et en Afrique du Nord, des régions où le trafic aérien se densifie, selon d'autres travaux qui doivent être publiés dans les prochains jours dans la revue *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. « Dans ces régions, la hausse est liée au changement climatique. En revanche, nous ne pouvons pas attribuer au réchauffement l'accroissement des turbulences au-dessus de l'Atlantique Nord et du Pacifique Nord. Il s'agit plutôt de la variabilité interne du climat », explique le premier auteur, Mohamed Foudad, chercheur au Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique, à Toulouse, et auteur d'une thèse sur l'impact du changement climatique sur les turbulences pour l'aviation.

À l'avenir, les avions doivent s'attendre à subir plus souvent et longtemps ces mouvements brusques de l'atmosphère. « À chaque degré de réchauffement supplémentaire, les modèles de climat montrent une hausse de la fréquence et de l'intensité des turbulences en air clair », indique Mo-

hamed Foudad. Cette corrélation est davantage visible pour le courant-jet subtropical, situé entre le 20° et le 40° parallèle nord, que le polaire (entre une latitude de 50° et 65° nord). « Le changement climatique augmente le gradient de température entre les pôles et l'équateur à une altitude de 10 à 12 kilomètres, ce qui renforce les cisaillements de vents dans les courants-jets », détaille le chercheur.

L'effet des orages

Une précédente étude publiée dans *Geophysical Research Letters*, en 2017, annonçait un doublement de ces phénomènes au-dessus de l'Amérique du Nord, du Pacifique Nord et de l'Europe sur la période 2050-2080 comparé à l'ère préindustrielle, les turbulences sévères augmentant plus rapidement que les légères ou modérées. Elle est toutefois basée sur un scénario de forte hausse des émissions de gaz à effet de serre, qui n'est plus la trajectoire actuellement suivie.

Les orages, qui vont s'intensifier avec le réchauffement, devraient également provoquer davantage d'instabilité de l'atmosphère. L'air plus chaud peut en effet contenir plus d'humidité, se traduisant par des précipitations

Les turbulences les plus sévères se sont accrues de 55 % au-dessus de l'Atlantique Nord entre 1979 et 2020

plus intenses, selon le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Toutefois, rien ne prouve à ce stade que ces tempêtes deviennent plus fréquentes.

Pour les chercheurs, ces tendances n'empêcheront pas les avions de voler. « Les appareils ne vont pas commencer à tomber du ciel. Pour dix minutes passées dans de fortes turbulences par le passé, il pourrait s'agir de vingt ou trente minutes à l'avenir », modère Paul Williams, un chercheur de l'université de Reading, interrogé par la revue *Nature*. Pour Nicolas Bellouin, la hausse des turbulences ne présente « pas de danger de manière structurelle », les avions étant « conçus pour soutenir des chocs plus forts ». Mais elles pour-

raient pousser les équipages à revoir certaines organisations, sur le port de la ceinture ou le déplacement au sein des cabines en vol.

« Les compagnies aériennes devront commencer à réfléchir à la manière dont elles géreront l'augmentation des turbulences, car elles coûtent à l'industrie entre 150 millions et 500 millions de dollars [entre 138 millions et 460 millions d'euros] par an, rien qu'aux États-Unis, prévenait le chercheur Mark Prosser, premier auteur de l'étude de 2023, cité dans un communiqué de l'université de Reading. Chaque minute supplémentaire passée à travers des turbulences augmente l'usure de l'avion, ainsi que le risque de blessures pour les passagers et l'équipage. »

Depuis peu, le National Center for Atmospheric Research, un institut de recherche américain, fournit aux pilotes des prévisions de turbulences jusqu'à dix-huit heures à l'avance, mises à jour toutes les heures. Il travaille en outre sur un nouvel outil, avec des données actualisées toutes les quinze minutes, grâce notamment à des capteurs appelés « EDR » (Energy Dissipation Rate), embarqués dans les avions et mesurant en temps réel les humeurs de l'atmosphère. ■

AUDREY GARRIC

Les mouvements de l'air dans un ciel sans nuages surviennent de manière inattendue

Pollution de l'air et sonore : 9,7 millions de Franciliens très exposés

Selon Airparif et Bruitparif, 80 % de la population d'Ile-de-France serait soumise à des niveaux « fortement » supérieurs aux limites de l'OMS

Près de 9,7 millions de Franciliens, soit 80 % de la population d'Ile-de-France, seraient exposés simultanément à des niveaux de pollution atmosphérique et sonore qui « excèdent fortement » les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), alertent Airparif et Bruitparif, les organismes chargés de la surveillance de la qualité de l'air et du bruit dans un rapport inédit publié mardi 28 mai.

C'est la première fois que les deux observatoires réalisent une cartographie croisée des pollutions de l'air et sonores au sein de la région la plus peuplée de France. La métropole du Grand Paris concentre 86 % des personnes en situation d'exposition dite « très dégradée » du fait du bruit lié aux transports (grands axes routiers, aéroports, voies ferrées), de la pollution de l'air ou des deux.

Cette cartographie révèle que 487 communes (38 % des communes d'Ile-de-France) sont particulièrement exposées à, ces

deux pollutions : plus de la moitié de leur population est exposée simultanément à une qualité de l'air jugée « dégradée » et à des niveaux de bruit considérés comme « importants ». Une grande partie de ces collectivités sont situées dans ce qu'on appelle le cœur dense de l'agglomération parisienne : Paris et les villes de la petite couronne ; et pour ces dernières, particulièrement celles qui sont situées à proximité des aéroports Charles-de-Gaulle et Orly.

Une double peine qui s'explique assez facilement : plus on vit à proximité d'un axe majeur de circulation, plus on est exposé à la fois au bruit et à la pollution (émissions de particules fines et d'oxydes d'azote) générés par le trafic automobile encore largement dominé par le moteur thermique (essence et diesel). Or, avec plus de 40 000 kilomètres de routes, dont plus de 1 000 kilomètres d'autoroutes et de voies rapides, l'Ile-de-France est quadrillée par le premier réseau routier de France.

Les situations les plus critiques (zones rouges) sont majoritairement situées à proximité directe (de 100 à 200 mètres) des grands axes routiers. À Paris et dans les communes limitrophes, le boulevard périphérique est bien évidemment une source majeure de nuisances, mais d'autres axes de la capitale sont également rouge vif : les portes, les grandes places, les boulevards des maréchaux, ou encore les voies sur berge toujours ouvertes à la circulation.

Des « outils de diagnostic »

Les aéroports constituent aussi une importante source de nuisances pour les riverains et les secteurs fortement survolés. Outre les avions, c'est toute l'activité aéroportuaire qui génère des désagréments. Au sein de ces zones rouges, 850 000 personnes (7 % de l'ensemble de la population francilienne) sont soumises à des niveaux de pollution atmosphérique et sonore qui dépassent y compris les valeurs limites ré-

glementaires. Celles-ci sont pourtant bien moins protectrices que les lignes directrices de l'OMS.

Pour la pollution sonore, l'OMS recommande de ne pas dépasser 53 décibels (dB) en moyenne sur vingt-quatre heures et 45 dB la nuit pour le bruit routier quand la valeur limite européenne est, elle, fixée à 68 dB (et 62 dB) la nuit. L'écart est tout aussi important pour le bruit aérien.

« Cette carte croisée des deux plus importantes nuisances environnementales en Ile-de-France était attendue, note le président de Bruitparif, Olivier Blond. Elle permettra d'étudier leur impact sanitaire. Or, souvent, en santé environnementale, les pollutions ne s'additionnent pas, elles se multiplient. » Les effets sanitaires de la pollution de l'air sont bien documentés. Maladies cardio-vasculaires et respiratoires, cancer du poumon, retard de croissance... L'exposition aux particules fines et aux oxydes d'azote entraîne en outre une perte d'espérance de

vie et une hausse de la mortalité. Elle est associée à près de 8 000 décès prématurés par an en Ile-de-France.

De son côté, la pollution sonore provoque de la gêne, des perturbations du sommeil, accroît le risque de développer des maladies cardio-vasculaires ou du diabète et diminue la capacité d'apprentissage. Parmi les facteurs de risque environnementaux, c'est la deuxième cause de morbidité en Europe après la pollution de l'air. Selon Bruitparif, son coût social est estimé à 43 milliards d'euros par an pour la seule région Ile-de-France.

« Cette étude confirme que les transports sont la première source de pollution dans notre région. Elle montre combien sont nécessaires à la fois le développement des transports en commun et une planification urbaine différente qui diminuerait le besoin de transports... », selon Olivier Blond, aussi délégué spécial à la lutte contre la pollution de l'air et à la santé environnementale auprès de la présidente

(Les Républicains) de la région Ile-de-France, Valérie Pécresse.

« Diminuer autant que possible les nuisances liées aux pollutions de l'air et sonores est nécessaire pour améliorer la qualité de vie en ville », ajoute la directrice d'Airparif, Karine Léger. Ces cartographies vont permettre aux collectivités de suivre les conséquences de leurs actions. Elles sont aussi amenées à être des « outils de diagnostic » dans le cadre de l'élaboration des plans d'urbanisme, pour identifier les zones les plus exposées où des mesures de prévention et d'atténuation doivent être mises en place, et a contrario pour sanctuariser les zones de calme et de moindre pollution. Car il en existe : la carte identifie 316 communes (la plupart dans la grande couronne) où la quasi-totalité de la population est relativement épargnée à la fois par la pollution de l'air et les nuisances sonores, avec des niveaux proches des recommandations de l'OMS. ■

STÉPHANE MANDARD