

**Première journée scientifique de la Plateforme OCAP1**  
UPMC le 10 décembre 2015

**Observations atmosphériques depuis le sol en  
occultation solaire :  
Service d'observations OASIS**

**Pascale CHELIN**  
[pascale.chelin@lisa.u-pec.fr](mailto:pascale.chelin@lisa.u-pec.fr)

**MCF, LISA UMR 7583**  
**Université Paris-Est Créteil**

## Plan de la présentation

*Idée : enrichir la spectro théorique et les mesures laboratoire dans le groupe Spectroscopie-Atmosphères du LISA d'un 3<sup>ème</sup> axe : les observations atmosphériques*

## Plan de la présentation

*Idée : enrichir la spectro théorique et les mesures laboratoire dans le groupe Spectroscopie-Atmosphères du LISA d'un 3<sup>ème</sup> axe : les observations atmosphériques*



## Plan de la présentation

*Idée : enrichir la spectro théorique et les mesures laboratoire dans le groupe Spectroscopie-Atmosphères du LISA d'un 3<sup>ème</sup> axe : les observations atmosphériques*

### **OBJECTIFS SCIENTIFIQUES**

- 1) Valider les performances d'un instrument à moyenne résolution spectrale pour justifier l'emploi de ce type d'instrument dans les réseaux d'observation ?**
- Evaluer la qualité des données sur les colonnes totales d'ozone
  - Observer les **variabilités** (du CO et O<sub>3</sub>)

## Plan de la présentation

*Idée : enrichir la spectro théorique et les mesures laboratoire dans le groupe Spectroscopie-Atmosphères du LISA d'un 3<sup>ème</sup> axe : les observations atmosphériques*

### **OBJECTIFS SCIENTIFIQUES**

**1) Valider les performances d'un instrument à moyenne résolution spectrale pour justifier l'emploi de ce type d'instrument dans les réseaux d'observation ?**

- Evaluer la qualité des données sur les colonnes totales d'ozone
- Observer les **variabilités** (du CO et O<sub>3</sub>)

**2) Possibilités de mesurer l'ozone dans les basses couches avec un FTIR sol ?**

- Détecter **séparément l'O<sub>3</sub> troposphérique** car observatoire en milieu urbain et à basse altitude

# Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire

## ***Service d'observations OASIS***

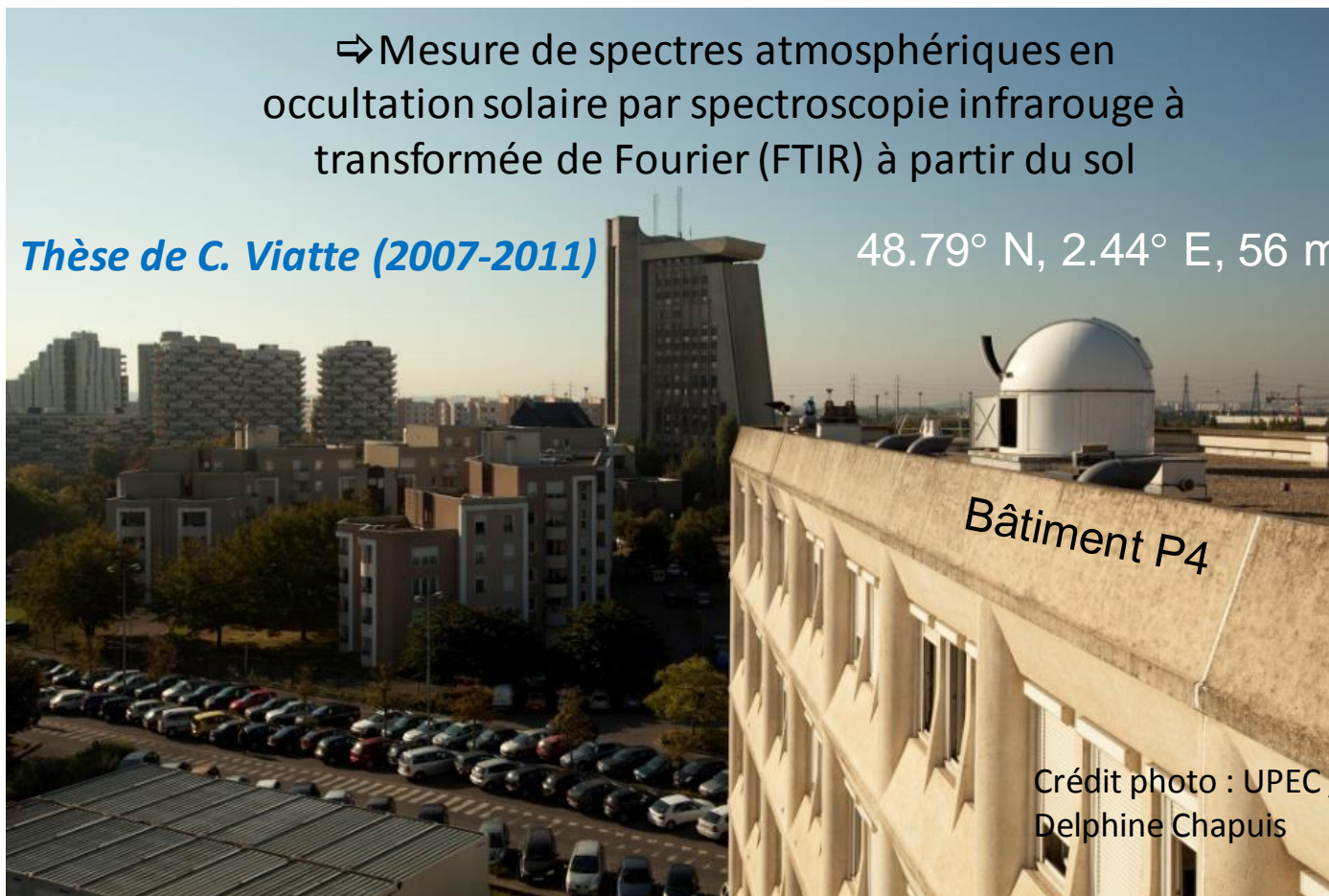
*“Observations Atmosphériques par Spectroscopie Infrarouge Solaire”*

*“Observations of the Atmosphere by Solar absorption Infrared Spectroscopy”*

⇒ Mesure de spectres atmosphériques en occultation solaire par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) à partir du sol

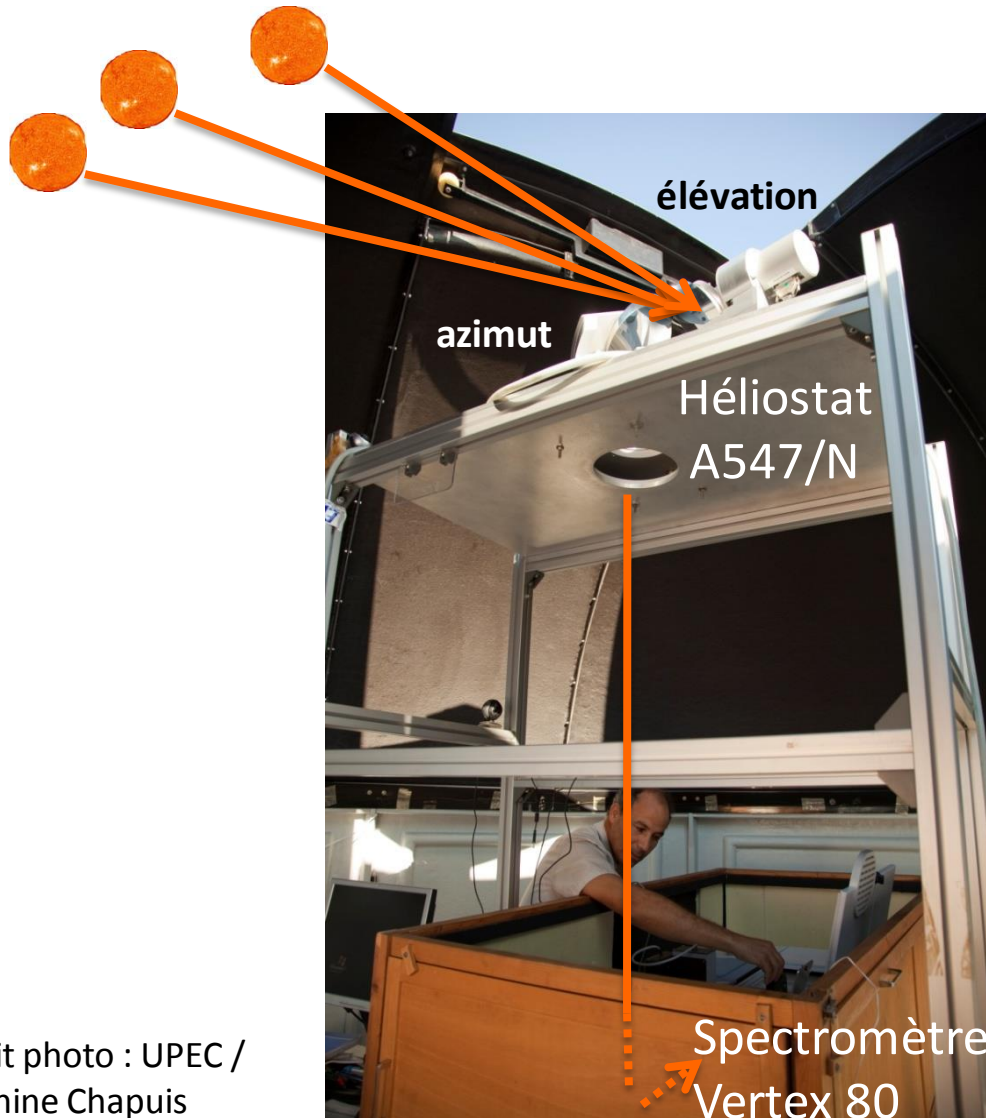
*Thèse de C. Viatte (2007-2011)*

48.79° N, 2.44° E, 56 m



Crédit photo : UPEC /  
Delphine Chapuis

# Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire

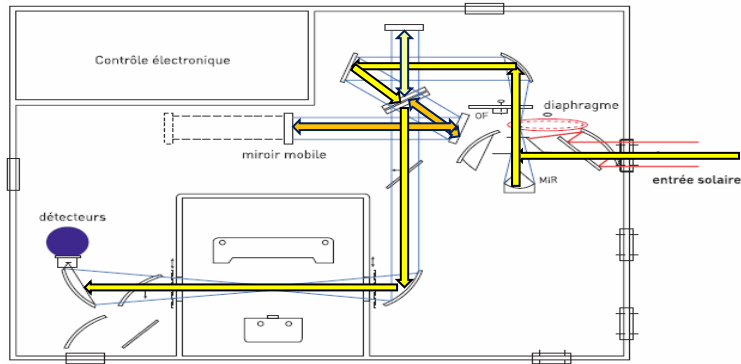


- Coupole motorisée et automatisée (Sirius Observatories)
- Héliostat avec une photodiode quatre cadrans (BRUKER A547N)
- Spectromètre à transformée de Fourier (BRUKER Vertex 80) de moyenne résolution spectrale ( $0.06 \text{ cm}^{-1}$ ) (MOPD = 12 cm)
- Large domaine spectral de mesure :  $700\text{-}11000 \text{ cm}^{-1}$  ( $0.9 - 14.3 \text{ }\mu\text{m}$ ) avec une séparatrice en KBr et un détecteur DTGS

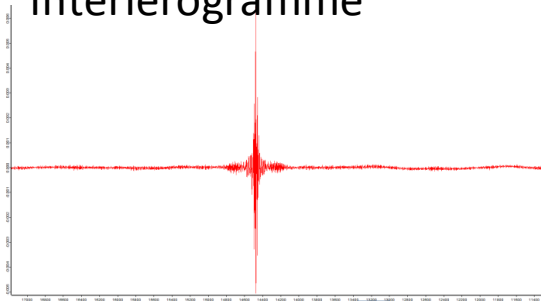
Crédit photo : UPEC /  
Delphine Chapuis

# Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire

-Fév. 2009- Avril 2014 : plus de 250 jours de mesures exploitables **en temps clair**

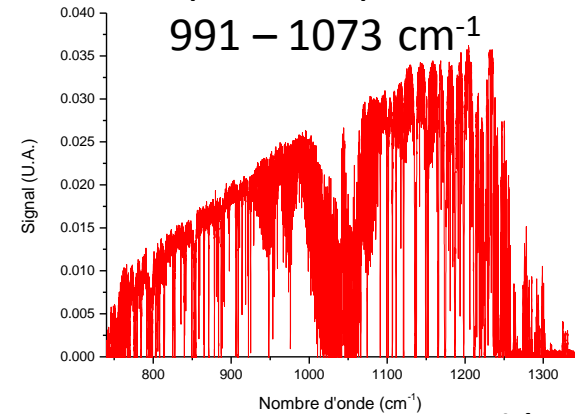


Signal mesuré =  
interférogramme

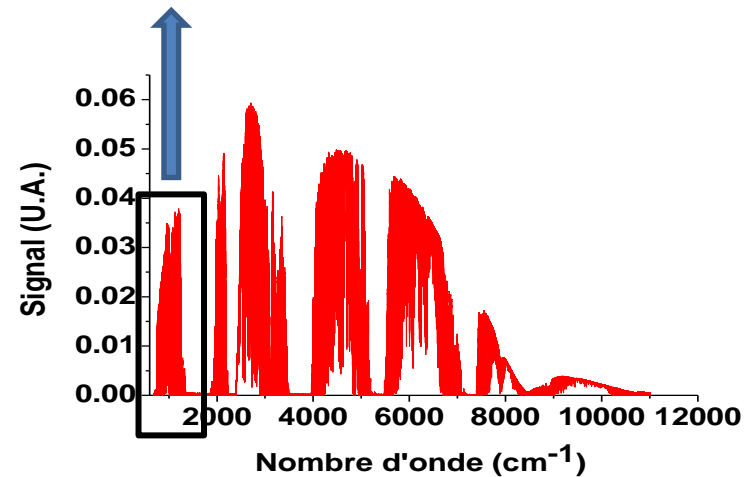


Transformée de Fourier

Fenêtre spectrale pour l'ozone :  
991 – 1073  $\text{cm}^{-1}$



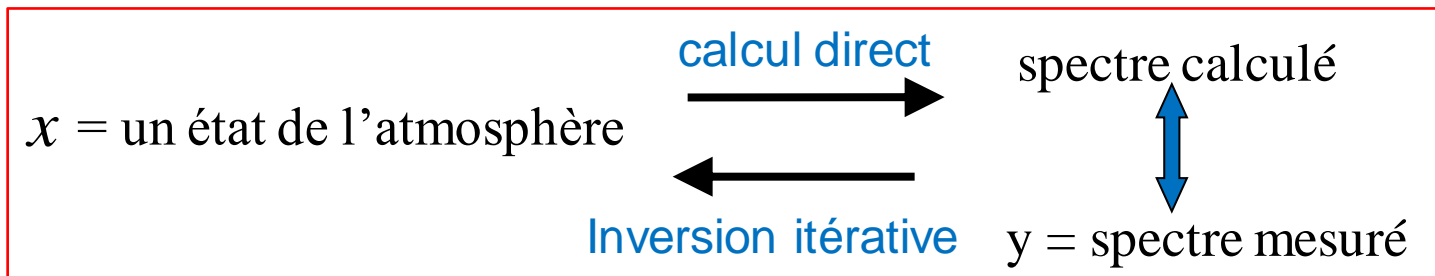
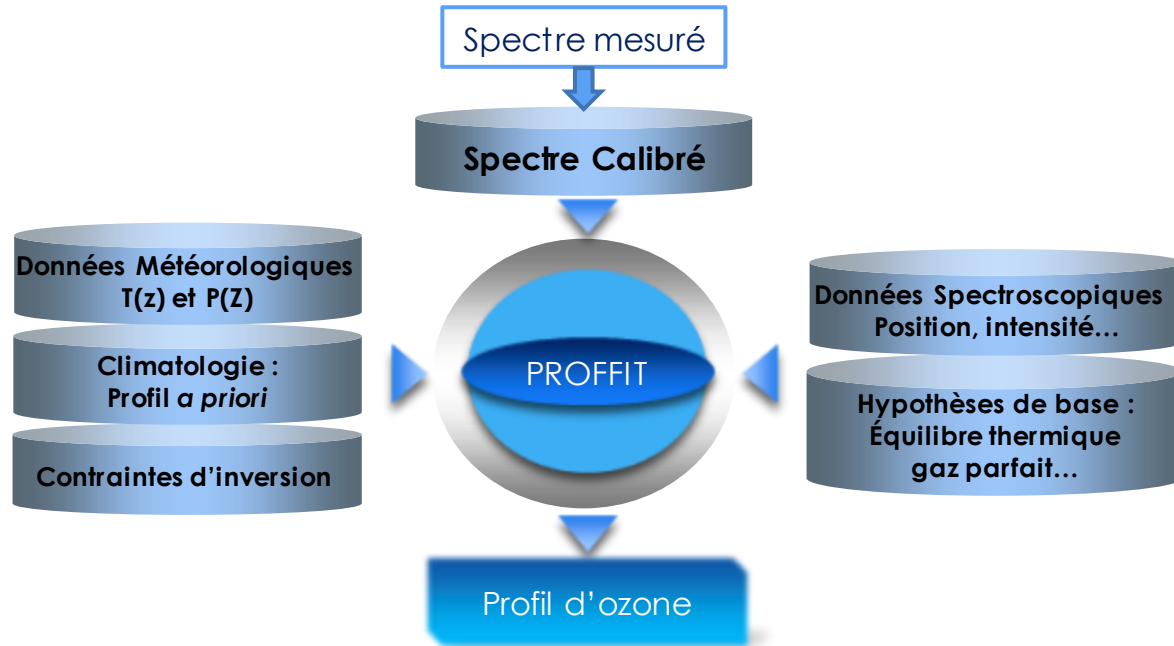
1 spectre = 30 scans accumulés =  
10 min de mesure à résolution maximale



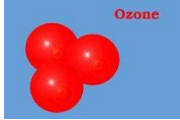


# Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire

- Inversions avec le code PROFFIT 9.6 (l'un des deux codes utilisés dans le réseau NDACC et inspiré du code KOPRA pour les données de MIPAS) - Collaboration avec le Karlsruhe Institute of Technology KIT

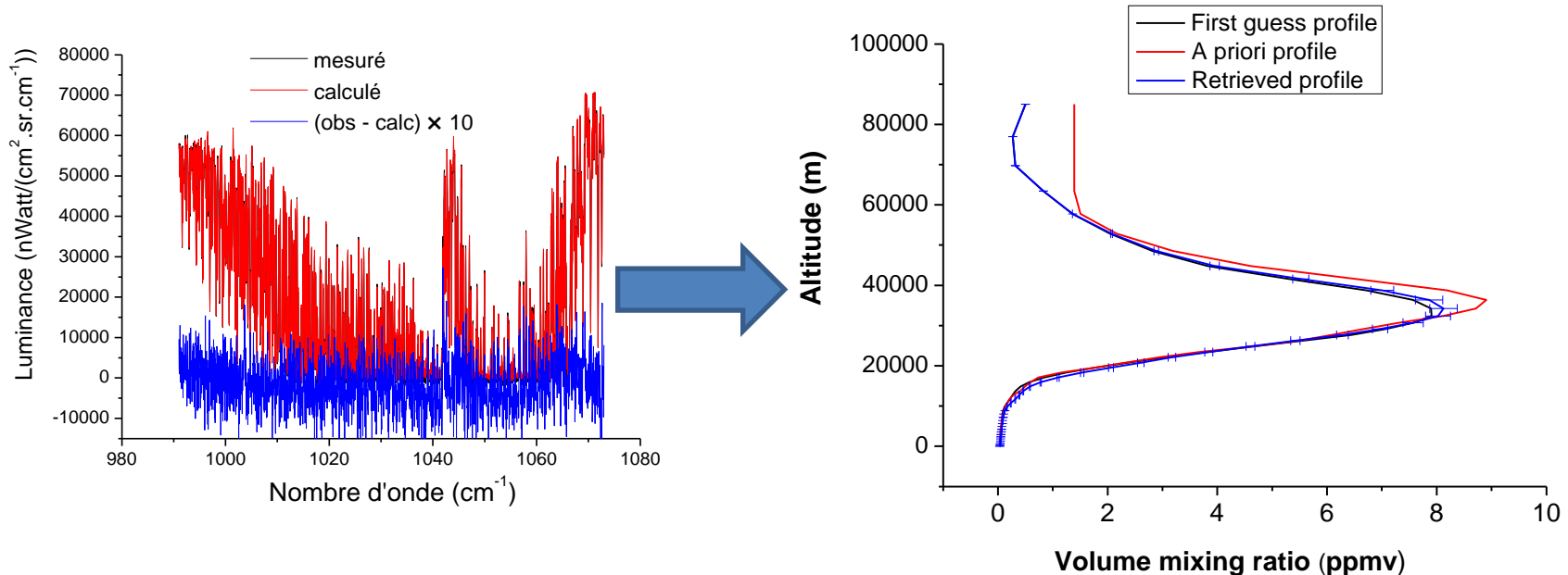


# Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire

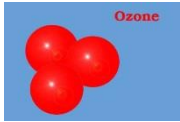


## L'OZONE ATMOSPHERIQUE

- L'ozone atmosphérique est inversé dans la fenêtre spectrale 991 - 1073 cm<sup>-1</sup> où les espèces interférentes sont : H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> and CCl<sub>3</sub>F
- Paramètres spectroscopiques de la base HITRAN04 (2 bandes:  $\nu_1$  and  $\nu_3$ )
- Atmosphère divisée en 46 niveaux entre 0 et 85 km
- Profils de pression et température issus de NCEP (National Centers for Environmental Prediction)
- Profils d'ozone *a priori* issus de la climatologie de Mc Peters



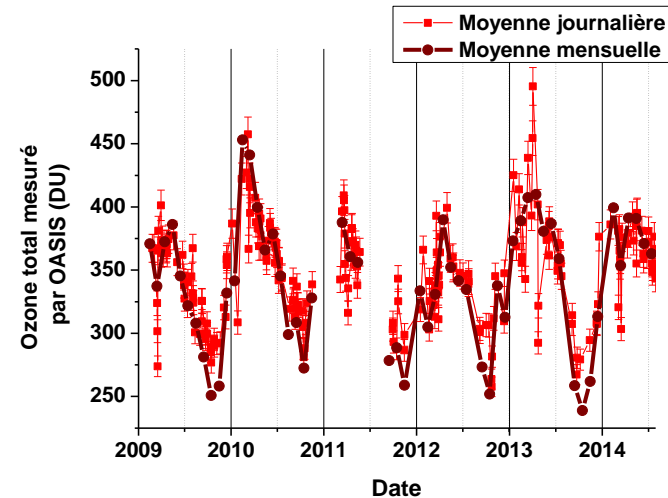
# Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire



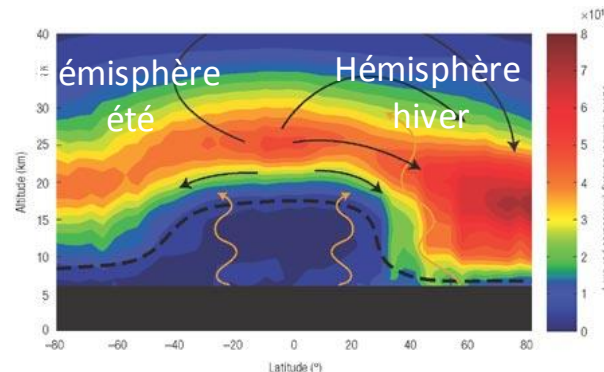
## L'OZONE ATMOSPHERIQUE

250 jours de mesure  
entre Février 2009 et  
Juillet 2014

précision de 3% sur la  
colonne totale



➔ Le graphique montre la **variabilité saisonnière de  $O_3$**  aux moyennes latitudes avec un **maximum en Février/Mars** et un minimum en Octobre, liée à la circulation de Brewer-Dobson.



*Dobson et al., 1956*

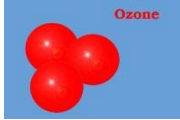


## L'OZONE ATMOSPHERIQUE

$$\text{RDM} = \left\{ \frac{(\text{Colonne d'O}_3 \text{ de } X - \text{Colonne d'O}_3 \text{ de OASIS}) \times 100}{\text{Colonne d'O}_3 \text{ de OASIS}} \right\}$$

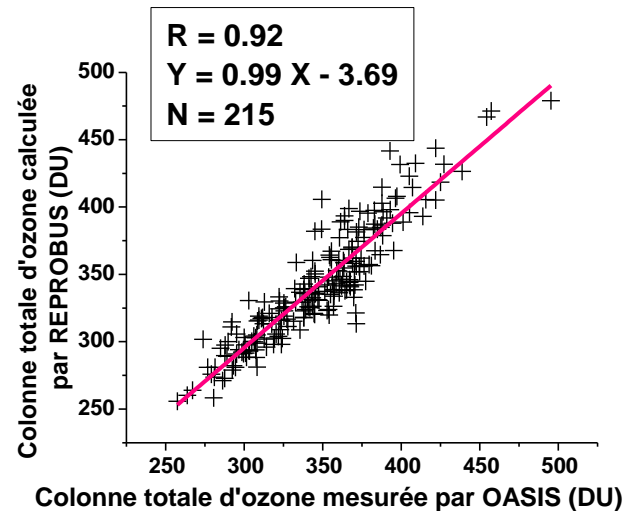
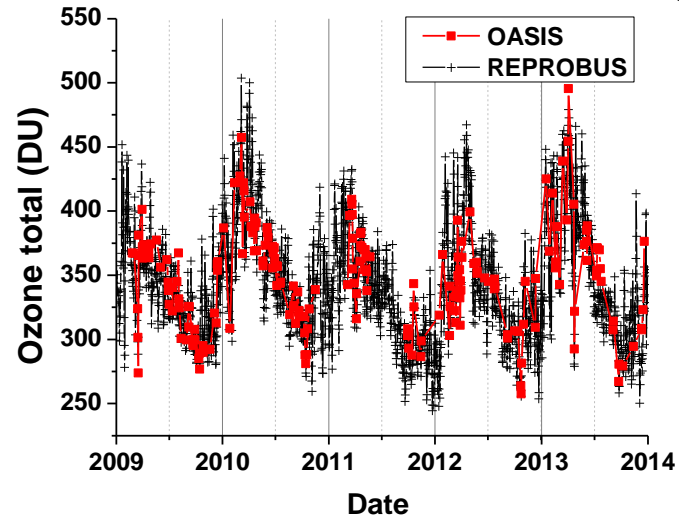
	FTIR OASIS O <sub>3</sub>			
	N	RDM en % (1σ)	R	Domaine spectral
<b>IASI</b>	173	-5.9 (4.3)	0.92	980-1073 cm <sup>-1</sup>
<b>GOME-2</b>	186	-7.3 (3.0)	0.96	290-340 nm
<b>OMI</b>	162	-6.6 (2.9)	0.96	290-340 nm
<b>SAOZ v2</b>	177	-4.6 (2.8)	0.96	450-550 nm

# Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire



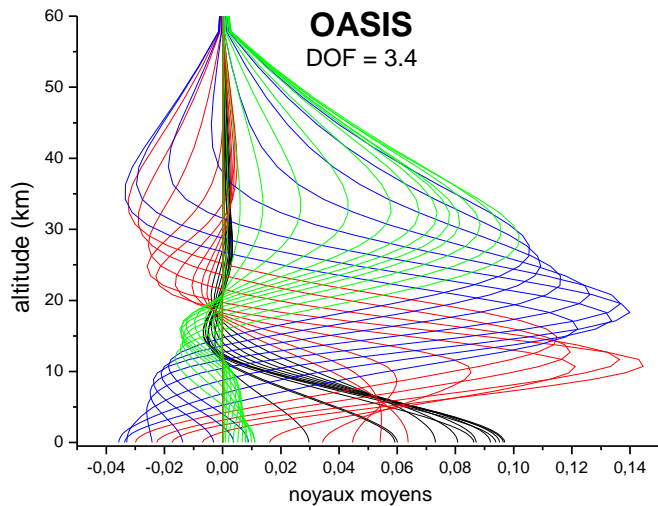
## L'OZONE ATMOSPHERIQUE

→ Très bonne corrélation aussi avec le modèle *REPROBUS (LATMOS): REactive Processes Ruling the Ozone BUdget in the Stratosphere*

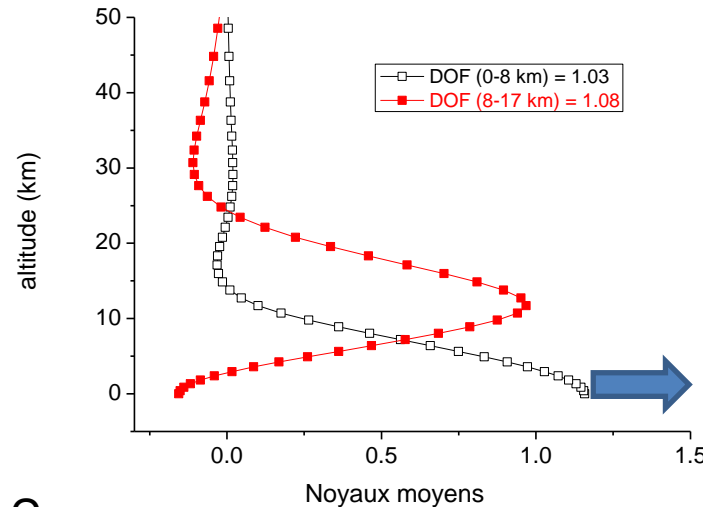




## L'OZONE ATMOSPHERIQUE

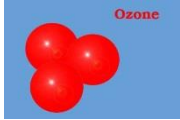


La matrice des noyaux moyens pour  $O_3$  mesurés par OASIS montre que le degré de liberté (DOF) est supérieur 3.  
DOF = trace de la matrice des noyaux moyens



**OASIS est sensible à la basse troposphère car DOF (0 – 8 km) = 1.03 = couche quasi-indépendante**

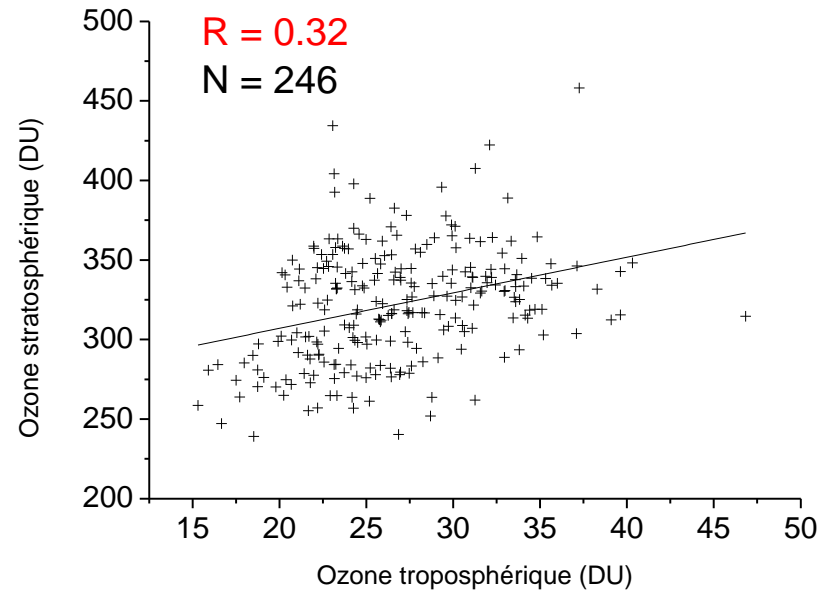
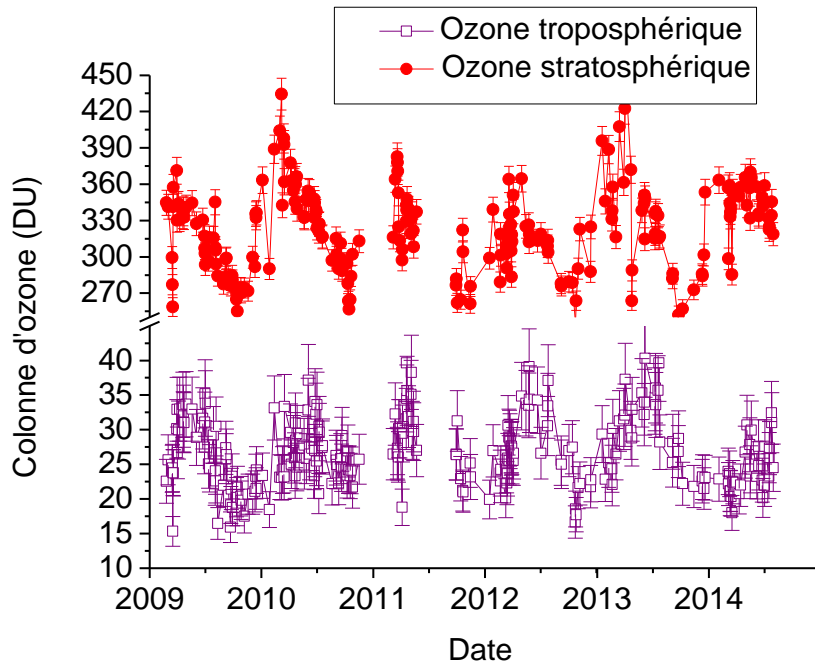
*Viatte et al., AMT, 2011*



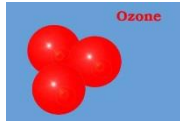
## L'OZONE ATMOSPHERIQUE

**OASIS est sensible à la basse troposphère**

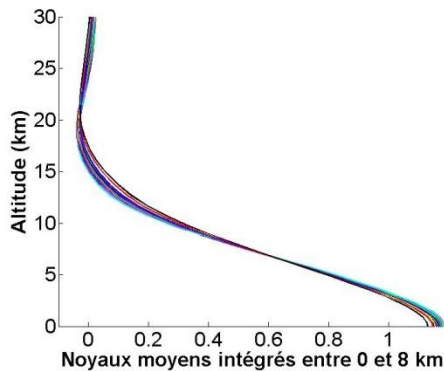
**Analyse confirmée sur plus de 5 ans de mesures !**



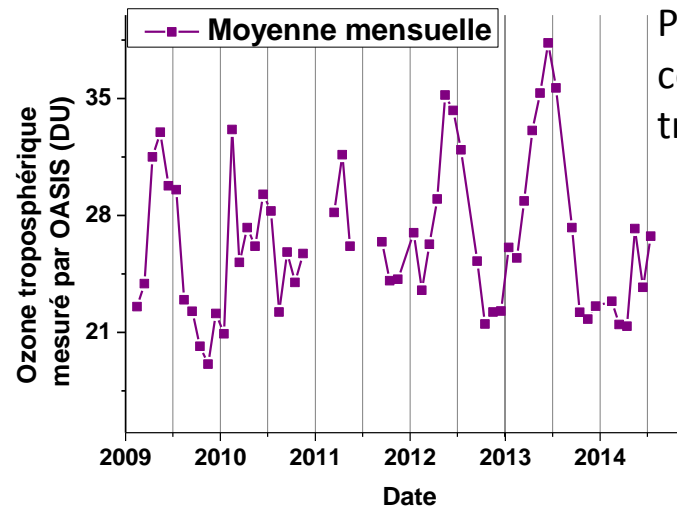
*Chelin et al., Hdb Env Chem, 2014*



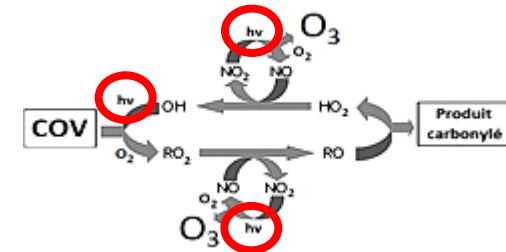
## L'OZONE ATMOSPHERIQUE



Les noyaux moyens intégrés entre 0 et 8 km évoluent assez peu au cours de la journée.

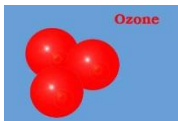


Précision de 14% sur la colonne partielle de  $O_3$  troposphérique



- ➔ Le graphe montre une **variabilité saisonnière de l'ozone troposphérique** aux moyennes latitudes avec un **maximum en Mai/Juin** et un minimum en Octobre/Novembre.
- ➔ Ce maximum d'ozone troposphérique en Mai/Juin est corrélé au maximum de production photochimique qui a lieu dans la basse troposphère. Aussi une partie peut provenir du transport vertical depuis la stratosphère.





## L'OZONE ATMOSPHERIQUE

### Climatology of pure Tropospheric and column contents of ozone and carbon monoxide using MOZAIC at mid-northern latitudes (24° N) from 1994 to 2009

R. M. Zbinden<sup>1</sup>, V. Thouret<sup>1</sup>, P. Ricaud<sup>2</sup>, F. Carminati<sup>1</sup>, P. Nédélec<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Aérodynamique, UMR5560, CNRS and Université de Toulouse

<sup>2</sup>GAME/CNRM, Météo-France, CNRS URA 1357, Toulouse, France

<sup>3</sup>now at: OSUR, UMS3365, Université de la Réunion, Saint-Denis

Received: 7 May 2013 – Accepted: 14 May 2013 – Published: 20 May 2013

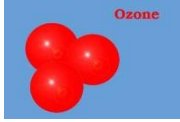
Correspondence to: R. M. Zbinden (regina.zbinden@aero.obs-mip.fr)

Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union

**Zbinden et al., ACPD, 2013**

#### Abstract

The objective of this paper is to deliver the most accurate ozone ( $O_3$ ) and carbon monoxide (CO) climatology for the pure troposphere only, i.e. exclusively from the ground to the dynamical tropopause on an individual profile basis. The results (profiles and columns) are derived solely from the Measurements of Ozone and water vapour by in-service Airbus airCRAFT programme (MOZAIC) over fifteen years (1994–2009). The study, focused on the northern mid-latitudes [24° N–50° N] and [120° W–140° E], includes more than 40 000 profiles over 11 sites to give a quasi-global zonal picture. Considering all the sites, the pure tropospheric column peak-to-peak seasonal cycle ranges are 23.7–43.2 DU for  $O_3$  and  $1.7\text{--}6.9 \times 10^{18} \text{ mol cm}^{-2}$  for CO. The maxima of the seasonal cycles are not in phase, occurring in February–April for CO and May–July for  $O_3$ . The phase shift is related to the photochemistry and OH removal efficiencies. The purely tropospheric seasonal profiles are characterized by a typical autumn-winter/spring-summer  $O_3$  dichotomy, (except in Los Angeles, Eastmed – a cluster of Cairo and Tel Aviv – and the regions impacted by the summer monsoon) and a summer-autumn/winter-spring CO dichotomy. We revisit the boundary-layer, mid-tropospheric (MT) and upper-tropospheric (UT) partial columns, using a new monthly-varying MT ceiling. Interestingly, the seasonal cycle maximum of the UT partial columns is shifted from summer to spring for  $O_3$  and to very early spring for CO. Conversely, the MT maximum is shifted from spring to summer and is associated with a summer (winter) MT thickening (thinning). Lastly, the pure tropospheric seasonal cycles derived from our analysis are consistent with the cycles derived from spaceborne measurements, the correlation coefficients being  $r = 0.6\text{--}0.9$  for  $O_3$ , and  $r > 0.9$  for CO. The cycles observed from space are nevertheless greater than MOZAIC for  $O_3$  (by 9–18 DU) and smaller for CO (up to  $1 \times 10^{18} \text{ mol cm}^{-2}$ ). The larger winter  $O_3$  difference between the

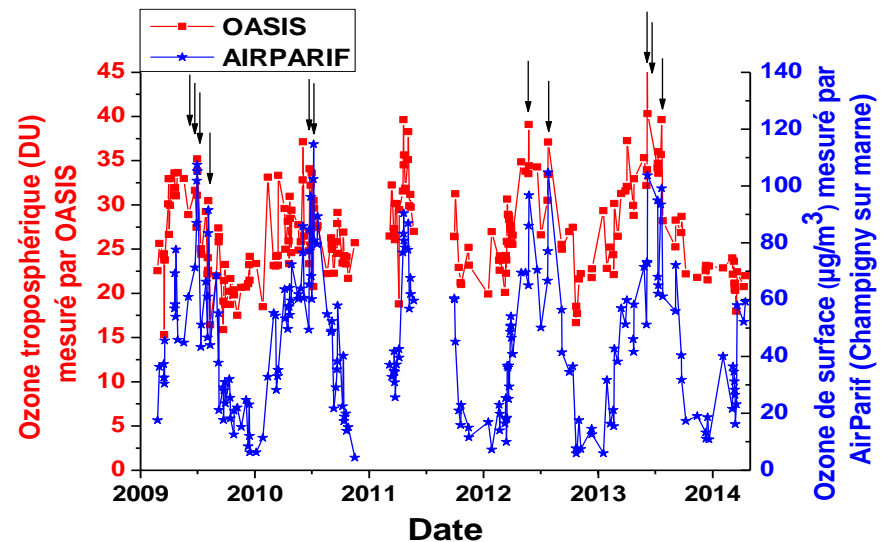


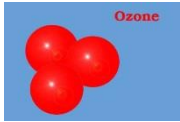
## L'OZONE ATMOSPHERIQUE

### Ozone de surface



- 11 pics de pollution mesurés par AIRPARIF ( $[O_3] > 110 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  = valeur cible)
- Correspondent à des fortes valeurs OASIS
- OASIS est capable de détecter les **épisodes de pollution à la surface**
- OASIS mesure aussi des **fortes valeurs** dans la **troposphère libre**

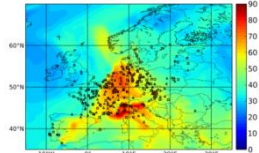




## L'OZONE ATMOSPHERIQUE

Code de chimie-transport

CHIMERE/collaboration avec G. Forêt



→ Avec lissage par les noyaux moyens :

**Bon accord entre OASIS et CHIMERE**

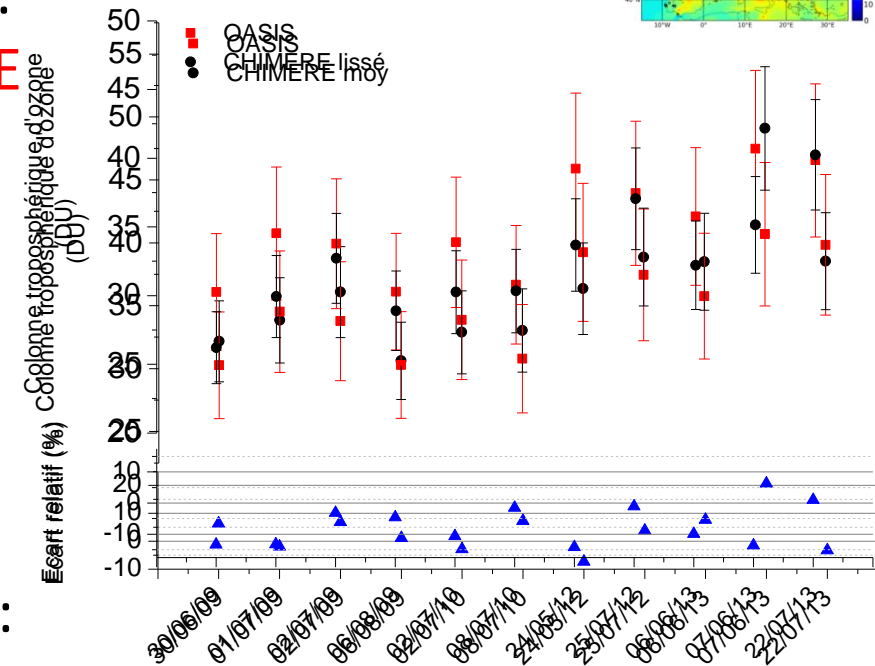
Biais moyen de **-7.7%** ( $\pm 5.9\%$ )

Cohérent avec Zyryanov et al.

[Zyryanov et al., 2012]

$$\text{Ecart relatif} = \frac{O3_{CHIMERE} - O3_{OASIS}}{O3_{OASIS}} \cdot 100$$

$$\text{Ecart relatif moyen} = \langle \text{Ecart relatif} \rangle$$

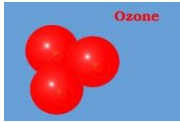


→ Sans lissage par les noyaux moyens :

Bon accord entre OASIS et CHIMERE mais pas de biais négatif.

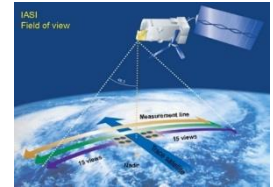
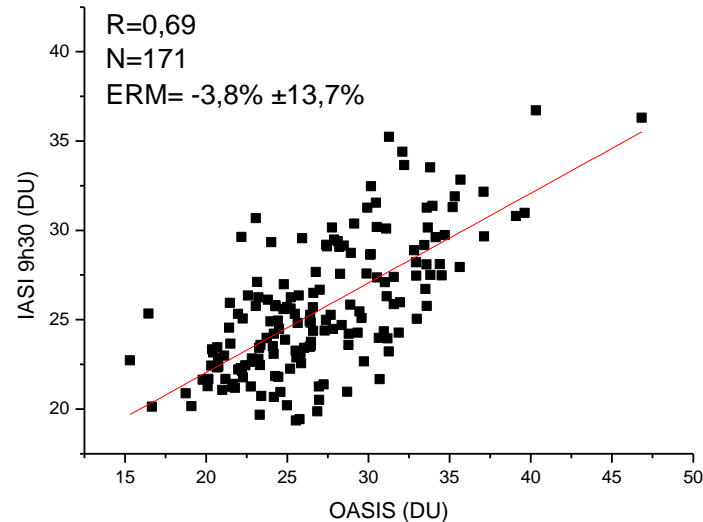
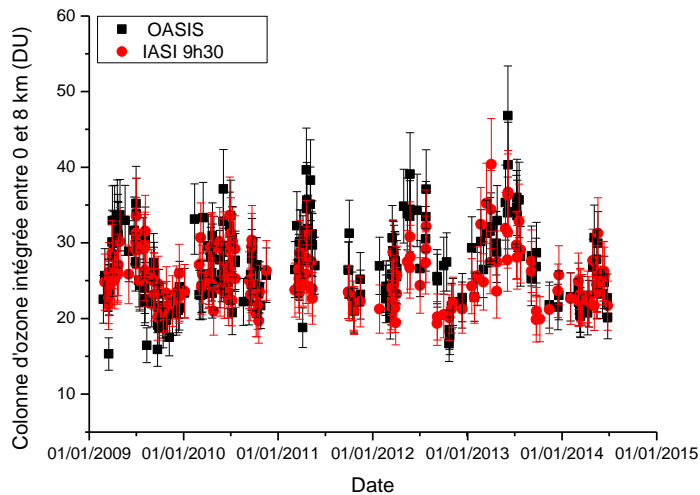
Ecart relatif moyen de 3.5% ( $\pm 7.7\%$ )

Stage M2 T. Fratacci (2015)



## L'OZONE ATMOSPHERIQUE

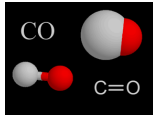
### Comparaison avec les données indépendantes de IASI



- ➔ IASI est un instrument embarqué sur le satellite MetOp ( $0.5 \text{ cm}^{-1}$ )
- ➔ 171 dates de coïncidence
- ➔ 15% de précision

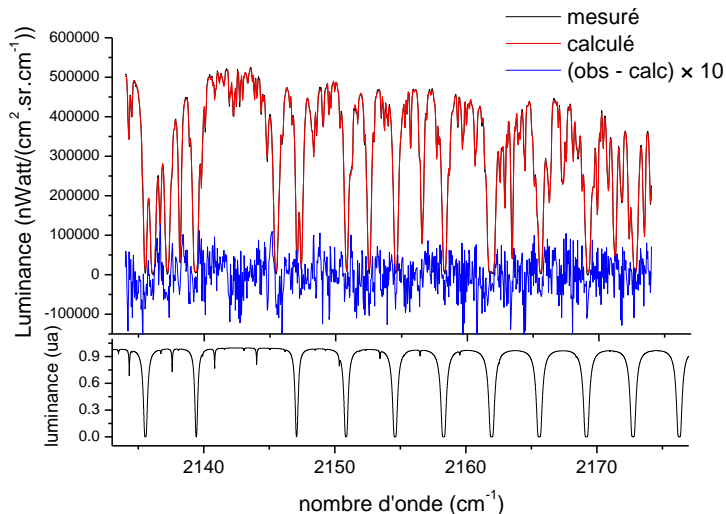
- ➔ Variabilité saisonnière similaire
- ➔ **Bon accord entre OASIS et IASI**  
Biais moyen de **-3.8%** ( $\pm 13.7\%$ )

*OASIS/CHIMERE/IASI, AMT, article en préparation*

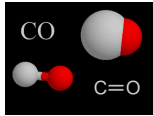


## LE MONOXYDE DE CARBONE

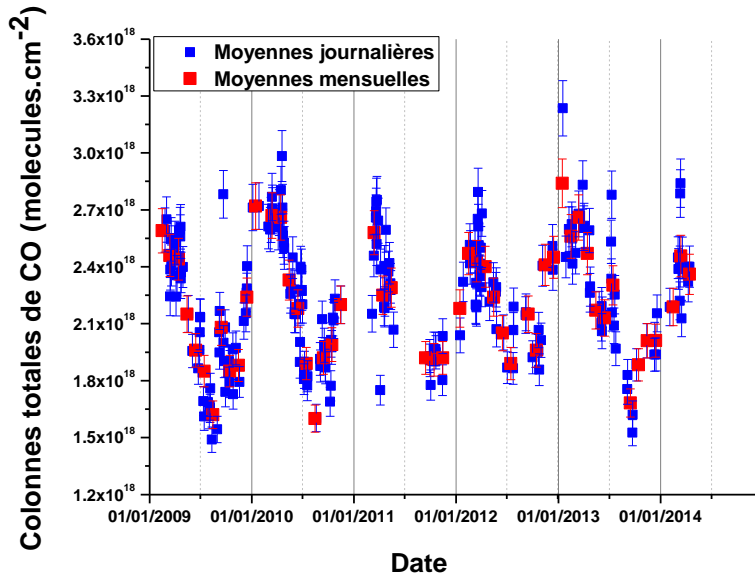
- CO est inversé dans la fenêtre spectrale  $2134 - 2174 \text{ cm}^{-1}$  où les espèces interférentes sont :  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  et OCS
- Paramètres spectroscopiques de la base HITRAN04 (1 seule bande  $\nu_1$ )
- Atmosphère divisée en 46 niveaux entre 0 et 85 km
- Profils de pression et température issus de NCEP (National Centers for Environmental Prediction)
- Profils de CO *a priori* utilisés pour l'inversion des données de MIPAS



Qu'elle que soit la méthode d'inversion, le DOF = 1  
Donc uniquement facteur multiplicatif du profil *a priori* (« *scaling factor* »)  
⇒ Mesure de la colonne totale de CO



## LE MONOXYDE DE CARBONE



➤ **Comparaison avec les données MOPITT et le code MOCAGE (Modèle de Chimie Atmosphérique à Grande Echelle)**

Le graphique montre la variabilité saisonnière de CO aux moyennes latitudes avec un **maximum en Février/Mars** et un minimum en **Août/Septembre**.

En hiver le CO est émis par les processus de combustion à des fins de chauffage et du fait du faible ensoleillement, il y a moins de OH qui est un puits de CO.

**Cette variabilité et la forte diminution de CO en Mai/Juin sont aussi observées par Zbinden et al.** sur des cycles européens de CO dans la troposphère et sont la preuve de l'efficacité des puits que représentent les radicaux OH.

# Prospectives

Pour atteindre les précisions sur les concentrations en CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> des nouvelles missions :

## Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2)



Spectromètre à réseau à 3 voies :

O<sub>2</sub> A-band (0.757–0.775 μm, O<sub>2</sub>A),  $\lambda/\Delta\lambda = 17000$

CO<sub>2</sub> band (1.594–1.627 μm, WCO<sub>2</sub>)  $\lambda/\Delta\lambda = 20000$

CO<sub>2</sub> band (2.043–2.087 μm, SCO<sub>2</sub>)  $\lambda/\Delta\lambda = 20000$  :

CO<sub>2</sub> : 1 ppm (0.3%)

- ☞ **Beaucoup de travail reste à faire** si on veut des points de comparaison pour OCO-2
- **Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire**
- **Mesurer des gaz à effet de serre avec OASIS**

# Prospectives

- **Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire**  
→ **Mesurer des gaz à effet de serre avec OASIS**

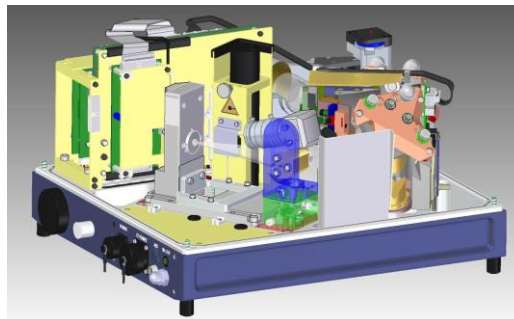
Au printemps 2015, le LISA a collaboré avec le IMK-KIT de Karlsruhe lors de la campagne de mesure COCCON 2015

**CO**llaborative **C**arbon **C**olumn **O**bserving **N**etwork (du 27/04/2015-16/05/2015)

→ Evaluer les émissions de CO<sub>2</sub> propres à la mégacité de Paris avec un réseau d'instruments FTIR type EM27 basse résolution (0.5 cm<sup>-1</sup>)

- Instrument stable et précis, validé par le TCCON Karlsruhe

→ Erreur ~ 0.1%  
[Gisi et al., AMT, 2012]



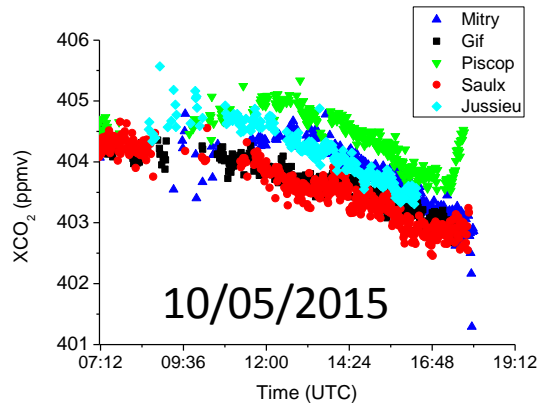
*Stage M2 T. Fratacci (2015)*



# Prospectives

- Observations atmosphériques depuis le sol
- Mesurer des gaz à effet de serre avec OASIS

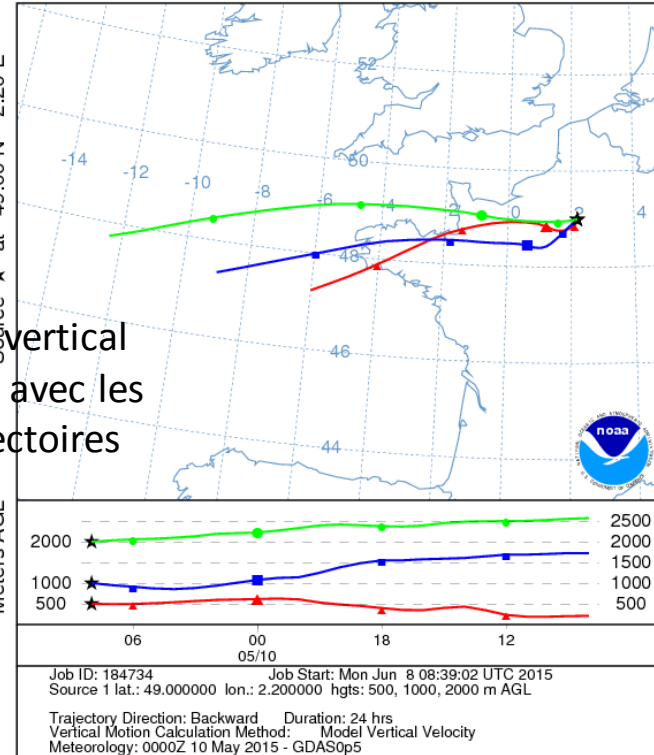
COllaborative Carbon Column Observing Network



Gradient vertical  
cohérent avec les  
rétrotrajectoires



NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 0800 UTC 10 May 15  
GFS/G Meteorological Data

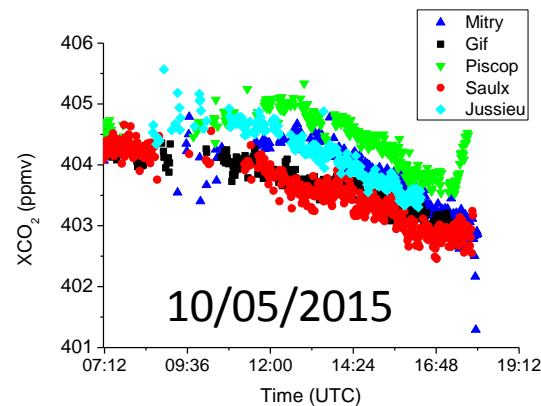


# Prospectives

## ○ Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire

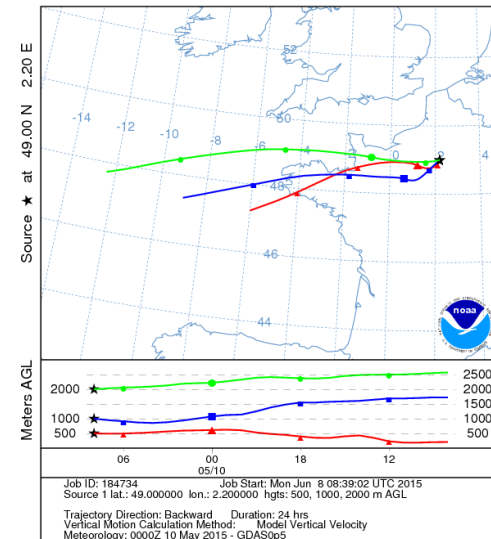
→ Mesurer des gaz à effet de serre avec OASIS

COllaborative Carbon Column Observing Network



Gradient vertical cohérent avec les rétrotrajectoires

NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 0800 UTC 10 May 15  
GFS/G Meteorological Data



Dans la continuité de la campagne COCCON et au vu des résultats prometteurs, on propose avec la collaboration du KIT de faire des nouvelles mesures de CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> avec OASIS en :

- Optimisant la stabilité de visée (renforcement de la stabilité mécanique de l'héliostat et amélioration du système de détection)

CO<sub>2</sub> : 6173-6390 cm<sup>-1</sup>

CH<sub>4</sub> : 5897-6145 cm<sup>-1</sup>

- Menant une campagne d'intercomparaison avec un EM27 pour déterminer l'amélioration des performances d'OASIS

## Prospectives

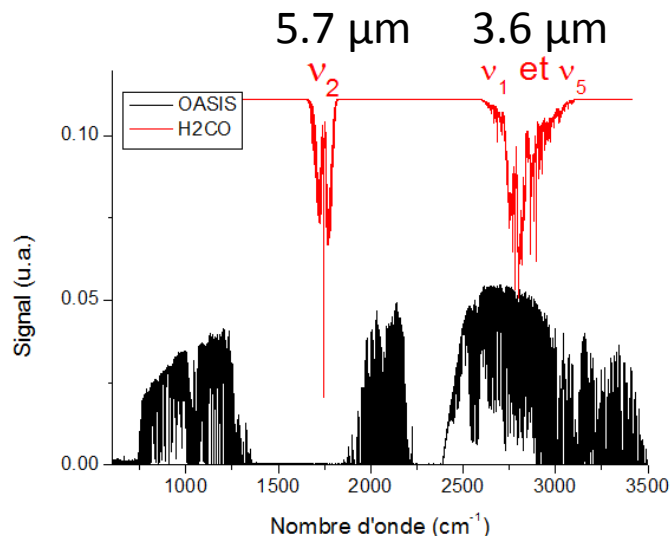
- **Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire**
  - **Poursuivre les mesures récurrentes de O3 tropo et CO et aussi dans le cadre des alertes pollution**
  - **Mesurer d'autres polluants troposphériques**

# Prospectives

- **Observations atmosphériques depuis le sol en occultation solaire**
  - **Mesurer d'autres polluants troposphériques**

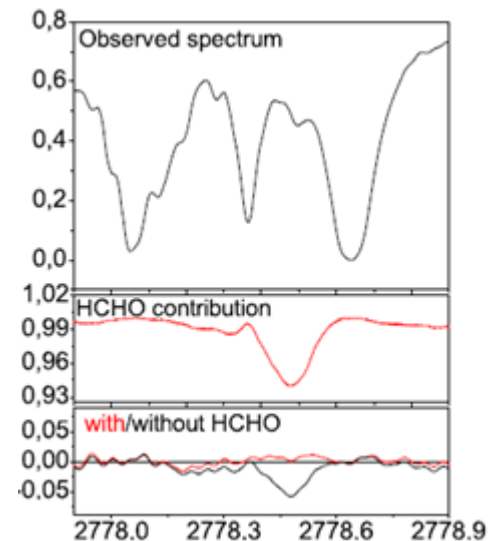
Evaluer la possibilité de mesurer le formaldéhyde avec OASIS et si c'est possible, détecter pour la première fois le formaldéhyde dans les spectres atmosphériques en occultation solaire à partir du sol à moyenne résolution

Déjà détecté en occultation solaire à partir du sol à haute résolution [Jones et al., ACP, 2009 ; Vigouroux et al., ACP, 2009] utilisant les 2 bandes  $\nu_1$  et  $\nu_5$  centrées respectivement à  $2782 \text{ cm}^{-1}$  et  $2843 \text{ cm}^{-1}$



[Dufour et al.,  
ACP, 2009]

Détecté par ACE-FTS  
grâce à la liste de raies  
produite par A. Perrin  
[Perrin et al., JQSRT,  
2009]



## Remerciements

**Un grand merci à tous ceux qui ont contribué à l'ensemble de ces résultats**

Mes collègues du LISA : Mokhtar Ray (IE UPEC), Xavier Landsheere (IE CNRS), Maxim Eremenko (IR CNRS), Juan Cuesta (MCF UPEC), Gilles Forêt (MCF UPEC)

Etudiants en thèse et stagiaires

Mes collaborateurs français et étrangers (dont l'équipe IMK-KIT)

UPEC

OSU EFLUVE pour le maintien de ce service d'observations récurrentes

***Merci à vous tous pour votre attention***