

4ARTIC : 4A Radiative Transfer Inversion Code

DESCHAMPS Adrien¹, CHAUMAT Laure²
¹ CNES, Centre Spatial de Toulouse, ² Thales Services



CONTEXTE

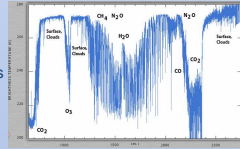
Pour l'inversion l'estimation de paramètres géophysiques à partir de données de sondes atmosphériques, le CNES s'est doté d'un outil permettant l'inversion de ces spectres : 4ARTIC.

Développé initialement pour les besoins de la mission Microcarb, cet outil a été industrialisé par Thales Services fin 2013 puis étendu à l'infrarouge thermique en 2014 pour les besoins de la mission IASI-NG.

- Cet outil d'inversion est basé sur le code de transfert radiatif 4A/OP :
- transfert radiatif « raie par raie », adapté à la haute résolution spectrale ($5.10^{-4} \text{ cm}^{-1}$)
 - rapidité de calcul assurée par le pré-calcul d'épaisseurs optiques (atlas)
 - couvre le domaine spectral SWIR-TIR ($600 - 13000 \text{ cm}^{-1}$)
 - repose sur la base spectroscopique GEISA, régulièrement mise à jour

C'est la version « subroutine » du logiciel 4A/OP qui est utilisée. Spécifiquement conçue pour les algorithmes d'inversion elle diminue sensiblement le temps de calcul lors d'appels itératifs au calcul de transfert radiatif (les paramètres d'entrée/sorties ne sont plus lus/écrits par l'intermédiaire d'un fichier texte).

Voir le poster 4A/OP (E. Bernard et al.) pour plus de précisions



Exemple d'un spectre IASI

Algorithmie

4ARTIC repose sur l'estimation optimale.

Cette méthode d'estimation consiste à trouver la meilleure estimée d'un vecteur d'état x , qui comprend les variables géophysiques à inverser, compte tenu de sa variance a priori, de spectre observé y , du bruit de mesure et des jacobiens, issus des calculs de transfert radiatif.

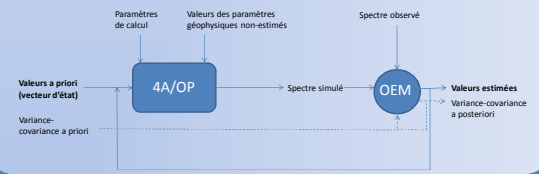
L'estimation optimale (approche bayésienne)

$$x_{i+1} = x_{i0} + (S_A^{-1} + K_i^T S_e^{-1} K_i)^{-1} K_i^T S_e^{-1} (y - F(x_i)) + K_i (x_i - x_{i0})$$

- x_i : vecteur d'état à l'itération i
- x_{i0} : vecteur d'état a priori
- S_A : matrice de variance-covariance a priori du vecteur d'état
- K_i : matrice jacobienne à l'itération i
- S_e : matrice de variance-covariance du bruit de mesure
- y : vecteur de mesure
- $F(x_i)$: spectre simulé

A noter :
 Le formalisme de l'estimation optimale permet également d'estimer les performances de l'inversion (i.e. la variance a posteriori du vecteur d'état) sans procéder à l'inversion complète

$$\hat{S} = K^T S_e^{-1} K + S_A^{-1}$$



L'outil et son interface graphique

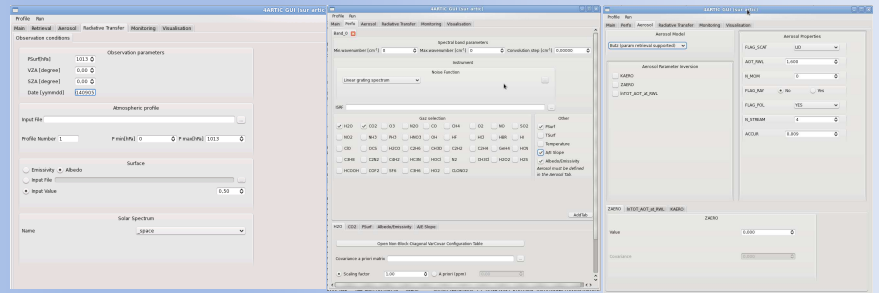
Description de l'outil :

- Code industrialisé par Thales Services en Python (Numpy/SciPy)
- Appel au sous-programme 4A (en Fortran) depuis le code Python
- Paramètres utilisateurs spécifiés via une IHM (PyQt)
- Module de visualisation (Matplotlib)
- Possibilité de lancer l'exécution sur plusieurs nœuds de calcul
- Manuel utilisateur en anglais

L'outil 4ARTIC dispose fonctionne suivant deux scénarios :

- Performance
- Retrieval

Présentation de l'interface graphique développée pour 4ARTIC :

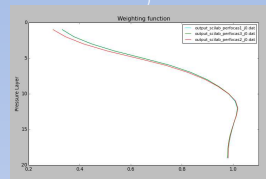


Page Transfert radiatif:

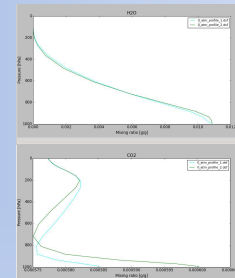
Page Performance:

Page Aérosols

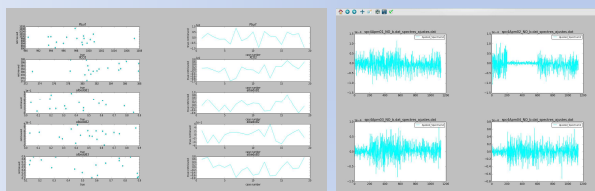
Exemples de sorties visuelles fournies par l'outil :



Fonctions de poids

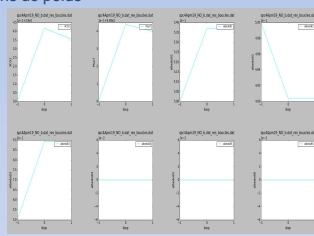


Profils restitués

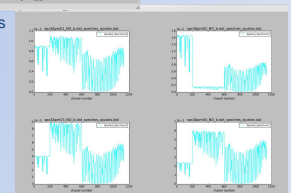


Différences

Résidus



Paramètres restitués



Spectres

Applications : MicroCarb et IASI-NG

MICROCARB :

Implémentation d'une méthode d'estimation des aérosols, pour corriger au mieux l'impact de la diffusion dans l'estimation de la colonne de CO_2 . Travail en cours au LMD (V. Sherlock) pour ajouter dans 4ARTIC cette inversion simultanée des aérosols

Principe : paramétrisation à faible dimension, inspirée du modèle de Butz et al, 2009.

La distribution verticale des aérosols paramétrisée par le modèle Gaussien de Butz, avec le paramètre $Z_{\text{aéro}}$

Traitement simplifié de la dépendance spectrale des propriétés optiques des aérosols :

$$\text{AOD}(\sigma) = \text{AOD}(\sigma_0) (\sigma / \sigma_0)^k \text{ où}$$

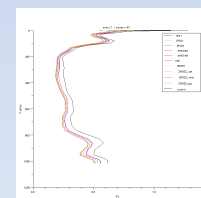
Sous-vecteur d'état aérosol dans l'inversion: $[\ln(\text{AOD}(\sigma_0)); k; Z_{\text{aéro}}]$

IASI-NG :

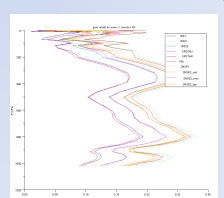
Etude portant sur l'impact du matériau du prisme de l'instrument
 Evaluation de la variance a posteriori du vecteur d'état pour différentes valeurs de bruit instrumental

Impact du bruit sur l'estimation des paramètres « météo » : température et vapeur d'eau

Evaluation de l'erreur a posteriori et du gain par rapport à l'a priori, pour les différents niveaux de pression



Erreur sur l'inversion du profil de température



Gain relatif dans l'inversion du profil de température