

TP2 – Variabilité de la vapeur d'eau dans l'atmosphère

I. Éléments de contexte

L'atmosphère peut être divisée en plusieurs couches. La première en partant du sol est la troposphère. Dans cette couche, la température diminue lorsque l'altitude augmente. Au-dessus de cette couche, se trouve la stratosphère où la température augmente avec l'altitude. L'extension verticale de la troposphère diminue globalement des Tropiques (18 km) vers les pôles (6 km) et est d'environ 10-12 km à nos latitudes.

La vapeur d'eau (H_2O) est le principal gaz à effet de serre présent dans l'atmosphère. Sans sa présence en troposphère, la température de la surface de la Terre serait en moyenne de $-18^\circ C$ au lieu de $15^\circ C$.

L'instrument AIRS à bord du satellite AQUA est un sondeur infrarouge mis en orbite le 4 mai 2002. AIRS mesure la composition de l'atmosphère à des fins de prédiction du temps et de surveillance climatique. Pour la mesure de la vapeur d'eau, AIRS observe l'absorption du rayonnement terrestre par la vapeur d'eau dans deux bandes spectrales : entre $3,63\text{ }\mu m$ et $3,83\text{ }\mu m$ et entre $6,23\text{ }\mu m$ et $7,63\text{ }\mu m$. La justesse (accuracy) de la mesure est estimée à 15% en basse troposphère. Le satellite AQUA effectue 14,5 orbites (rotations autour de la Terre) en une journée permettant une bonne couverture de la surface du globe. Mesurant au nadir, c'est-à-dire observant la Terre à la verticale de sa position, AIRS a une très bonne résolution horizontale avec des pixels d'observation de 13 km de large mais une résolution verticale plus faible ($\sim 2\text{ km}$ en troposphère).

Le but de ce TP sera d'étudier la variabilité horizontale, verticale et saisonnière de la vapeur d'eau à l'aide des données AIRS prétraitées acquises le 1^{er} janvier et le 1^{er} juillet 2017.

II. Variabilité de la vapeur d'eau

Récupérer dans l'espace de cours « Analyses et traitements de données » de l'ENT les fichiers situés dans le dossier TP2 et les mettre tous dans un même répertoire qui sera le répertoire de travail sous MATLAB.

II.1. Variabilité horizontale

Les fichiers AIRS_janvier2017.mat et AIRS_juillet2017.mat contiennent respectivement les données AIRS acquises le 1^{er} janvier 2017 et le 1^{er} juillet 2017 respectivement. Les variables contenues dans les fichiers sont les suivantes :

- heure, minute : heure de la mesure
- lat, lon : latitude et longitude de la mesure
- press : niveaux de pression en hPa
- H2O : vapeur d'eau en grammes de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec pour chaque niveau de pression
- alt : altitude correspondante en mètres à chaque mesure de vapeur d'eau.

Chaque variable listée est suivie du chiffre 1 ou 7 selon qu'il s'agisse du mois de janvier ou de juillet.

- a) Quelle étendue en latitude couvre l'instrument AIRS ?

Minimum couvert en latitude : -85.55° et maximum couvert en latitude : 89.49°.

- b) Pour le niveau de pression 925hPa, calculer pour les deux mois, la moyenne et l'écart-type du contenu en vapeur d'eau dans trois bandes de latitudes différentes suivantes et pour chaque hémisphère : Tropiques (0°-30°), moyennes latitudes (30°-60°), pôles (60°-90°). Conclure sur la variabilité spatiale et saisonnière de la vapeur d'eau.

	60°S-90°S	30°S-60°S	0°-30°S	0°-30°N	30°N-60°N	60°N-90°N
janvier	2,2281+/- 0,6522	5,4784+/- 2,4760	12,5706+/- 3,0789	10,8881+/- 4,1450	3,5032+/- 1,8466	1,2078+/- 0,8520
juillet	1,3476+/- 1,0441	4,3519+/- 1,6395	10,8730+/- 3,5764	13,5710+/- 3,4464	7,6725+/- 2,8718	4,0124+/- 1,4994

Il y a plus de vapeur d'eau en allant des pôles vers les tropiques et il y a plus de vapeur d'eau en été qu'en l'hiver. Il y a plus de vapeur d'eau dans l'hémisphère nord durant l'été boréal que dans l'hémisphère sud durant l'été austral. La variabilité de la vapeur d'eau est forte.

- c) Pour une pression donnée, l'altitude varie d'un point de l'espace à un autre mais globalement la pression diminue lorsque l'altitude augmente. Ainsi au lieu de comparer le contenu en vapeur d'eau à 925 hPa, reprendre la question précédente mais en comparant le contenu en vapeur d'eau à 1,1 km d'altitude. Pour ce faire, utiliser la fonction interp1 en MATLAB ou la fonction interp1d PYTHON disponible dans le module scipy.interpolate qui permet d'interpoler les données de vapeur d'eau.

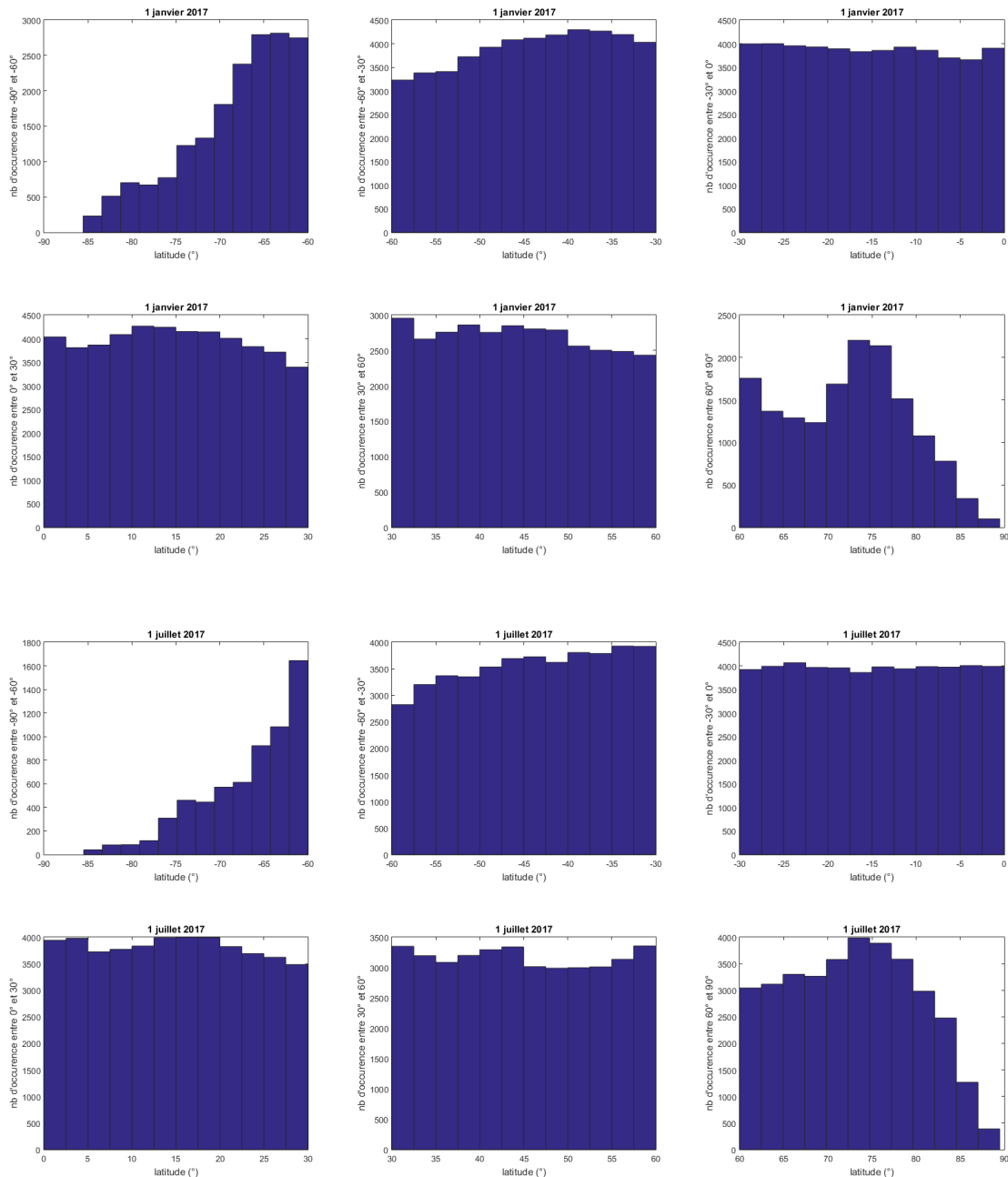
	60°S-90°S	30°S-60°S	0°-30°S	0°-30°N	30°N-60°N	60°N-90°N
janvier	1,7737+/- 0,5791	4,6402+/- 2,3390	11,0705+/- 3,0512	9,6110+/- 3,8421	3,0116+/- 1,6523	1,0276+/- 0,7197
juillet	1,1295+/- 0,8918	3,6369+/- 1,4971	9,5842+/- 3,3540	12,2389+/- 3,2248	7,0115+/- 2,6869	3,6349+/- 1,4239

On retrouve les mêmes caractéristiques à 1,1 km d'altitude que sur l'isobare 925 hPa.

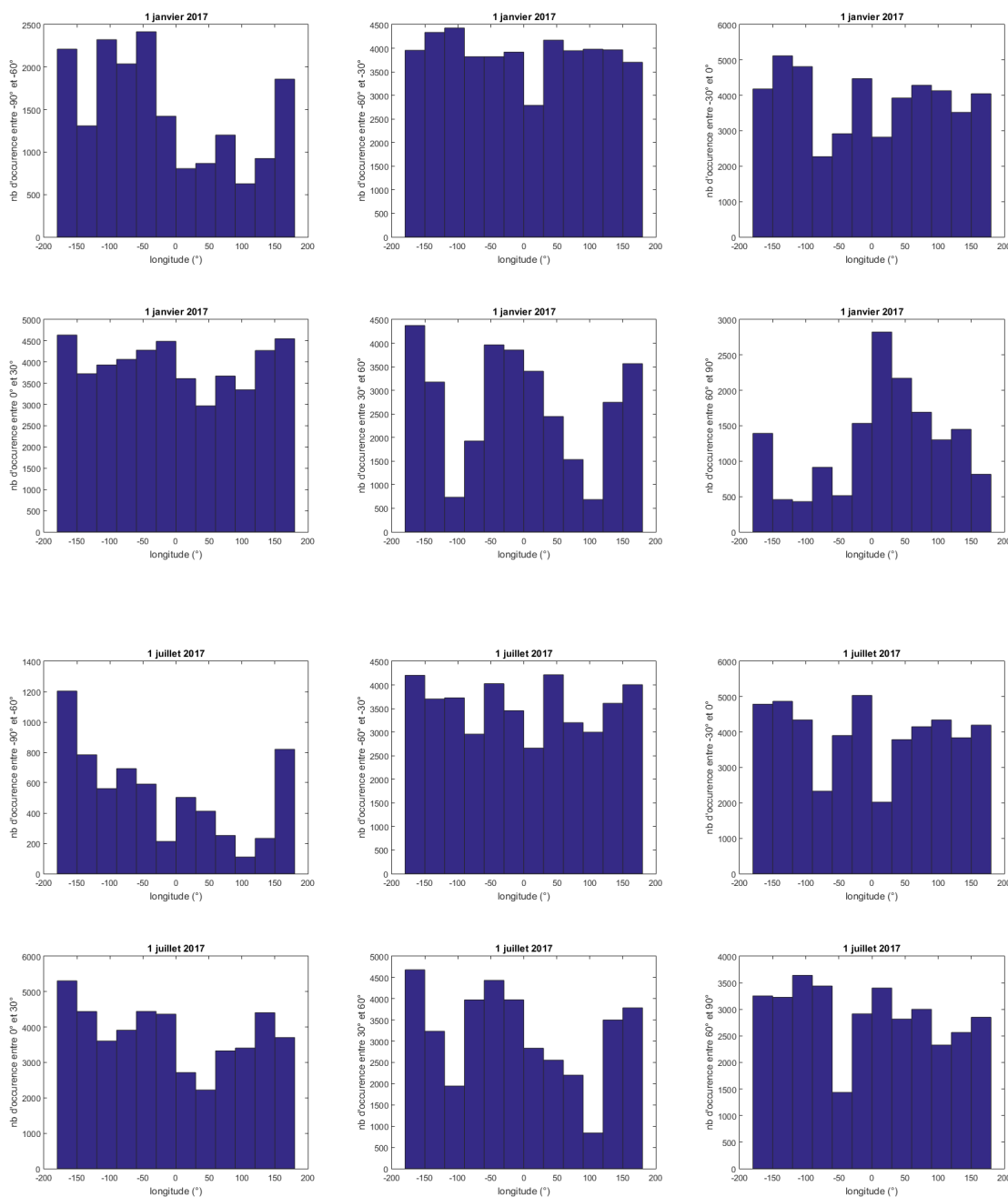
- d) Afin de vérifier si les résultats obtenus ne sont pas biaisés par des longitudes ou latitudes sur ou sous représentées, calculer le nombre total de points et tracer les histogrammes de la distribution en latitude et longitude des points dans chaque bande de latitude et pour chaque date.

nb valeurs	60°S-90°S	30°S-60°S	0°-30°S	0°-30°N	30°N-60°N	60°N-90°N
janvier	18002	46843	46524	47549	32418	15492
juillet	6376	42772	47630	45861	37967	34881

Il y a moins de valeurs aux pôles qu'aux autres latitudes surtout au pôle sud et au pôle nord en janvier.



Globalement, les données sont équitablement réparties sur toutes les latitudes hormis vers les pôles où il y a de moins en moins de données plus on s'approche des pôles et ce pour les deux mois.



Les données ne sont pas équitablement réparties sur toutes les longitudes. Pour certaines latitudes, on voit par exemple moins de données vers 100° de longitude notamment au-dessus de la Chine et de la Mongolie (explication possible : les données au-dessus des hautes montagnes ont été filtrées).

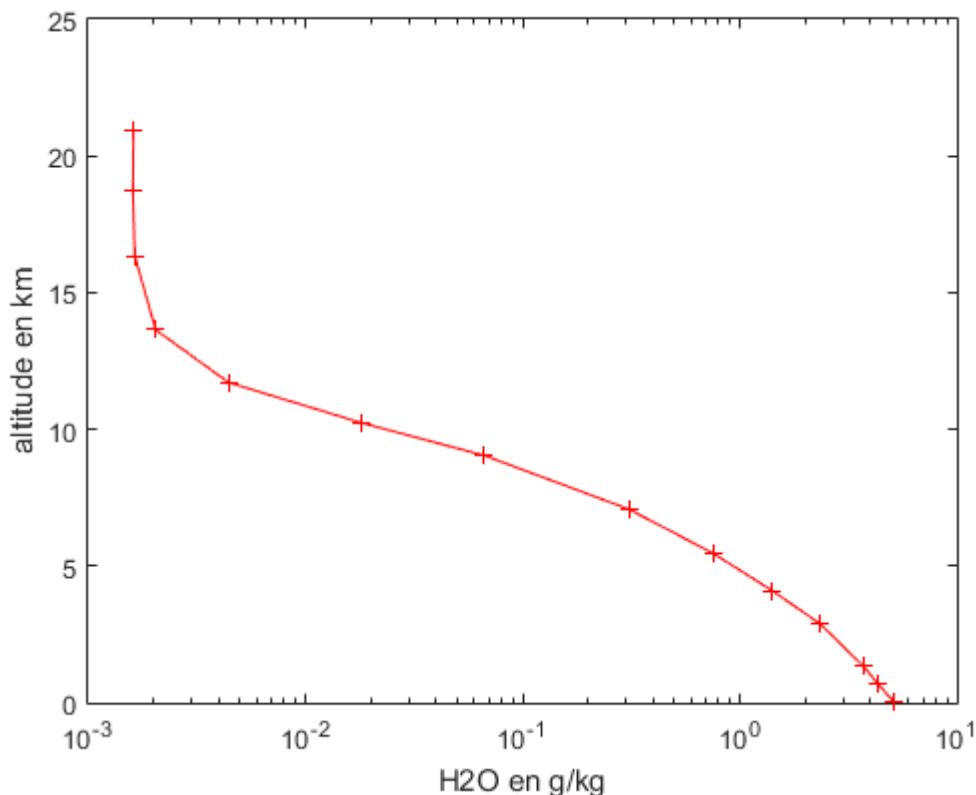
II.2. Variabilité verticale

Le fichier AIRS_01072017_CF.mat contient un profil vertical moyen de vapeur d'eau calculé à l'aide des données AIRS disponibles dans un rayon de 10 000 km autour de Clermont-Ferrand le 1er juillet 2017. Les variables contenues dans ce fichier sont les suivantes :

- press : niveaux de pression en hPa
- alt : altitude moyenne pour chaque niveau de pression en mètres

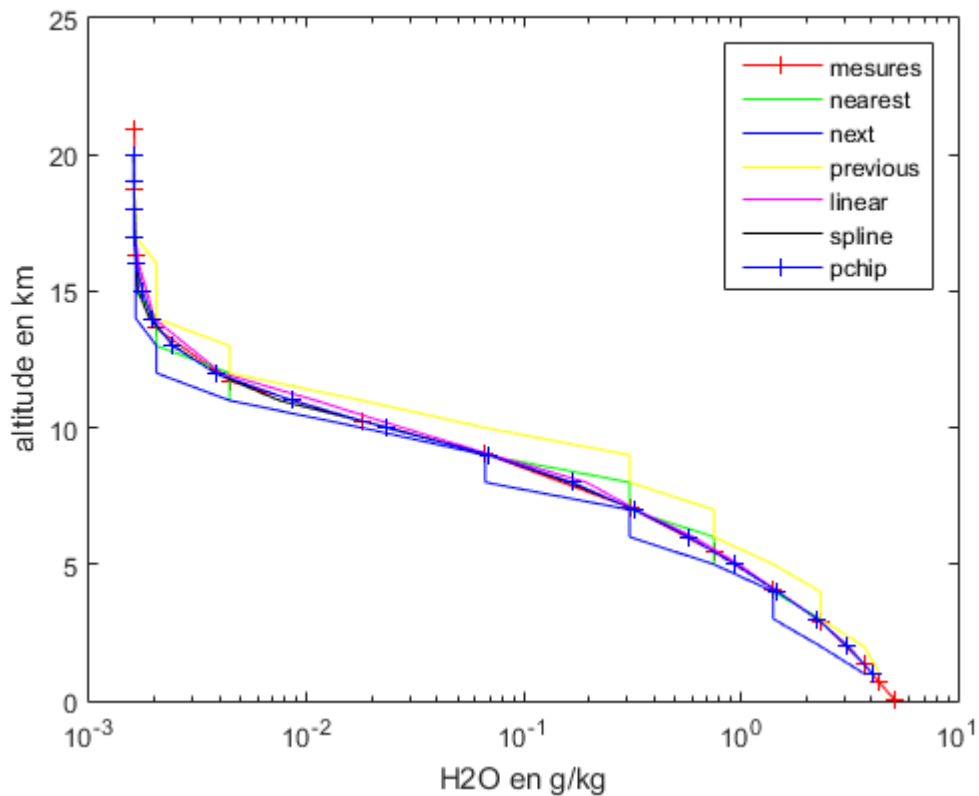
- σ_{alt} : écart-type sur l'altitude moyenne pour chaque niveau de pression en mètres
- H_2O : vapeur d'eau moyenne en grammes de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec pour chaque niveau de pression
- σ_{H_2O} : écart-type sur la valeur moyenne de vapeur d'eau en grammes de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec pour chaque niveau de pression
- n : nombre de points ayant servi pour le calcul de la moyenne pour chaque niveau de pression

- a) Tracer le profil de vapeur d'eau (en abscisse) en fonction de l'altitude (en ordonnée). Les abscisses seront tracées en échelle logarithmique (fonction `semilogx` en MATLAB ou PYTHON dans le module `matplotlib.pyplot` sinon commande `xscale('log')`). Commenter la figure.



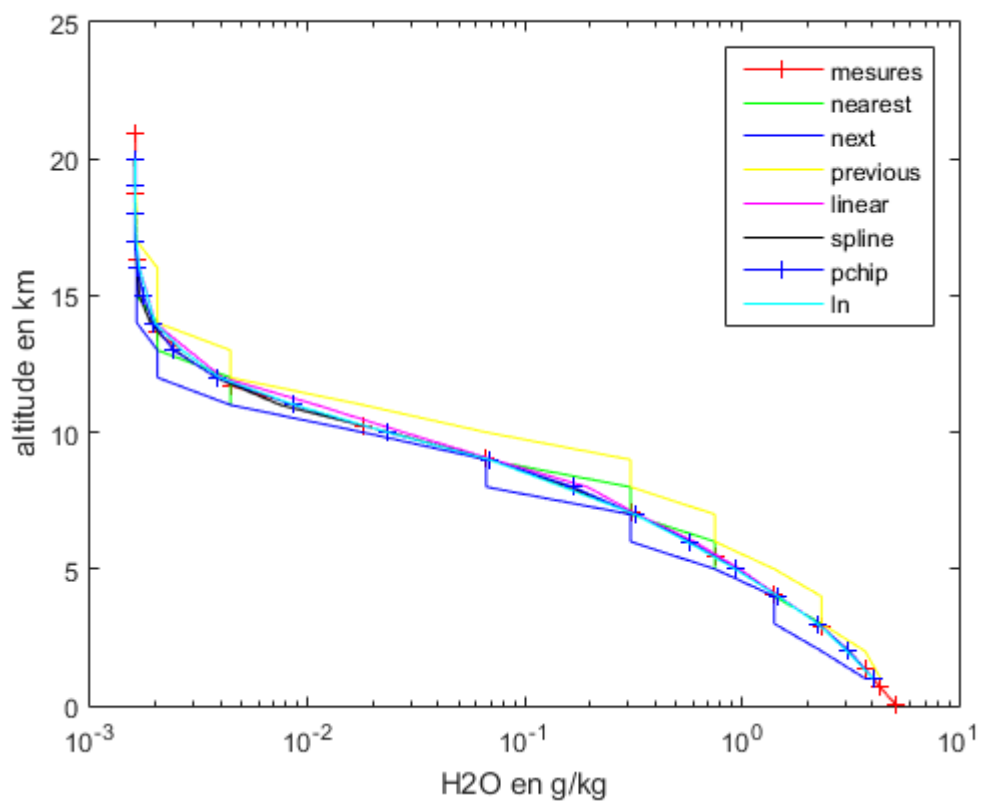
Le contenu en vapeur d'eau diminue fortement avec l'altitude. Il est plus élevé en troposphère qu'en stratosphère.

- b) On cherche à interpoler les données vapeurs d'eau sur une grille régulière allant de 1 à 20 km d'altitude par pas de 1 km. Tester les différents types d'interpolation 'nearest', 'linear', 'spline' et 'pchip' permises par la fonction `interp1` en MATLAB ou `interp1d/splrep/pchip_interpolate` en PYTHON et tracer les résultats sur la même figure que précédemment. Quelle(s) méthode(s) vous semble(nt) la/les plus appropriée(s) pour interpoler les contenus de vapeur d'eau ?



Les méthodes 'spline' et 'pchip' semblent les plus appropriées car elles suivent mieux le profil de mesures.

- c) Les scientifiques qui travaillent sur ces données ont pris l'habitude d'interpoler linéairement les logarithmes des contenus en vapeur d'eau. Réaliser cette interpolation et comparer aux interpolations précédentes.



Cette interpolation en cyan sur la figure donne aussi un bon accord avec le profil moyen mesuré par AIRS en rouge.