

Par **Denis Capdegelle**,  
ingénieur Météo-France.

INFO-PILOTE Dec. 2022

## Changement climatique et VFR

Après avoir connu un long été record en termes de chaleur, revenons sur les effets du changement climatique – entre hier, aujourd'hui et demain – sur notre aviation légère.

Depuis les années 1990, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat – Giec – a publié plusieurs rapports sur le changement climatique en cours. Ces experts alertent l'opinion publique et les dirigeants politiques pour prendre des mesures radicales face à ce danger pour l'humanité.

### Qu'est-ce que le changement climatique ?

L'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre (GES) provoquée par l'homme a pour conséquence d'augmenter le nombre de rayonnements infrarouges (IR) réfléchis dans l'atmosphère, provoquant ainsi une modification des températures à la surface du globe.

### Les principaux gaz à effet de serre

Certains gaz à effet de serre sont naturellement présents dans l'air (vapeur d'eau, dioxyde de carbone). Si l'eau (vapeur et nuages) est l'élément qui contribue le plus à l'effet de serre « naturel », l'augmentation de l'effet de serre depuis la révolution industrielle du XIX<sup>e</sup> siècle est induite par les émissions d'autres gaz à effet de serre provoquées par notre activité.

- Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) qui contribue pour 2/3 à l'augmentation de l'effet de serre induite par les activités humaines (combustion de gaz, de pétrole, déforestation, cimenteries, etc.). Les émissions de CO<sub>2</sub> actuelles auront un impact sur les concentrations dans l'atmosphère et sur la température du globe pendant des dizaines d'années, car sa durée de vie dans l'atmosphère est supérieure à la centaine d'années.
- Le méthane (CH<sub>4</sub>) : les élevages des ruminants, les rizières inondées, les décharges d'ordures et les exploitations pétrolières et gazières constituent les principales sources de méthane induites par les activités humaines. La durée de vie du méthane dans l'atmosphère est de l'ordre de douze ans.
- Le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) provient des engrais azotés et de certains procédés chimiques. Sa durée de vie est de l'ordre de cent vingt ans.
- L'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>) a une durée de vie de 50 000 ans dans l'atmosphère.

### Changement climatique : des vagues de chaleur plus fréquentes et plus intenses

La France fait face depuis les dernières décennies à des vagues de chaleur plus fréquentes et plus intenses. Celles-ci font partie des extrêmes climatiques les plus préoccupants au regard de la vulnérabilité de nos sociétés et de l'augmentation attendue de leur fréquence et leur intensité au XXI<sup>e</sup> siècle. Cette augmentation est probablement inéluctable pour les prochaines décennies du fait de la poursuite d'émissions de gaz à effet de serre ces prochaines années. Seul un arrêt net de production de CO<sub>2</sub> (totalement improbable) pourrait stabiliser le réchauffement climatique. Malheureusement, les données climatologiques de l'année 2022 ne signalent pas une stabilisation de ce réchauffement, bien au contraire.

### Un des étés les plus chauds jamais observé en France

L'été 2022 (juin-juillet-août) est le **deuxième été le plus chaud** observé en France depuis au moins 1900, avec un écart de **+2,3 °C** par rapport à la moyenne 1991-2020. L'été 2003 reste le plus chaud jamais mesuré en France avec une anomalie de température de **+2,7 °C**. Cet été 2022 a subi **trois vagues de chaleur** : du 15 au 19 juin, du 12 au 25 juillet et du 31 juillet au 13 août, pour un total inédit depuis 1947 de **33 jours de vagues de chaleur** (contre 22 jours de vagues de chaleur en 2003), même si la sévérité cumulée des épisodes de l'été 2022 reste nettement inférieure à celle de l'été 2003.

### Une chaleur record

La France a connu cet été une chaleur inédite, que peuvent illustrer de nombreux records battus.

- **Les 40 °C « les plus précoces » jamais mesurés** : dès le 16 juin, on mesurait plus de 40 °C à Saint-Jean-de-Minervois. Jamais auparavant une telle chaleur n'avait été observée si tôt dans la saison en France continentale.
- **Les 40 °C atteints dans le Finistère Nord**. Ce qui n'avait jamais été mesuré dans cette zone depuis le début des mesures. On a également enregistré plus de 30 °C sur l'île d'Ouessant.
- Le seuil des 40 °C a aussi été atteint en juin, en juillet et en août à Nîmes, ce qui constitue une série inédite.
- **Nuits tropicales sur la Riviera**. Influencées par la température élevée de la Méditerranée, les nuits chaudes deviennent la norme au cœur de l'été. Depuis le 30 juin, Nice a ainsi connu 56 nuits dites tropicales consécutives.

L'évolution des températures moyennes annuelles en France métropolitaine montre un réchauffement depuis 1900. Ce réchauffement a connu un rythme variable avec une augmentation marquée depuis les années 1980. Sur la période 1959-2009, la tendance observée est d'environ **+0,3 °C** par décennie.

La température annuelle moyenne sur le pays en 2020 a atteint **15,3 °C**, dépassant la normale (période référence 1961-1990) de **+2,3 °C (figure 1)**. L'année 2020 s'est ainsi classée au 1<sup>er</sup> rang des années les plus chaudes sur la période 1900-2020 devant 2018 (15,1 °C) et 2003 (14,9 °C). L'année 2022 s'annonce aussi comme une année record, mais les chiffres définitifs ne seront disponibles que fin décembre pour le bilan annuel.

**Période du 1er janvier au 13 octobre 2022 :**

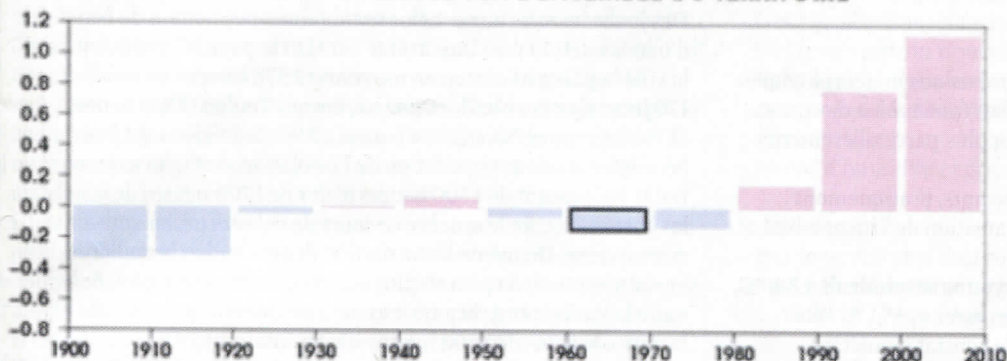
**Indicateur national de température moyenne de 15.51°C**

**Nouveau record devant 2020 (15.29°C), 2018 (15.14°C) et 2003 (14.97°C)**



Figure 1. Augmentation de la température moyenne annuelle depuis 1960.

### VALEURS MOYENNES SUR L'ENSEMBLE DU TERRITOIRE

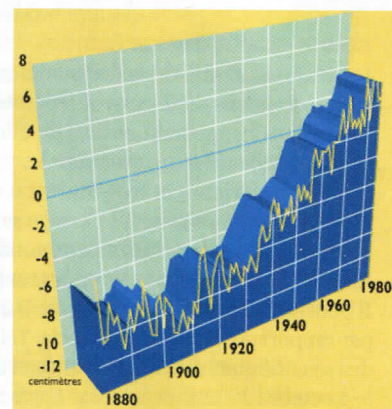


© Météo-France

Cartographie de l'écart à la référence (moyenne 1961-1990) de la température moyenne observée sur 10. (Données Météo-France)

Figure 2.

Le réchauffement se traduit par une élévation moyenne du niveau de la mer de 10 à 20 cm, par dilatation de l'eau.



Un ensoleillement en constante augmentation. A titre d'exemple, la région parisienne bénéficiait dans les années 2000/2010 de 1600 à 1700 h de soleil. De 2019 à 2022, cet ensoleillement est passé à près de 2000 heures de soleil. Cette importante durée d'insolation se traduit pour nous, pilotes VFR, par des journées de vol plus longues, et des phénomènes de basses couches moins nombreux. Le nombre de jours de brouillards, brumes et stratus est en forte diminution. Les experts du Giec ont publié, dès les premiers rapports, des avis sur les conséquences importantes pour l'humanité dans les décennies à venir. Citons ici les plus remarquables :

- **la fonte des glaciers de montagne** (diminution de la superficie et de l'épaisseur des glaces) ;
- **les régimes de précipitation** : une atmosphère plus chaude peut transporter jusqu'à 7 % d'humidité en plus par degré de réchauffement et, plus l'atmosphère est humide, plus la probabilité de pluies est importante. La circulation atmosphérique est modifiée, les vents et les régimes de précipitations aussi ;
- **l'intensification des événements extrêmes**. On regroupe sous le terme « **événement climatique extrême** » les inondations, les tempêtes, les sécheresses et canicules, les ouragans, les tornades, les typhons, les vagues-submersion, les feux de forêt ou encore les cyclones. L'évolution du climat a pour conséquences de modifier l'intensité, la fréquence, la durée et la répartition de ces phénomènes extrêmes. Par exemple, les sécheresses (déficit en eau sur une longue période) seront plus fréquentes, plus intenses et plus longues ;
- **l'augmentation du niveau des océans** – dilatation due à la chaleur, fonte des glaces terrestres (glaciers) ou d'eau douce (calottes glacières des pôles (figure 2)).

Ces changements climatiques s'accompagnent de modifications environnementales à l'échelle mondiale. Elles sont engendrées par la généralisation des échanges (urbanisation, etc.) et par les activités humaines (déforestation, etc.). L'ensemble de ces modifications à l'échelle planétaire sont nommées **changements climatiques globaux**.

#### Ce qu'il faut retenir

- Si les gaz à effet de serre n'existaient pas, la température sur Terre serait de -18 °C, contre +15 °C aujourd'hui.

- Les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> ont été multipliées par 4 depuis 1950. Elles pourraient doubler d'ici 2050.
- La température moyenne sur Terre pourrait augmenter de +1,1 à 6,4 °C avant la fin du siècle.
- Le changement climatique est surtout marqué par la succession de phénomènes extrêmes (tempêtes, tornades, vents violents, précipitations soudaines et très fortes).

### Changement climatique entre passé, présent et futur en VFR

#### Climat et VFR, il y a quelques décennies

Dans le passé assez récent, de manière systématique, la succession des saisons était bien marquée et facilement observable. Les hivers étaient froids et souvent accompagnés de mauvaises conditions aéronautiques partout en France. Les printemps, malgré quelques épisodes agités (giboullées de mars), annonçaient les premières journées très ensoleillées. Les étés apportaient soleil et chaleur, alors que l'automne signifiait les premiers frimas et une grande humidité.

Pour nous pilotes VFR, ce balisage saisonnier permettait de planifier et de préparer dans le temps, les vols et les navigations. L'approche de l'hiver aéronautique était toujours pénalisante pour le vol VFR du fait de conditions météorologiques plutôt mauvaises, mais permettait une maintenance des appareils, la remise à niveau des connaissances, les formations, etc.

#### Climat et VFR actuel

Force est de constater que ces dernières années, les repères climatiques sont beaucoup plus aléatoires et remarquables (figure 3). Les hivers deviennent doux, il n'y a plus de transition entre hiver et été en passant par la case printemps, de même l'automne est réduit à une peau de chagrin et ressemble de plus en plus à un été qui se prolonge. Pour s'en convaincre il n'y a qu'à relever le nombre de records de températures maximales battues en ce mois d'octobre 2022 (parfois plus de 32 °C à Tarbes au pied des Pyrénées). D'année en année, nous constatons un allongement de la période estivale avec un automne pratiquement inexistant et un printemps plutôt clément durant plusieurs mois. Ces situations météorologiques plutôt



douces, estivales et durables sont-elles une aubaine pour voler plus sereinement et plus longtemps en VFR ? C'est ce que nous allons essayer de comprendre et d'analyser avec une comparaison avec les quelques décennies passées et à venir.

## Climat et VFR dans le futur

Les diverses simulations des modèles de prévisions météorologiques et les prévisions du Giec évoluent toutes dans une même direction. Celle d'un changement radical du climat et plus particulièrement vers un réchauffement planétaire.

Les hivers deviennent très courts ou inexistant, pratiquement plus de printemps avec un passage sans transition de l'hiver à l'été et de l'été à l'hiver sans saison automnale.

En 2100, **la hausse de la température moyenne atteindrait + 3,8 °C**. Il pourrait ainsi faire en moyenne +3,2 °C en hiver et +5,1 °C l'été par rapport au début du xx<sup>e</sup> siècle. Tel est le constat inquiétant des scientifiques de Météo-France et du CNRS, dans une étude parue le 4 octobre 2022 dans la revue *Earth System Dynamics*.

## Impacts et conséquences

Jusque dans les années 2000, la stabilité du climat, avec des saisons bien marquées, permettait de voler en VFR, correctement au printemps et en automne, très bien en été et difficilement en hiver. Certaines régions, comme la moitié nord du pays, étaient plus défavorisées durant l'hiver et les intersaisons. A partir des années 2000/2010, on note une évolution assez remarquable en France et ailleurs d'une augmentation du nombre de saisons chaudes au détriment des saisons froides. On passe souvent Noël au balcon, mais également Pâques au soleil et les étés deviennent caniculaires partout dans le pays. Les modifications de certains paramètres météo sont significatives pour le pilote VFR. Les variations de ces paramètres sont à analyser et à prévoir avec

minutie lors des navigations (dossier de vol météo). Voici quelques repères qu'il faudra bien cerner dans le futur.

## L'ensoleillement

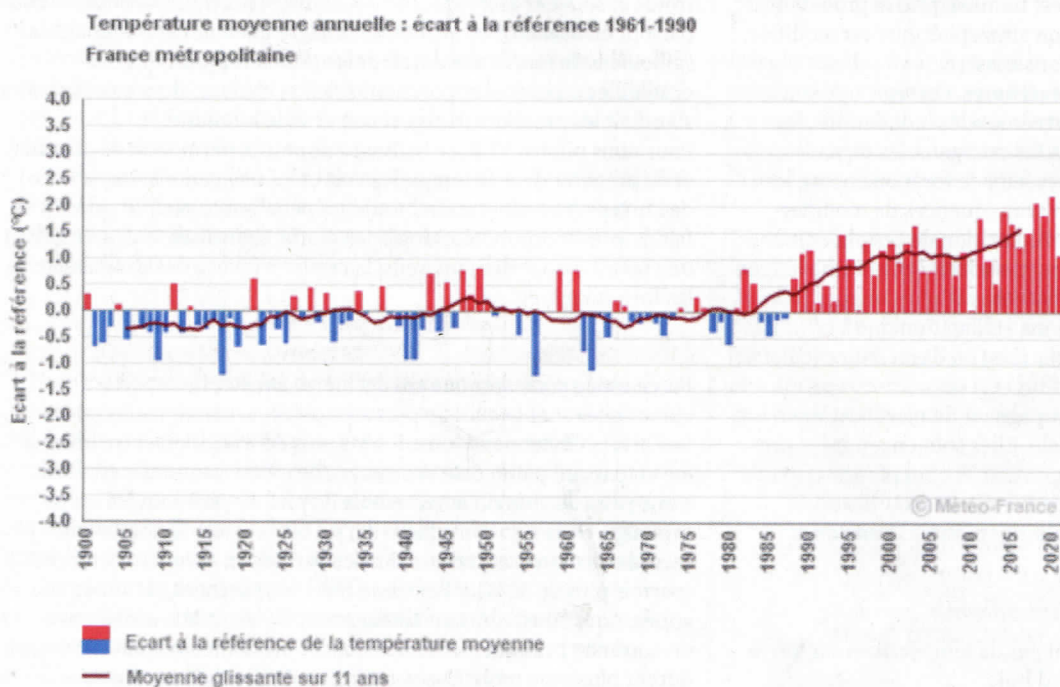
Des journées sans nuages plus nombreuses permettent de bénéficier d'une insolation plus importante sur tout le pays. Marseille est ainsi la ville la plus gâtée, avec **en moyenne 2 858 heures de soleil et 170 journées ensoleillées par an**, devant Toulon (2 839 heures), Ajaccio (2 756 heures) et Nice (2 724 heures). Mais les régions qui pourraient bénéficier d'une augmentation de l'insolation sont situées au nord de la Loire. En passant de 1500 heures à plus de 1700 heures de soleil dans les années à venir, le nombre de jours de vol sera probablement en très nette hausse. De même la raréfaction des brumes et brouillards dans une atmosphère de plus en plus sèche permettrait au soleil de briller sur toute la moitié nord du pays avec un excédent d'insolation par rapport à la normale (plus de 1 600 heures à Lille-Lesquin).

## La température

L'établissement durable d'un temps stable et beau sur plusieurs jours permet d'augmenter sensiblement le temps de vol et les heures de vol. Mais attention, avec plus de 20 °C la nuit et 35 °C le jour ce sont des périodes de canicules qui s'installent de plus en plus durablement et de plus en plus souvent ! Ces fortes températures caniculaires qui se succèdent modifient très sérieusement les performances de nos avions légers (distance de décollage, emport de passagers, performance moteur, etc.).

La turbulence thermique, provoquée par une surchauffe des pistes d'aérodrome, est à prendre en compte (risque d'embarquée, déstabilisation de l'avion, dérive par rapport à l'axe de piste). Le nombre de jours de gelées diminue partout en France et les températures inférieures à -10 °C ne sont plus qu'anecdotiques en plaine (aucun jour de température inférieure à -10 °C à Paris depuis dix ans).

L'évolution des températures moyennes annuelles en France métropolitaine montre un réchauffement depuis 1900.



**Figure 3.** Evolution de la température moyenne annuelle et écart à la normale 1961-1990.



### Le vent

Les centres d'actions (dépression/anticyclone) restent souvent en marge de notre pays sur le proche Atlantique. Ceux-ci génèrent de forts vents d'altitude de secteur sud-ouest pour les dépressions et de nord-ouest pour les anticyclones. Ce vent s'accélère au contact des reliefs des Pyrénées, du Massif central ou des reliefs du Nord-Est et des Alpes. Ces accélérations provoquent la formation de nombreux et puissants rotors accompagnés d'ondes orographiques. L'effet de foehn est important et l'assèchement de l'atmosphère est remarquable. En cours de navigation VFR, et par vent fort, on ressent un certain inconfort dû à la turbulence durant le vol. Une fois dans le lit du vent, même si celui-ci est fort, le vol est plus stable, mais attention à la dérive de trajectoire. Il faudra tenir compte des temps de vol dans la préparation des navigations (durée du vol allongée par vent arrière, ou raccourcie par vent de face). Il en est de même pour la consommation carburant et, bien sûr, il faudra choisir le niveau idéal de vol.

### Les phénomènes extrêmes

Les phénomènes météorologiques extrêmes comme les tempêtes pourraient également être appelés à se multiplier, provoquant ainsi des perturbations sur les vols, des retards, des changements d'itinéraires ou des annulations de vol. Ces phénomènes extrêmes sont souvent liés à la présence et au développement anarchique des nuages instables, tels que les TCU(s) et les CB(s). Ceux-ci deviennent de plus en plus souvent des super cellules convectives très dangereuses pour le vol VFR et les infrastructures. Les rafales de vent peuvent dépasser les 200 km/h au sol, sous forme de microburst ou macroburst suivant la taille de la tempête. Malgré le réchauffement en cours, des épisodes hivernaux extrêmes peuvent également se produire. Ceux-ci sont souvent brefs, soudains, mais très intenses (épisode neigeux, givrage sévère, vents forts, gelées printanières tardives).

### VFR : les + et les - du changement climatique

#### Avantages

- Des vols plus nombreux, un nombre d'heures de vol plus important pourraient permettre aux aéroclubs une gestion économique plus aisée.
- Pour le pilote VFR, des journées de grand beau temps stable en

été permettront de planifier de longues navigations et des vols plus nombreux en toute sécurité. Des journées d'ensoleillement plus longues permettront de décoller tôt et de finir tard les navigations.

- Des possibilités de prévoir les vols sur plus de la moitié de l'année.
- Des journées sans nuages plus nombreuses.
- Des températures douces 9 mois sur 12, éliminant le risque de givrage cellule même en altitude moyenne (FL050 à FL100).
- Des économies de carburant lors des nombreuses journées de vent porteur.
- Moins d'humidité et donc moins de phénomènes de basses couches.

#### Inconvénients

- Des températures diurnes et nocturnes très chaudes en été, ce qui caractérise la canicule. Dans ce cas, les performances au décollage et à l'atterrissage de nos avions légers pourraient être altérées.
- Des précipitations rares mais très violentes et soudaines. La piste inondée avec un risque d'aquaplaning. La visibilité en vol deviendrait très mauvaise et matérialisée par un rideau dense de pluie. Ces précipitations fortes, souvent issues de cumulonimbus, sont souvent accompagnées de grésil et/ou de grêle. Le développement vertical de ces nuages jusqu'à la tropopause génère des grêlons qui parfois atteignent la taille de balles de tennis au sol.
- Le vent, même s'il a l'avantage d'être dans certaines situations bénéfique et porteur, provoquerait, du fait de son augmentation dans les basses couches, des turbulences sévères, en particulier à la verticale des reliefs et dans les vallées resserrées et encaissées. Il deviendrait de plus en plus souvent très violent autour des orages avec des rafales dévastatrices (tornades). Déstabilisant le confort du vol et pénalisant sa durée et la consommation carburant.
- Les tempêtes deviendraient plus intenses et violentes. Les infrastructures aéroportuaires devront s'adapter à ces nouvelles contraintes en renforçant leur emprise au sol et améliorer leur solidité.

Je termine ce chapitre par une citation d'Antoine de Saint Exupéry :

**« Nous n'héritons pas de la Terre de nos parents, nous l'empruntons à nos enfants. » ●**

Training for Excellence

commercial@vinci.aero - 04 42 61 84 87  
www.vinci.aero

De INCI Aéro

**MEP  
CPL  
IR**

formation complète sur «Seneca III» PA-34

Aix-en-Provence - LFMA

**MCC  
QT  
A320**

stage de préparation aux sélections inclus