

« Les contrails ont un impact majeur sur le réchauffement climatique » :

Les trainées de condensations (ou contrails) sont des nuages artificiels produits suite à la réaction de combustion d'un turboréacteur à haute altitude. Selon les conditions atmosphériques, elle peuvent être inexistantes, temporaires ou persistantes (sous forme linéaire ou étendues en cirrus). Comme pour les turbulences, il existe des zones plus propices à la formation de cirrus persistants et qui concernent une minorité de vols (**2% des vols sont responsables de 80% du forçage radiatifs dû aux contrails**). Tandis que les contrails temporaires ont un effet négligeable, les formes persistantes ont un effet réchauffant sur la planète car elles empêchent une partie du rayonnement thermique terrestre de repartir vers l'espace (effet couverture). Ce qui est souvent mis en valeur dans les rapports ou les articles, c'est que leur effet est plus important que celui du CO₂ émit par l'aviation. Ce qui est souvent oublié, c'est le degré **d'incertitude** de cette valeur.

Un impact incertain

Quelques extraits d'études publiées:

- « Aggregating these processes to calculate changes in a greenhouse gas component or a cloud radiative effect is a **complex challenge for contemporary atmospheric modeling systems**. » (*D.S. Lee et AL. 2020*)
- « The **uncertainties** for contrail cirrus were estimated partly from **expert judgement** of the underlying processes » (=pifomètre) (*D.S. Lee et AL. 2020*)
- « IPCC assigned a **large uncertainty** and **low confidence** to reflect important aspects with incomplete knowledge (e.g., spreading rate, optical depth, and radiative transfer). » (*D.S. Lee et AL. 2020*)
- « **Uncertainty distributions** (5%, 95%) show that non-CO₂ forcing terms contribute about 8 times more than CO₂ to the uncertainty in the aviation net ERF in 2018. » (*D.S. Lee et AL. 2020*)
- « **Uncertainties in the methodology and the modeling are significant** and discussed in detail. » (*Chen and Gettelmann 2016*)
- « Despite such **considerable uncertainty** it is obvious that the reduction of contrail cirrus ERF is much larger than it is in case of a CO₂ forcing of similar magnitude » (*Bickel et AL. 2020*)
- « but sublimation loss factors and ice crystal number concentrations **remain uncertain until measurements become available** » (*Karcher 2018*)
- « The RF of linear contrails, which are conceptually simpler, **also has significant uncertainty**. » (*Paoli ; Shariff 2016*)
- etc ...



Voici d'ailleurs l'indice de confiance qu'accorde le GIEC en 2013 (*IPCC 2013, Chapter 8, Table 8.5*) sur cette valeur:

	Evidence	Agreement	Confidence Level	Basis for Uncertainty Estimates (more certain / less certain)	Change in Understanding Since AR4
Contrail- induced cirrus	Medium	Low	Low	Observations of a few events of contrail induced cirrus/Extent of events uncertain and large spread in estimates of ERF	Elevated owing to additional studies increasing the evidence

Et celui de l'étude de *D.S. Lee et AL. 2020*, la plus récente:

Terms	Evidence	Agreement	Conf. level	Basis for uncertainty estimates	Understanding change since L09
Contrail cirrus formation in high-humidity regions	Limited	Medium	Low*	Robust evidence for the phenomenon. Large remaining uncertainties in magnitude in part due to incomplete representation of key processes	The inclusion of contrail cirrus processes in global climate models.

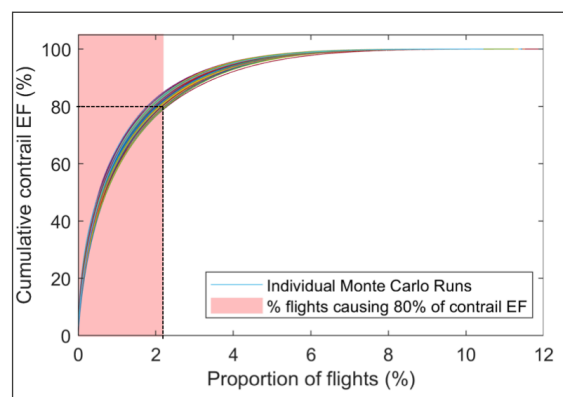
Dans cette étude (*D.S. Lee et AL. 2020*) qui fait un bilan de l'état des connaissances actuelles, **le mot « uncertainty-ies » apparaît 125 fois en 29 pages**. Ce n'est pas un argument très scientifique mais c'est frappant à la lecture de l'article de voir à quel point **les chercheurs sont beaucoup moins certains que les journalistes/activistes**.

Un réchauffement local et temporaire

Notons également que les contrails ont un mécanisme de réchauffement différent de celui du CO2. Même si leur pouvoir réchauffant est à priori plus fort, elles agissent de manière **locale et temporaire** (quelques heures vs 100 ans+ pour le CO2). L'effet sur le climat global est donc potentiellement très différent de celui du CO2 et n'est pas forcément comparable. Une concentration de chaleur temporaire située à l'intersection de couloirs aériens et de zones atmosphériques « à contrails » n'a pas le même effet qu'une couverture planétaire de gaz à effet de serre. Et contrairement au CO2, la disparition de l'émission des contrails signifie la disparition immédiate de leur effet réchauffant.

Un phénomène évitable

Plusieurs études (*Stettler, 2020 & Avila et AL. 2019*) suggèrent que des changements de route ou d'altitude (+/- 2000ft) peuvent réduire significativement l'effet des contrails. En effet, **seulement 2% des vols sont responsables de 80% du forçage radiatif dû aux contrails** (Cf. figure ci-contre). L'analyse de vols au dessus du Japon (*Stettler, 2020*) a permis de démontrer qu'une altération de



Source: *Stettler 2020, P.57*



trajectoire de 1,7% des vols pouvait réduire le forçage radiatif (effet réchauffant) des contrails de 59,3% (35,6% de l'ensemble contrail/CO₂). **Si en plus les avions étaient dotés de moteurs à DAC** (Double annular combustor, technologie existante), **alors on peut réduire l'effet réchauffant des contrails de 91,8%** (56,5% de l'ensemble contrail/CO₂) avec le même taux d'altération des vols (cf. présentation des travaux de [Stettler, 2020](#)).

Ce type de modification mineure de trajectoire est déjà régulièrement opéré pour éviter une zone de turbulence ou des cumulonimbus par exemple, et il semble tout à fait réalisable de faire la même chose pour éviter les zones à contrails. Car si l'influence des contrails sur le réchauffement demeure encore très incertaine, les conditions permettant leur formation sont connues. **Une information météo supplémentaire sur ces zones permettrait d'anticiper les trajectoires dès la planification des vols, et un système de capteurs permettrait de remonter aux pilotes si ils volent dans une telle zone.**

L'utilisation de carburants adaptés pourrait également diminuer l'effet réchauffant des contrails de manière significative. Les carburants produits à partir de composés durables (SAF) contiennent naturellement peu de composés aromatiques ce qui réduit le pouvoir réchauffant des contrails ([Burkhardt et AL., 2019](#)). Il existe également la possibilité de diminuer la concentration de ces composés dans le kérosène produit à partir de pétrole, ce qui offrirait une solution à plus court terme.

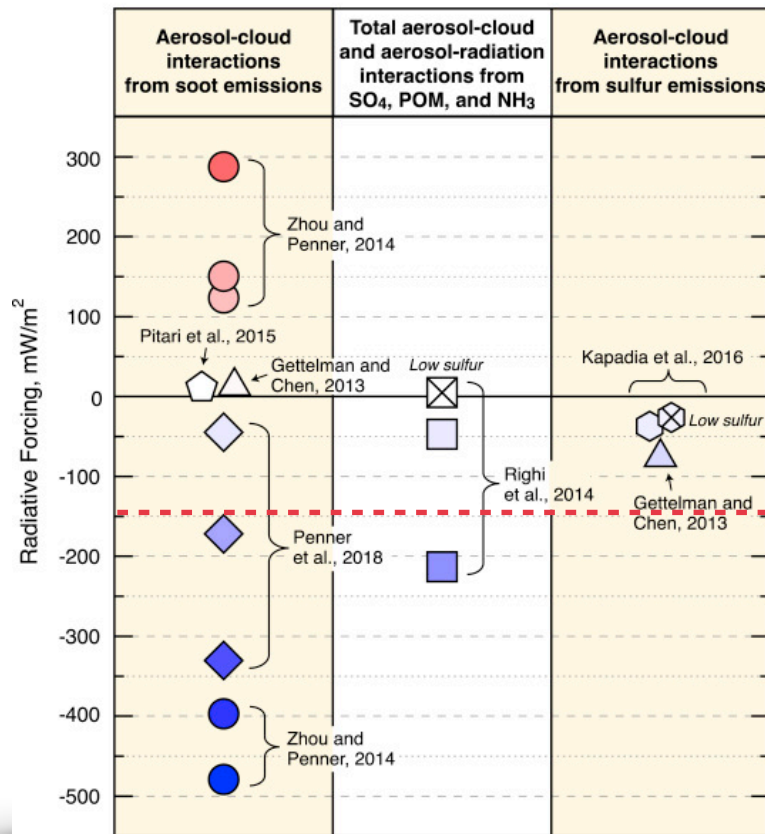
D'autres effets refroidissants

Enfin d'autres effets ayant un **pouvoir refroidissant** ont été avancés dans certaines études ([Chen and Gettelmann 2013/2016](#) ; [Penner et AL. 2018](#) ; [D.S. Lee et AL. 2020](#)). Il s'agit des interactions entre les aérosols¹ (sulfates et suies) et les nuages. Les aérosols rendent les nuages plus réfléchissants, ce qui empêche une partie du rayonnement solaire de rejoindre la surface terrestre. Ces effets ne sont pas pris en compte dans les calculs d'impact de l'aviation sur le climat car les études les concernant ne sont pas assez nombreuses ni assez robustes. Pour autant les premières estimations donnent des ordres de grandeurs loin d'être négligeables:

¹ Les aérosols ont un également un pouvoir polluant. Cependant selon une étude de [Righi et AL. 2016](#), les particules émises par l'aviation (horizon 2030) ont un impact faible sur la composition de l'atmosphère, comparé aux autres sources.



RF Estimates for Aerosol-Cloud Interactions



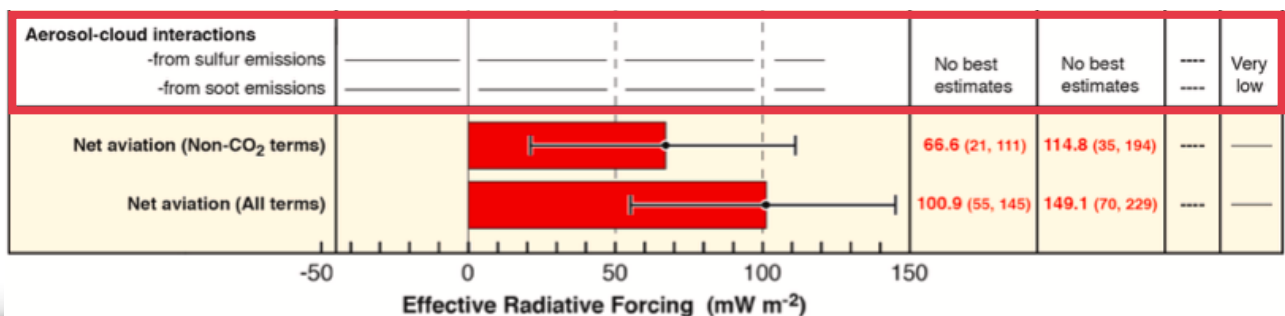
Valeur de RF qui « annulerait » l'effet réchauffant de l'aviation

D.S Lee et Al. 2020, Fig 5

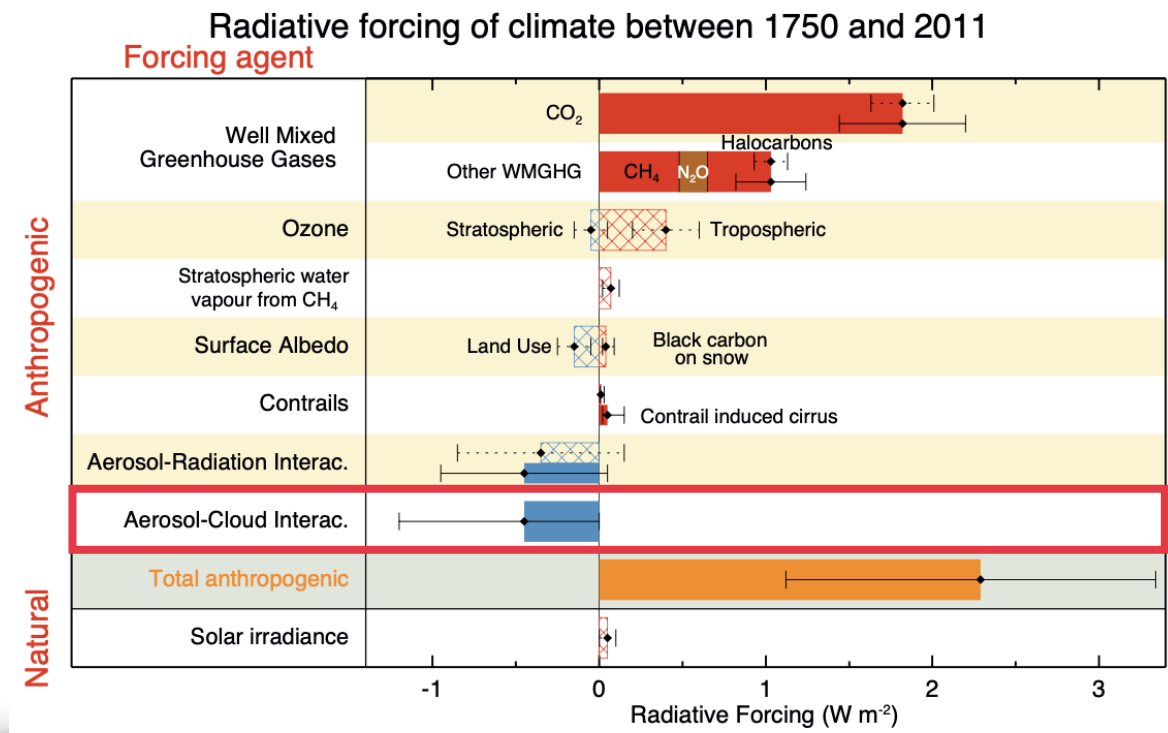
L'indice de confiance sur l'effet des interactions nuages/aérosols liés à l'aviation est pour le moment jugé « très faible » (*D.S. Lee et AL. 2020, Table 4*):

Aerosol-cloud interactions						
From sulfur emissions	Limited	Low	Very low	None available; few studies, probably a negative ERF		Not provided previously
From soot emissions	Limited	Low	Very low	None available; few studies, varying in sign and magnitude of ERF constrained by poor understanding of processes		Not provided previously

Ces effets refroidissants ne sont donc pas pris en compte dans le calcul de l'impact de l'aviation sur le réchauffement climatique (*D.S. Lee et AL. 2020, Fig. 3*):



Cependant le GIEC (rapport 2013) intègre les effets des interactions nuages/aérosols (non spécifique aviation) (*IPCC 2013, Chapter 8, Fig. 8.15*) pour le calcul global des émissions anthropiques:



La robustesse des résultats devra être améliorée mais on pourrait s'attendre à une diminution sensible de la part de l'aviation dans le réchauffement climatique à l'avenir.

Une comparaison CO2/Contrails peu pertinente

L'hypothèse d'une aviation qui aurait un effet global refroidissant montre bien la limite de l'équivalence donnée aux effets temporaires (dont les contrails) avec le CO₂ et de la notion de Radiative Forcing (RF) appliquée à l'aviation: si la recherche devait démontrer un RF global négatif de l'aviation (effet refroidissant), devrait-on arrêter les efforts sur la réduction des émissions de CO₂? Peu de chances que les climatologues approuvent.

En effet, on sait au moins 2 choses avec certitude sur le CO₂: il est néfaste pour le climat, et une fois émit il restera pour une longue période sans moyen de mitigation. Les GES temporaires ont une action beaucoup plus incertaine, et une diminution de leurs émissions effacerait immédiatement leur action sur le climat. **La comparaison des GES temporaire et du CO₂ ne peut être qu'encadrée par des hypothèses plus ou moins arbitraires, et il convient d'être très vigilant avant de prioriser la diminution**



de l'un ou de l'autre, ou bien d'agréger leurs effets à un instant t sans parler du contexte.

Dans un rapport sur les effets hors CO₂ de l'aviation², l'EASA rappelle bien que la notion brute de RF/ERF n'est pas adaptée à des fins de réglementation: « **As such, RF or ERF are of relevant for understanding science, but are unsuited for direct use in policy or regulation that considers emissions equivalency.** »

Et dans le cadre de l'information carbone, la loi considère que ces effets **ne doivent pas être pris en compte**³.

Conclusion

la vulgarisation d'articles scientifiques omet parfois des informations importantes. Dans cet exemple des contrails, **il est très rare de tomber sur des articles qui font part d'explication du phénomène, du haut degré d'incertitude sur leur impact, ou des solutions envisageables pour en diminuer les effets.** Il en résulte une surestimation⁴ simpliste de l'influence de l'aviation sur le réchauffement climatique alors que les GES temporaires ne devraient être comparés au CO₂ que dans un contexte précis (études de compromis par exemple). Ces effets hors CO₂ doivent rester des points d'attention au niveau scientifique et industriel, mais doivent aujourd'hui être décorrélés de l'information CO₂ de l'aviation.

² P.27 du rapport 2020 de l'EASA « *Updated analysis of the non-CO₂ climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to EU Emissions Trading System Directive Article 30(4)* »

³ Comme rappelé par l'ADEME: « Ces émissions [liées aux trainées et cirrus] ne doivent pas être prises en compte dans le cadre de l'information CO₂ des prestations de transport et ne sont pas obligatoires dans le cadre de l'article 75 »

⁴ Surestimation aujourd'hui qui pourra potentiellement se transformer en sous-estimation lorsque les effets refroidissants seront mieux connus et intégrés au bilan des RF/ERF.

