

Sensibilité du forçage radiatif induit par la présence de trainée de condensation d'avions

Audrey Benteyn⁽¹⁾, Christophe Bellisario⁽¹⁾, Claire Malherbe⁽¹⁾, (1) ONERA/DOTA, chemin de la hunière, 91123 Palaiseau, France

CONTEXTE

À ce jour, l'aviation est responsable d'environ 3.5 % du forçage radiatif total lié aux activités anthropiques [1]. Plus de la moitié de l'impact climatique de l'aviation est dû aux émissions non-CO₂. Or, l'impact de ce type d'émissions est actuellement peu compris et difficile à quantifier. En particulier, la formation de contrails et cirrus, induits par ce type d'émission augmente la couverture nuageuse de 4 à 6 % sur l'ensemble de globe, influençant ainsi le bilan radiatif de la Terre.

L'impact radiatif des traînées de condensation est déterminé par la différence de flux radiatif sortant au sommet de l'atmosphère, dans un cas sans contrail (SC) et dans un cas avec contrail (AC):

$$RF_{net} = RF_{SC} - RF_{AC}$$

OUTILS

Code de transfert radiatif MATISSE [2] développé par l'ONERA (version dédiée pour CLIMAVIATION).

- Simulation de la propagation du rayonnement électromagnétique (UV, visible, infrarouge) dans l'atmosphère.

Paramètres d'entrées :

Interne au contrail		Variabilité météorologique spatiale et temporelle	
Rayon effectif des cristaux de glace [μm]	15	Température de la surface [K]	
Contenu en glace [g/m^3]	2E-3	Emissivité du sol : spectrale en fonction du biome [-]	
Épaisseur optique [-]	0.22	Angle solaire zénithal [°]	
Épaisseur géométrique [m]	1000	Profil atmosphérique [AFGL]	US standard, summer mid lat

- **Sorties :** Flux radiatifs Short Wave [0.2; 4] μm et Long Wave [4; 100] μm calculés au TOA

METHODE

⇒ Représentation de cas réalistes à l'échelle du globe

⇒ Calcul des conditions moyennes

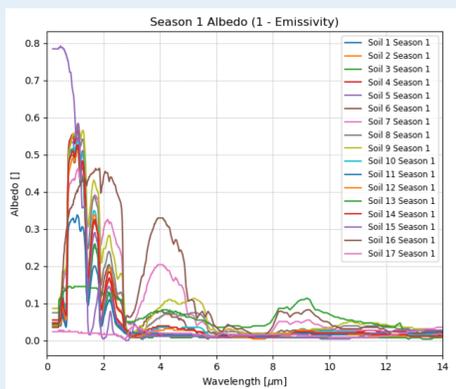
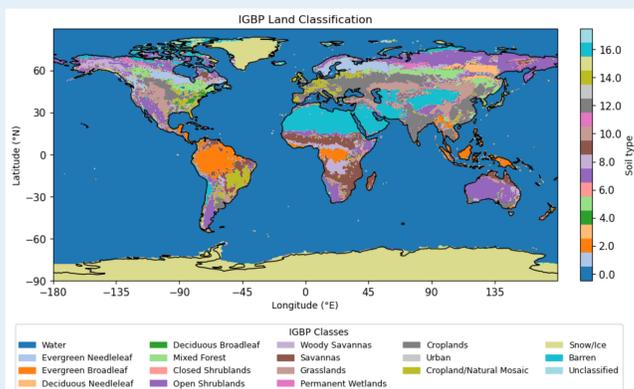
L'objectif est d'éviter les calculs systématiques.

DONNEES D'ENTREE :

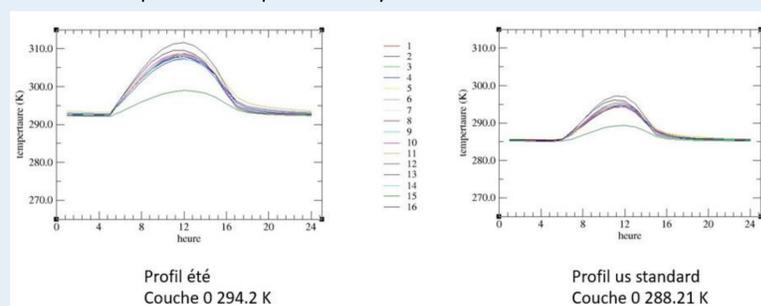
- **Données ERA5 [3] :** pour le calcul de la température moyenne de surface (choix de l'année 2024)
- **Données IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) [4] :** pour la distinction des 17 type de sol
- **Données COLI [5] :** pour le calcul des paramètres microphysiques moyens du contrail

VARIABILITÉ DES PARAMÈTRES D'ENTRÉE

Variabilité spectrale des émissivités/albédos sur les deux saisons :



Prise en compte des **cycles diurnes** de température des biomes sur des conditions temporelles et spatiales moyennes :

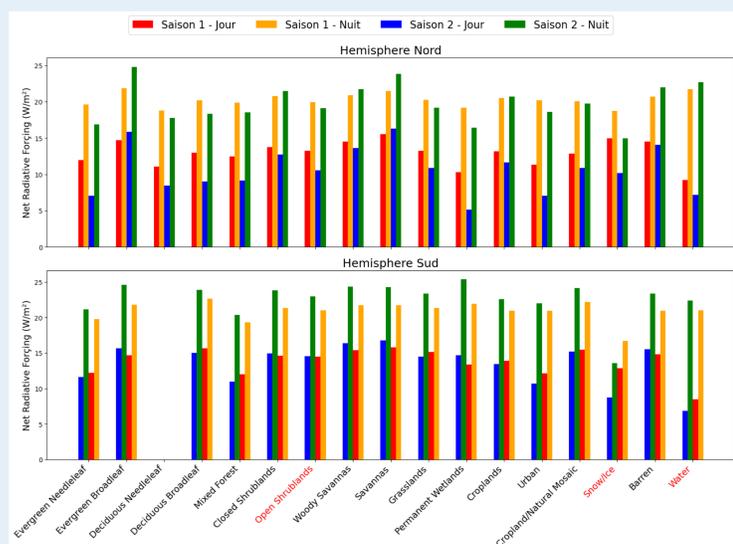


- Pondération par les écarts à la moyenne diurne
- Utilisation des valeurs médianes et écarts-types pour l'étude de sensibilité

CAS MOYEN

Séparation des contributions par :

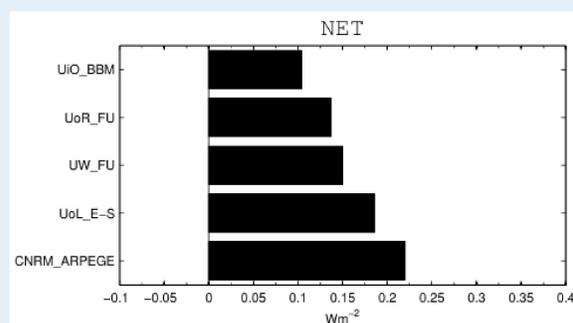
- **Hémisphère :** Nord et Sud
- **Types de sol :** 17 types de sol issus des données IGBP
- **Saisons :** avril – septembre pour la **saison 1** (période chaude hémisphère Nord), octobre – mars pour la **saison 2** (période froide hémisphère Nord)



CAS DE VALIDATION: MYHRE [6]

Intercomparaison de calculs de forçage radiatif

- Résultat pour une couverture nuageuse de 1% :

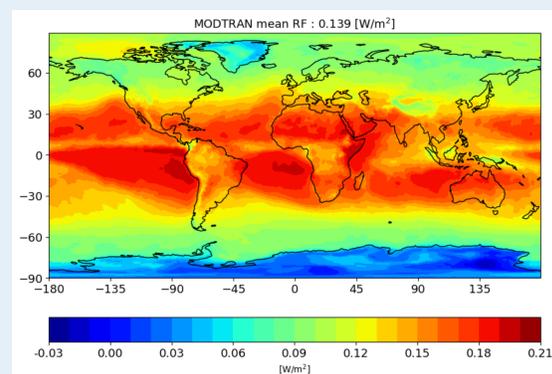


- Comparaison avec les forçages radiatifs net globaux [W/m^2] du cas moyen, obtenus pour une couverture de 1% :

MOYENNE JOUR / NUIT	Hémisphère Nord	Hémisphère Sud	Globale
Saison 1	0.151	0.164	0.154
Saison 2	0.165	0.145	

CAS GLOBAL MODTRAN

Calcul sur l'ensemble du globe de manière systématique avec MODTRAN [7] :



- Très couteux en temps de calcul
- On retrouve des résultats similaires et cohérents à partir du cas moyen, avec un temps de calcul réduit

CONCLUSIONS

- Réchauffement global net de $15 \text{ W}/\text{m}^2$ pour une condition moyenne spatiale et temporelle. Résultat très similaire au cas de Myhre [6].
- Légère amplification du forçage radiatif durant la période hivernale par rapport à la période estivale.
- Très peu de différence entre hémisphères, cependant la majeure partie des trajectoires d'avions se situe dans l'hémisphère Nord.

PERSPECTIVES

- Introduction de nuages naturels dans le calcul pour approcher les conditions nuageuses moyennes.
- Analyse de sensibilité sur les différents paramètres.
- Calcul de probabilité de passage d'avions à partir de trajectoires, correspondance avec les résultats.

REFERENCES

- [1] Lee, D. S. et al. « Uncertainties in mitigating aviation non-CO₂ emissions for climate and air quality using hydrocarbon fuels ». Environmental Science : Atmospheres, 3(12) :1693–1740, 2023, <http://dx.doi.org/10.1039/D3EA00091E>
- [2] Labarre, L. et al., « MATISSE-v3.0 : overview and future developments », 11th International IR Target & Background Modelling Workshop, Carcassones, June 2016
- [3] Hersbach, H. et al. (2020). "The ERA5 Global Reanalysis". Quarterly Journal of the Royal. Meteorological Society, 146, 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- [4] Loveland, T. R., & Belward, A. S. (1997). "The IGBP-DIS global 1km land cover data set, DISCover: First results". International Journal of Remote Sensing, 18(15), 3289–3295. <https://doi.org/10.1080/014311697217099>
- [5] Schumann, U. et al. (2017) « Properties of individual contrails: a compilation of observations and some comparisons », Atmos. Chem. Phys., 17, 403–438, <https://doi.org/10.5194/acp-17-403-2017>
- [6] Myhre, G. et al. « Intercomparison of radiative forcing calculations of stratospheric water vapour and contrails ». Meteorologische Zeitschrift, 18(6) :585–596, December 2009, <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2009/0411>
- [7] Berk, A. et al. « MODTRAN6: a major upgrade of the MODTRAN radiative transfer code ». Proc. SPIE 9088, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XX, 90880H