

**Modélisation directe du transfert radiatif
de l'atmosphère terrestre :
instruments à très haute résolution spectrale,
visées nadir et visées au limbe,
atmosphère diffusante, ...**

La suite logicielle 4A/OP

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

Colloque d'inauguration de la Société Française de Télédétection Hyperspectrale (SFTH)
Amphithéâtre Buffon, Université Paris Diderot, Paris
7-8 avril 2011

- Plan de la présentation
 - ✓ 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 et températures de surfaces continentales
 - principaux gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , CO , ...)

	Missions actuelles	Missions futures
Imageurs	AVHRR (NOAA-MetOp) AATSR (Envisat)	VIIRS (NPOESS, ~ 2020) Metimage (Post-EPS, 2018)
	Modis (Aqua-Terra)	
	Seviri (MSG)	FCI (MTG-I, 2017)
	IIR (Calipso)	MSI (Earthcare, 2013), ACE2 ?
Sondeurs Atmosphère	Hirs (NOAA-MetOp)	Cris (NPOESS, ~2020)
	Airs (Aqua)	
	Iasi (MetOp)	IRS (MTG-S, 2018) Iasi-NG (Post-EPS, 2018)
	Mipas (Envisat) ACE-FTS (Scisat-1) TES (Aura) Tanso-FTS (Gosat)	Sentinel 5

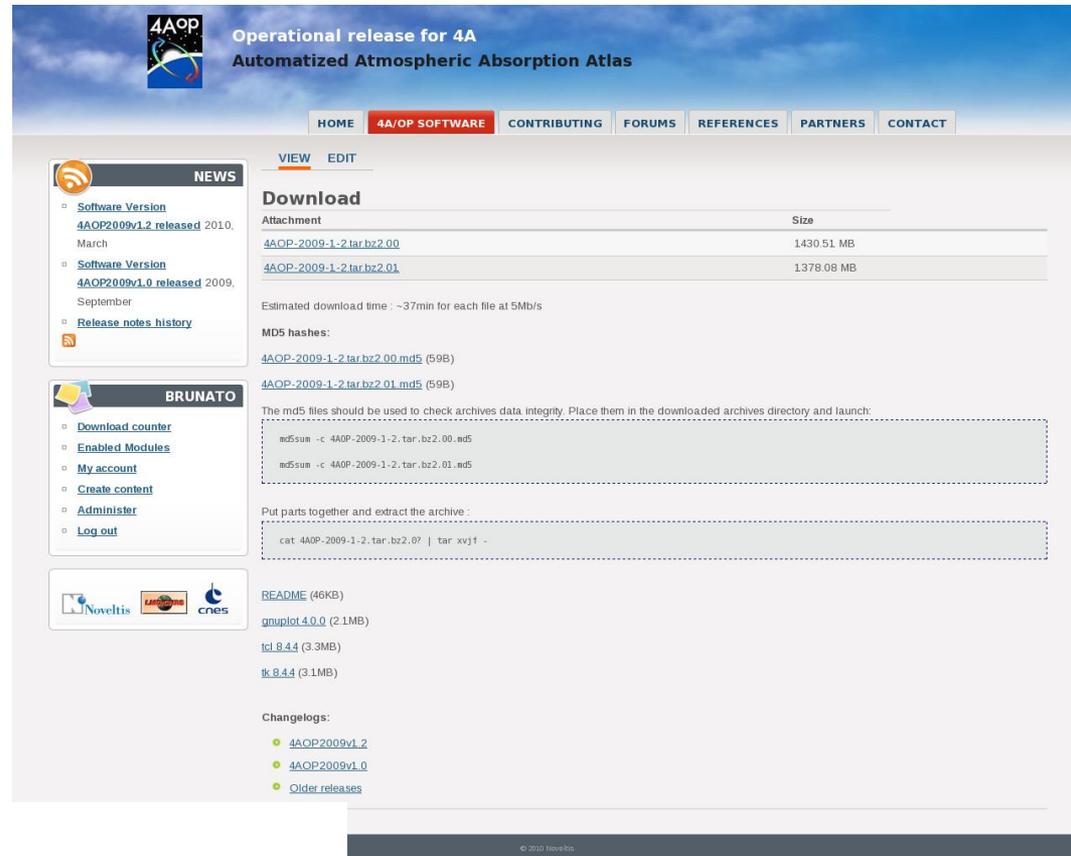
- ✓ La restitution des propriétés de surface et atmosphériques passe par des simulations numériques
 - de ce que voit/verrait chaque instrument lorsque le satellite survole toutes sortes de surfaces et de situations atmosphériques
 - de la sensibilité des instruments à des variations de chacune des variables 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://www.noveltis.fr/4AOP/>
 - ✓ Distribué à ~50 utilisateurs
 - ✓ Prochainement :
 - Licence GNU GPL
 - Téléchargement en ligne

- **Depuis 2009 :**
 - ✓ Extension au domaine du proche-infrarouge (SWIR)



Operational release for 4A
Automatized Atmospheric Absorption Atlas

HOME **4A/OP SOFTWARE** CONTRIBUTING FORUMS REFERENCES PARTNERS CONTACT

VIEW EDIT

Download

Attachment	Size
4AOP-2009-1-2.tar.bz2.00	1430.51 MB
4AOP-2009-1-2.tar.bz2.01	1378.08 MB

Estimated download time : ~37min for each file at 5Mb/s

MD5 hashes:

[4AOP-2009-1-2.tar.bz2.00.md5](#) (59B)
[4AOP-2009-1-2.tar.bz2.01.md5](#) (59B)

The md5 files should be used to check archives data integrity. Place them in the downloaded archives directory and launch:

```
md5sum -c 4AOP-2009-1-2.tar.bz2.00.md5
md5sum -c 4AOP-2009-1-2.tar.bz2.01.md5
```

Put parts together and extract the archive :

```
cat 4AOP-2009-1-2.tar.bz2.0? | tar xvjf -
```

README (46KB)
gnuplot 4.0.0 (2.1MB)
icl 8.4.4 (3.3MB)
ik 8.4.4 (3.1MB)

Changelogs:

- [4AOP2009v1_2](#)
- [4AOP2009v1_0](#)
- [Older releases](#)

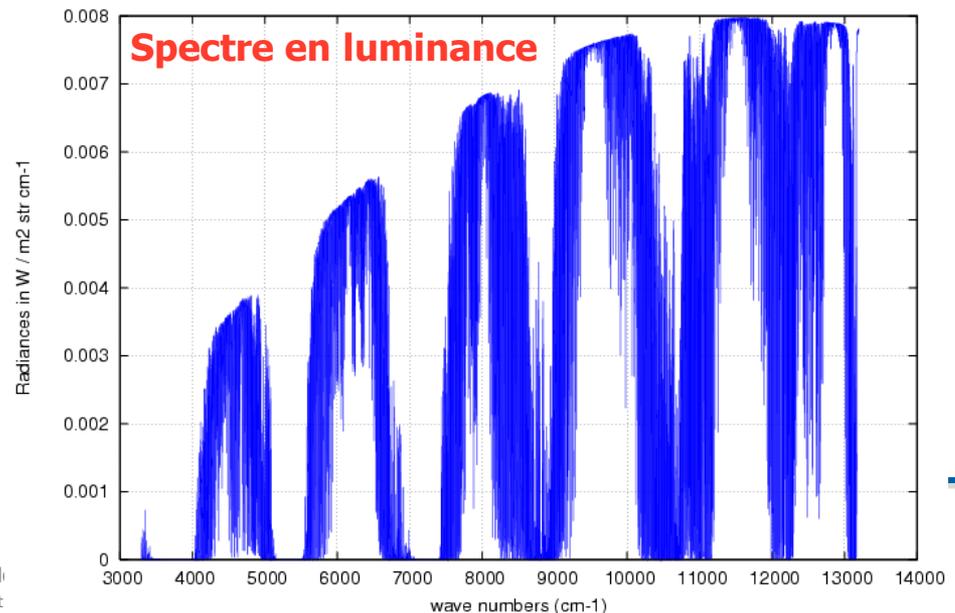
© 2010 Noveltis

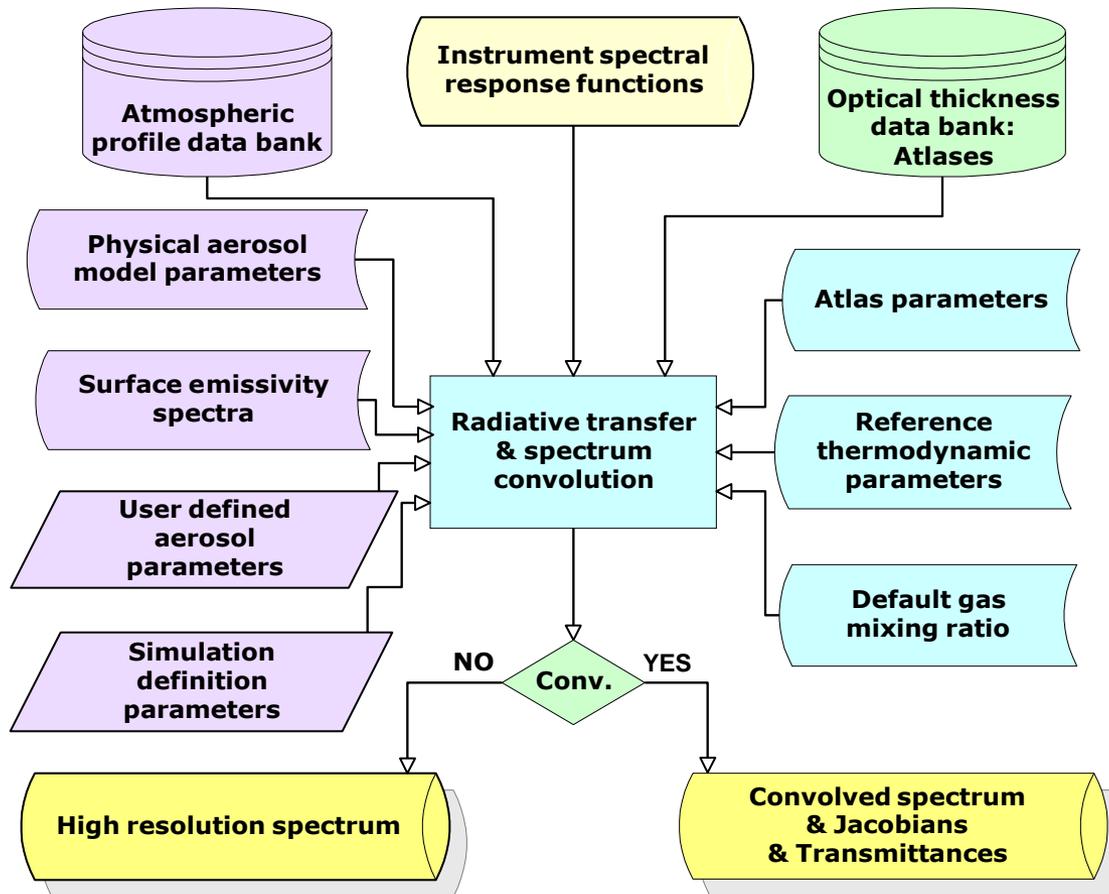
- Caractéristiques **générales**

- ✓ 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/SOS
- ✓ 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 ($T, T_s, \rho_c, \varepsilon_s$)
- ✓ Appelé via un script shell ou comme sous-programme

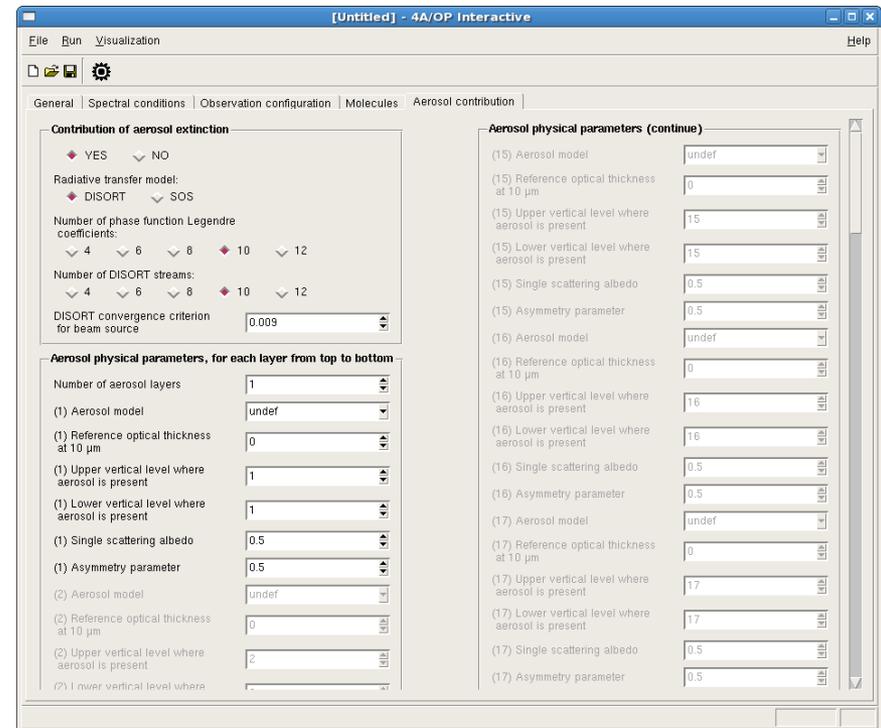
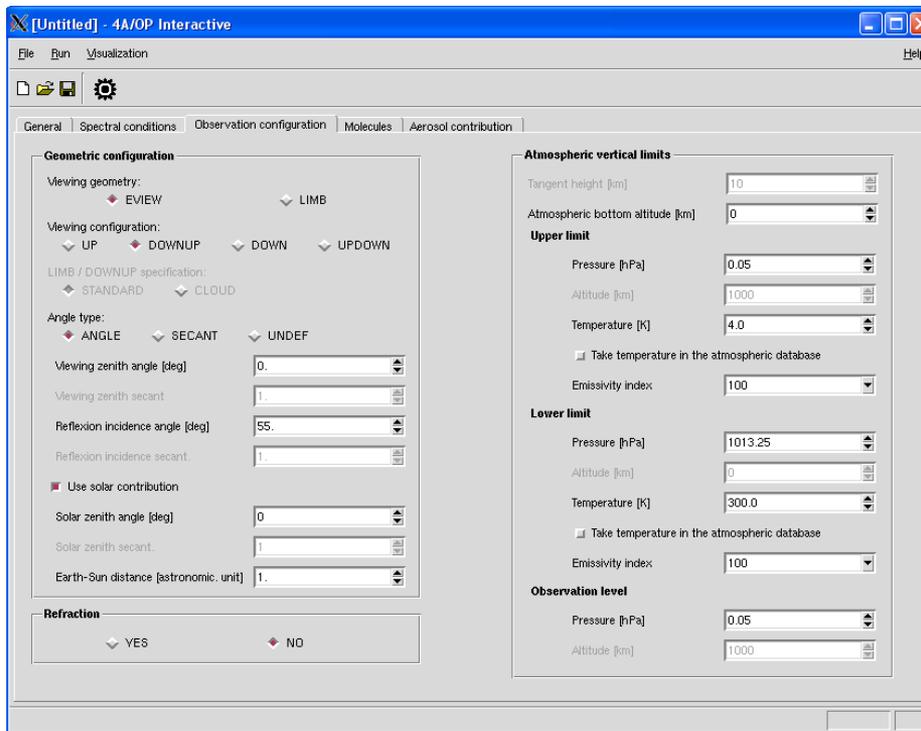
- Caractéristiques dans le **SWIR**

- ✓ Extension au domaine $3000 - 13500 \text{ cm}^{-1}$ ($0.74 - 3 \text{ }\mu\text{m}$)
- ✓ **Line-mixing CO_2** et élargissement des raies CO_2 par H_2O
- ✓ Diffusion **Rayleigh**
- ✓ Choix d'un **spectre solaire**
- ✓ **Décalage Doppler** des raies solaires
- ✓ Calcul des Jacobiens en présence de diffuseurs
 - Couplage avec LIDORT
 - Gaz, albédo, aérosols

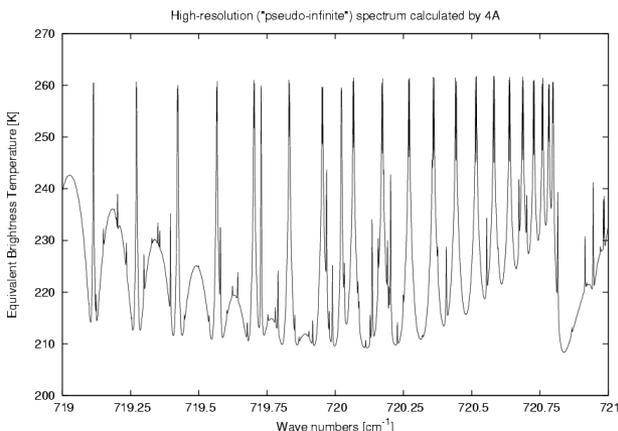




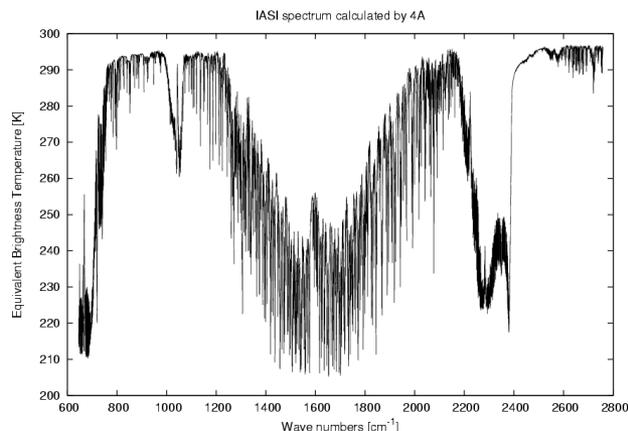
- GUI -> [vidéo-démo](#)
- ✓ développée en Tcl/Tk
- ✓ utilise Gnuplot pour la visualisation



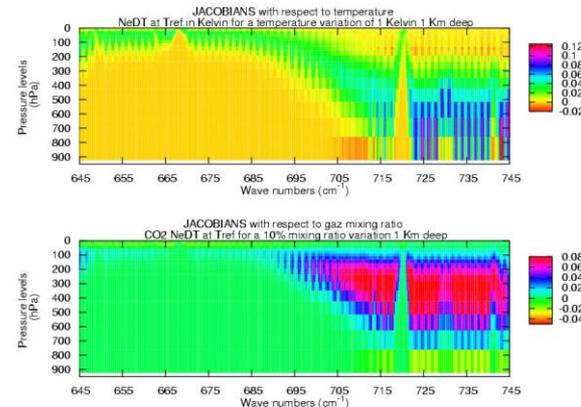
● Simulations : exemples



Spectre « infini »



Spectre IASI 1c



Jacobians – IASI 1c

● Temps de calcul : exemples (pas de calcul : 0.01 cm⁻¹/ ~0.004 nm)

Typical computation time Linux Xeon 3.2 GHz / 1.8 MB	4A (no scattering)	LIDORT (16 Leg. coeff.)	DISORT (16 Leg. coeff.)
Spectrum [4800-4900 cm ⁻¹]	1.0 s	~5 min	~14 min
Spectrum + jacobians (2 molecules, albedo)	2.5 s	~47 min	-

- 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 en cours
 - ✓ 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 (mars-juillet 2011 au 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
 - ✓ Polarisation : VLIDORT ? Successive orders of scattering ?
 - ✓ Ajout du line-mixing de l'oxygène (bande A ~ 765 nm)
 - ✓ Ajout du line-mixing du CH_4
 - ✓ Introduction de BRDF

- Développements techniques
 - ✓ Accélération des temps de calculs avec diffusion
 - ✓ Interface graphique pour le SWIR

- Validation dans le SWIR
 - ✓ SCORE-MIP (2011 ?)
 - ✓ Validation avec des vraies mesures
 - Données GOSAT ?
 - ✓ Inter-comparaison avec d'autres codes de transfert radiatif ?