
TP-3: Calcul de la transmissivité atmosphérique dans l'infrarouge

Le but de ce TP est de vous faire calculer la transmissivité atmosphérique dans l'infrarouge, pour des concentrations croissantes de CO_2 et CH_4 (méthane). Votre principal outil de travail sera le **NASA Planetary Spectrum Simulator**, une interface Web développée pour le calcul interactif des atmosphères d'exoplanètes, mais qui peut être utilisé pour la Terre —et toute autre planète ou lune du système solaire, en fait.

Votre première étape est de pointer votre fureteur web préféré vers:

`psg.gsfc.nasa.gov`

Vous verrez apparaître une image d'une exoplanète quelconque, et une liste de ses caractéristiques physiques et atmosphériques. Ensuite:

1. Cliquez sur le bouton **Select template**, et dans le menu déroulant choisissez **Earth transmittance**
2. Cliquez sur **load template**; une image de la Terre et une liste de ses caractéristiques physiques et atmosphériques devraient apparaître à la place de celles de l'exoplanète;
3. Cliquez sur **Change Instrument**. Dans la boîte qui apparaîtra, ligne "Spectral range", changez " cm^{-1} " pour " μm " (pour μm), ajustez l'intervalle spectral ("spectral range") pour couvrir de 0.7 à $50\mu\text{m}$, et changez la résolution à $0.01\mu\text{m}$.
4. Cliquez sur **Save Settings** tout en bas à droite;
5. Revenu à la page principale, prenez une grande respiration et cliquez sur **Generate Spectrum**; retenez votre respiration jusqu'à ce que les deux spectres apparaissent, en bas de la page. Le second est le spectre de transmission, qui nous intéresse pour la suite;
6. Cliquez sur **download** en haut à droite du spectre de transmission. Ceci devrait télécharger sur votre ordi un fichier texte nommé `psg_trn.txt`. Ce fichier contient 12 colonnes de chiffres, donnant la transmissivité spectrale t_λ en fonction de la longueur d'onde (en μm), pour chacune des espèces chimiques listées en en-tête du fichier. La seconde colonne contient la transmissivité totale.
7. Écrivez un petit code Python qui lit ce fichier, en porte en graphique la transmissivité totale versus la longueur d'onde, et vérifiez que ça ressemble bien au trait noir au bas de la Fig 3.16 des notes de cours.

Le vrai travail commence. Codez l'irradiance spectrale d'un corps noir B_λ à $T = 287\text{K}$ (voir §3.1 des Notes), et écrivez un bout de code Python qui calcule les deux intégrales au côté droit de l'éq. (3.43) des notes de cours, et déterminez ainsi la transmissivité globale dans l'infrarouge, $\langle t \rangle_{\text{IR}}$. Ensuite, répétez le calcul, en élargissant l'intervalle d'intégration à $1 \leq \lambda \leq 50\mu\text{m}$. Observez-vous un changement significatif dans la transmissivité infrarouge globale ?

Maintenant, chacun.e choisit une année (distincte) entre 1960 et 2023, en saut de 15 ans et couvrant tout l'intervalle i.e., l'un.e d'entre vous doit faire 1960, et un.e autre 1975, 1990, etc. Allez à la Figure

2.11 des notes (ou sur l'internet), et déterminez les concentration en CO_2 et CH_4 pour votre année (si vous travaillez avec la Fig 2.11, vous pouvez supposer que CH_4 a augmenté linéairement de 1.45ppm en 1960 à 1.6ppm en 1980).

1. De retour au PSG, cliquez sur **Change Composition**; vous avez maintenant plein d'information concernant la structure et composition chimique de votre atmosphère. En allant tout en bas, vous constaterez que l'abondance de référence du CO_2 est fixée à 379.5ppm, et celle de CH_4 à 1.597ppm. Pour changez l'abondance, vous devez remonter plus haut et changer le facteur d'ordre unité défini comme le rapport entre l'abondance désirée et l'abondance de référence. Donc, par exemple, pour une abondance désirée de CO_2 de 320ppm le facteur est $320/379.5 = 0.843$.
2. Cliquez sur **Save Settings** tout en bas à droite; ceci vous ramène à la page primaire, d'où vous pouvez de nouveau générer et télécharger votre nouveau spectre de transmission, comme auparavant. **Attention**, le PSG sauvegarde toujours le spectre de transmissivité sous le même nom, assurez vous de conserver sous un autre nom votre spectre précédent.
3. Examinez les différences entre les transmissivités spectrales du CO_2 et CH_4 par rapport à votre premier spectre de référence pour la Terre. À quelles longueurs d'ondes observez vous les variations les plus notables ?
4. Calculez chacun la nouvelle transmissivité infrarouge globale pour votre année.

La phase finale du TP est de produire, collectivement, un graphique de l'évolution de la transmissivité infrarouge globale entre 1960 et 2023, dont nous nous servirons en classe !

Préparation avant le TP: Relisez attentivement les Sections 3.1 et 3.9 des Notes de cours. Retournez voir votre TP 2, et comment on calcule une intégrale numérique d'une fonction tabulée (méthode du trapèze, ou fonction équivalente dans Scipy). **Attention:** évitez les méthodes d'intégration utilisant des interpolations d'ordre élevé.