

4A/OP: A fast & accurate operational forward radiative transfer model



NOVELTIS, ARA/ABC(t)/LMD/IPSL, CNES

2^{ème} colloque de la Société Française de Télédétection Hyperspectrale (SFTH)
ONERA Toulouse – 18 & 19 juin 2012



- Contexte
- Historique
- Description des principales caractéristiques
- Etat de validation
- Utilisations actuelles
- Perspectives

- Contexte spatial et expérimental de ces dernières décennies très riche grâce aux sondeurs/imageurs

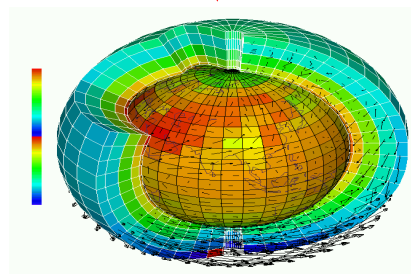
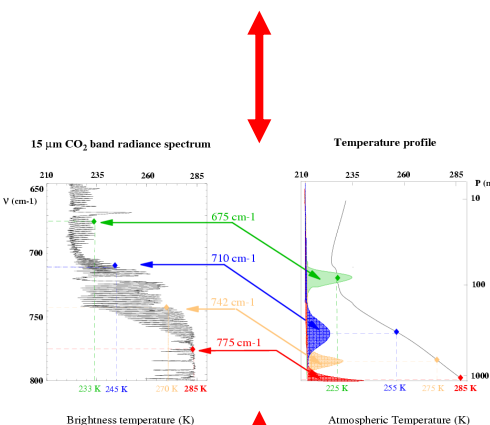
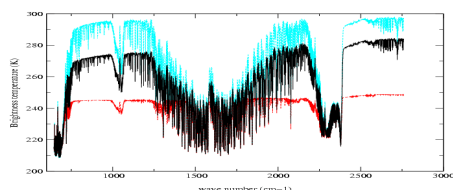
- ▶ Nouvelles observations concomitantes et complémentaires

- Restitution plus fine de plusieurs variables climatiques
 - profils de vapeur d'eau et de température
 - caractéristiques macro/micro-physiques des cirrus / aérosols
 - Émissivités/réflectances et températures de surfaces continentales
 - principaux gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , ...)

- ▶ La restitution des propriétés de surface et atmosphériques passe par des simulations numériques

- de ce que voit/verrait chaque instrument lorsque le satellite survole toutes sortes de surfaces et de situations atmosphériques
- de la sensibilité des instruments à des variations de chacune des variables climatiques impliquées dans le transfert radiatif

- ▶ Utilisation de 4A/OP comme code de transfert radiatif direct : 4A : Atlas Automatisés des Absorptions Atmosphériques



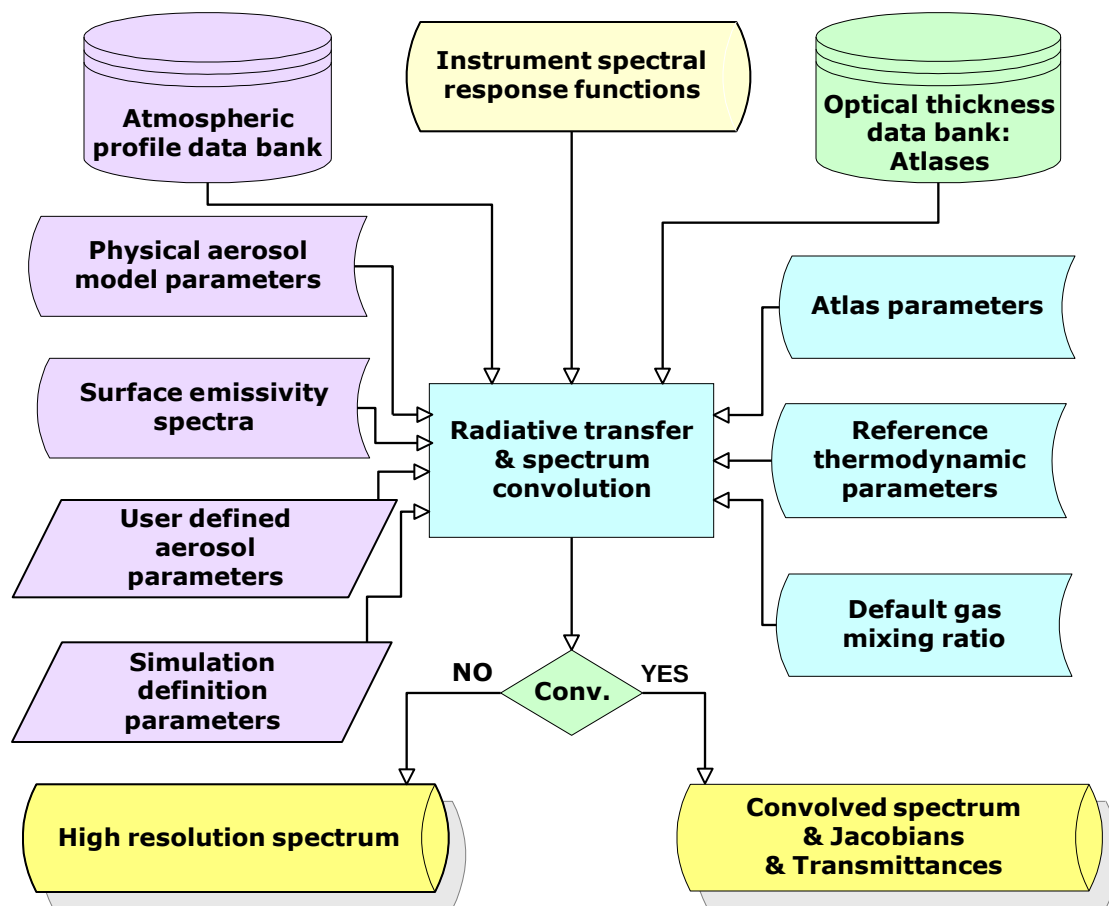
- **Années 80 : 4A au LMD (Scott and Chédin, 1981)**
 - ▶ Code raie-par-raie et couche-par-couche basé sur des tables d'épaisseurs optiques pré-calculées (TIR, FIR, ...)
- **Depuis 2002 : vers une version opérationnelle sous l'égide du CNES**
 - ▶ Fortran 90
 - ▶ Interface graphique
 - ▶ <http://4aop.noveltis.com>
 - ▶ Distribué à ~60 utilisateurs
 - ▶ Prochainement :
 - Licence GNU GPL
 - Téléchargement en ligne
- **Depuis 2009 :**
 - ▶ Extension au domaine du proche-infrarouge (SWIR)

The screenshot shows the homepage of the 4AOP website. At the top, there is a header with the 4AOP logo and the text "Operational release for 4A Automatzed Atmospheric Absorption Atlas". Below the header is a navigation bar with links: HOME, 4A/OP SOFTWARE, CONTRIBUTING, FORUMS, REFERENCES, PARTNERS, and CONTACT. The main content area features a "NEWS" section on the left with a list of updates, including "4AOP2009v1.2 released 2010, March" and "4AOP2009v1.0 released 2009, September". The right side of the page contains a detailed announcement titled "4A/OP - operational release for 4A radiative transfer model". This announcement describes the model's capabilities, its development history, and its use by the CNES, LMD/CNRS, and NOVELTIS. It mentions that the model is a fast and accurate line-by-line radiative transfer model, particularly efficient in the infrared region, and that it allows for the fast computation of transmittance and radiance. The announcement also lists several features, such as high spectral resolution, convolution with instrument functions, and the ability to compute Jacobians for inversion algorithms.

- Caractéristiques **générales**

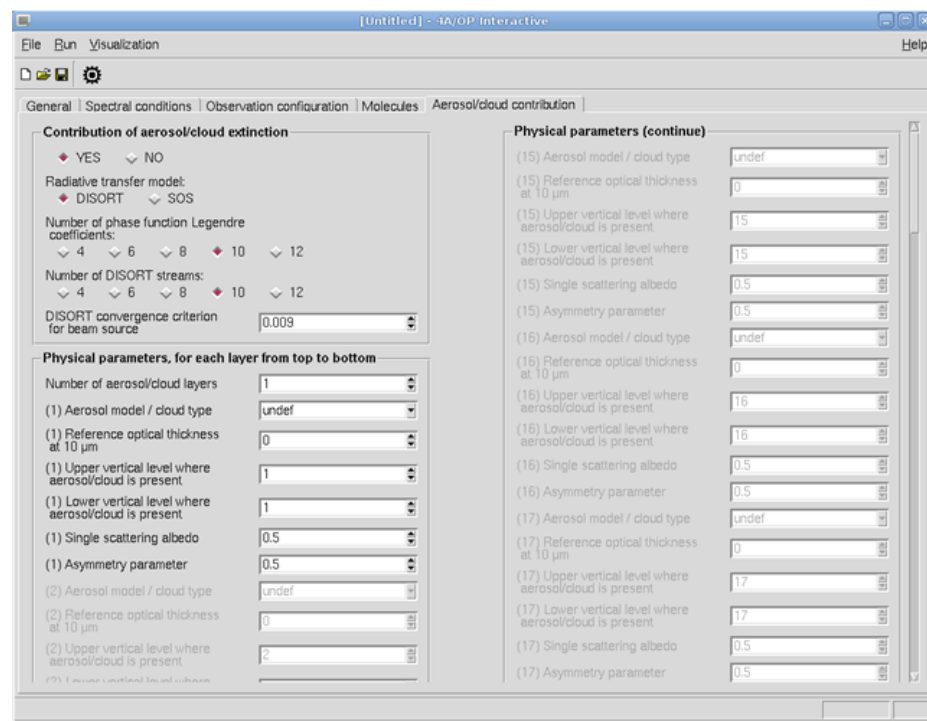
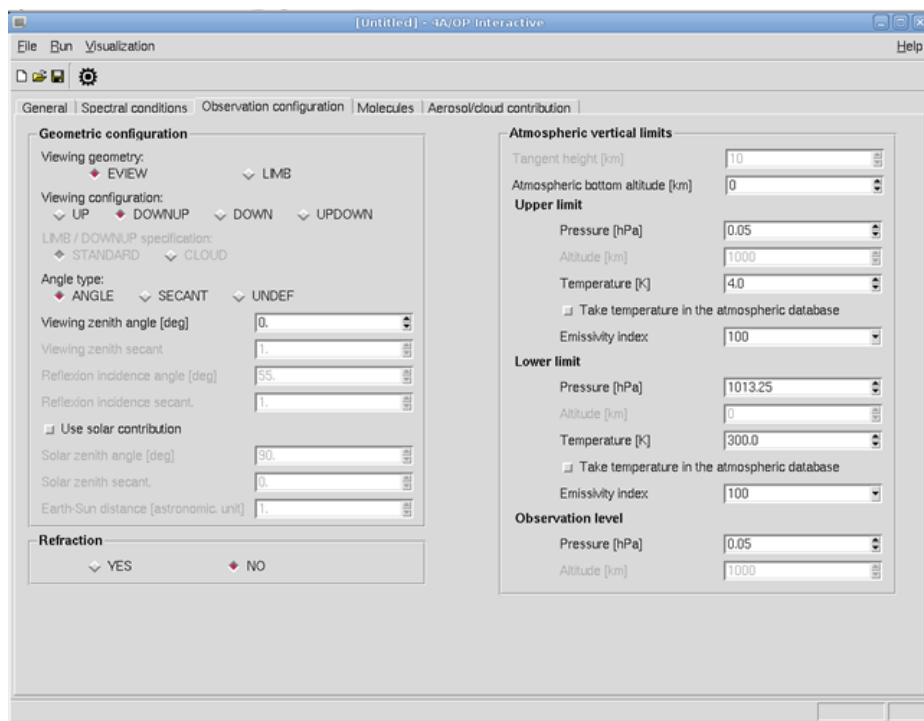
- ▶ Calcul pour un niveau d'observation défini par l'utilisateur en mode **nadir**, **zénith** ou **limbe**
- ▶ Calcul pour une **large gamme** de **conditions atmosphériques** et de surface
 - Émissivité ou albédo de surface variant spectralement
- ▶ dans une atmosphère **sphérique**
- ▶ incluant la **contribution du soleil**
- ▶ incluant la **réfraction**
- ▶ incluant la **diffusion** par les **aérosols** ou les **cirrus**
 - Couplage avec DISORT
- ▶ Calcul des luminances
 - Dernière version à jour de la base spectroscopique GEISA (LMD)
 - à **très haute résolution spectrale** (nominalement $5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$)
 - pouvant être convoluée avec une **fonction d'instrument**
 - avec calcul optionnel des **Jacobiens** analytiques par couche ($T, T_s, \rho_c, \epsilon_s$)
- ▶ Appelé via un script shell ou comme sous-programme

- Caractéristiques dans le **SWIR**
 - ▶ Extension au domaine $3000 - 13500 \text{ cm}^{-1}$ ($0.74 - 3 \text{ }\mu\text{m}$)
 - ▶ **Line-mixing CO₂** et élargissement des raies CO₂ par H₂O
 - ▶ **Line-mixing** de l'**oxygène** (bande A $\sim 765 \text{ nm}$)
 - ▶ Diffusion **Rayleigh**
 - ▶ Choix d'un **spectre solaire**
 - ▶ **Décalage Doppler** des raies solaires
 - ▶ Calcul des Jacobiens en présence de diffuseurs
 - Couplage avec LIDORT/VLIDORT
 - Gaz, albédo, aérosols
 - ▶ Prise en compte de la **polarisation**
 - ▶ Introduction de **BRDF**

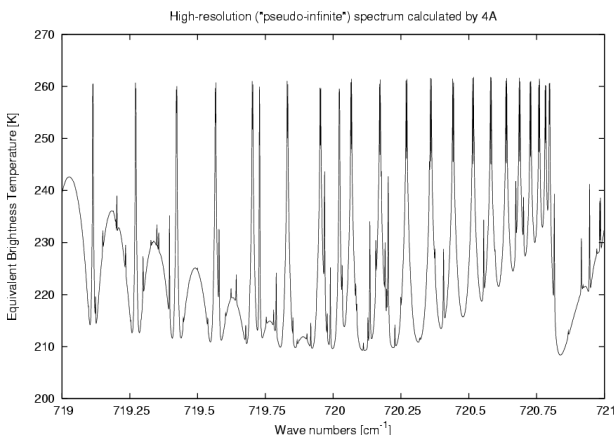


● GUI -> [vidéo-démo](#)

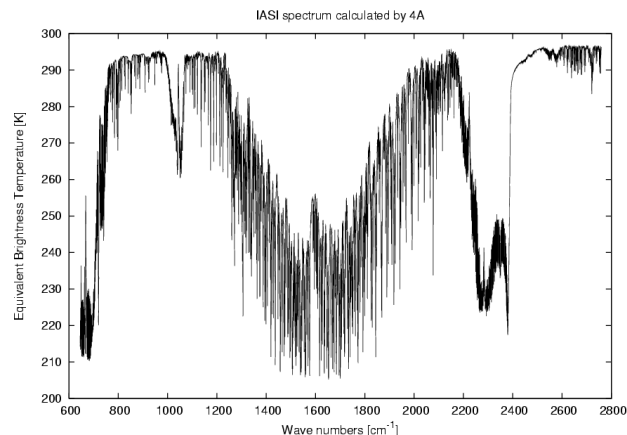
- ▶ développée en Tcl/Tk
- ▶ utilise Gnuplot pour la visualisation



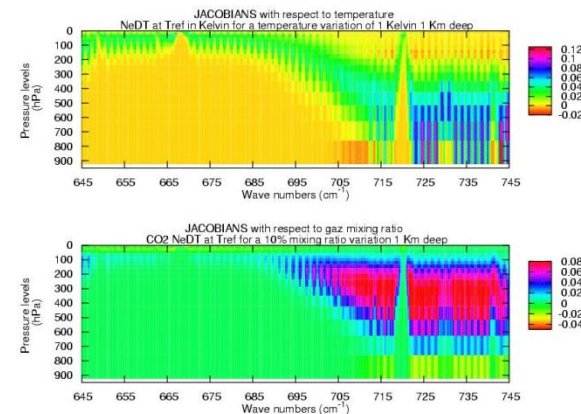
Exemples de simulation



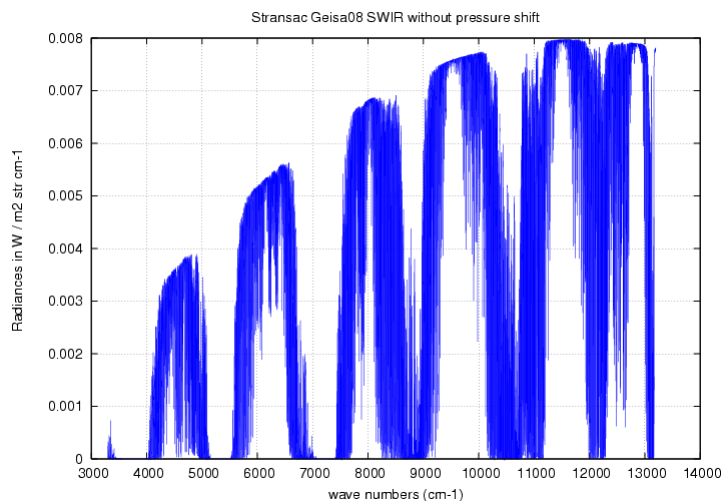
Spectre « infini » - TIR



Spectre IASI 1c

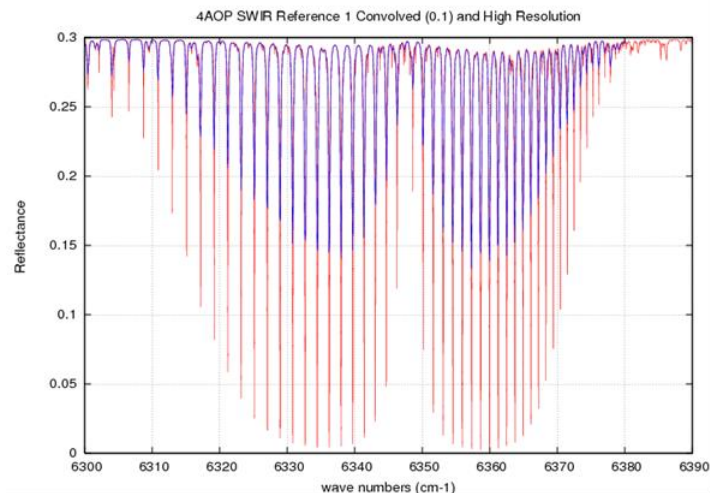


Jacobiens – IASI 1c



Spectre « infini » - SWIR

13500-3000 cm⁻¹ (0.74-3 μm)



Bande 2 de Microcarb

- 4A/OP-TIR : procédure de validation semi-opérationnelle
 - ▶ Tjemkes *et al.* : « ISSWG line-by-line inter-comparison experiment » (2001) ...
 - ▶ Garand *et al.* : Radiance and Jacobian intercomparison of radiative transfer models applied to HIRS and AMSU channels (2001)
 - ▶ <http://ara.abct.lmd.polytechnique.fr/>
- 4A/OP-SWIR
 - ▶ Validation interne
 - LIDORT vs DISORT
 - ▶ Comparaison avec
 - Le code des OS (CNES) pour la diffusion (aérosols + molécules)
 - LBLDOM (LOA) pour le couplage absorption + diffusion
 - ▶ Comparaison avec des vraies mesures (CNES)
 - Observations *in-situ* issues du réseau TCCON

● 4A/OP-TIR

- ▶ 4A/OP est le modèle de transfert radiatif de **référence** choisi par le **CNES** pour la Cal/Val et le traitement opérationnel des données de niveau 1 de **IASI**
- ▶ Inversions IASI
- ▶ Etudes de performances pour la spécification de **IASI-NG**
- ▶ Etudes de performances **MTG-IRS**

● 4A/OP-SWIR

- ▶ Etudes perfo pour la spécification de Microcarb (CNES)
- ▶ 4A/OP-SWIR choisi comme code de transfert radiatif de **référence** pour la mission **Microcarb**
- ▶ Calibration spectrale/inversions **GOSAT** (LPMAA, NOVELTIS)

- Développements scientifiques
 - ▶ Ajout du line-mixing du CH_4
 - ▶ Ajout du Jacobien en pression de surface
- Développements techniques
 - ▶ Accélération des temps de calculs avec diffusion
 - ▶ Interface graphique pour le SWIR
- Validation dans le SWIR
 - ▶ Validation avec des vraies mesures
 - Données GOSAT
 - ▶ Inter-comparaison avec d'autres codes de transfert radiatif