

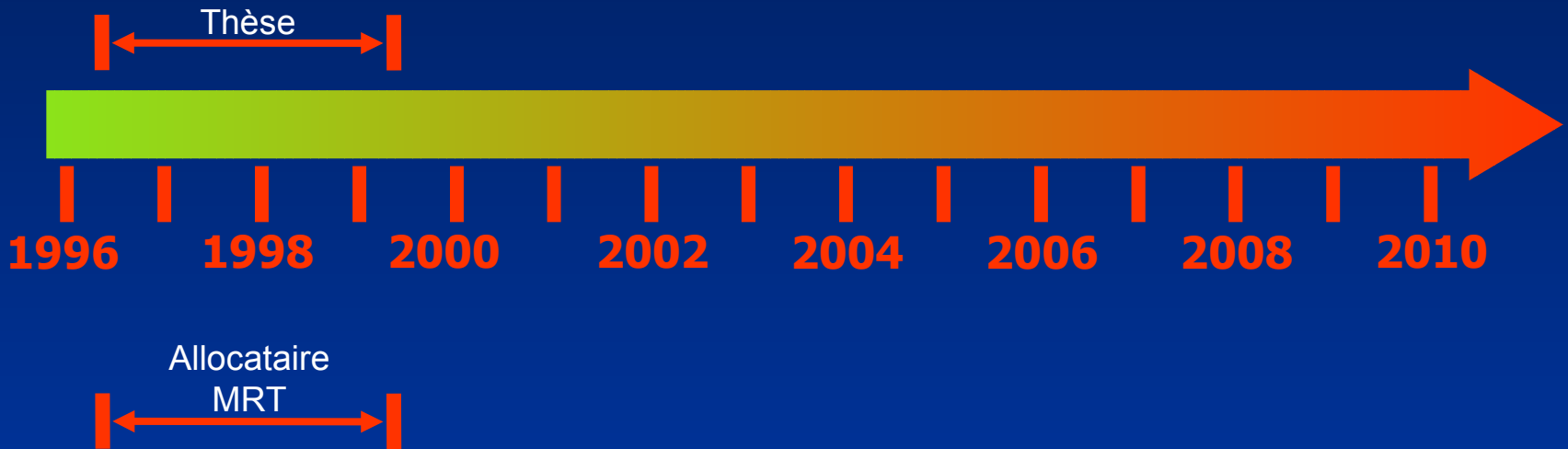
Habilitation à Diriger des Recherches

Contribution au développement d'une station d'observation de l'Atmosphère à la Réunion et à l'étude de l'ozone troposphérique en région tropicale

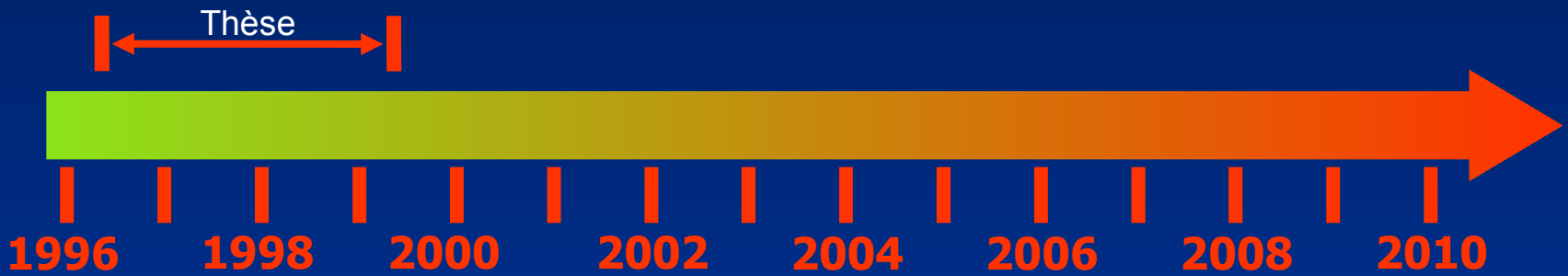
Jean-Luc BARAY

9 Avril 2009

Parcours



Parcours



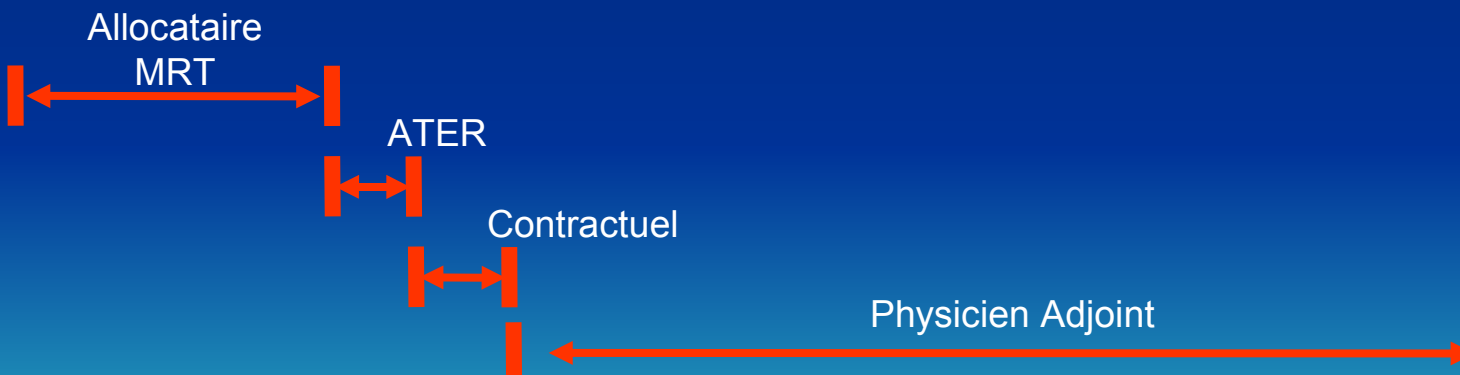
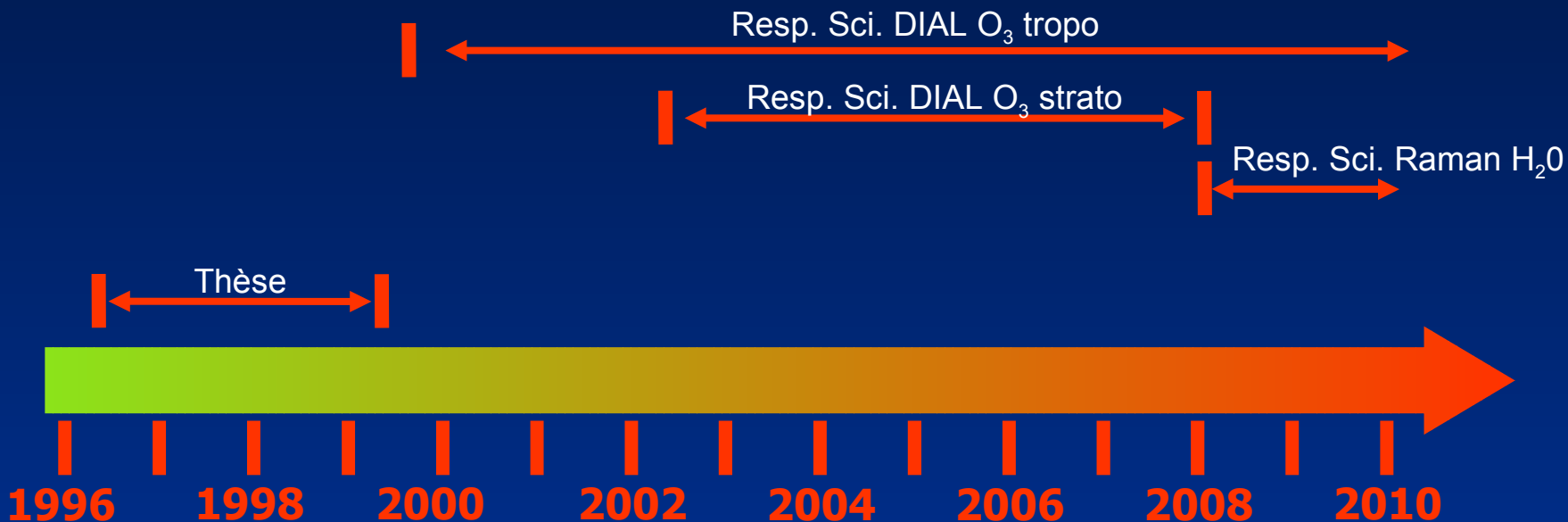
Allocataire
MRT

ATER

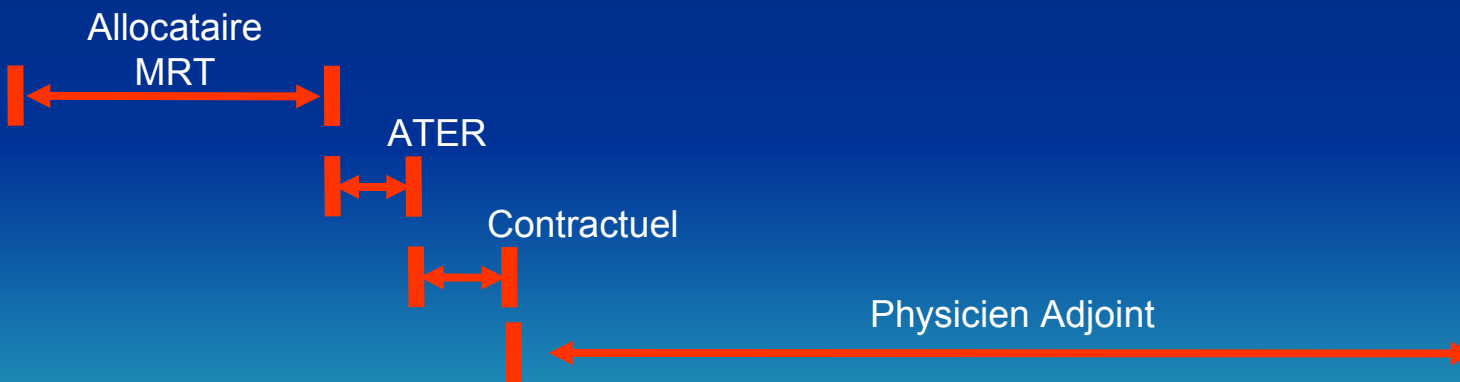
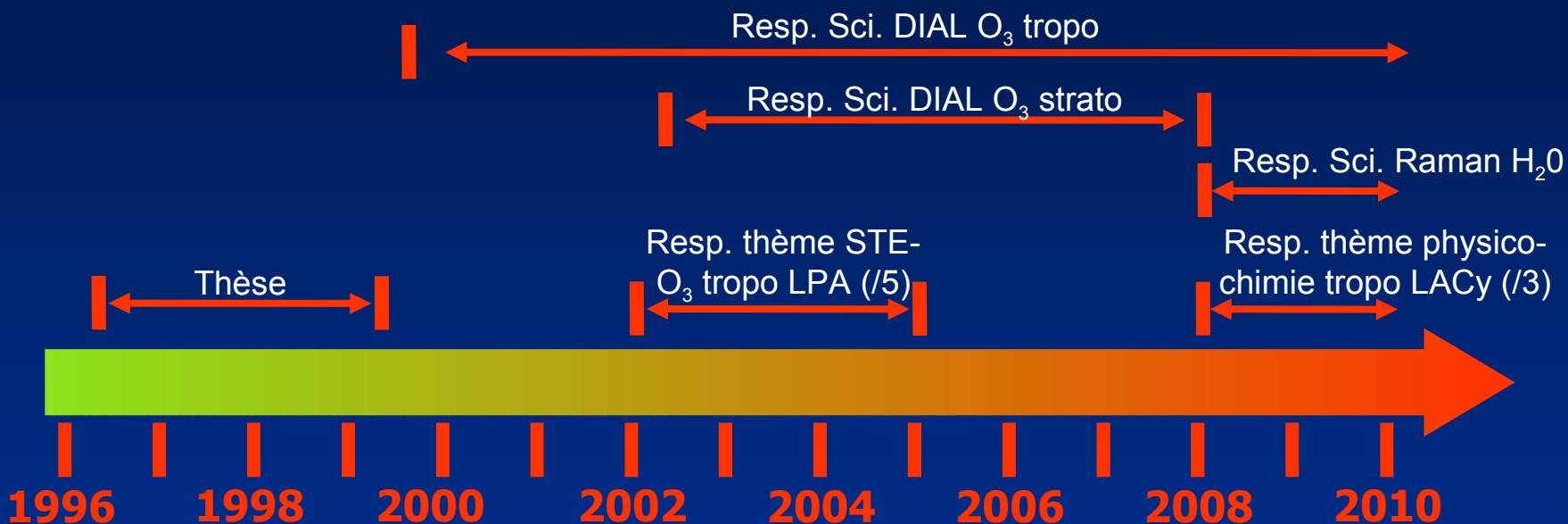
Contractuel

Physicien Adjoint

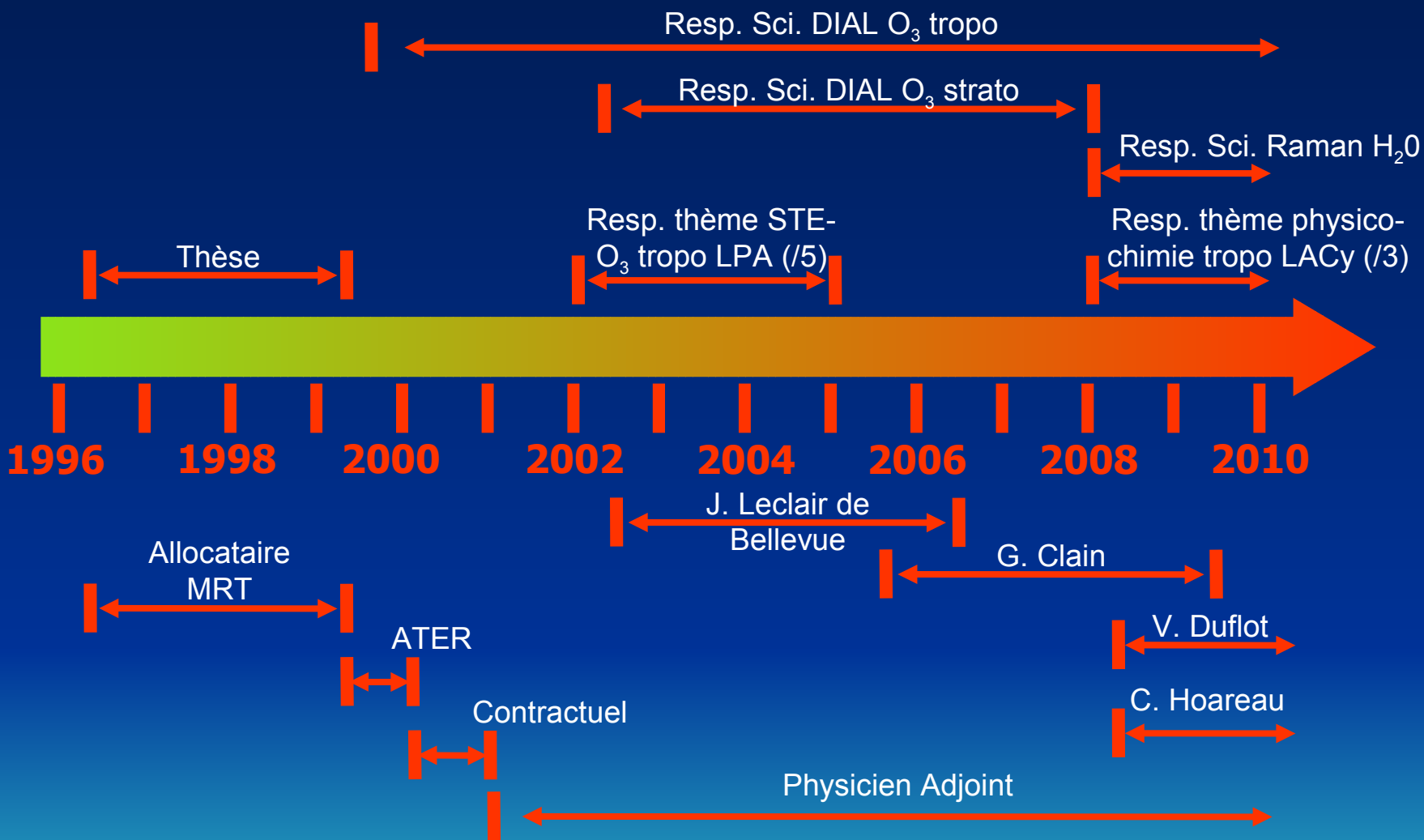
Parcours



Parcours



Parcours



Plan

- Aspects instrumentaux et développement de la station d'observation de la Réunion
 - Pourquoi une station d'observation à la Réunion ?
 - Les mesures par lidar (et particulièrement les lidar ozone)
 - D'autres instruments (sondes, radiomètres)
 - Les projets instrumentaux et le projet de station d'altitude
 - La station dans les réseaux de recherche internationaux
- Aspects scientifiques autour du bilan de l'ozone troposphérique
 - Le contexte de l'ozone troposphérique tropical
 - Echanges stratosphère-troposphère induits par le courant-jet subtropical
 - Echanges stratosphère-troposphère associés à la convection tropicale
 - Et les feux de biomasse ? Cycle annuel et variabilité journalière.
 - Climatologies et tendance de l'ozone troposphérique
 - Développement de LACYTRAJ, code de trajectoires-RDF et applications
- Eléments prospectifs, résumé et éléments quantifiables



Plan

- Aspects instrumentaux et développement de la station d'observation de la Réunion
 - Pourquoi une station d'observation à la Réunion ?
 - Les mesures par lidar (et particulièrement les lidar ozone)
 - D'autres instruments (sondes, radiomètres)
 - Les projets instrumentaux et le projet de station d'altitude
 - La station dans les réseaux de recherche internationaux
- Aspects scientifiques autour du bilan de l'ozone troposphérique
 - Le contexte de l'ozone troposphérique tropical
 - Echanges stratosphère-troposphère induits par le courant-jet subtropical
 - Echanges stratosphère-troposphère associés à la convection tropicale
 - Et les feux de biomasse ? Cycle annuel et variabilité journalière.
 - Climatologies et tendance de l'ozone troposphérique
 - Développement de LACYTRAJ, code de trajectoires-RDF et applications
- **Éléments prospectifs, résumé et éléments quantifiables**



Plan

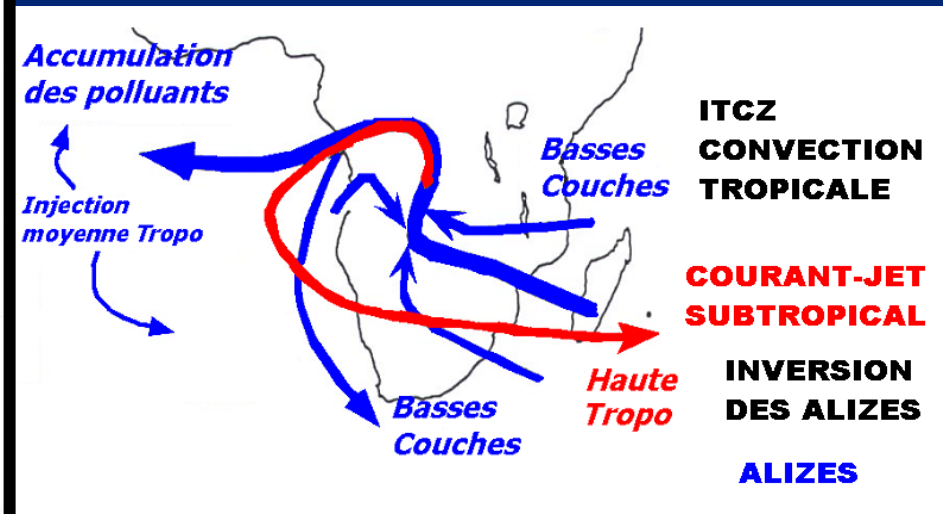
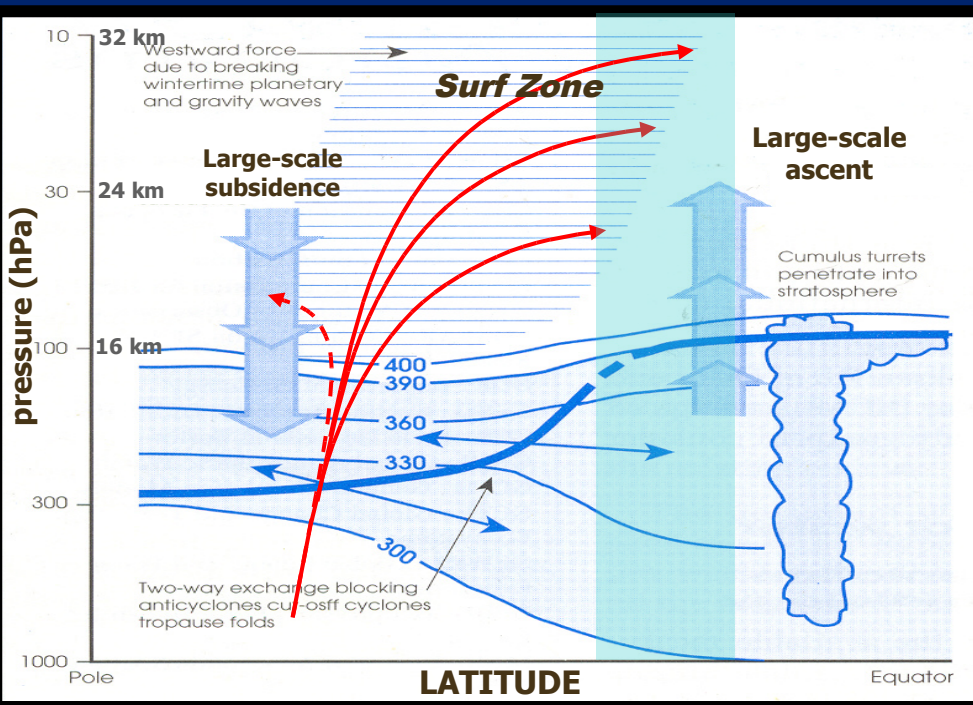
- Aspects instrumentaux et développement de la station d'observation de la Réunion
 - Pourquoi une station d'observation à la Réunion ?
 - Les mesures par lidar (et particulièrement les lidar ozone)
 - D'autres instruments (sondes, radiomètres)
 - Les projets instrumentaux et le projet de station d'altitude
 - La station dans les réseaux de recherche internationaux
- Aspects scientifiques autour du bilan de l'ozone troposphérique
 - Le contexte de l'ozone troposphérique tropical
 - Echanges stratosphère-troposphère induits par le courant-jet subtropical
 - Echanges stratosphère-troposphère associés à la convection tropicale
 - Et les feux de biomasse ? Cycle annuel et variabilité journalière.
 - Climatologies et tendance de l'ozone troposphérique
 - Développement de LACYTRAJ, code de trajectoires-RDF et applications
- **Éléments prospectifs, résumé et éléments quantifiables**



Pourquoi une station d'observation atmosphérique à la Réunion ?

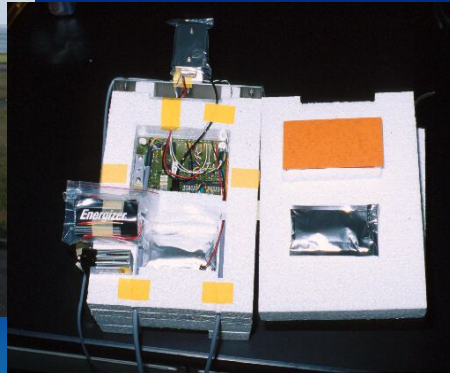
Dynamique stratosphérique

Dynamique et physico-chimie troposphérique

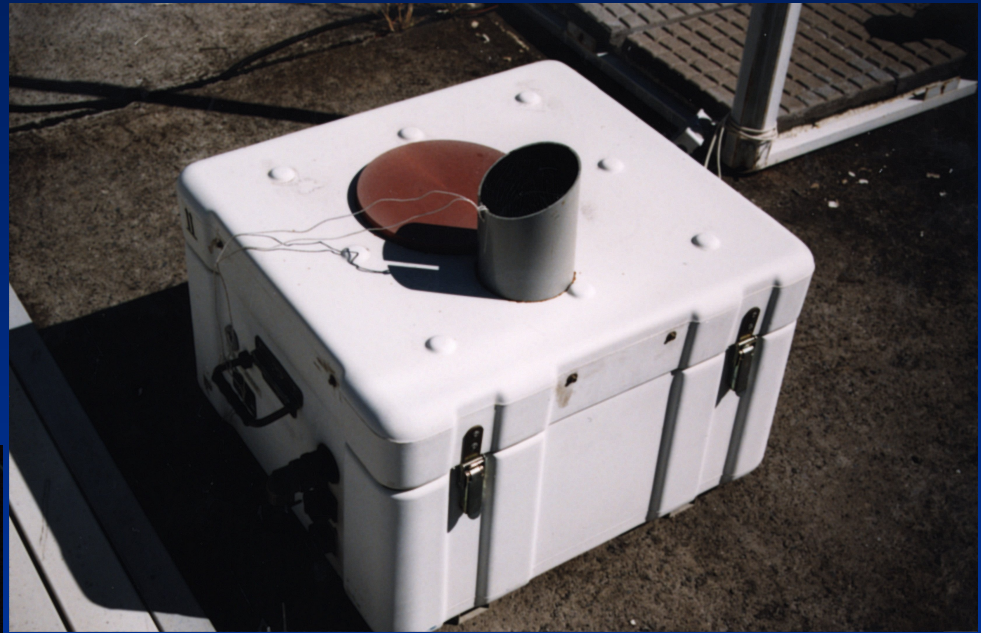


Quels instruments pour documenter ces thématiques ?

Dès 1992 ...



Sondes ozone

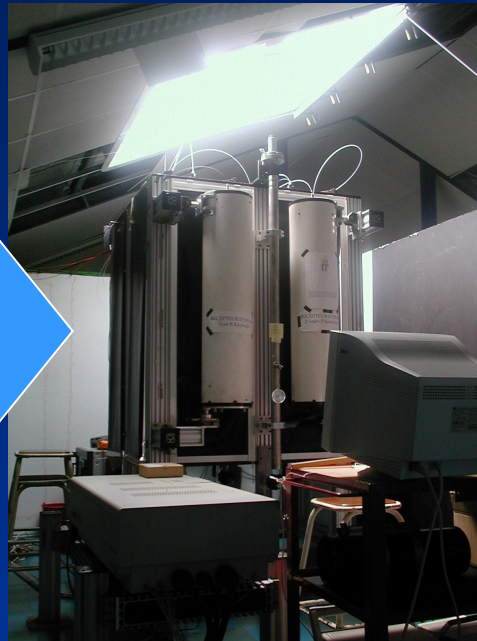
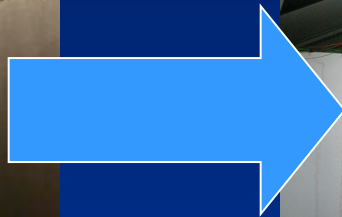
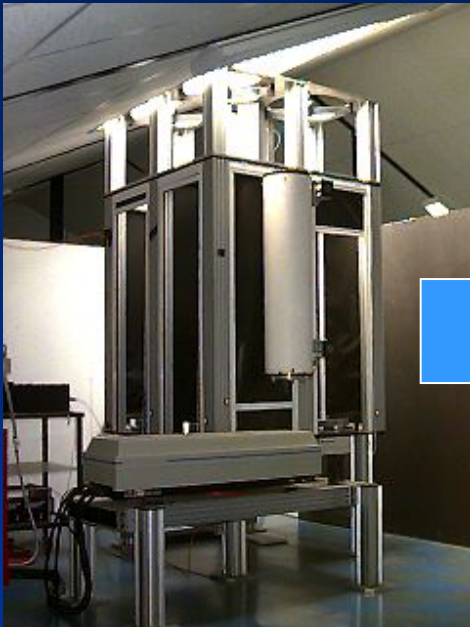


SAOZ

Mais aussi : le lidar

1994

2000



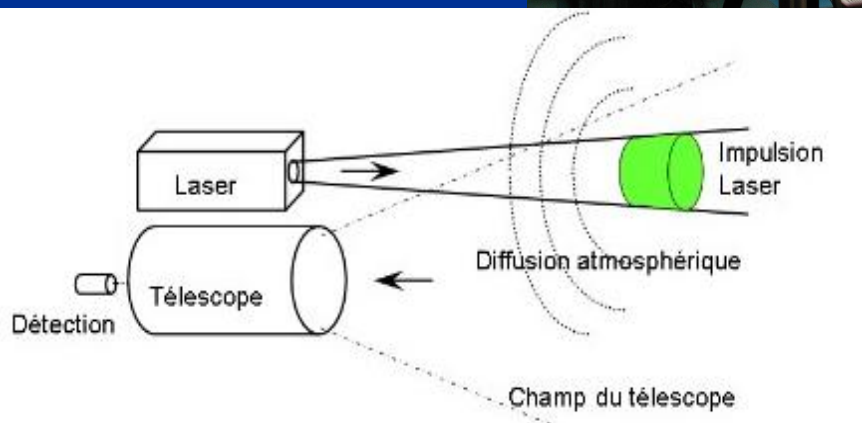
1994 : Premières mesures température - aérosols strato

1997 : Voie dépolarisée - cirrus

1998 : Voie ozone tropo

1999 : Voie Infra-rouge pour les aérosols

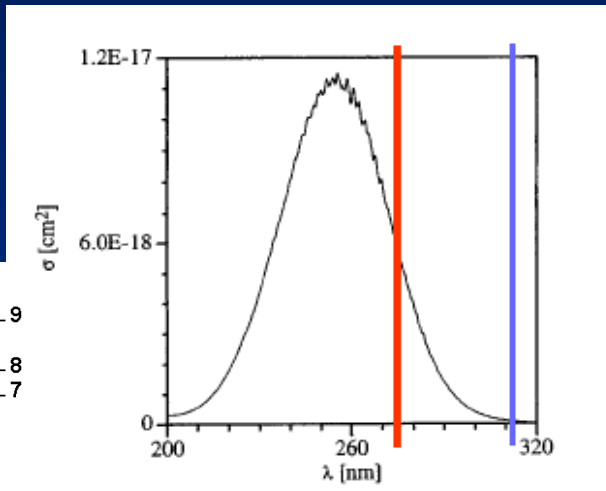
2000 : Voie Raman vapeur d'eau



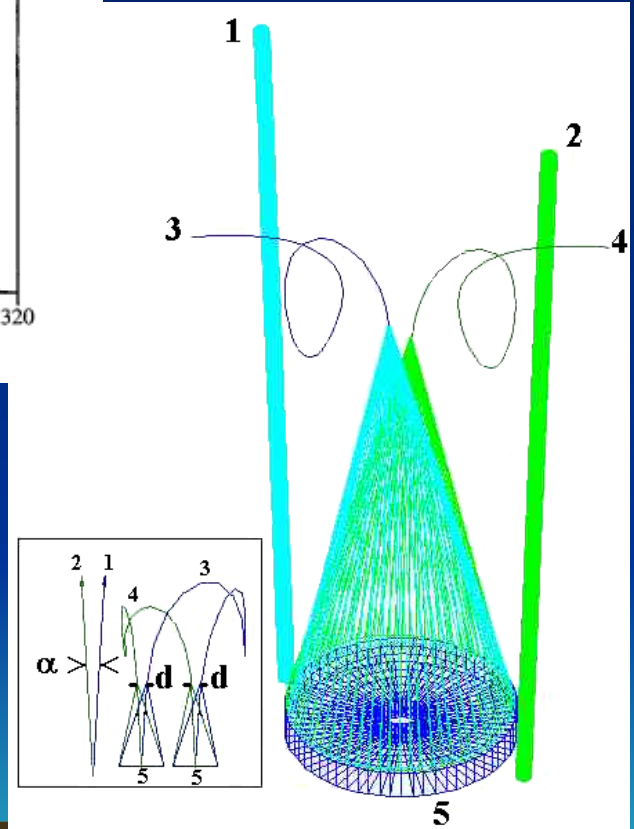
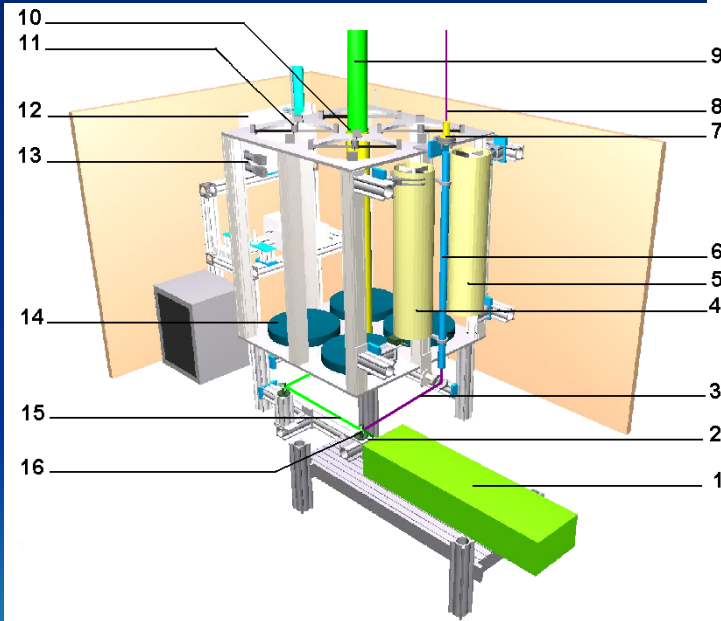
La voie DIAL ozone troposphérique

J.L. Baray et al, Appl. Opt., 2000

Spectre d'absorption
de l'ozone



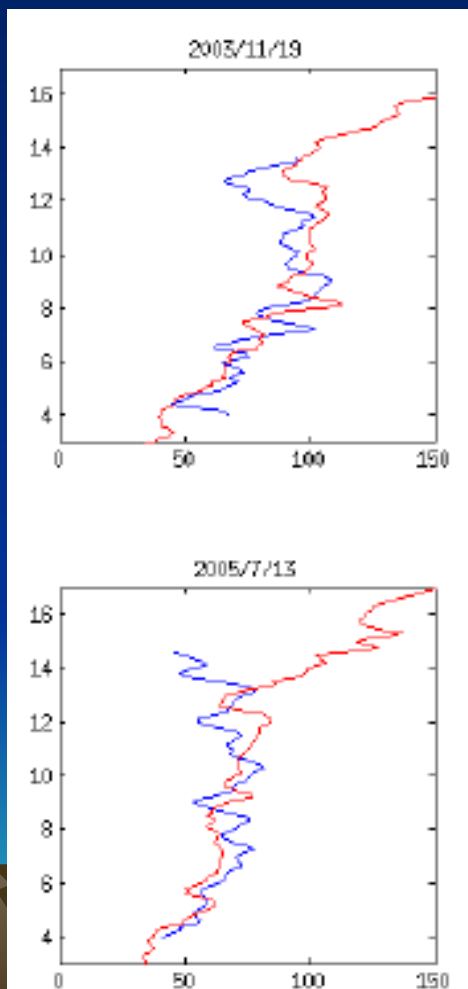
2 fibres optiques
mécaniquement liées



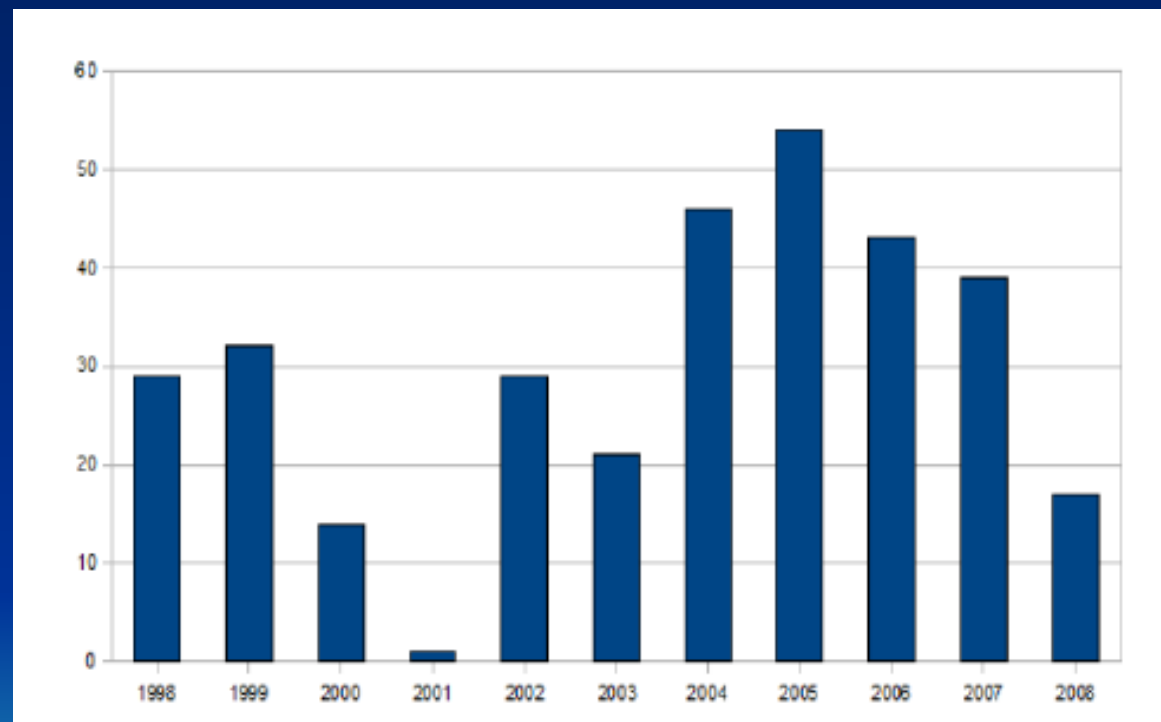
La voie ozone troposphérique

Intercomparaisons

Lidar/sonde

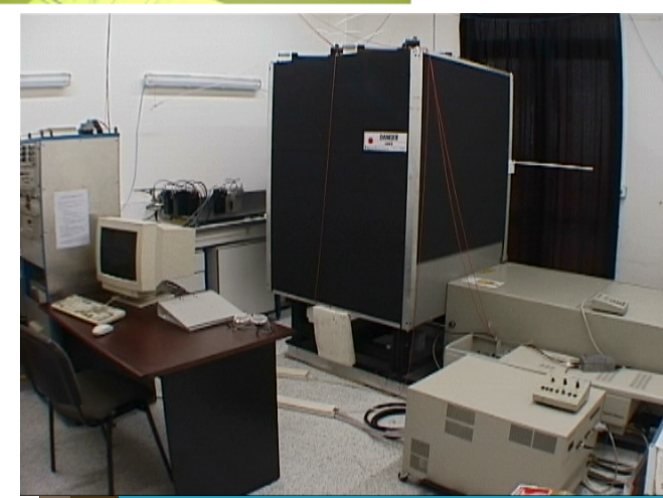
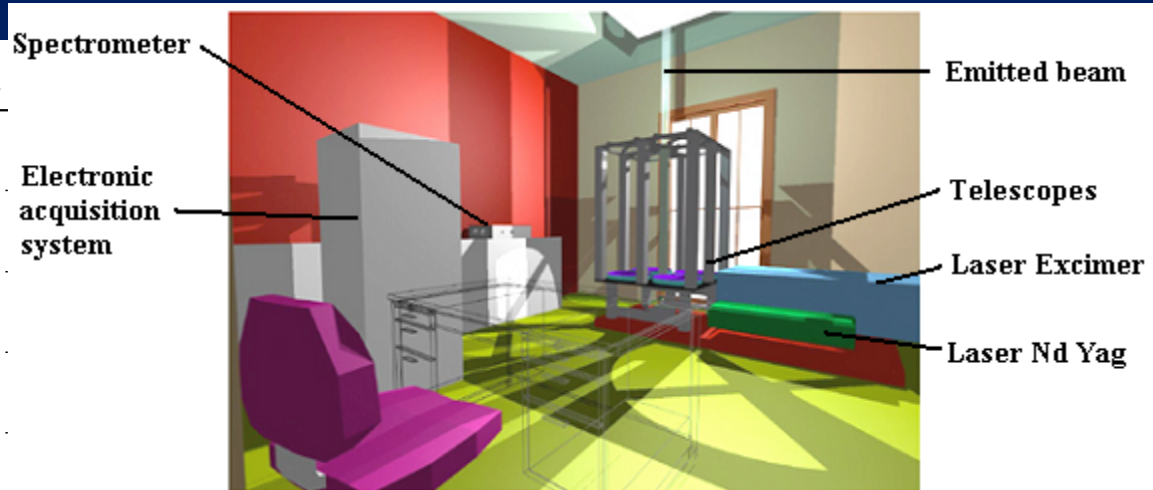
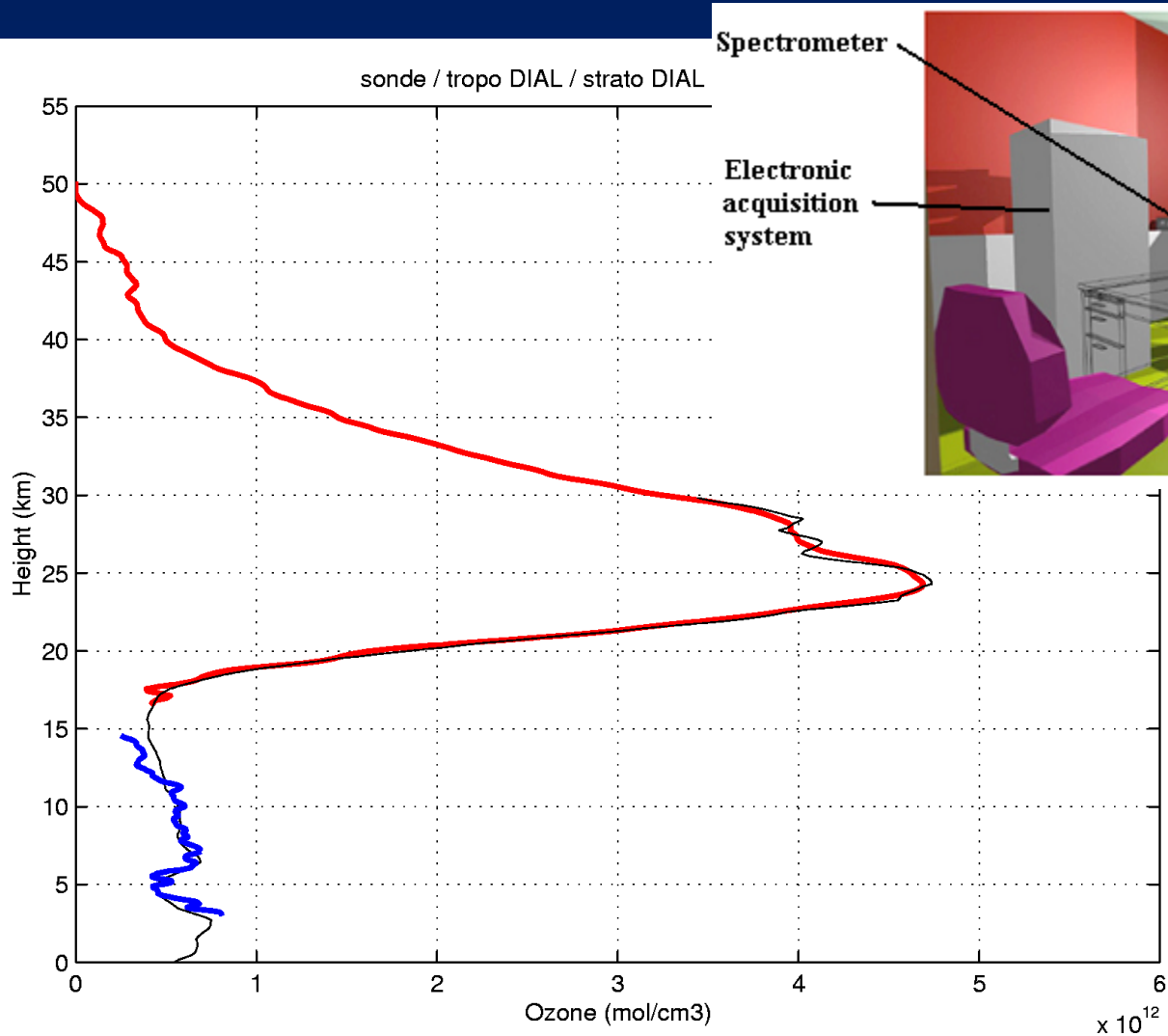


Fréquence annuelle de mesures



Un autre lidar pour mesurer l'ozone stratosphérique

Triple intercomparaison 20 juin 2000



La voie Raman H₂O

Thèse de C. Hoareau, et C. Hoareau et al, JAOT 2009

Bloc spectro vapeur d'eau

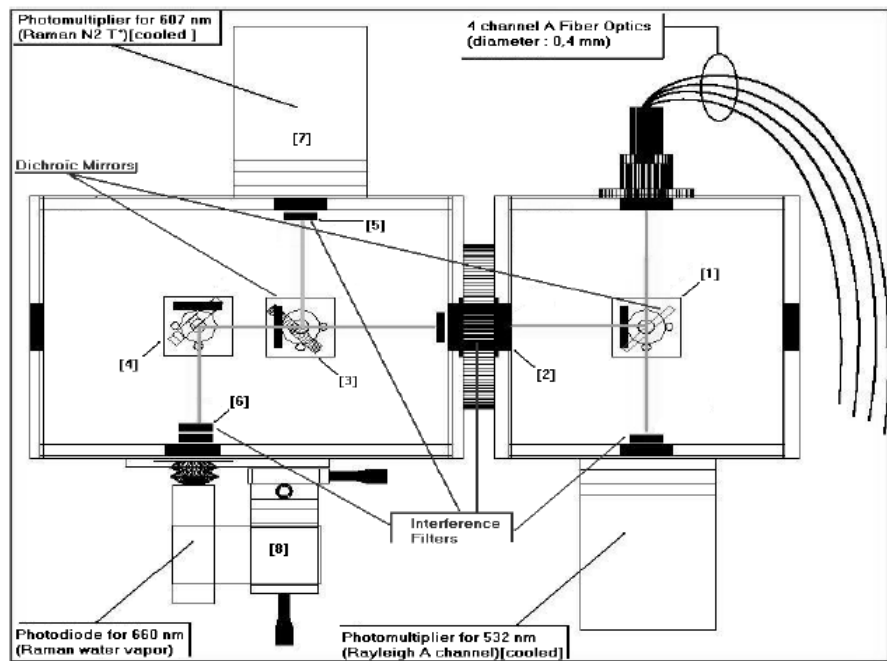
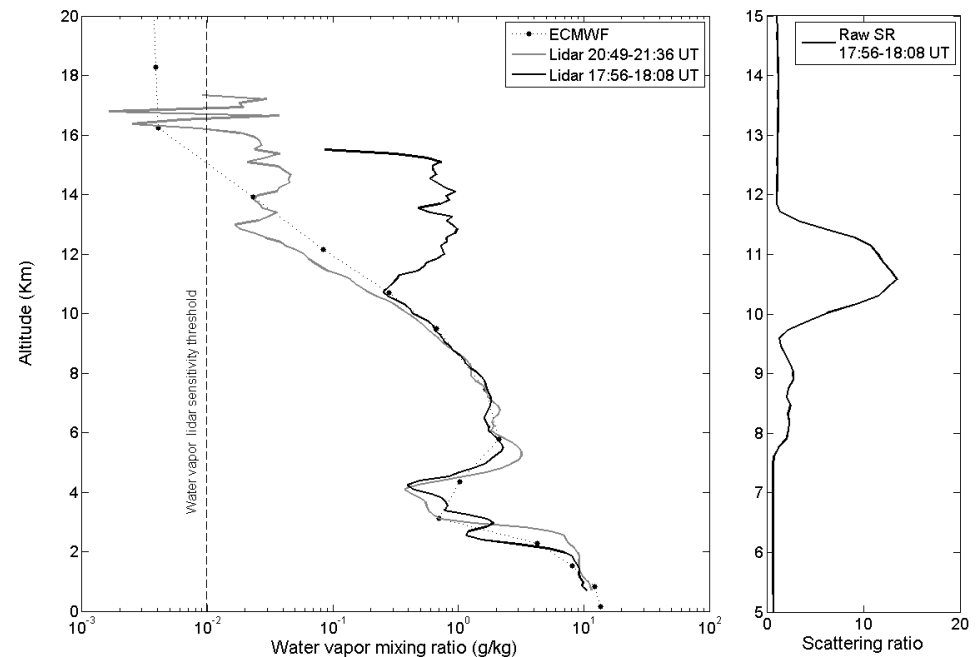


Fig. 2 : Schematic representation of the optical configuration used to separate the Raman water-vapor and nitrogen returns.

Profils lidar vapeur d'eau 5 Avril 2002



D'autres lidars en projet

Lidar aérosol
troposphérique

Lidar Doppler



Des radiomètres complémentaires

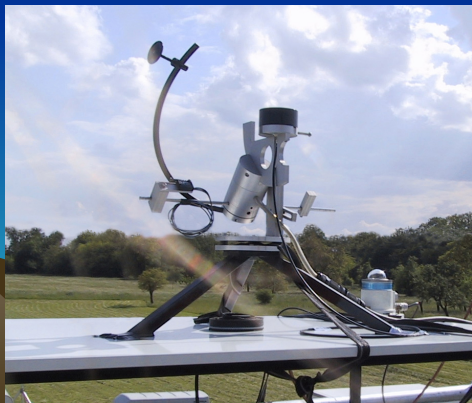
Photomètre CIMEL



FTIR

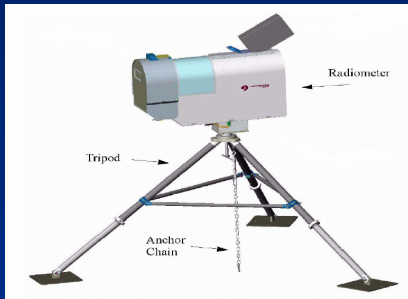


Spectro UV



D'autres instruments en projet

- Radiomètres H₂O



Radar UHF

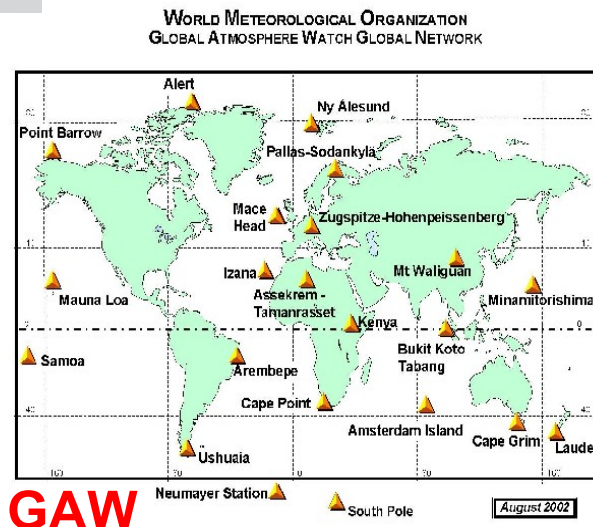
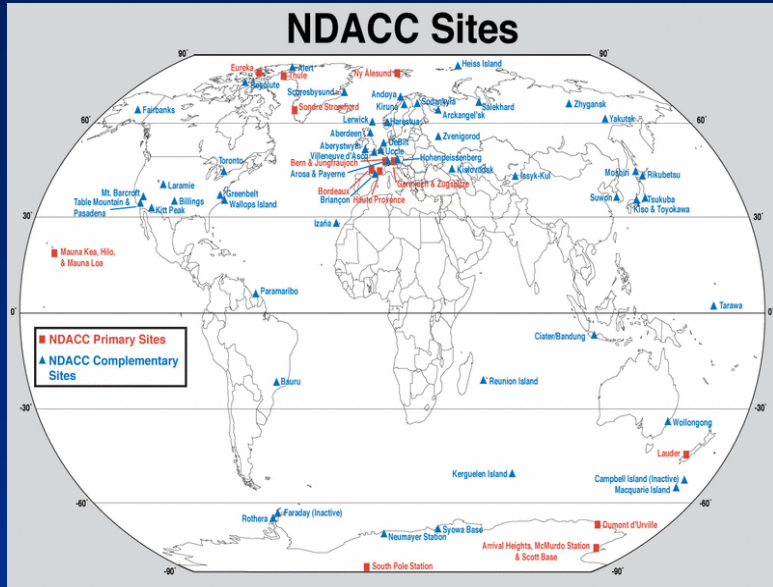


Le projet de station d'altitude

- 1994** Début du projet
- 1998** : Steering comitee NDSC à la Réunion, visite du Maïdo
- 2000** : Projet retenu dans le CPER 2000-2006
- 2002** : Création administrative officielle de l'OPAR, et première étude de faisabilité
- 2006** : Choix de parcelle validé par l'ONF et maîtrise d'ouvrage confiée à la région Réunion
- 2007** : Choix cabinet d'architecte arrêté
- 2009** : Avant-projet détaillé validé; études entomologiques
- 201?** : Livraison



L'OPAR dans les réseaux de recherche internationaux



GEOMON

Global Earth Observation and Monitoring
A major European initiative for monitoring atmospheric composition and climate

La validation des capteurs spatiaux

- TOMS, GOME (colonnes ozone, NO₂)
- SCIAMACHY (profils NO₂ et BrO)
- ACE-FTS et ACE-MAESTRO (profils NO₂)
- MIPAS-ENVISAT (profils d'ozone et de température)
- OMI - CALIPSO – IASI
- ADM-AEOLUS (lidar vent spatial)

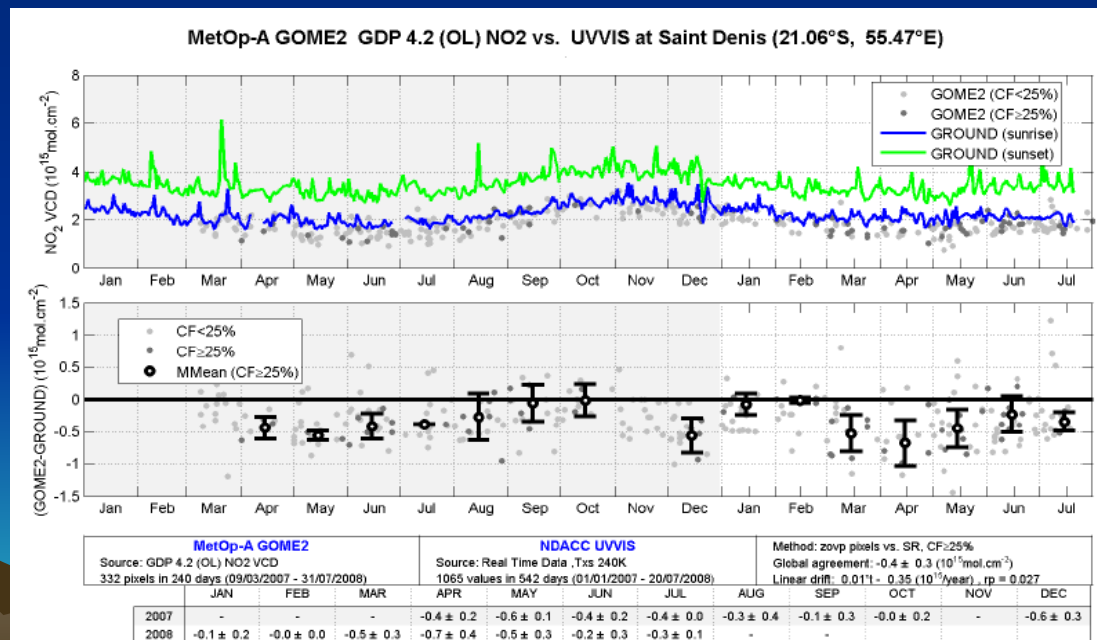


Figure 3.1.13. - Same as Figure 3.1.1., but at the NDACC station of Saint-Denis (Reunion Island) with the UVVIS SAOZ instrument operated by CNRS/SA at U. Réunion/LACY.

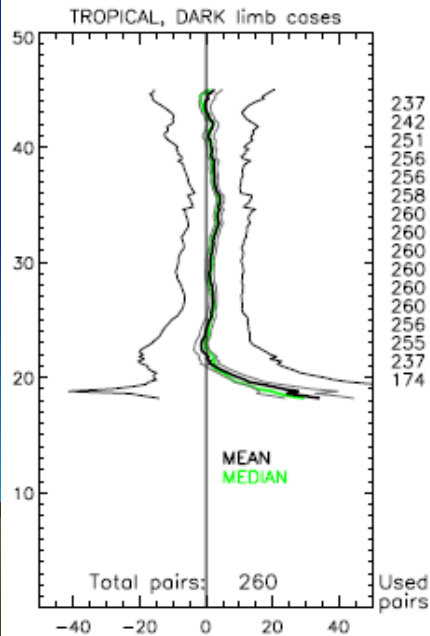
La validation des capteurs spatiaux

A. Van Gijssel et al, IJRS, 2009

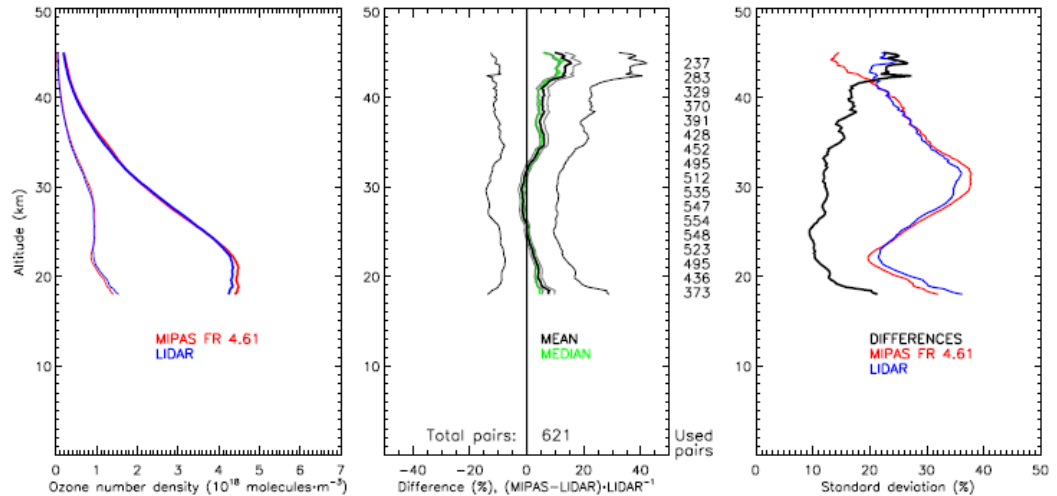
Table 1. Overview of used lidar sites

Site	Latitude (°)	Longitude (°)
Alomar	69.3	16.0
Eureka	80.1	-86.4
Hohenpeissenberg	47.8	11.0
La Reunion	-20.8	55.5
Lauder	-45.0	169.7
Mauna Loa	19.5	-155.6
Ny Ålesund	78.9	11.9
Observatoire Haute Provence	43.9	5.7
Rio Gallegos	-51.6	-69.3
Table Mountain	34.4	-117.7
Tsukuba	36.1	140.1

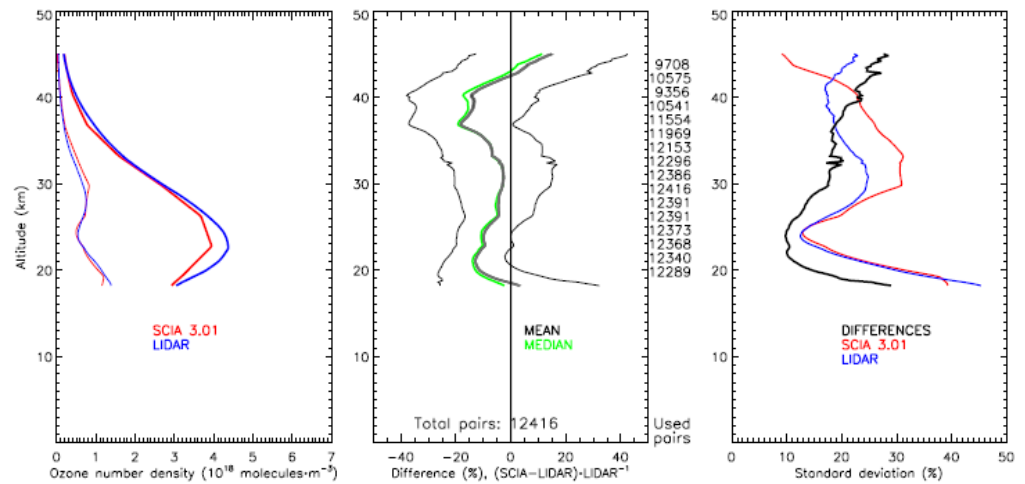
GOMOS



MIPAS



SCIAMACHY



Conclusion 1^{ère} partie

- Intérêt géophysique du site → Développement d'un ensemble instrumental cohérent et couvrant un large spectre de technologies (lidar, radar, spectro-radiométrie)
- Trois points importants :
 - Affectation suffisante de personnels techniques
 - Implication des enseignants-chercheurs du LACy
 - Poursuite des collaborations étroites avec les laboratoires spécialisés dans chaque instrument

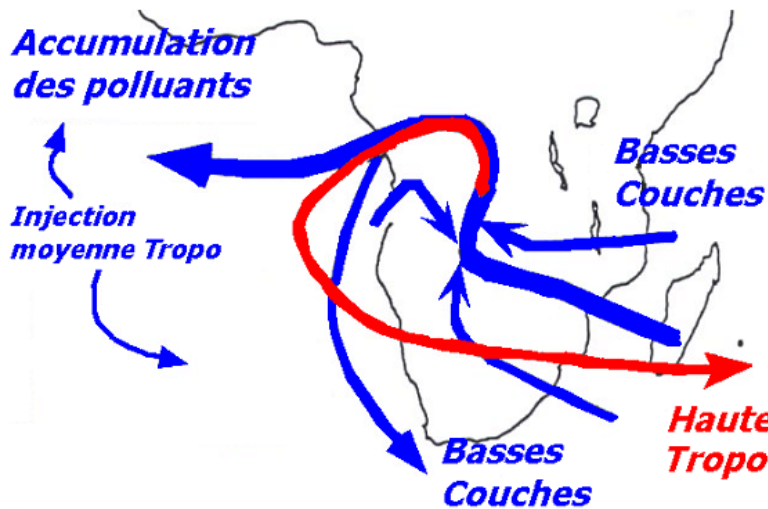
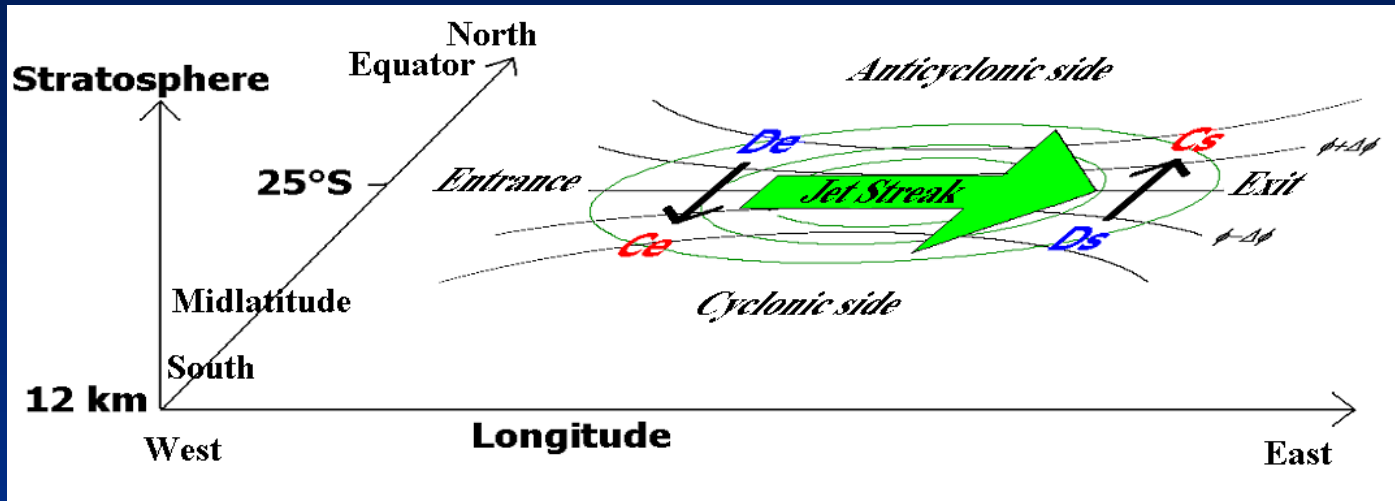


Plan

- Aspects instrumentaux et développement de la station d'observation de la Réunion
 - Pourquoi une station d'observation à la Réunion ?
 - Les mesures par lidar (et particulièrement les lidar ozone)
 - D'autres instruments (sondes, radiomètres)
 - Les projets instrumentaux et le projet de station d'altitude
 - La station dans les réseaux de recherche internationaux
- Aspects scientifiques autour du bilan de l'ozone troposphérique
 - Le contexte de l'ozone troposphérique tropical
 - Echanges stratosphère-troposphère induits par le courant-jet subtropical
 - Echanges stratosphère-troposphère associés à la convection tropicale
 - Et les feux de biomasse ? Cycle annuel et variabilité journalière.
 - Climatologies et tendance de l'ozone troposphérique
 - Développement de LACYTRAJ, code de trajectoires-RDF et applications
- **Éléments prospectifs, résumé et éléments quantifiables**



Le contexte de l'ozone troposphérique tropical

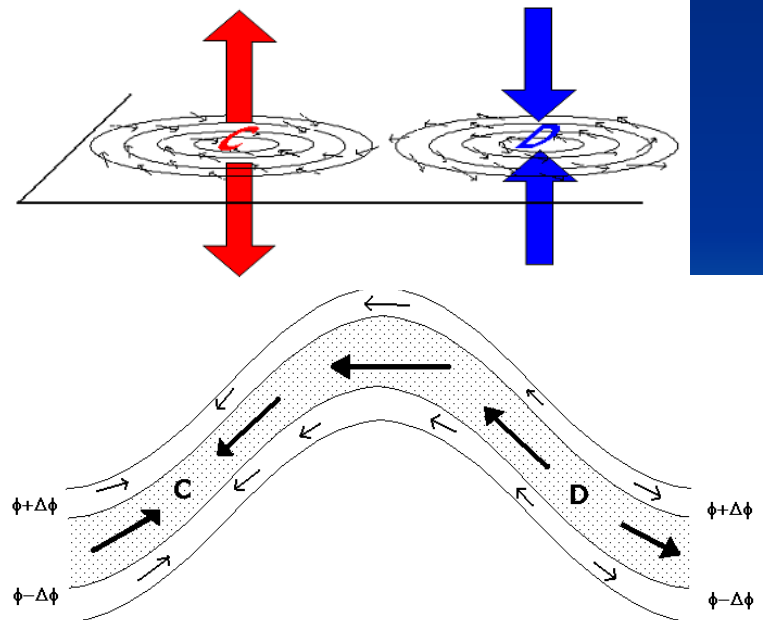


**ITCZ
CONVECTION
TROPICALE**

**COURANT-JET
SUBTROPICAL**

**INVERSION
DES ALIZES**

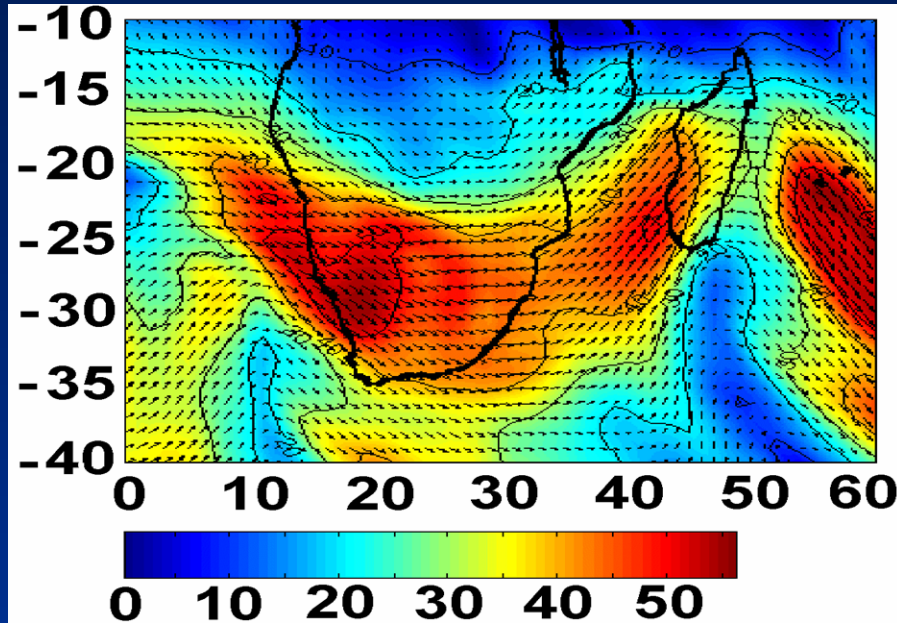
ALIZES



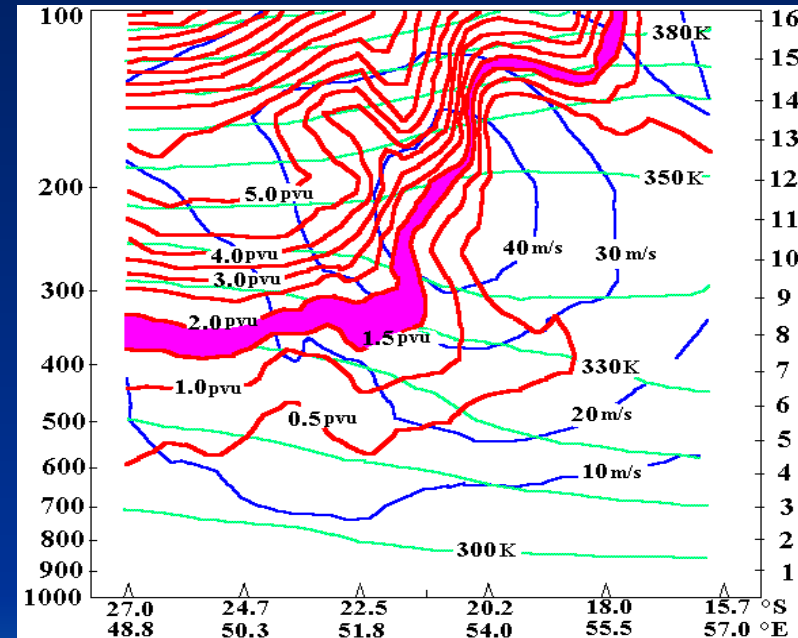
RWB et descente de tropopause

J.L. Baray et al, JATP, 1999

10 Août 1993

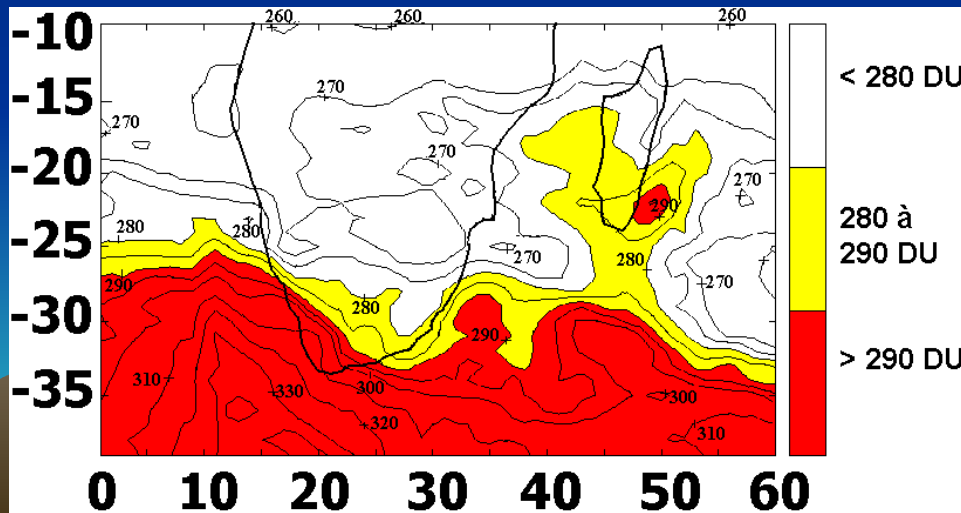


← Champ de vent horizontal
ECMWF P=300 hPa



↑ Coupe verticale ECMWF PV+ θ +vent

← Colonne d'ozone total TOMS

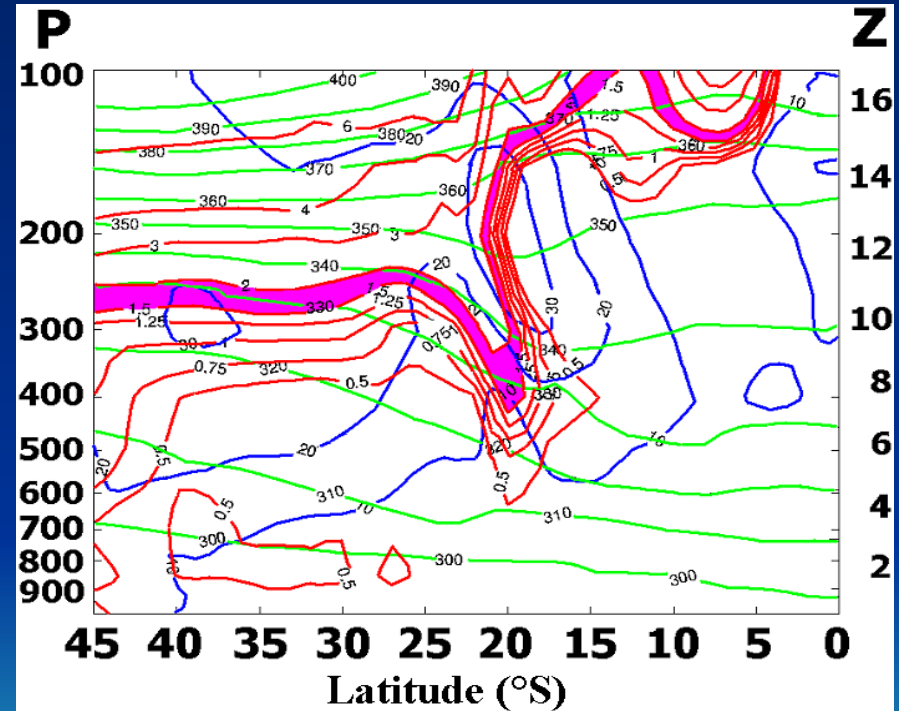
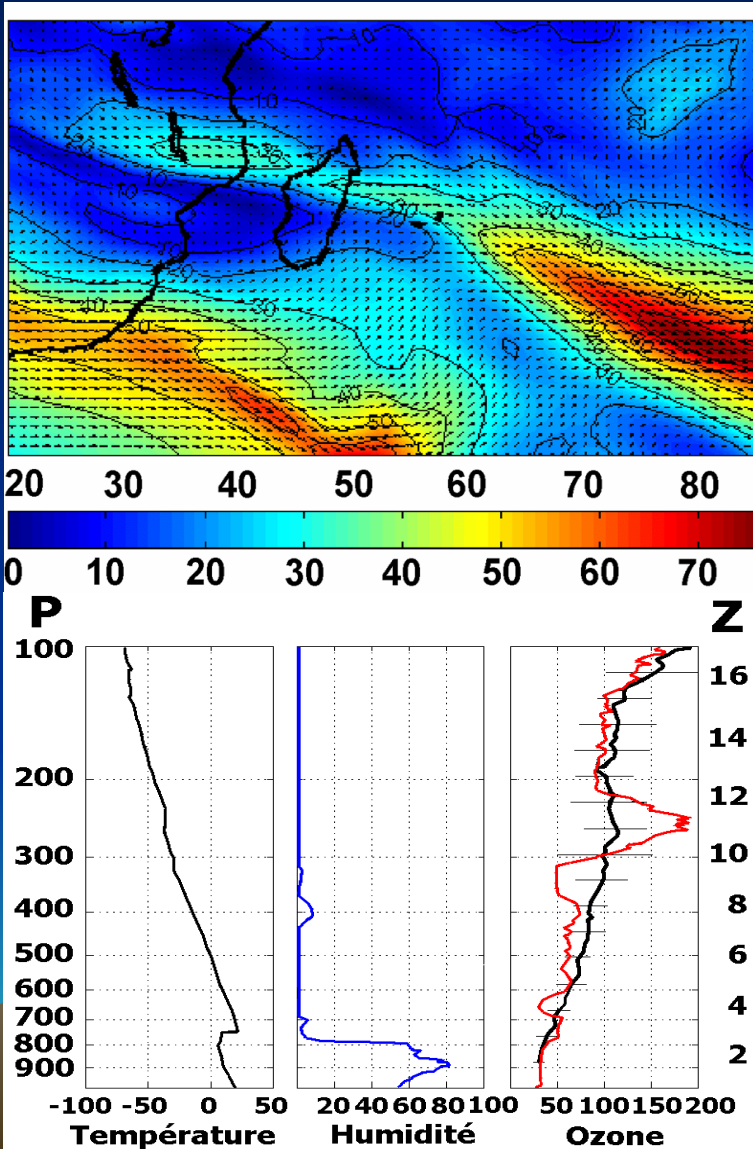


RWB et goutte froide

J.L. Baray et al, Atmos. Env. 2003

1 Octobre 1996

← Champ de vent horizontal
ECMWF P=250 hPa

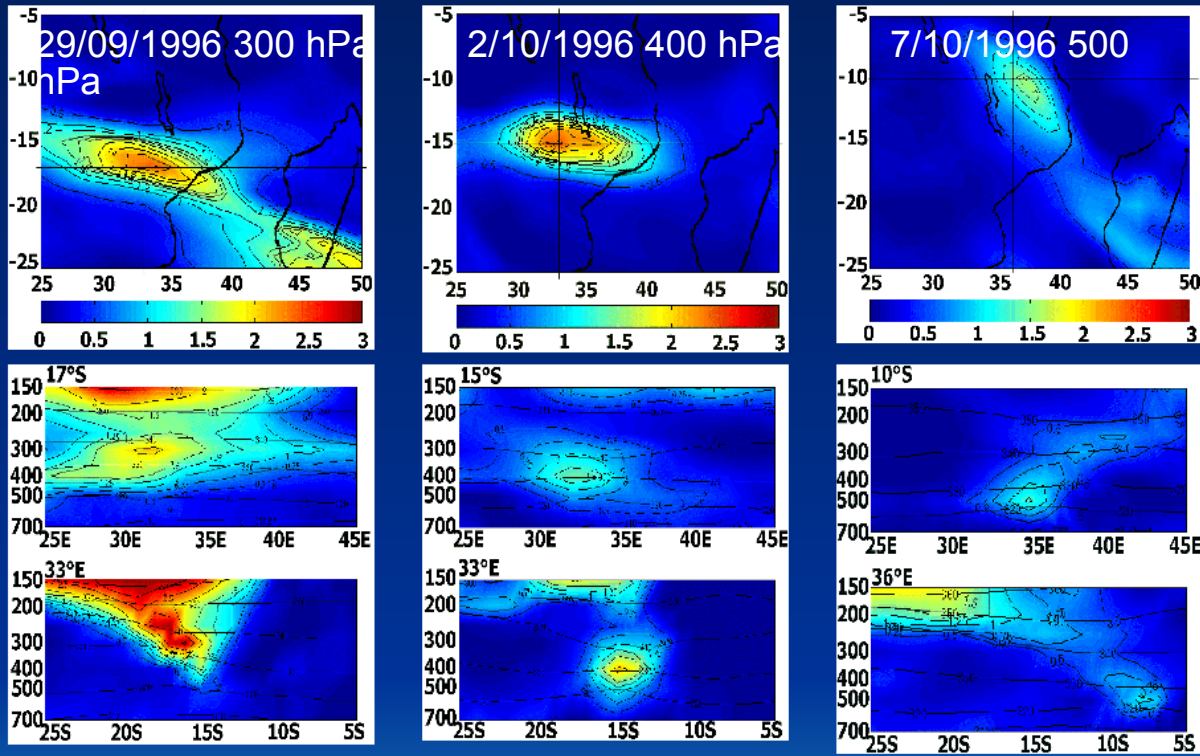


↑ Coupe verticale ECMWF PV+ θ +vent

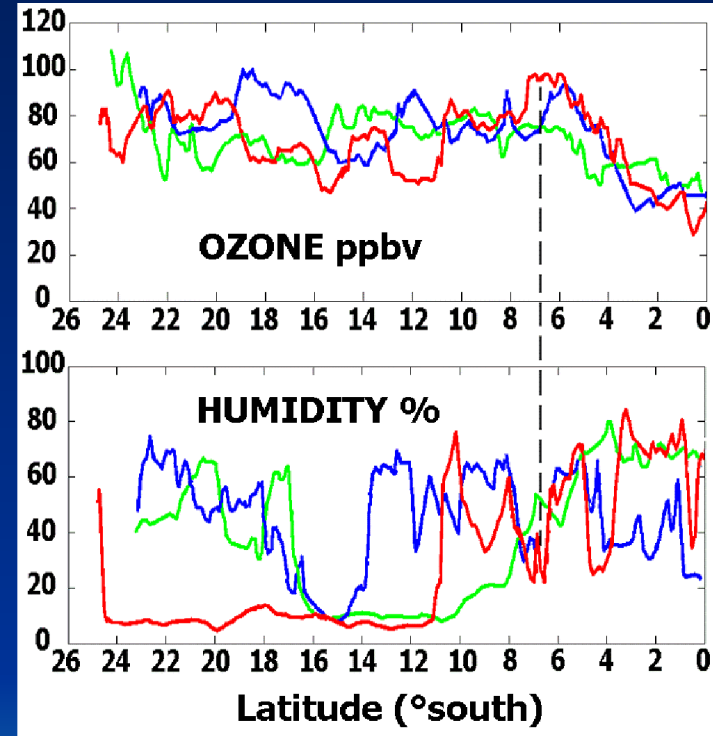
← Radiosondage PTU-Ozone

RWB et goutte froide

J.L. Baray et al, Atmos. Env., 2003



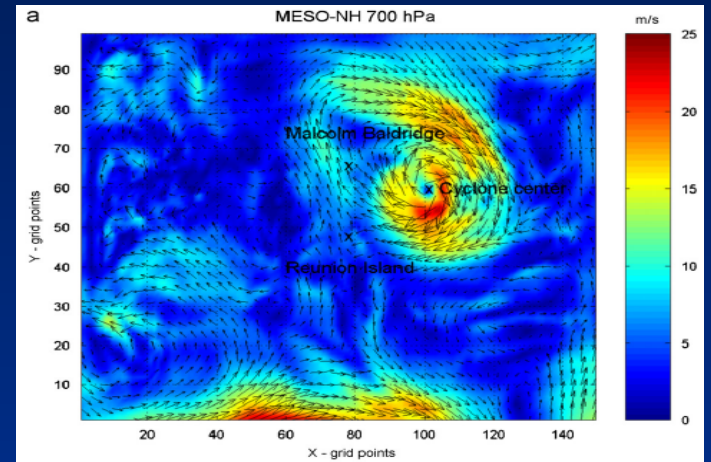
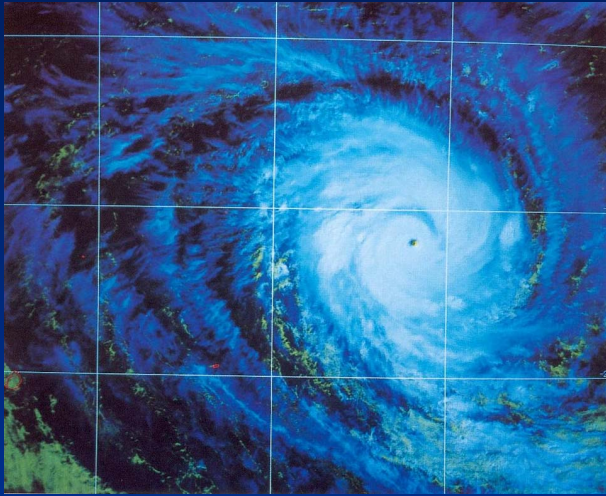
Distributions de PV ECMWF



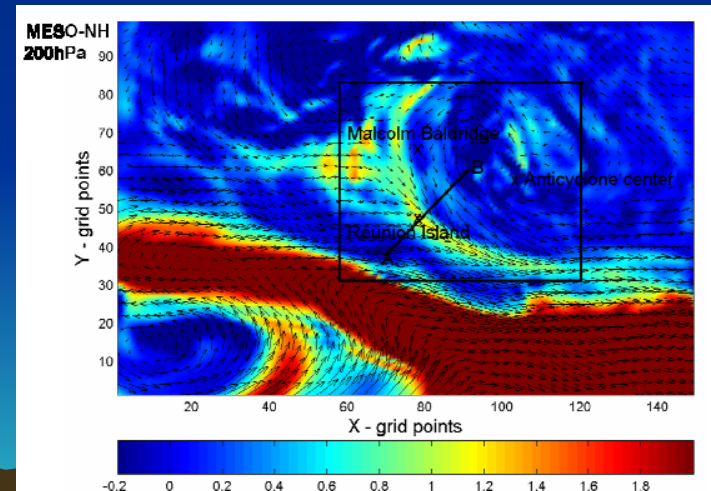
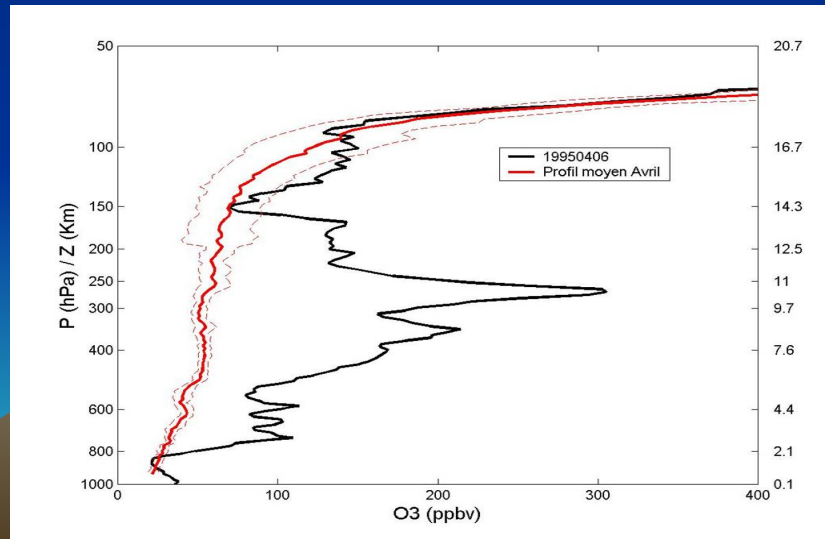
Ozone et RH MOZAIC le 26/09/1996 (vert), 11/10 (rouge) et 12/10 (bleu)

Foliation de tropopause et convection tropicale

J.L. Baray et al, JGR 1999, J. Leclair de Bellevue et al, Atmos. Env. 2007



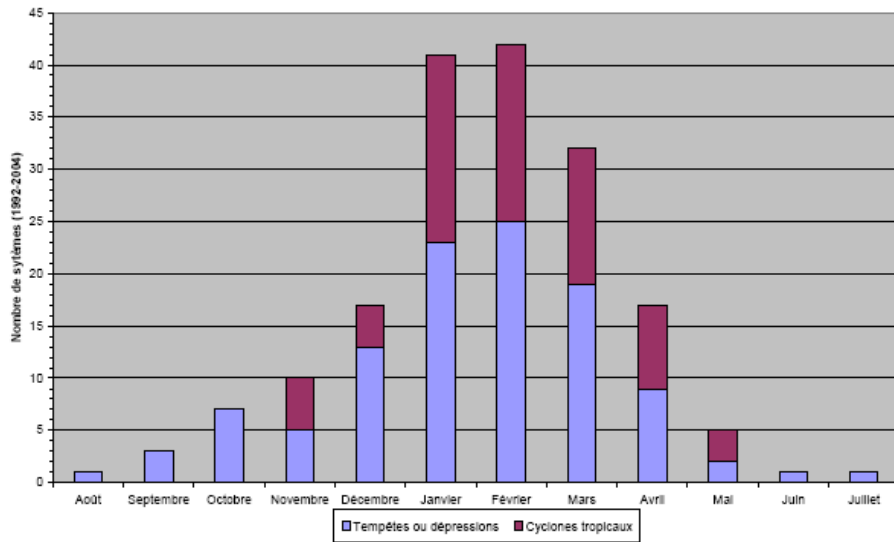
Vent horizontal meso-nh, P=700 hPa



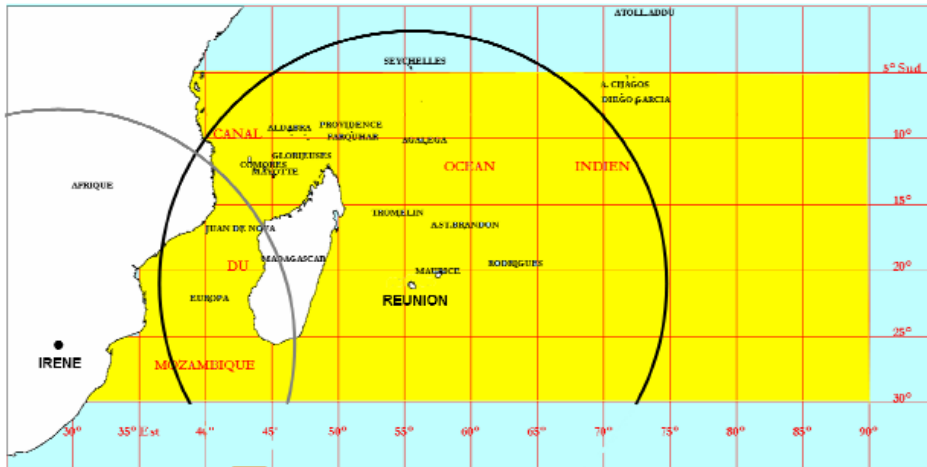
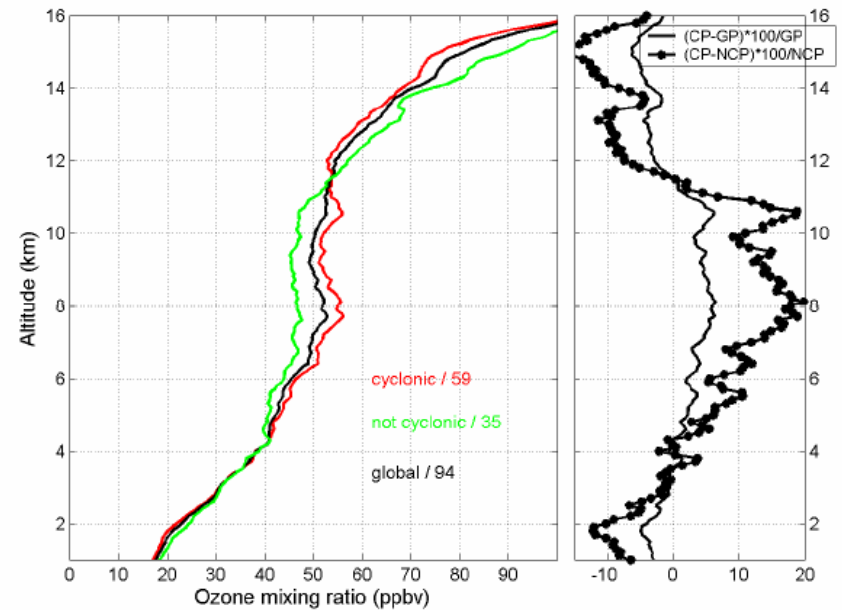
6 Avril 1995, PV meso nh, P=200 hPa

Aspects climatologiques

J. Leclair de Bellevue et al, JGR, 2007



← Distribution des dépressions et cyclones

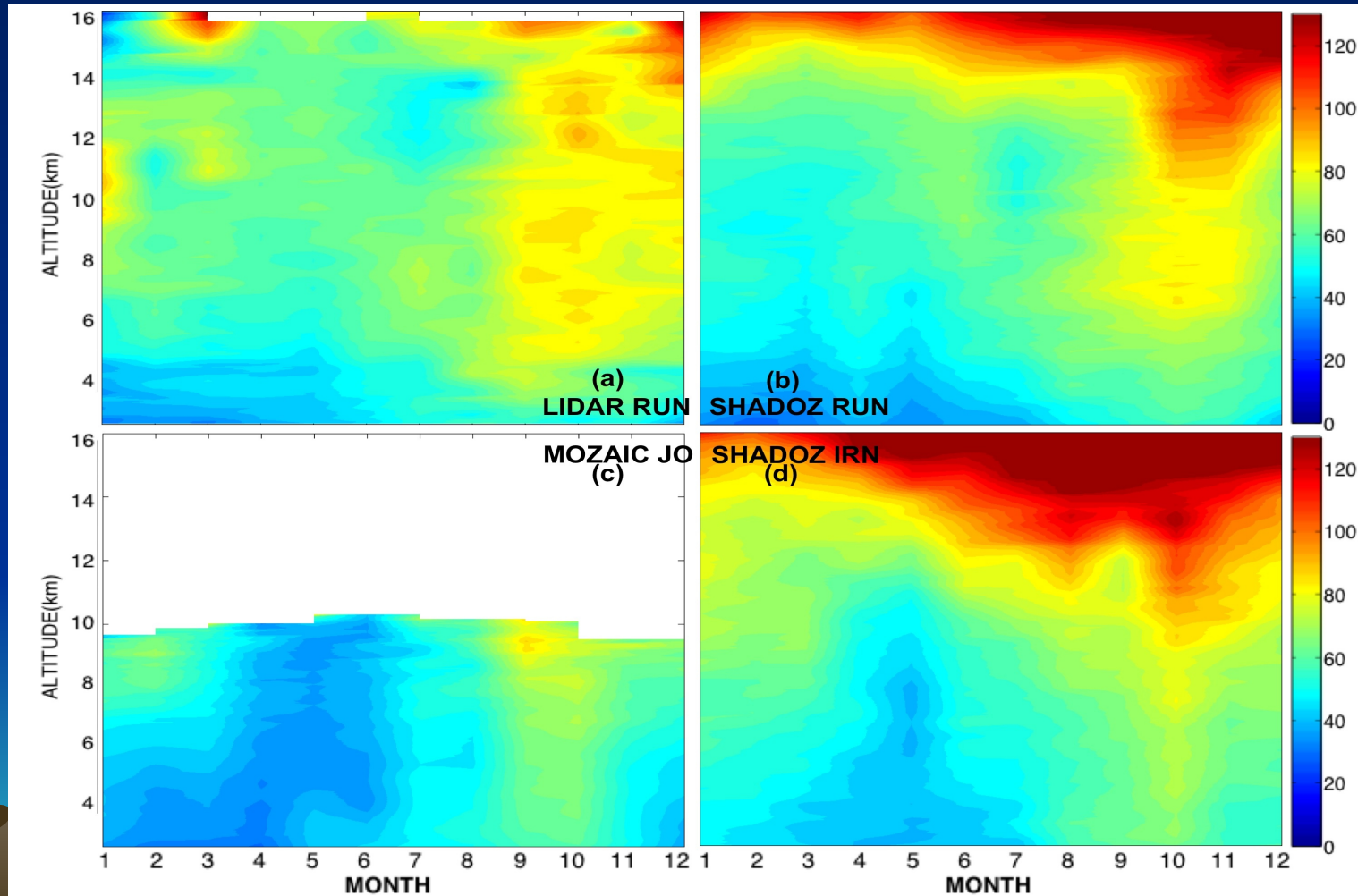


Climatologie d'ozone saison cyclonique

← Critère de classification

Cycle annuel et feux de biomasse, aspects régionaux

G. Clain et al, ACP, 2009

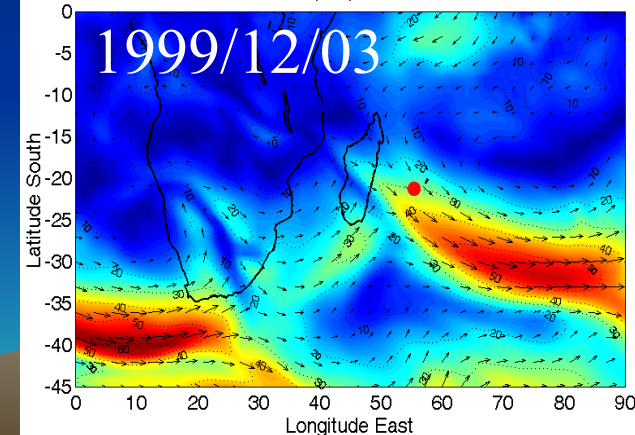
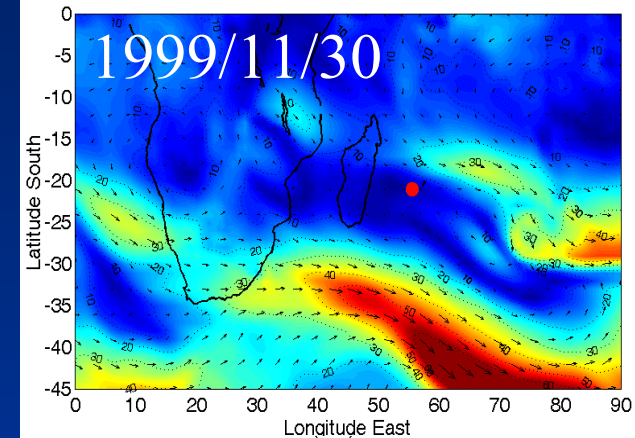
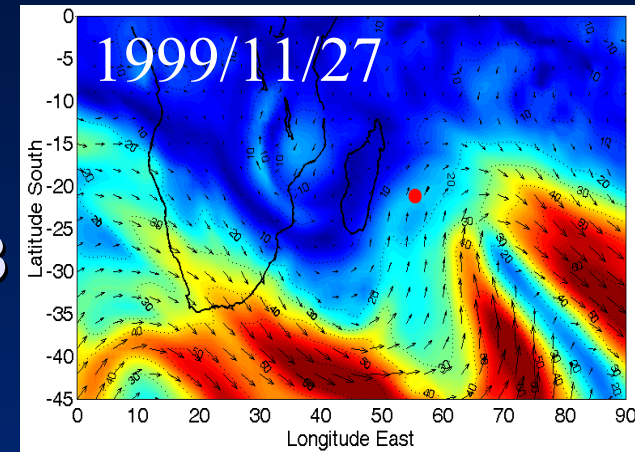
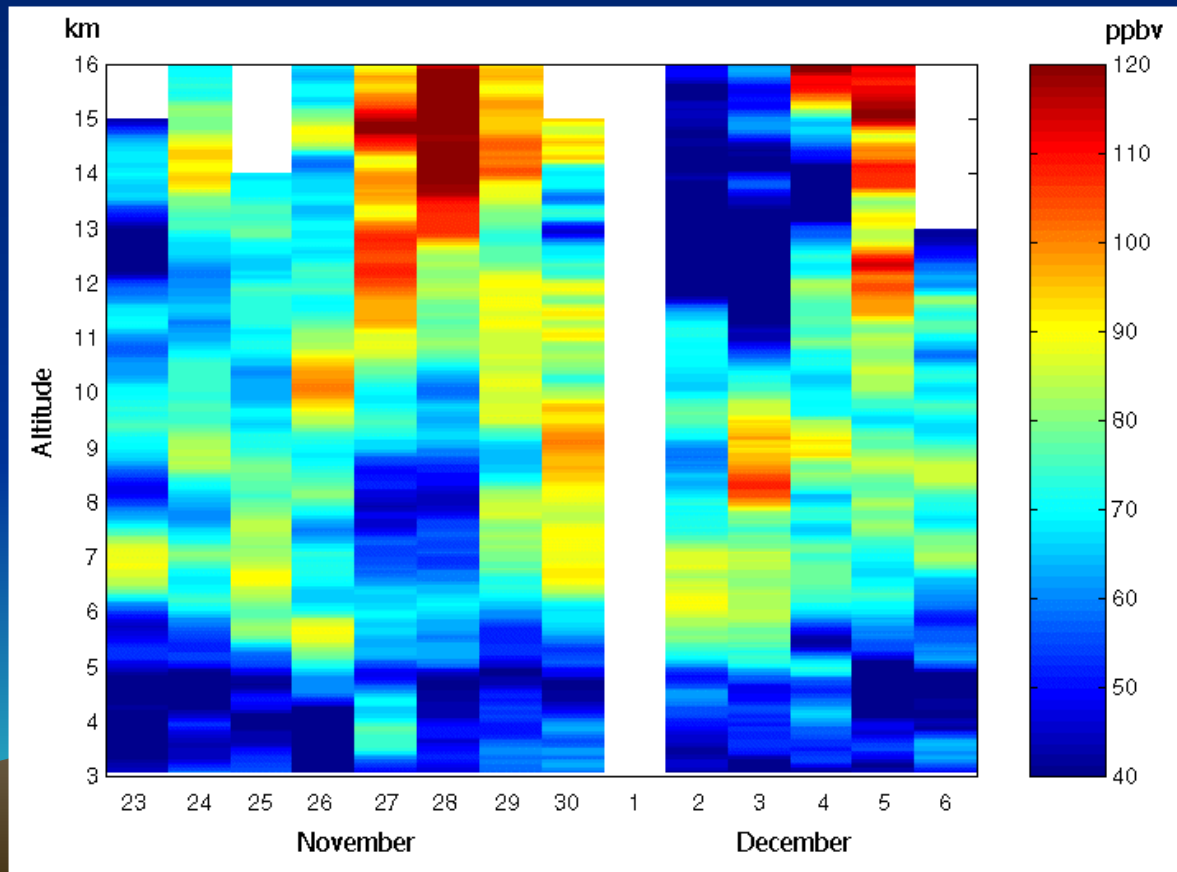


Variabilité de l'ozone / saison des feux

T. Randriambelo et al, Ann. Geophys., 2003

Vent horizontal ECMWF P=200 hPa →

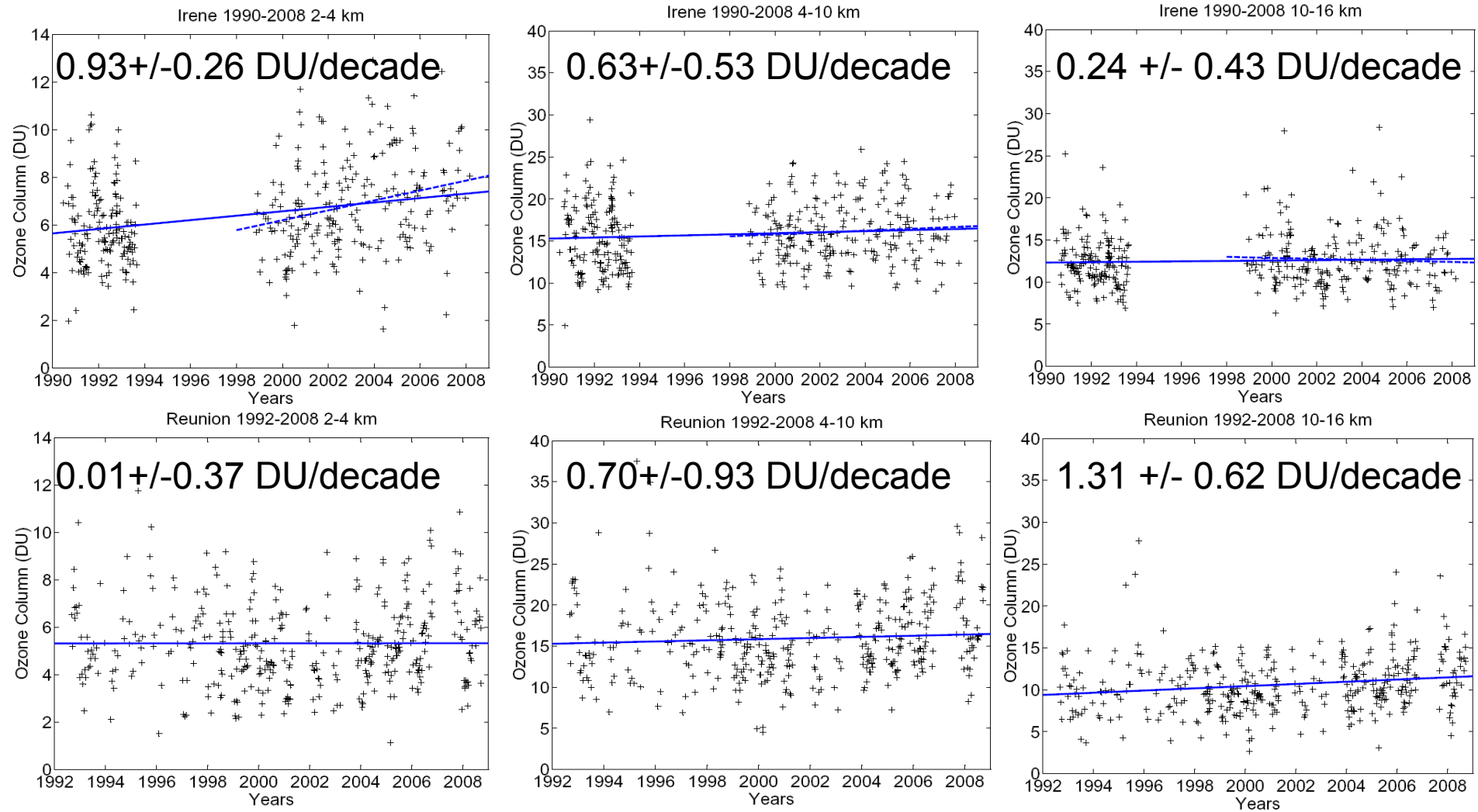
Profils lidar ozone Novembre-Décembre 1999



Tendances de l'ozone troposphérique,

G. Clain et al, ACP, 2009

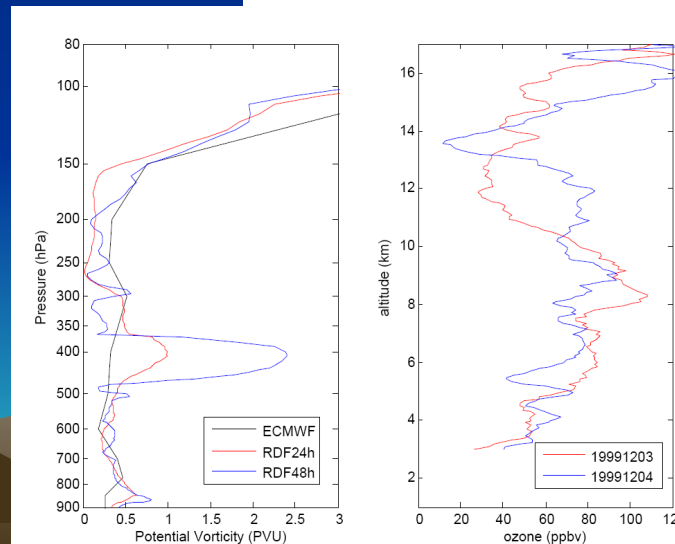
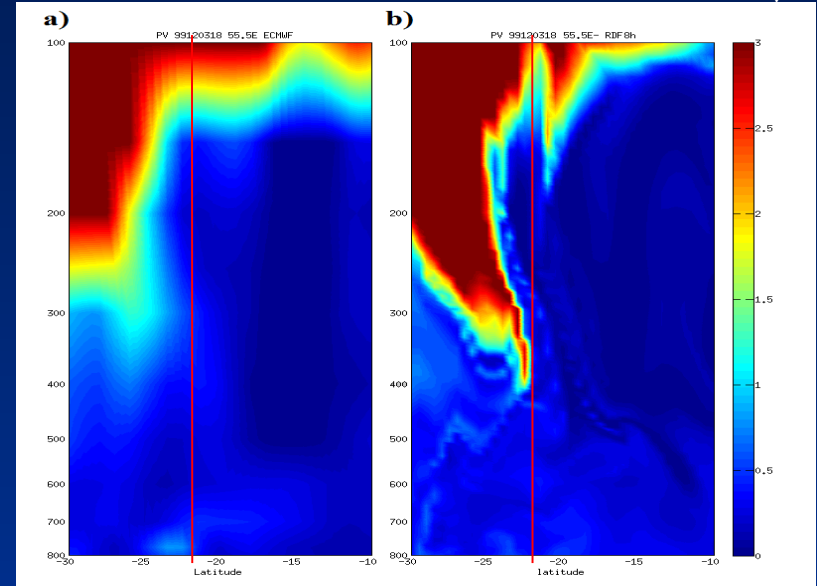
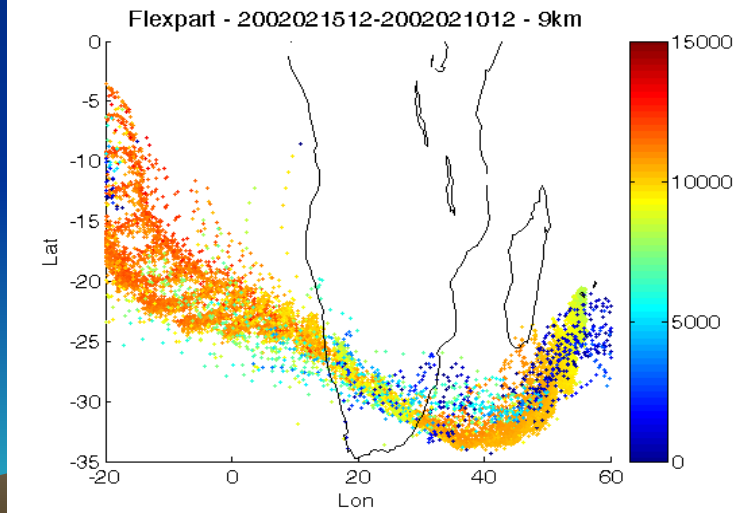
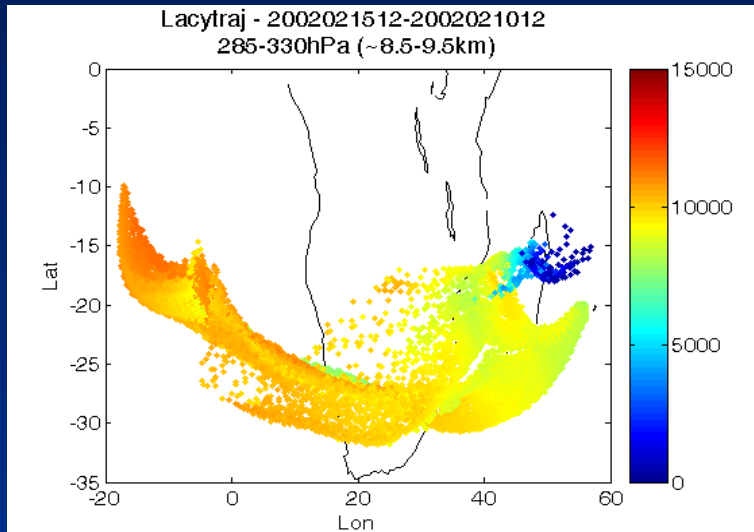
Tendance tropo Irene 1.81+/-0.97 DU/decade, Reunion 1.94+/-1.81 DU/decade



LACYTRAJ

J.L. Baray et al, soumis Atmos. Env, 2009

Coupes verticales PV ECMWF et RDF 48h 03/12/1999 ↓

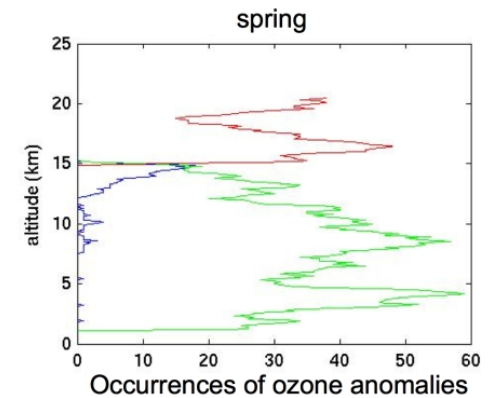
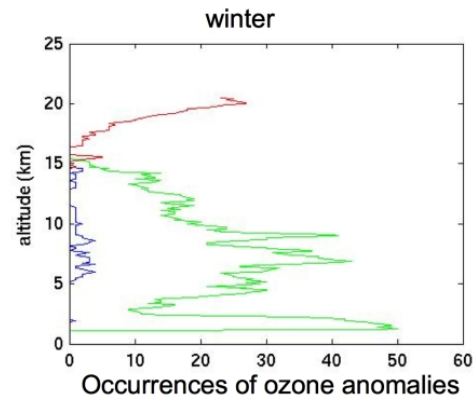
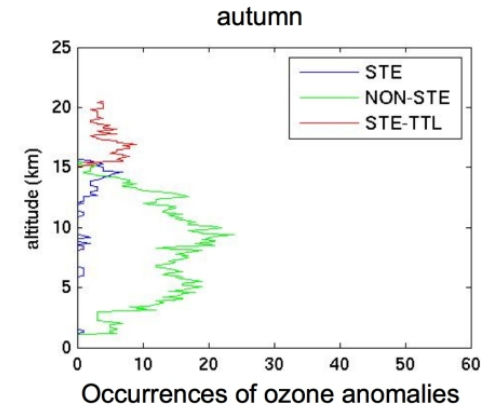
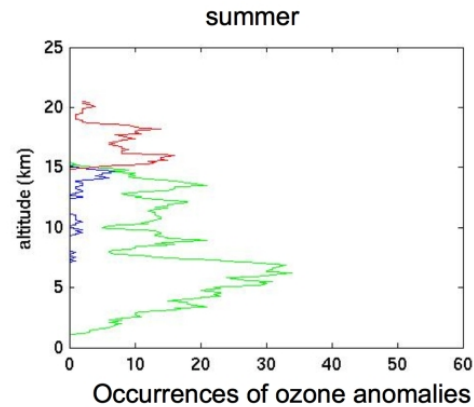
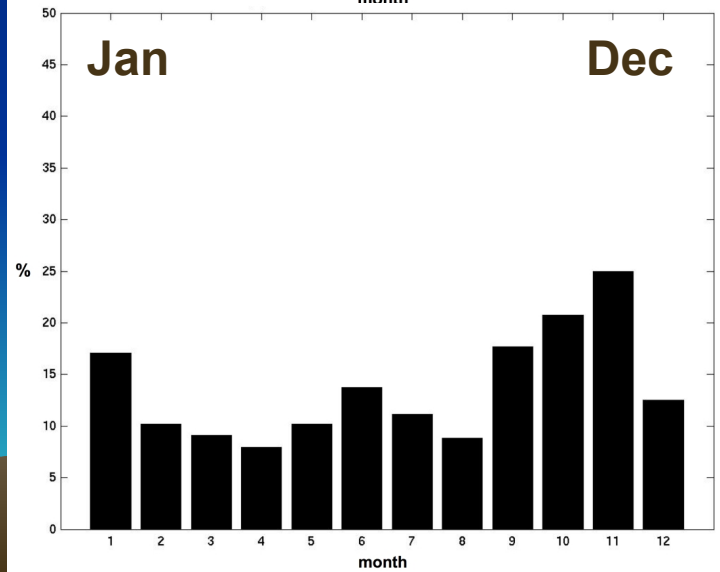
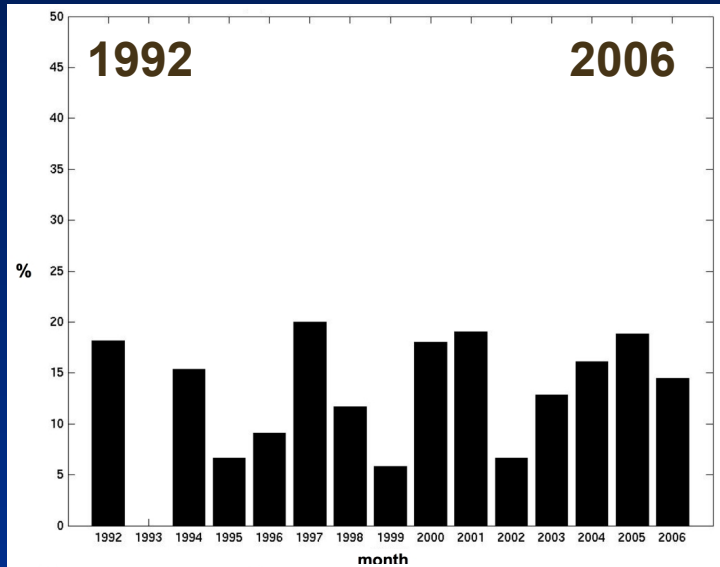


← Profils
d'ozone par lidar
3 et 4/12/1999 et
de PV ECMWF
et RDF 24 et
48h

Climatologie LACYTRAJ

G. Clain et al, soumis Atmos. Env., 2009

Climatologie RDF des anomalies positives d'ozone



Conclusion 2^e partie

- Résultats obtenus :
 - - Caractérisation de mécanismes d'échanges stratosphère-troposphère
 - - Influence des feux de biomasse
- Approche basée sur les mesures faites localement et dans la région, les observations satellitales et les outils de modélisation → développement d'outils pour la caractérisation du transport des masses d'air et la quantification des échanges stratosphère-troposphère
- Aspects climatologie et tendances à long terme



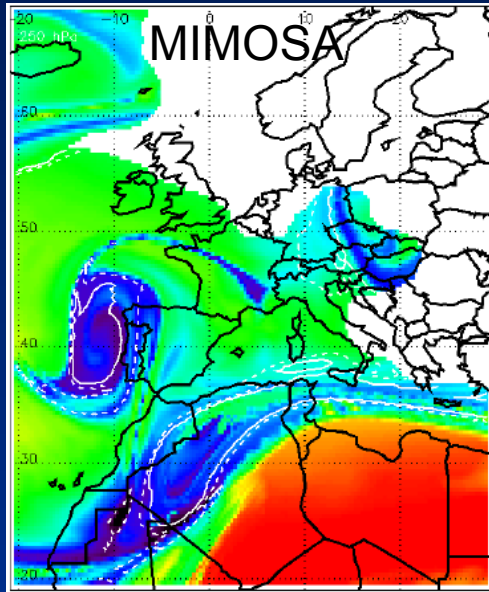
Plan

- Aspects instrumentaux et développement de la station d'observation de la Réunion
 - Pourquoi une station d'observation à la Réunion ?
 - Les mesures par lidar (et particulièrement les lidar ozone)
 - D'autres instruments (sondes, radiomètres)
 - Les projets instrumentaux et le projet de station d'altitude
 - La station dans les réseaux de recherche internationaux
- Aspects scientifiques autour du bilan de l'ozone troposphérique
 - Le contexte de l'ozone troposphérique tropical
 - Echanges stratosphère-troposphère induits par le courant-jet subtropical
 - Echanges stratosphère-troposphère associés à la convection tropicale
 - Et les feux de biomasse ? Cycle annuel et variabilité journalière.
 - Climatologies et tendance de l'ozone troposphérique
 - Développement de LACYTRAJ, code de trajectoires-RDF et applications
- **Éléments prospectifs, résumé et éléments quantifiables**

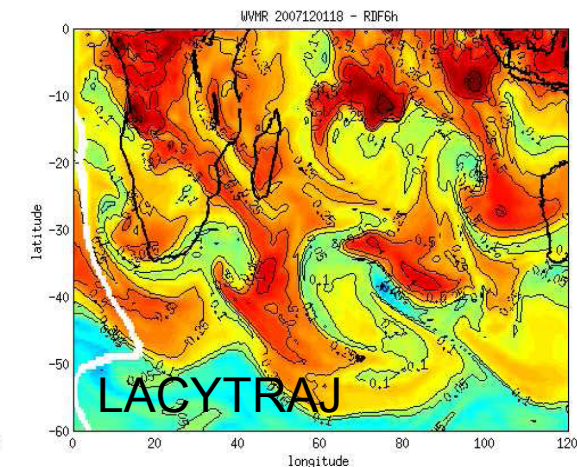
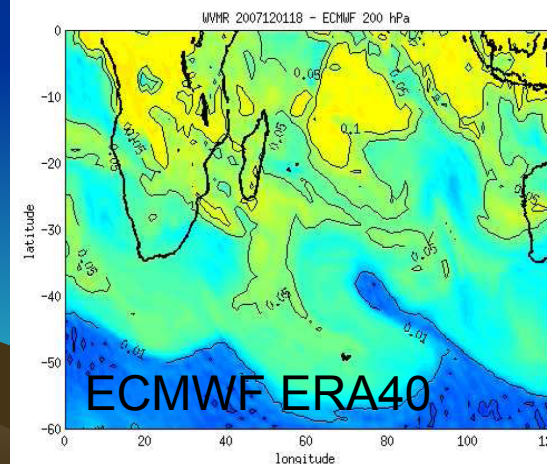
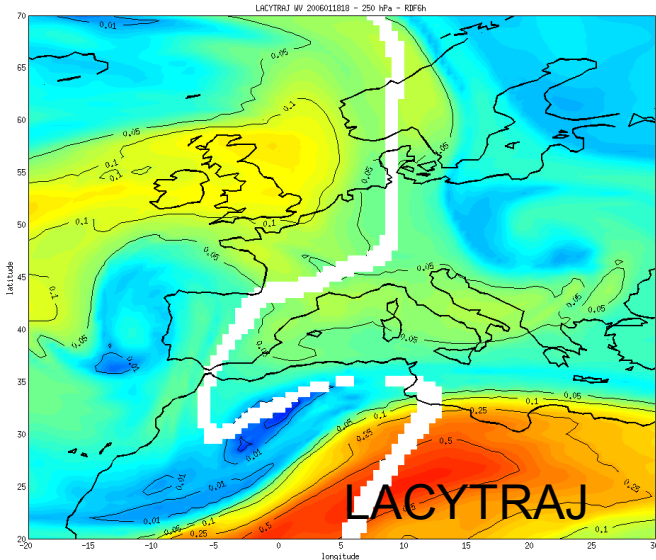
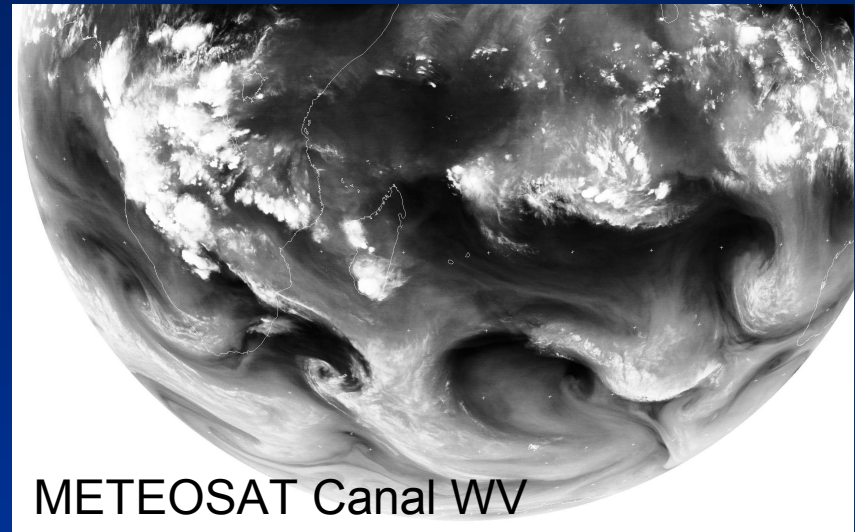


LACYTRAJ et vapeur d'eau

← 18 Janvier 2006

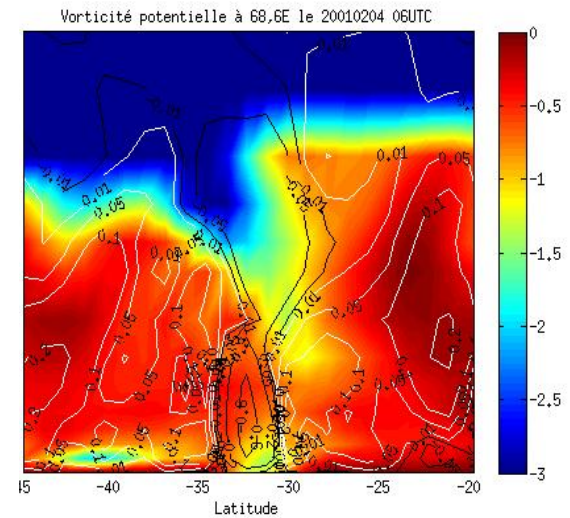
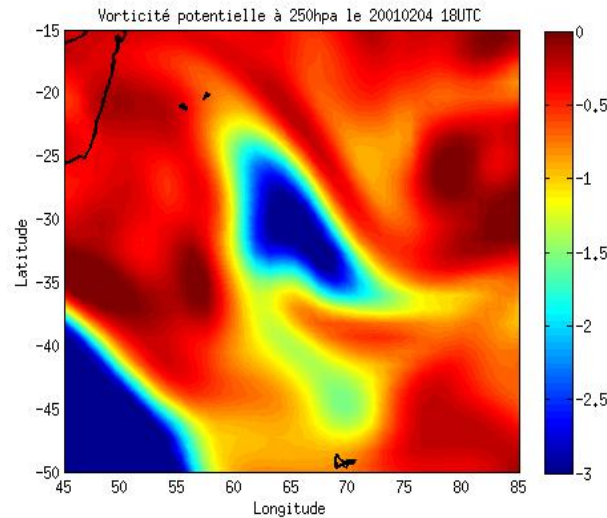
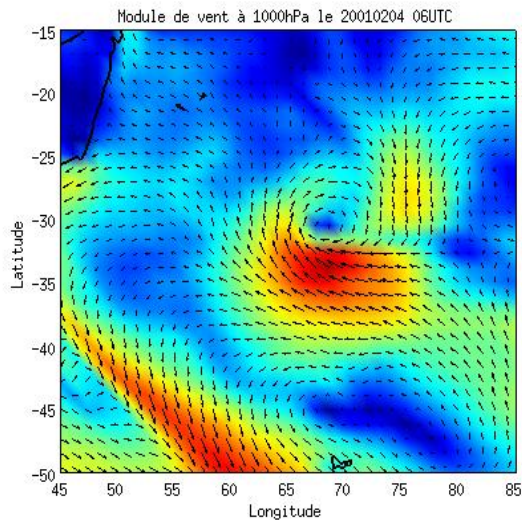


1^{er} Décembre 2007 ↓



Poursuite études STE

- Perspectives climatologie lagrangienne (autres sites, réversibilité des échanges, origine des masses d'air ...)
- Nouvelles études de mécanismes (dépression de mousson, stage de Master de E. Feld, 2009).

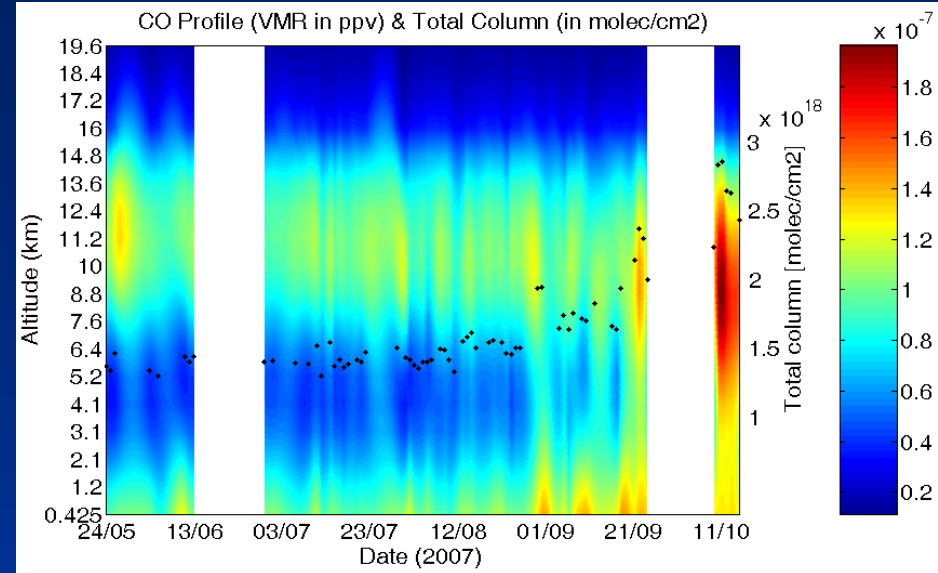
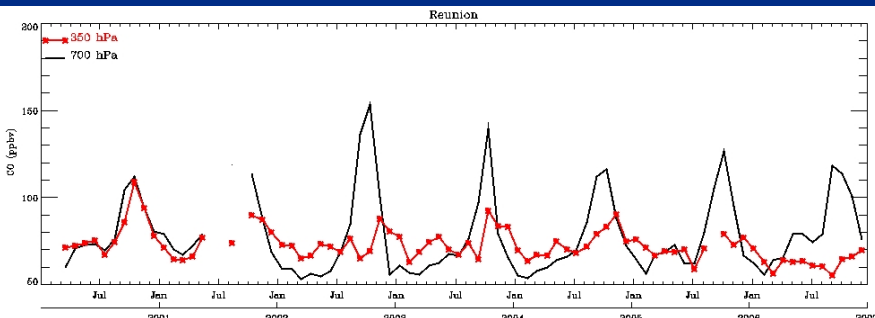
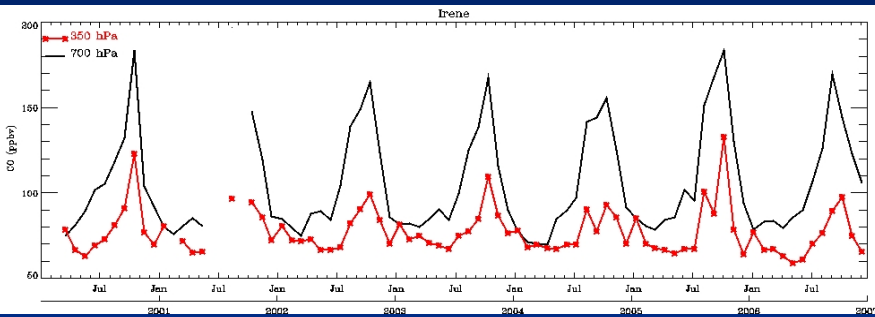


Feux échelle régionale, CO et aérosols

Thèse de V. Duflot, début en 2008

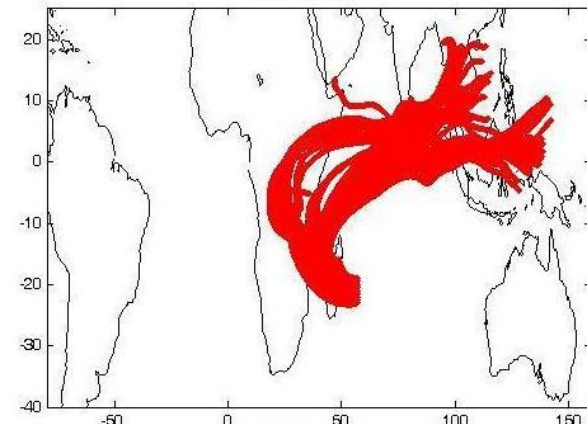
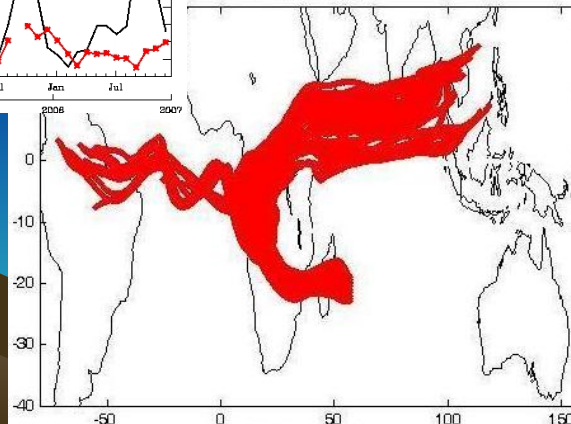
CO – campagne FTIR 2007

CO MOPITT au dessus de Irene et au dessus de la Réunion



19/07 - 09/07

29/07 - 19/07



Prospective long terme

- **Cadre ozone → approche plus générale**
- Problématique du climat régional
- Impact des gaz à effet de serre
- Approche englobant d'autres constituants atmosphériques
- Aérosols – nuages – CO - CO₂ – vent - vapeur d'eau ... etc
- Compréhension et évolution des processus synoptiques
- Mesures à différents sites dans la région et embarquées sur le Marion Dufresne



Résumé et éléments quantifiables

- Participation à l'essor instrumental de l'OPAR
- Tâche de service par rapport aux réseaux d'observation (NDACC)
- Tâche d'enseignement en master géosphère de l'université de la Réunion



Résumé et éléments quantifiables

- Avancées scientifiques dans le cadre du bilan de l'ozone troposphérique
- Participation à l'encadrement 4 thèses (1 soutenue et 3 en cours) – 10 stages de maîtrise, DEA ou master
- 21 Publications de rang A (+3 soumises et une en préparation)
- 66 présentations dans des congrès internationaux ou publications de rang B



Fin

- Merci
- Aux collègues chercheurs, enseignants-chercheurs et enseignants
- Aux personnels techniques et administratifs
- Aux étudiants en thèse et master
- A Tantely et Rudy
- Des questions ?

