

The Stratospheric Ozone saga

M. De Mazière

Head of Department
'Atmospheric Composition'

Belgian Institute for Space Aeronomy
(BIRA-IASB)

The Belgian Institute for Space Aeronomy

- A (federal) governmental research institute, born in 1964,
 - located in the South of Brussels on the same site as the Royal Meteorological Institute and the Royal Observatory of Belgium
 - Together forming the 'Space Pole'
- Nowadays about 150 persons of which > 80 scientists
- 4 thematic departments
 - Space Physics
 - Atmospheric Composition: sources, sinks, reactive gases
 - Solar Radiation and atmospheres
 - Operations and Scientific Services

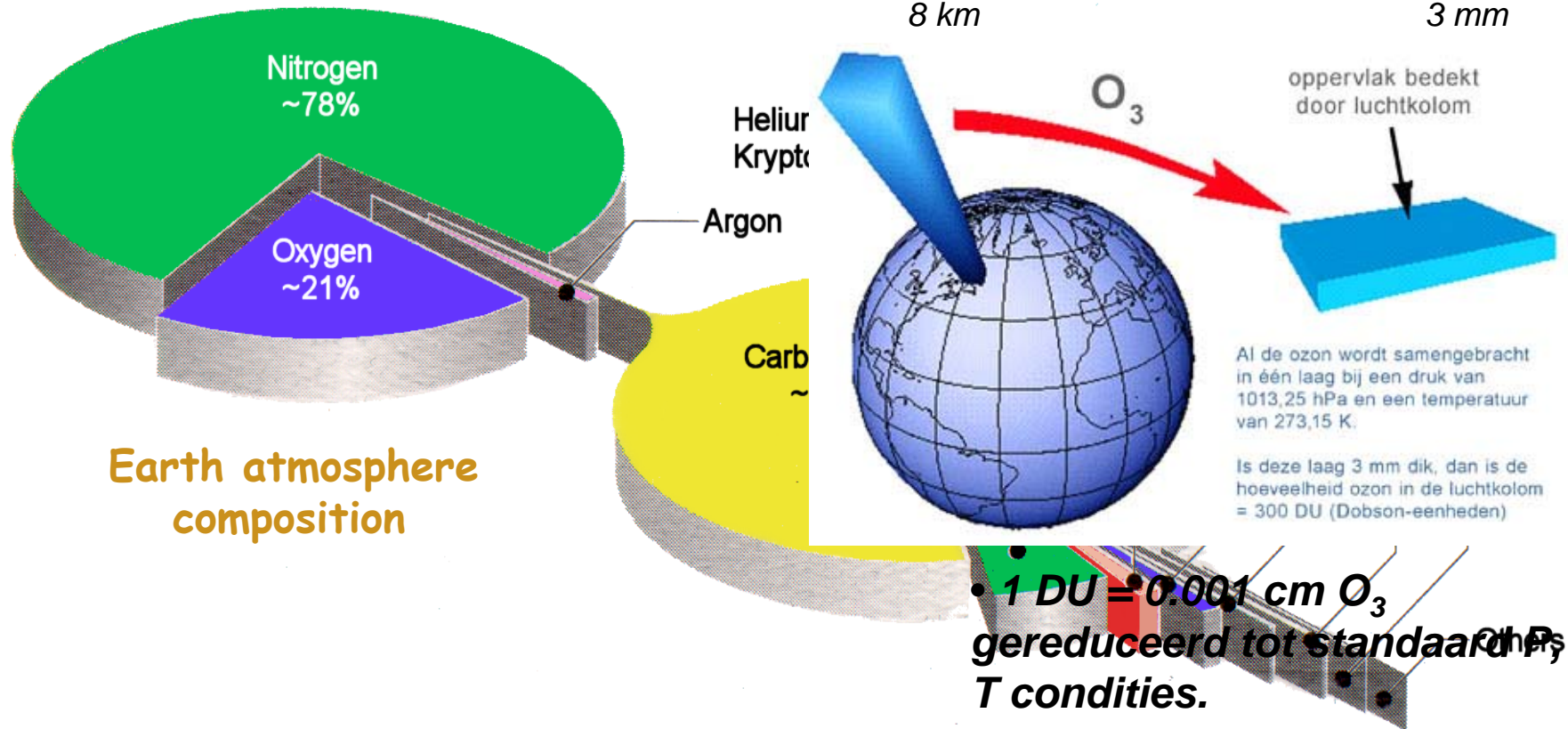
One of our 'specialties' since our creation: OZONE

Lay-out of the talk

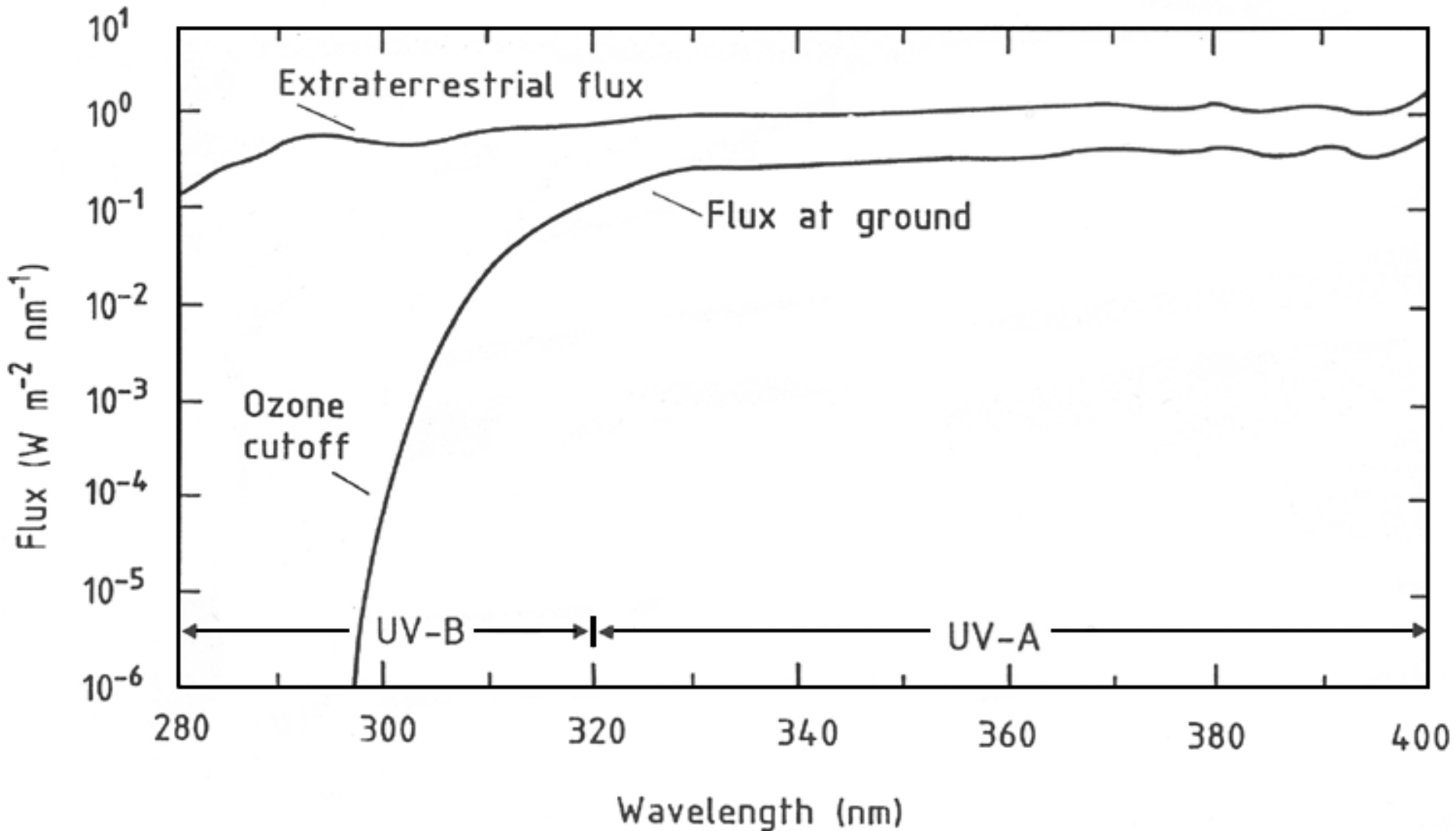
- L'importance de l'ozone
- Questions liées à l'ozone stratosphérique
 - Le cycle de l'ozone
 - Diminution de l'ozone stratosphérique
 - L'ozone en zones polaires
 - Le protocole de Montreal
 - Interactions chimie-climat
 - État actuel et prévisions
.... Incertitudes....
- Contributions spécifiques de l'IASB
- Conclusions

Composition atmosphérique

- L'atmosphère de la Terre aujourd'hui



Pourquoi l'ozone ?



Petit historique....

- 1840-1845 F. Schönbein (D): 'ozein' = odorant; 1ère observation dans l'atmosphère – lien avec les éclairs
- 1858 – A. Houzeau (Fr) : confirmation !
- 1865: J.L. Soret (CH) identification de l'ozone comme $OOO = O_3$
- 1877-1907: début des observations continues à Paris (Montsouris) par Albert-Levy !
- 1899: mesures pas ballon jusqu'à 20 par Teisserenc du Bort (Fr)
- 1924: le réseau Dobson (UK) est initié
- 1930: 'explosion' de la recherche sur Nicolet, Götz, Chapman...

1st director of IASB

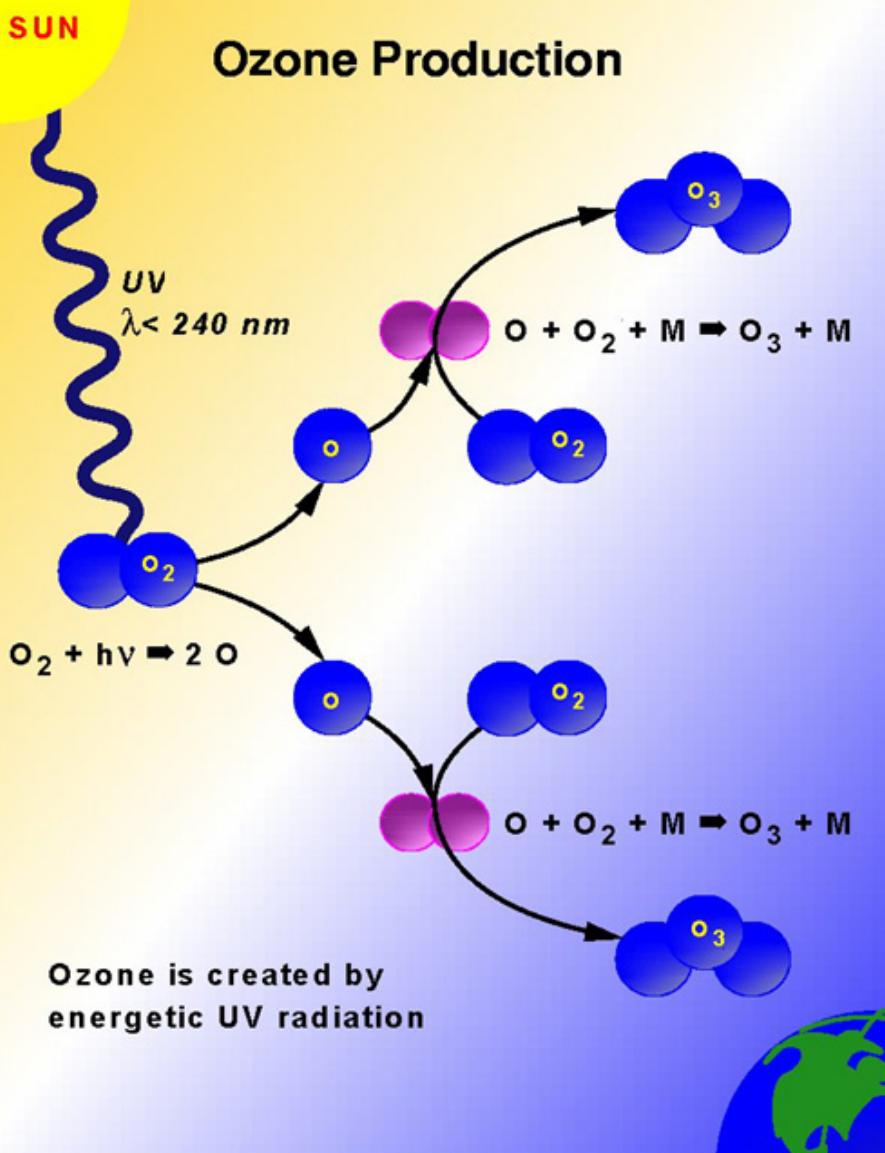


L'atmosphère Chapman (1930)

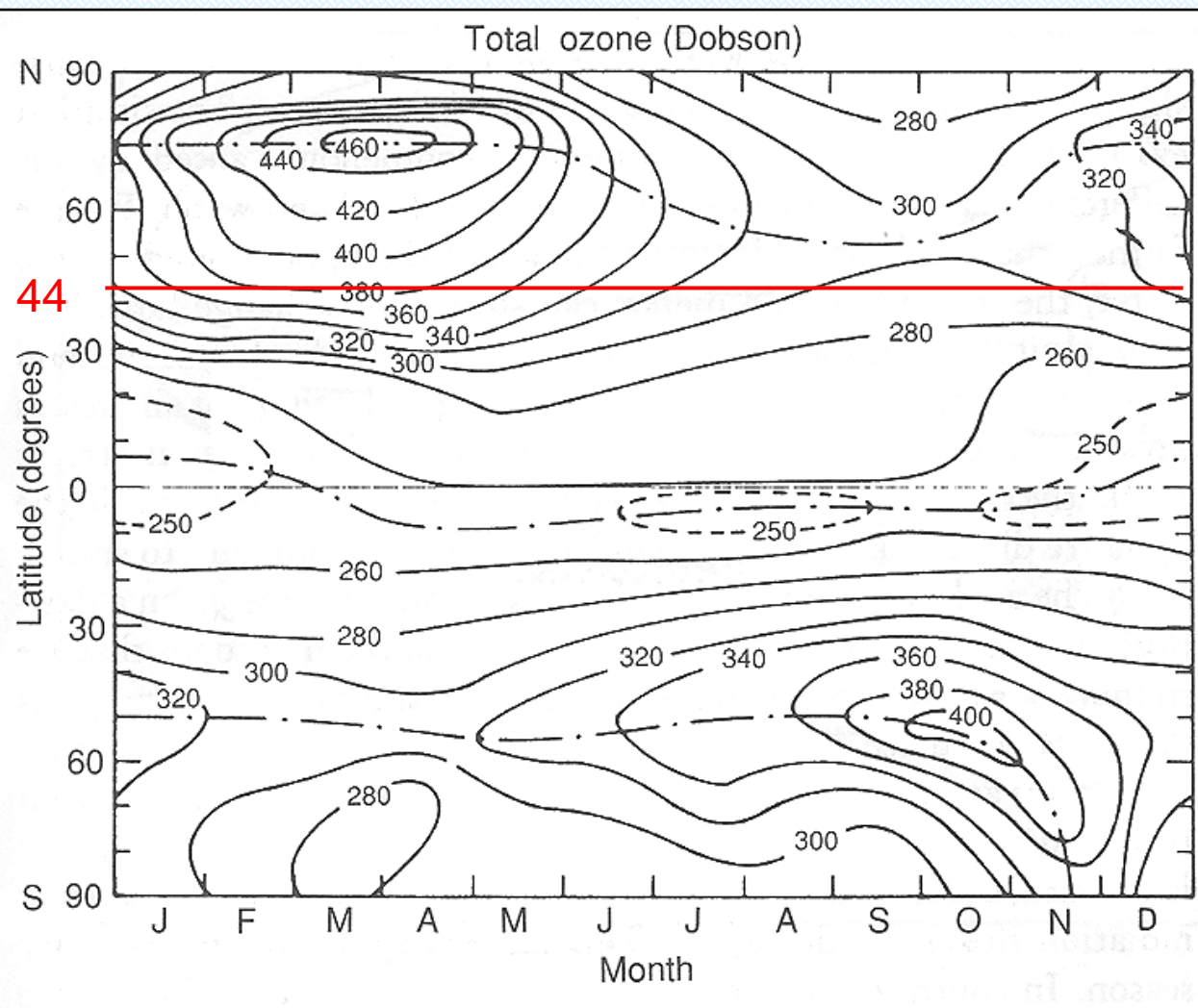


- Équilibre entre production et destruction:

“Chapman” atmosphere (1930)
Or “oxygen-only atmosphere”



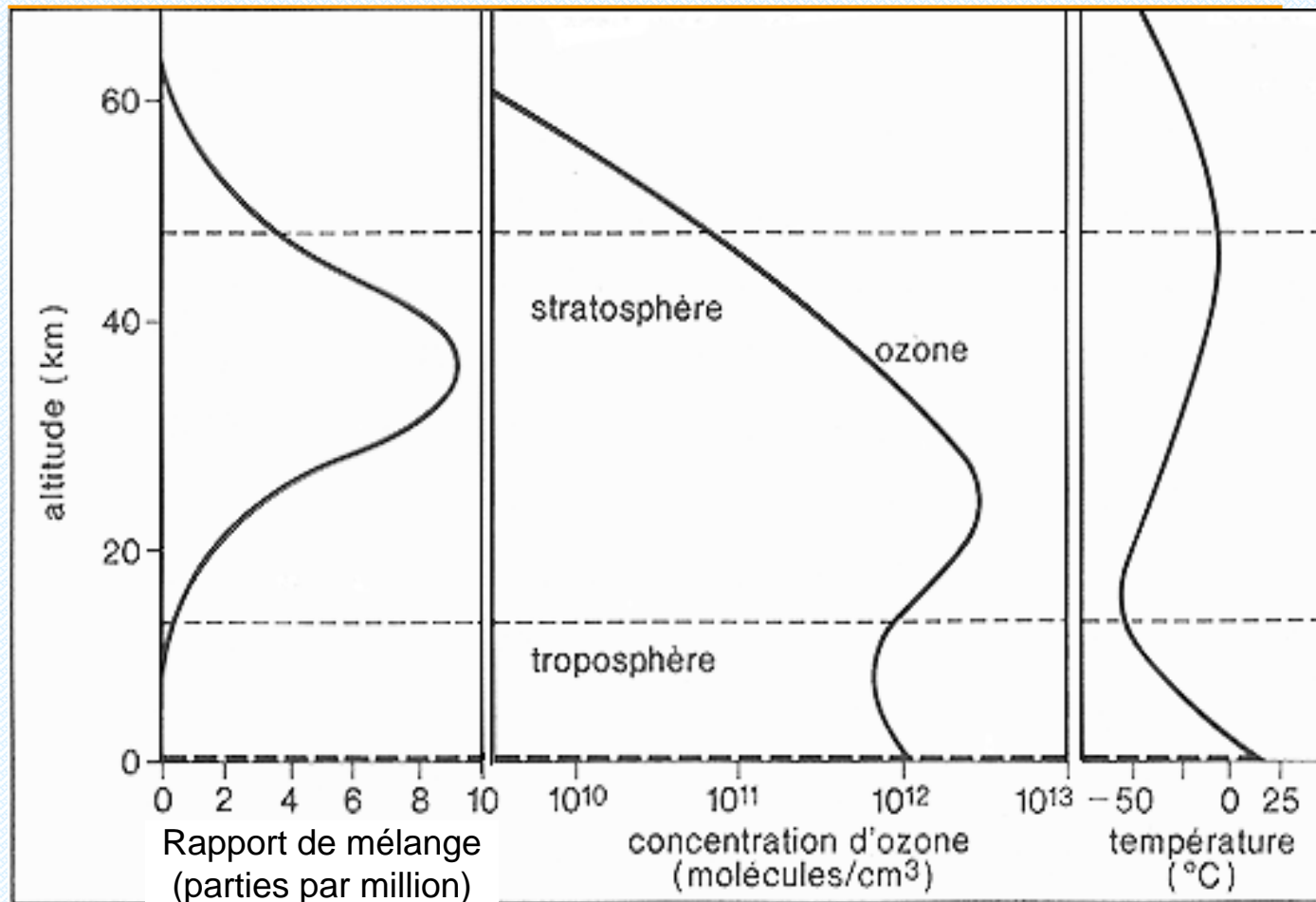
La distribution globale de l'ozone



- Maximum pas aux tropiques mais à haute latitude
- en particulier au printemps au pôle Nord
- asymétrie N-S
- L'amplitude de la variation saisonnière monte avec la latitude

1 DU = $2.1415 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^2$ or
1 DU = $2.687 \times 10^{16} \text{ molec/cm}^2$

La distribution verticale de l'ozone



- Le cycle Chapman prédit le maximum de l'ozone dans la stratosphère, mais **ne reproduit pas** la concentration d'ozone: le cycle Chapman prédit **trop peu de pertes** d'O₃.

Cycles catalytiques (1960)

Cycles catalytiques (X = Cl, Br, NO, OH, H, ...)

Impliquant O



net:



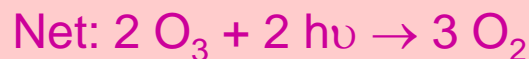
X survit

Cycles catalytiques (X = Cl, Br, NO, OH, H, ...)

**Ne pas impliquant O,
mais 2 XO ou la réaction de XO avec O₃**



Or



X survit

Caractéristiques:

- Augmentation des pertes d'O₃ par rapport au cycle Chapman
- Le catalyseur survit!
- Les cycles dépendent de façon **non-linéaire** des concentrations de X à cause de cycles de termination ou des couplages entre les cycles



Ozone depleting Substances (ODS)

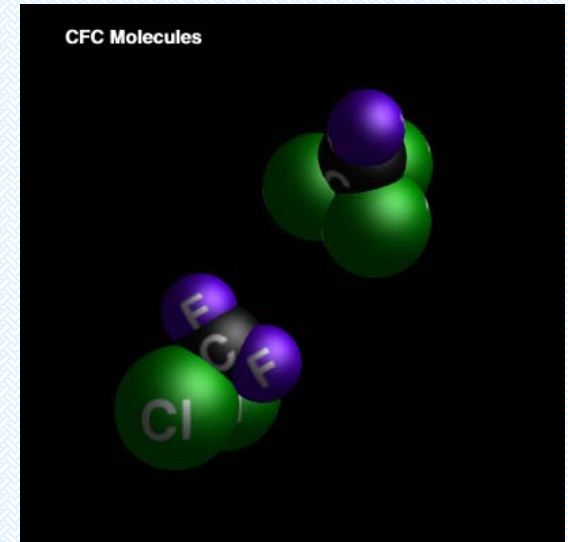
- Sources de X:
 - X est le produit de l'oxidation ou de la photodissociation dans la stratosphère de composés émis à la surface, montés dans la troposphère et pénétrés dans la stratosphère.

Exemples:



- En particulier: sources de halogènes (Cl, Br, F, ...):

Photodissociation par radiation UV (190 -220 nm) dans la stratosphère de CFC et de halons avec un long temps de vie



"Ozone depletion potential" (ODP)

ODP

= relative measure of expected impact on O₃ *per unit mass emission* of a gas, compared to that expected from the same mass emission of CFC-11, integrated over time (time-horizons)

$$ODP(t) = \frac{F_x}{F_{CFC-11}} \frac{M_{CFC-11}}{M_x} \frac{n_x}{3} \alpha \frac{\int_{t_s}^t dt \exp(-(t-t_s)/\tau_x)}{\int_{t_s}^t dt \exp(-(t-t_s)/\tau_{CFC-11})}$$

with α the **catalytic efficiency** of a radical (e.g., Br) relative to that of Cl

↳ model-dependent (e.g., ±heterogeneous chem.)

↳ uncertainties due to photo-chemistry and compounds' lifetimes

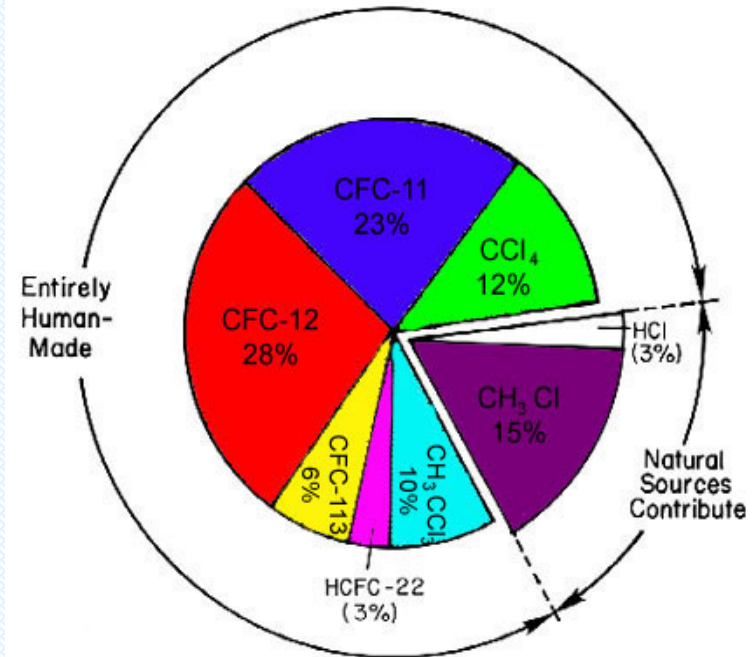
↳ no account for couplings, e.g., with T, aerosol, ...

⇒ concept of EESC, Equivalent Effective Stratospheric Chlorine index, as a measure of potential damage of a given mixture of ODSs to stratospheric O₃

Présence des ODS dans l'atmosphère

- 1928: début de la production des CFC
- 1971: 1ère observation de CFC dans l'atmosphère (J. Lovelock)
- 1974: identification de la destruction de l'O₃ par CFC: Rowland & Molina
- 1995: Prix Nobel en chimie: F. Rowland, M. Molina & P. Crutzen, 1995

Primaire bronnen van Chloor in de stratosfeer



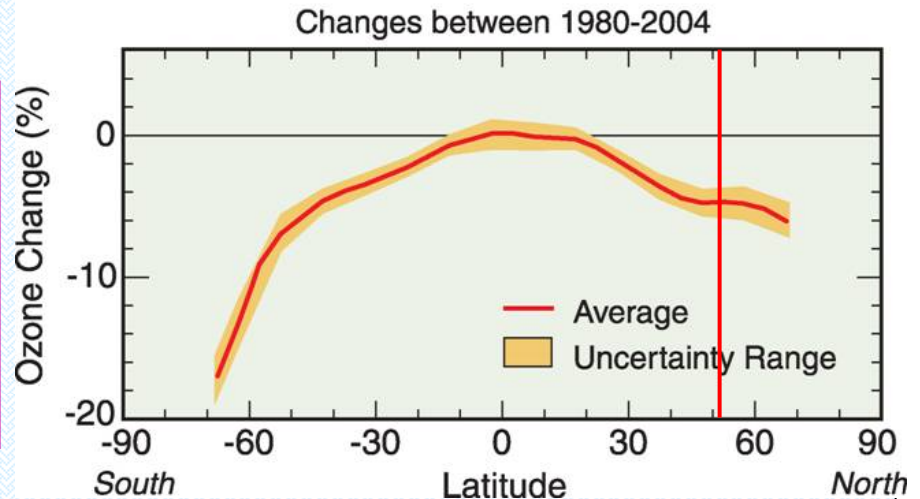
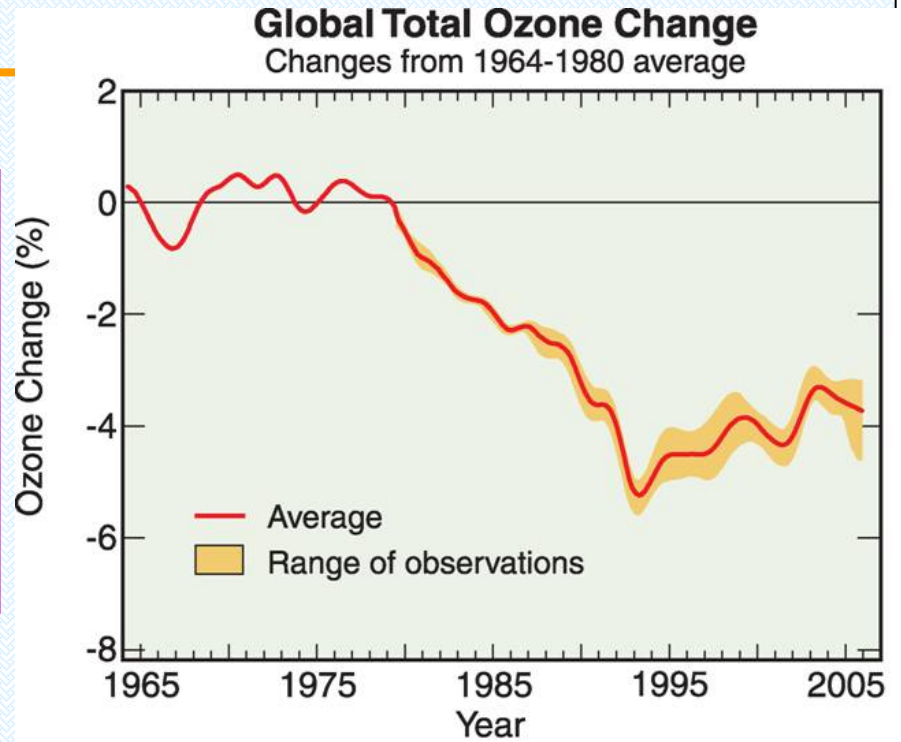
1990: 80% du chlore stratosphérique est d'origine anthropique



Diminution de l'O₃

Changement au niveau global en 1965 et 1980 par rapport à la moyenne 1964 -1980

Changements entre 1980 et 2004 en fonction de la latitude



1985: Alerte en Antarctique

Nature, Vol. 315, 16 May 1985

Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction

J. C. Farman, B. G. Gardiner & J. D. Shanklin

British Antarctic Survey, Natural Environment Research Council,
High Cross, Madingley Road, Cambridge CB3 0ET, UK

Recent attempts^{1,2} to consolidate assessments of the effect of human activities on stratospheric ozone (O_3) using one-dimensional models for 30°N have suggested that perturbations of total O_3 will remain small for at least the next decade. Results from such models are often accepted by default as global estimates³. The inadequacy of this approach is here made evident by observations that the spring values of total O_3 in Antarctica have now fallen considerably. The circulation in the lower stratosphere is apparently unchanged, and possible chemical causes must be considered. We suggest that the very low temperatures which prevail from midwinter until several weeks after the spring equinox make the Antarctic stratosphere uniquely sensitive to growth of inorganic chlorine, Cl_x , primarily by the effect of this growth on the NO_2/NO ratio. This, with the height distribution of UV irradiation peculiar to the polar stratosphere, could account for the O_3 losses observed.

1960 1970 1980

- Forte diminution de l' O_3 en Octobre à Halley Bay observée dans les mesures Dobson depuis 1957

Inattendu !

Conditions favorables au trou d'Ozone

- Conditions de l'hiver polaire
 - Hiver sans lumière
 - Longue période avec des températures basses \Rightarrow formation de PSC ($T < 195\text{K}$)



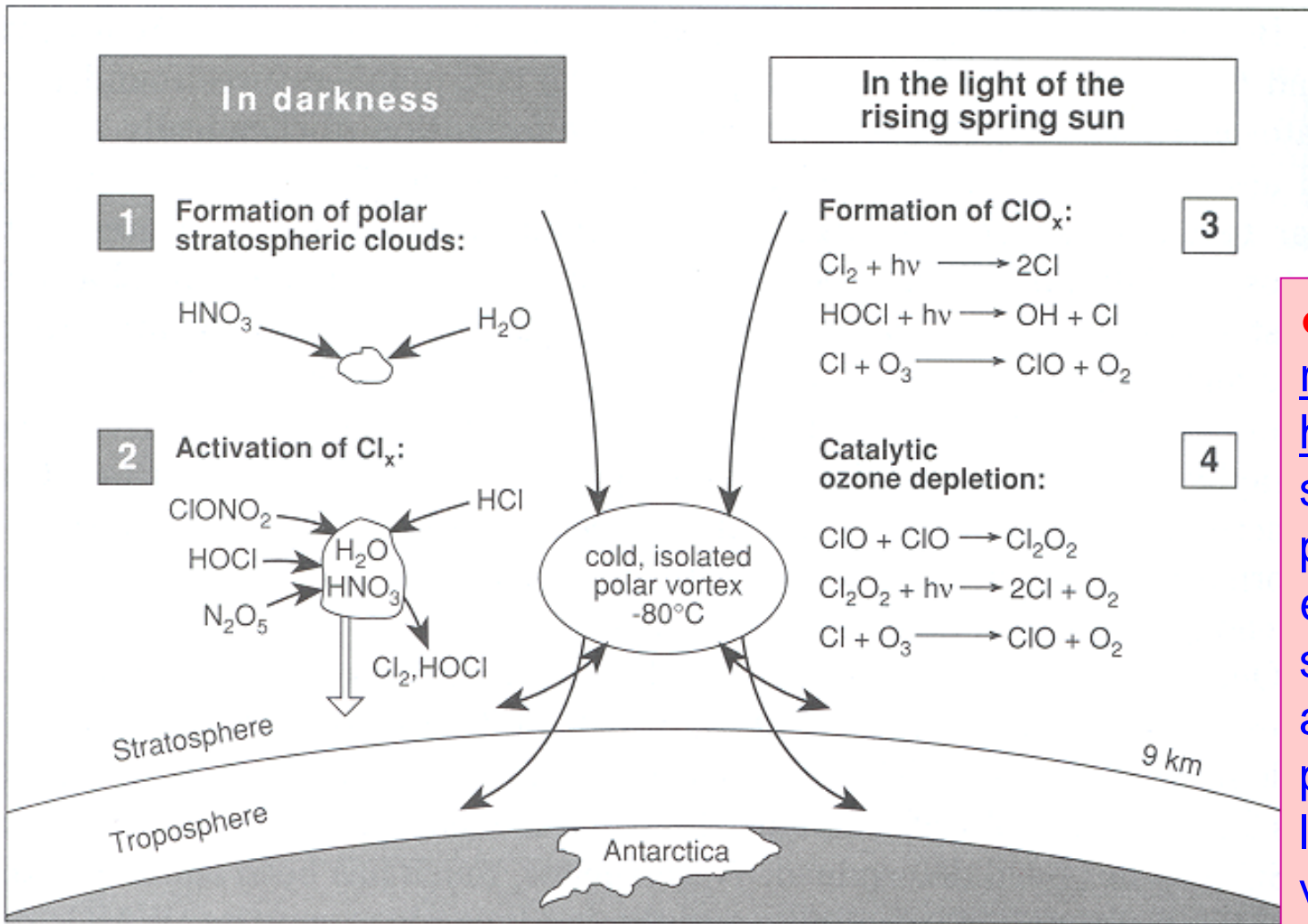
- Vortex polaire \Rightarrow accumulation de ODS



D:\Documents and
Settings\martine\My D

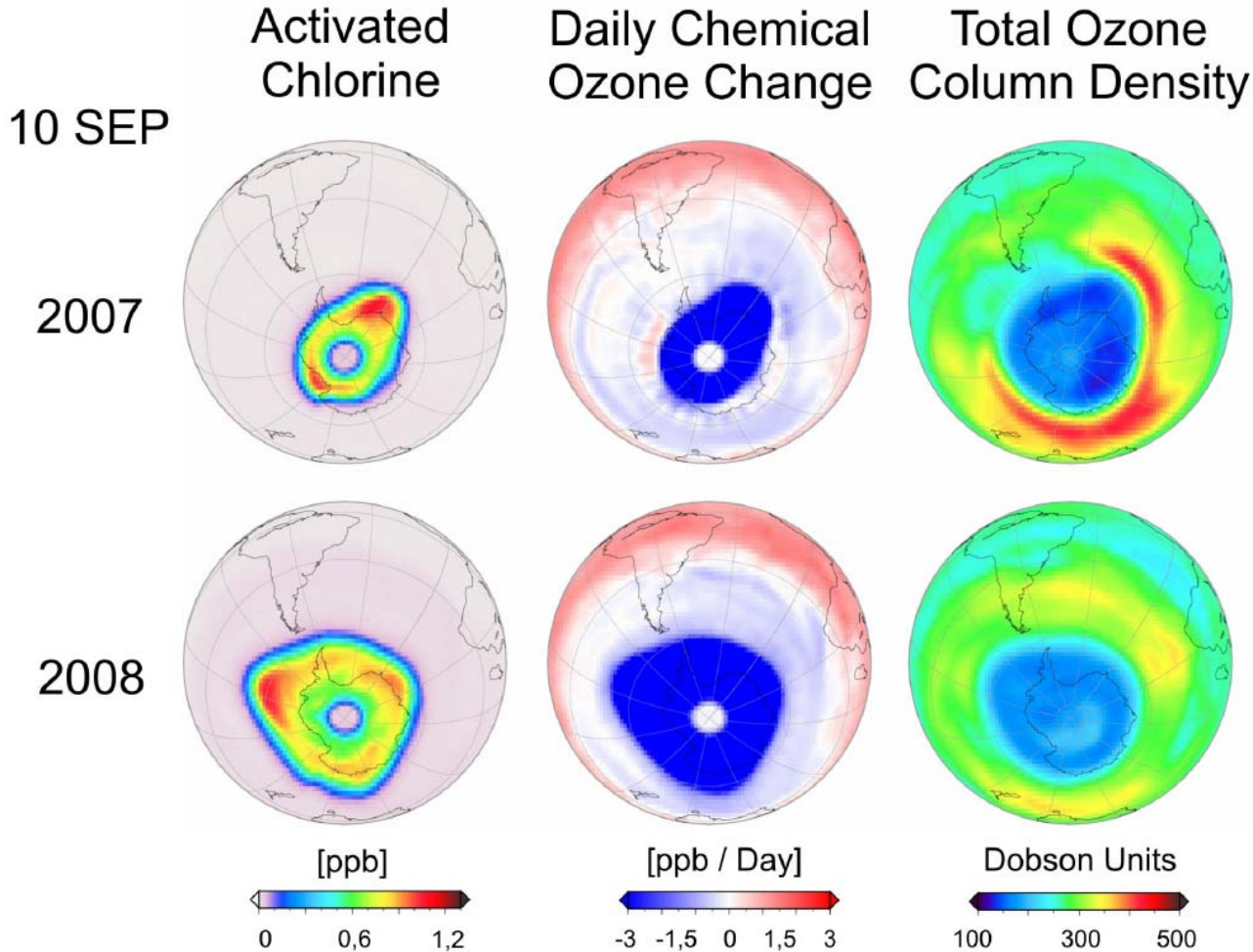
Formation du trou d'Ozone aux pôles

Middle Atmospheric Ozone



☀️ Certaines reactions hétérogènes se produisent également sur les aérosols, en particulier les aérosols volcaniques

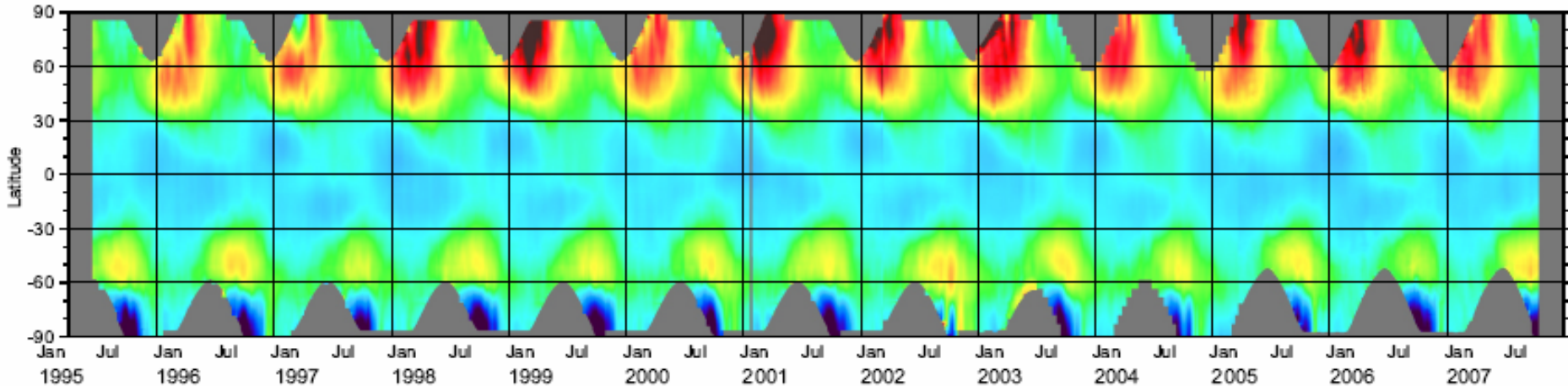
Trou d'ozone en Antarctique



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

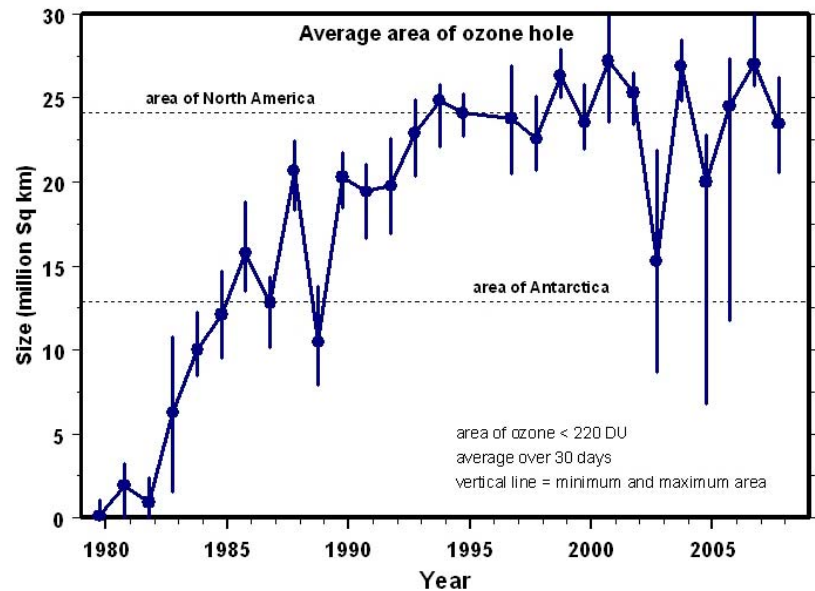
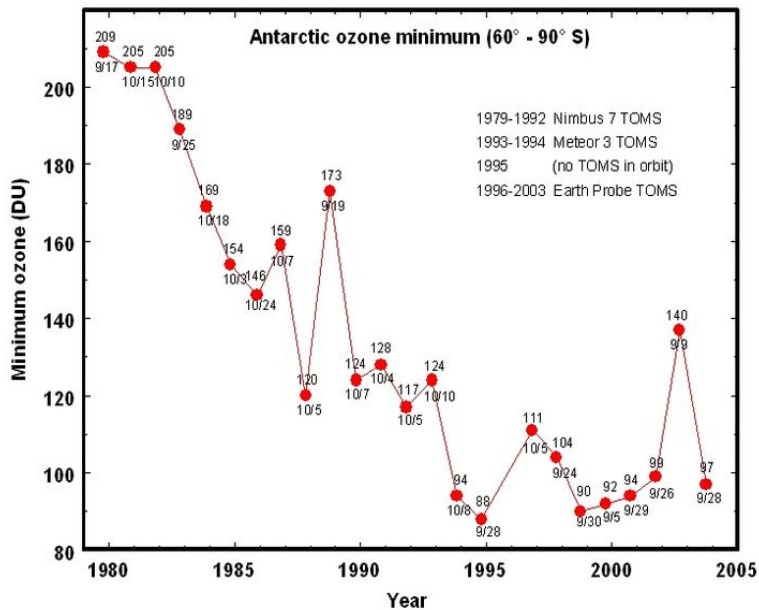
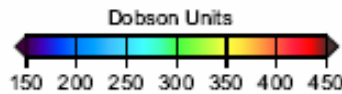
Total Ozone Monitoring by GOME, SCIAMACHY and GOME-2

Daily Zonal Mean - April 1995 to October 2007

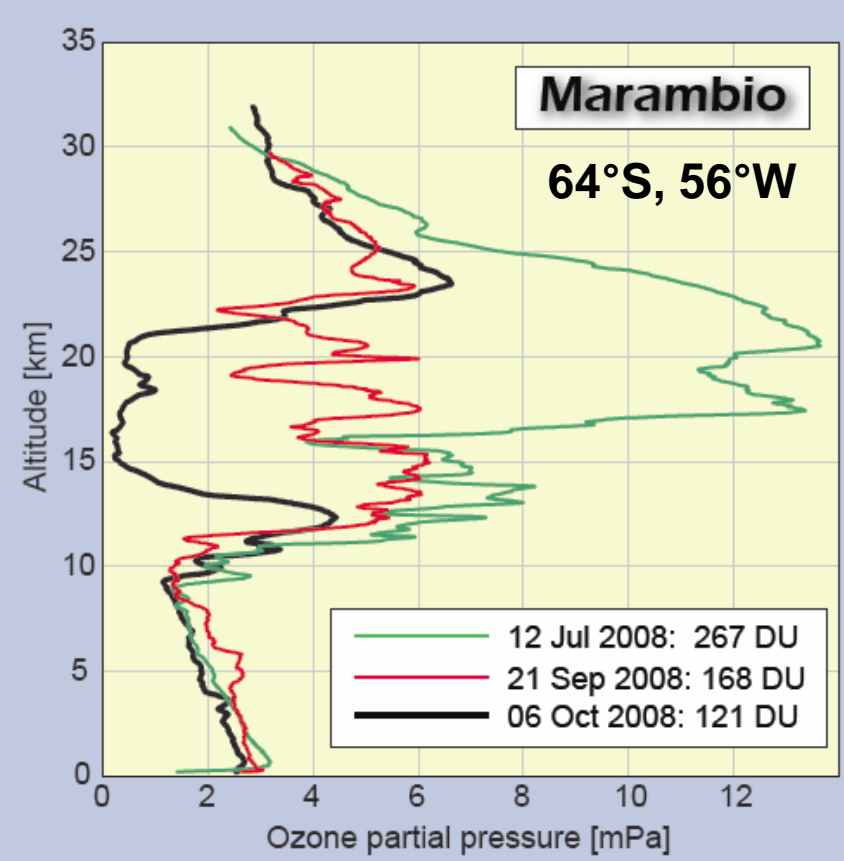
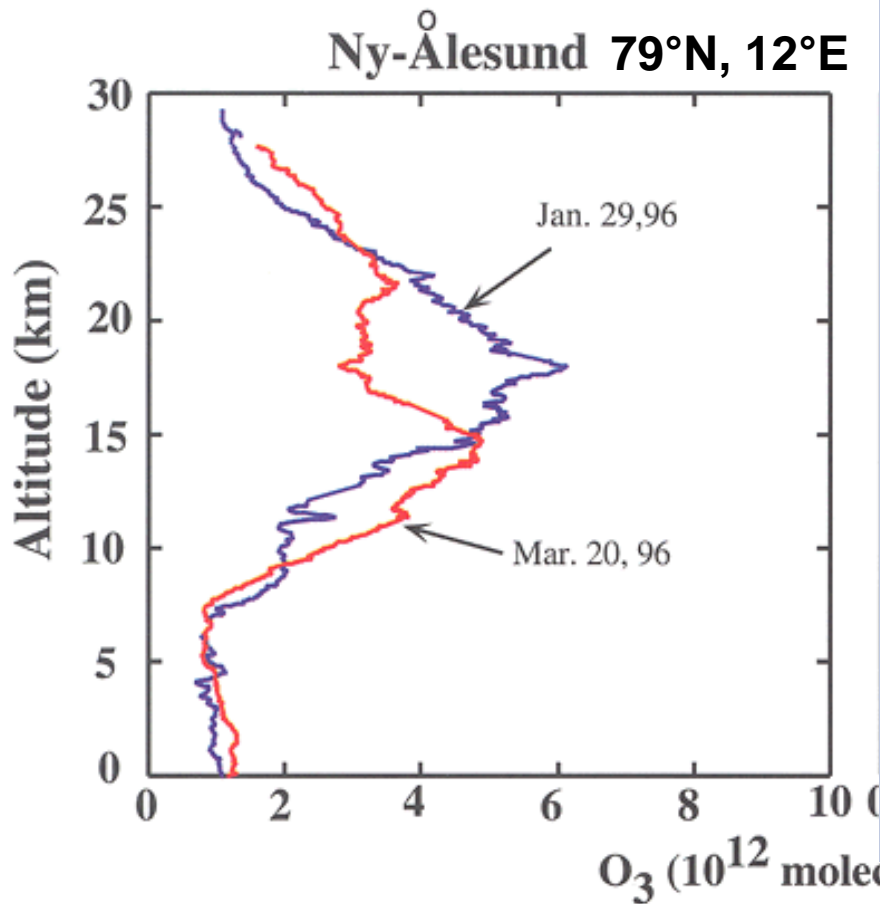


L2 Version GDP 4

<http://wdc.dlr.de>



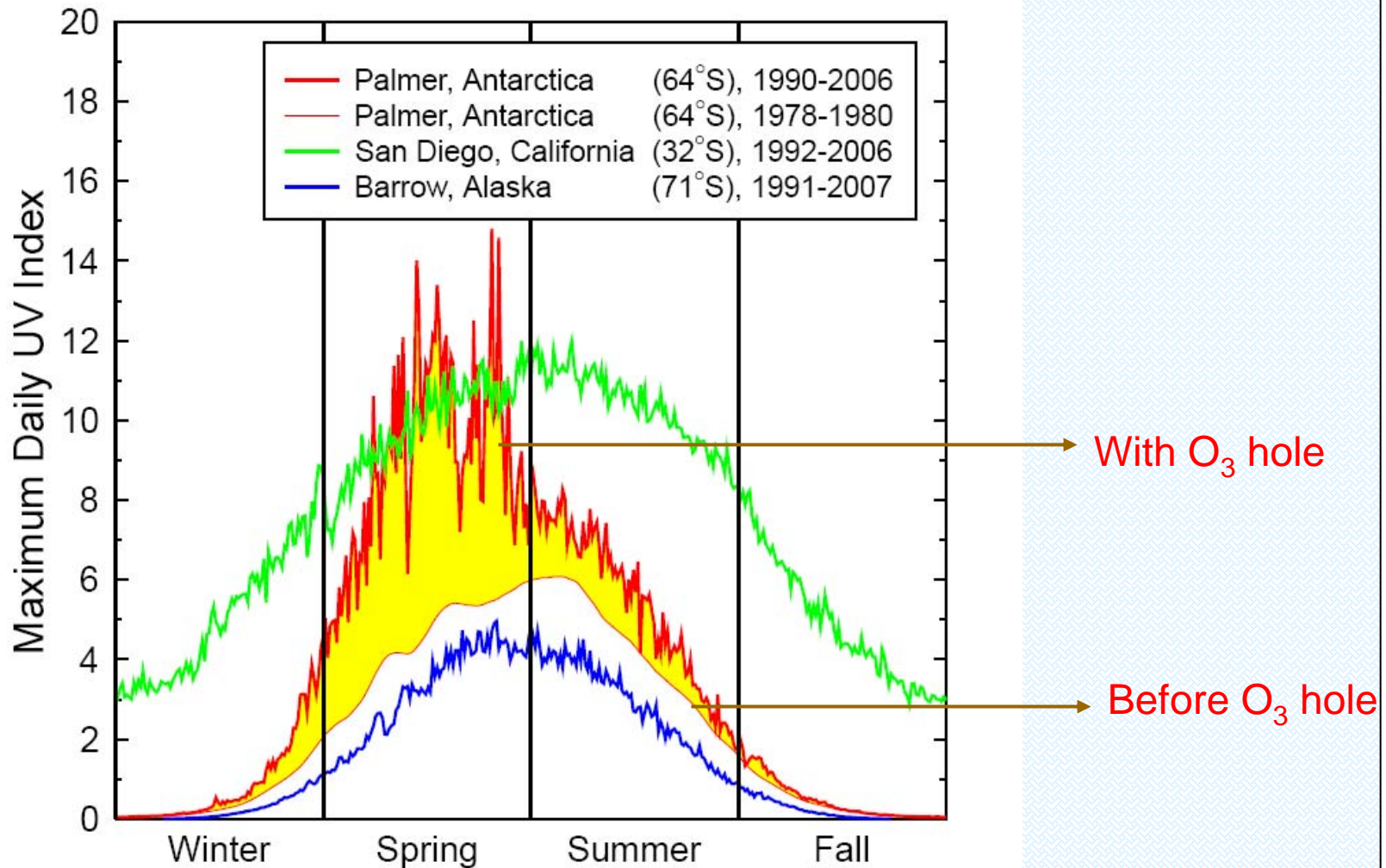
Profils verticaux



Effet sur l'index UV



Seasonal Changes in the UV Index



Le Protocole de Montreal

Couplage chimie - climat



Protocole de Montreal

Policies

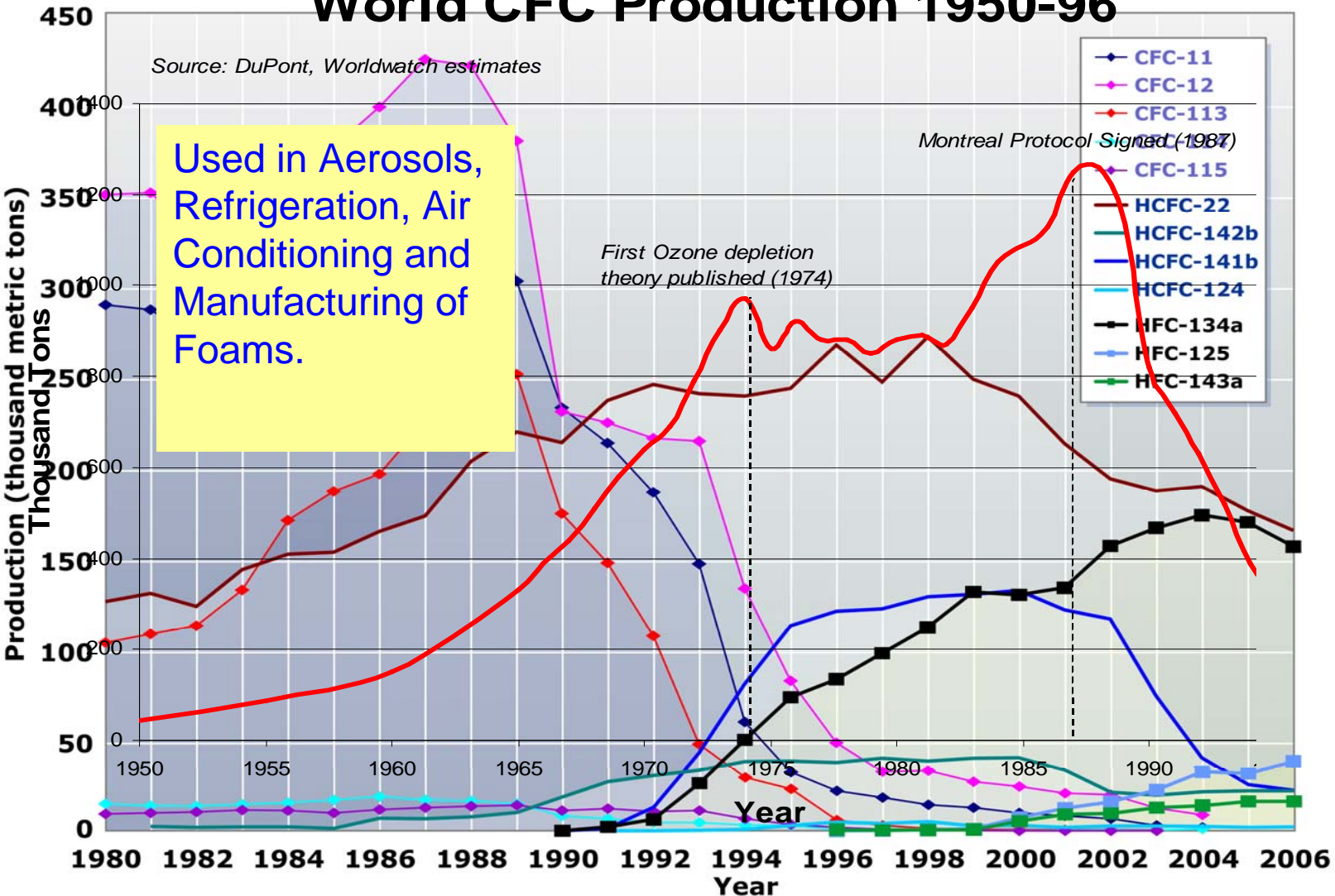
Scientific Assessments

1981		<i>The Stratosphere 1981. Theory and Measurements.</i> WMO No. 11
1985	Vienna Convention	<i>Atmospheric Ozone 1985.</i> WMO No.16.
1987	Montreal Protocol	
1988		<i>International Ozone Trends Panel Report 1988.</i> Two volumes. WMO No. 18
1989		<i>Scientific Assessment of Stratospheric Ozone: 1989.</i> Two volumes. WMO No. 20.
1990	London Adjustments and Amendment	
1990		<i>Climate Change, The IPCC first Scientific Assessment, Impacts Assessment and Response Strategies Reports</i>
1991		<i>Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1991.</i> WMO No. 25.
1992		<i>Methyl Bromide: Its Atmospheric Science, Technology, and Economics</i> (Assessment Supplement). UNEP (1992).
1992	Copenhagen Adjustments and Amendment	
1992	Rio de Janeiro Convention on Climate Change	
1994		<i>IPCC Supplementary Report to the Scientific Assessment</i> <i>Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994.</i> WMO No. 37 <i>Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios</i>
1995	Vienna Adjustment	
1995		<i>Climate Change 1995. The IPCC second Scientific Assessment, Impacts Assessment Reports</i>
1997	Montreal Adjustments and Amendment	
	Kyoto Protocol (UNFCCC third session, Kyoto, Dec. 1997)	
1998		<i>Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998.</i> WMO. No. 44
1999	Beijing (China) Adjustments and Amendment	
2000		<i>The IPCC third Scientific Assessment, Impacts Assessment Reports</i>
2002		<i>Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002.</i> WMO. No. 47
2007		<i>Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006.</i> WMO. No. 50
2007		<i>The IPCC fourth Assessment Report: Climate Change 2007</i>
2007	Montreal 19 th meeting	of the Parties: <i>191 countries agree to strengthen protection of the ozone layer by reducing HCFCs</i>
2008	Doha 20 th meeting of	the Parties: <i>Decision making on destruction ODS and funding phase-out HCFCs</i>

Effet ?

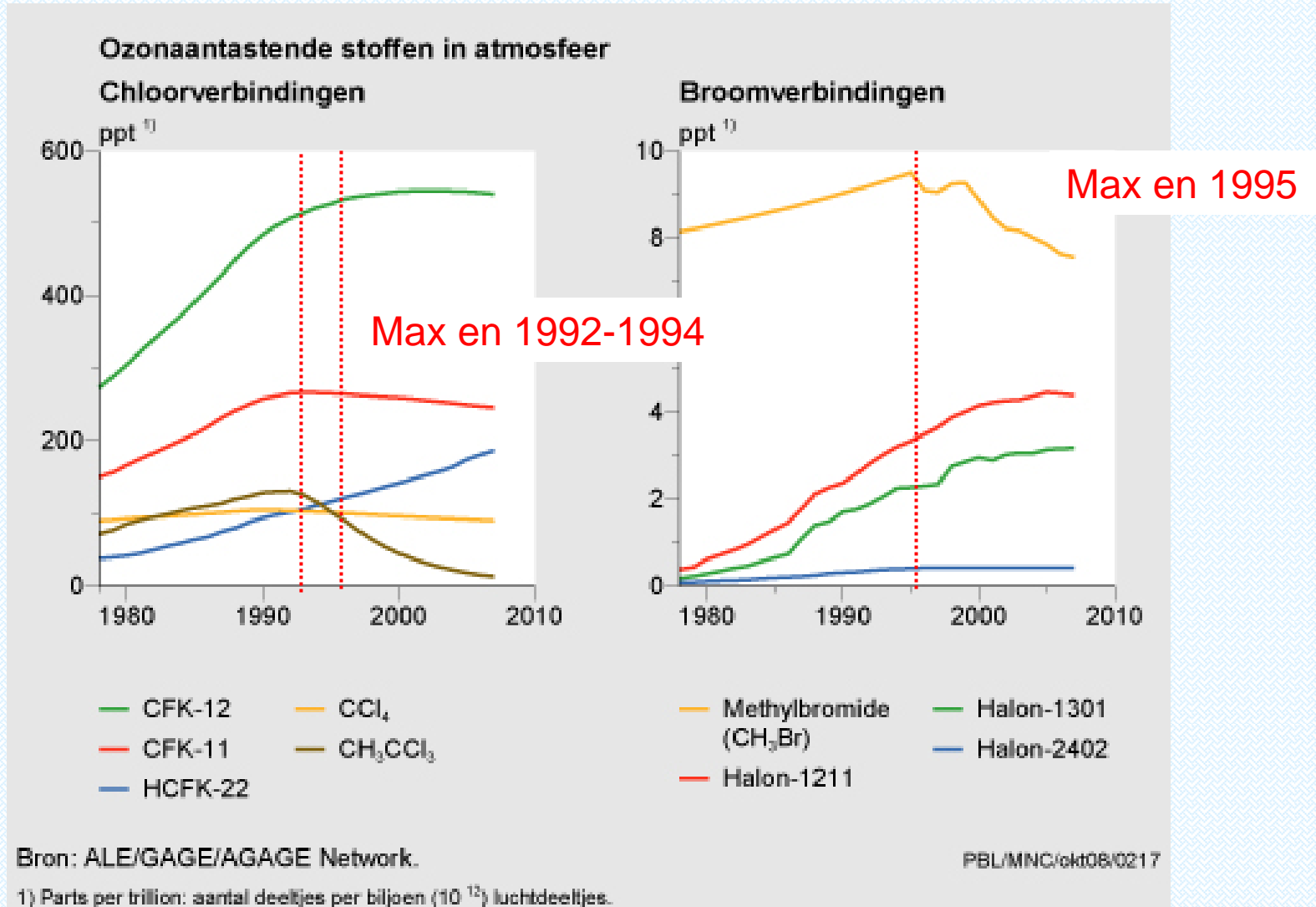
1. Sur la production des composés chlorés et bromés

Annual Production of Fluorocarbons Reported to AFEAS (1980-2006) World CFC Production 1950-96



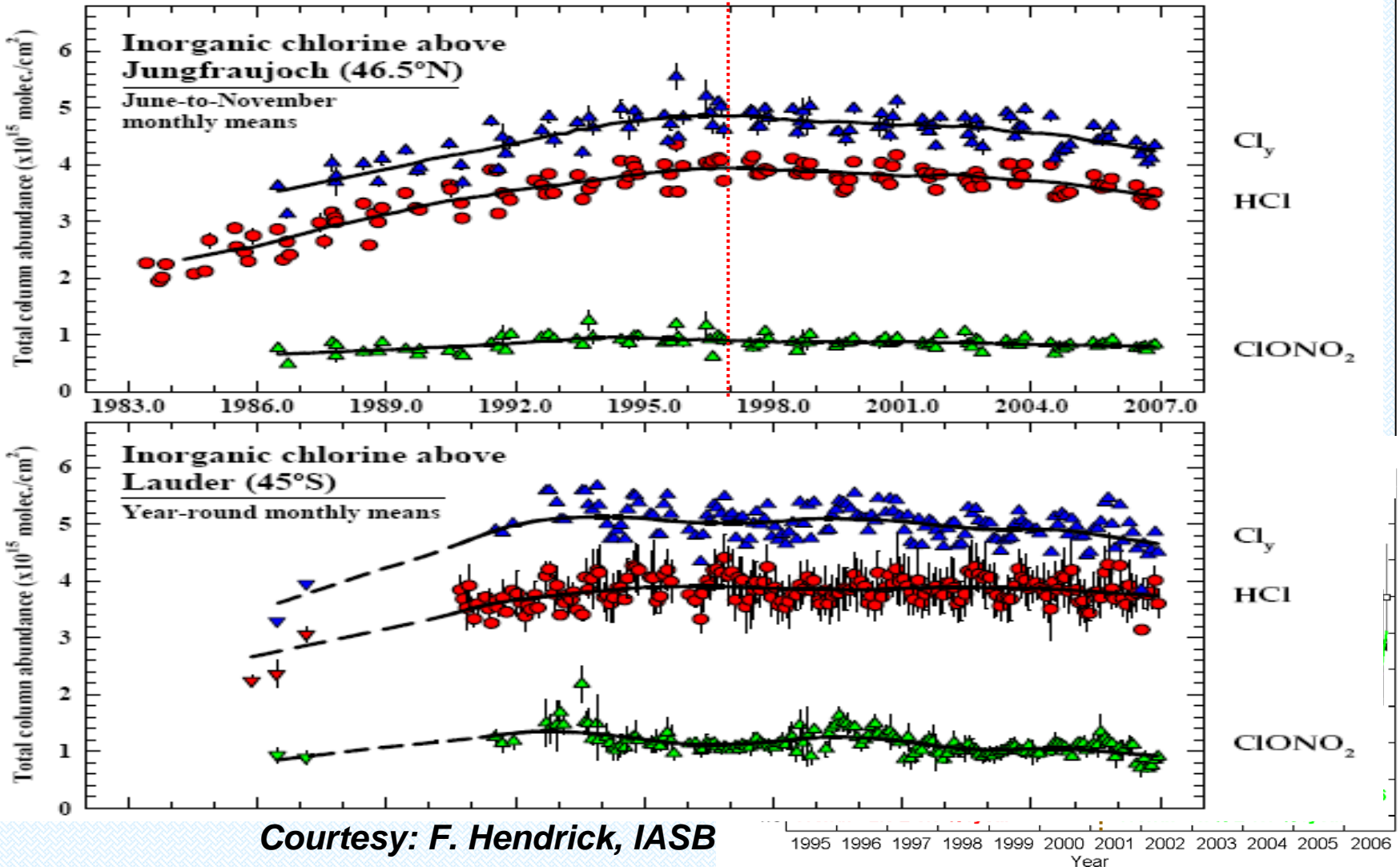
Effet ?

2. Sur les concentrations à la surface



Effet ?

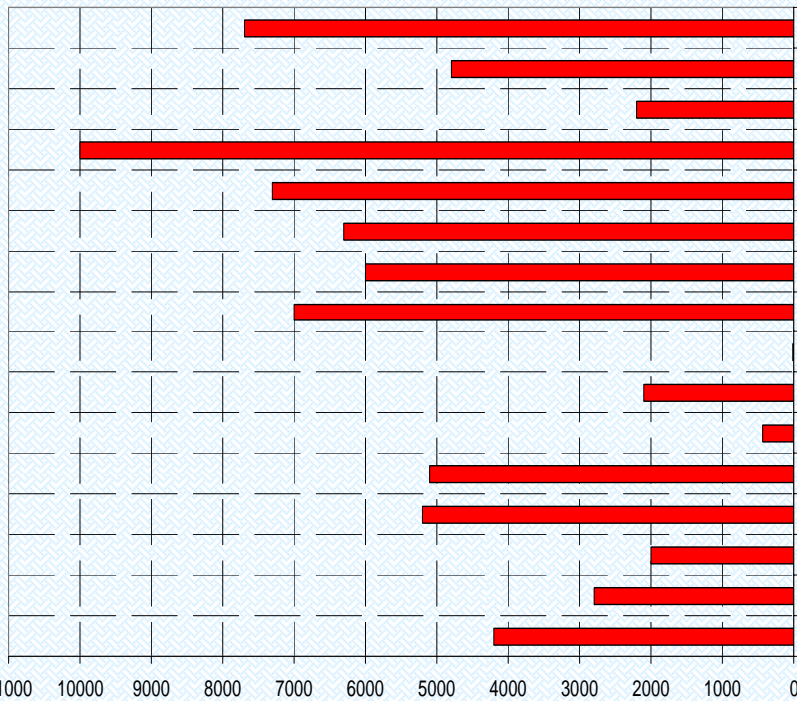
3. Sur les abondances dans la stratosphère



Effet ?

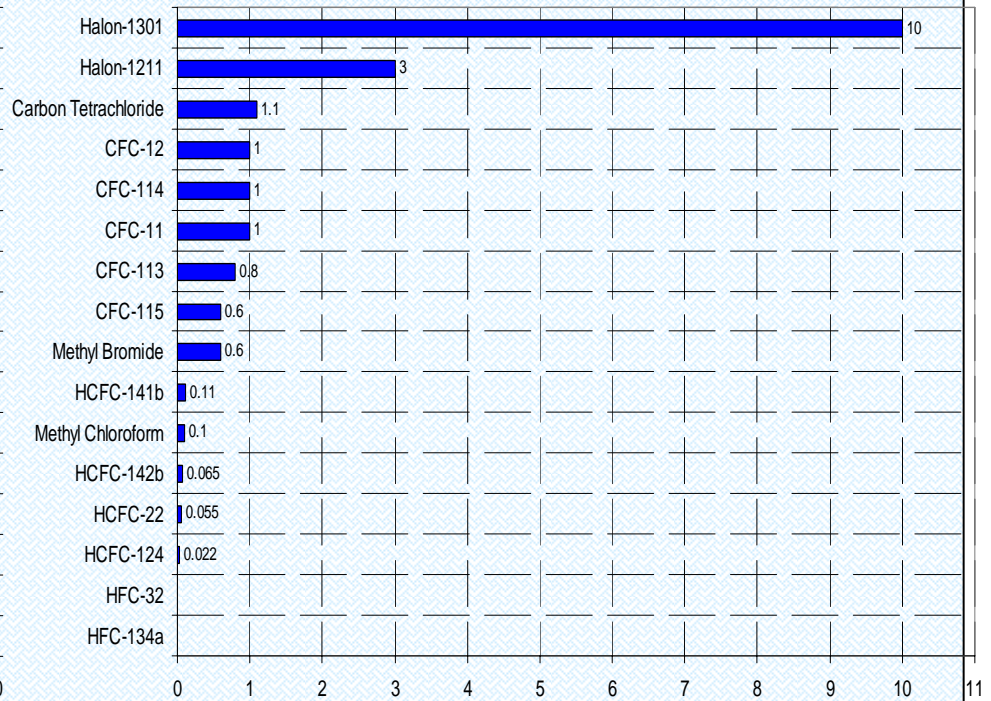
4. Sur le climat

La plupart des ODS sont également des gaz à effet de serre



Global Warming Potential (20 Year, CO2 = 1)

(Source: Scientific Assessment of Ozone Depletion)

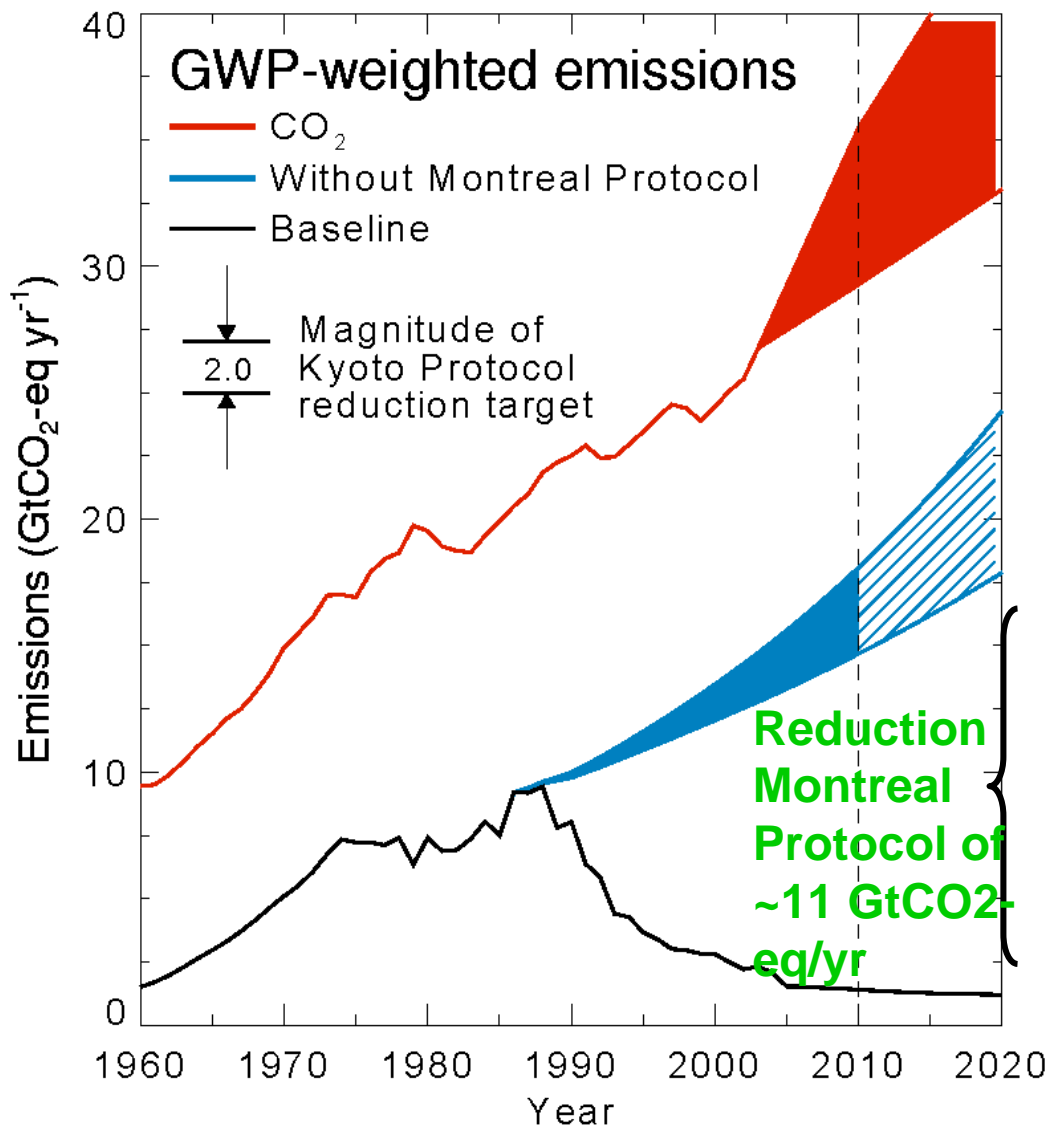


Ozone Depletion Potential (CFC-11 = 1)

(Source: The Montreal Protocol)

- Effet bénéfique sur le climat !
- Recherche de nouveaux substituts avec un GWP minimal!

Effet sur le climat



L'impact du Protocol de Montreal sur le climat

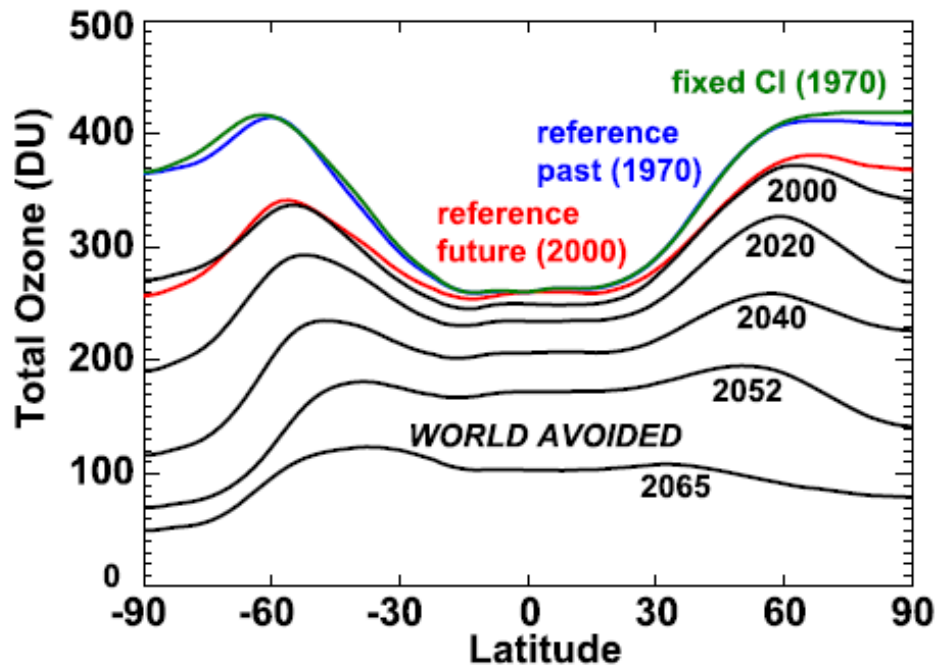
est de l'ordre 5-6 fois plus grand

que les objectifs du Protocol de Kyoto 2008-2012 !

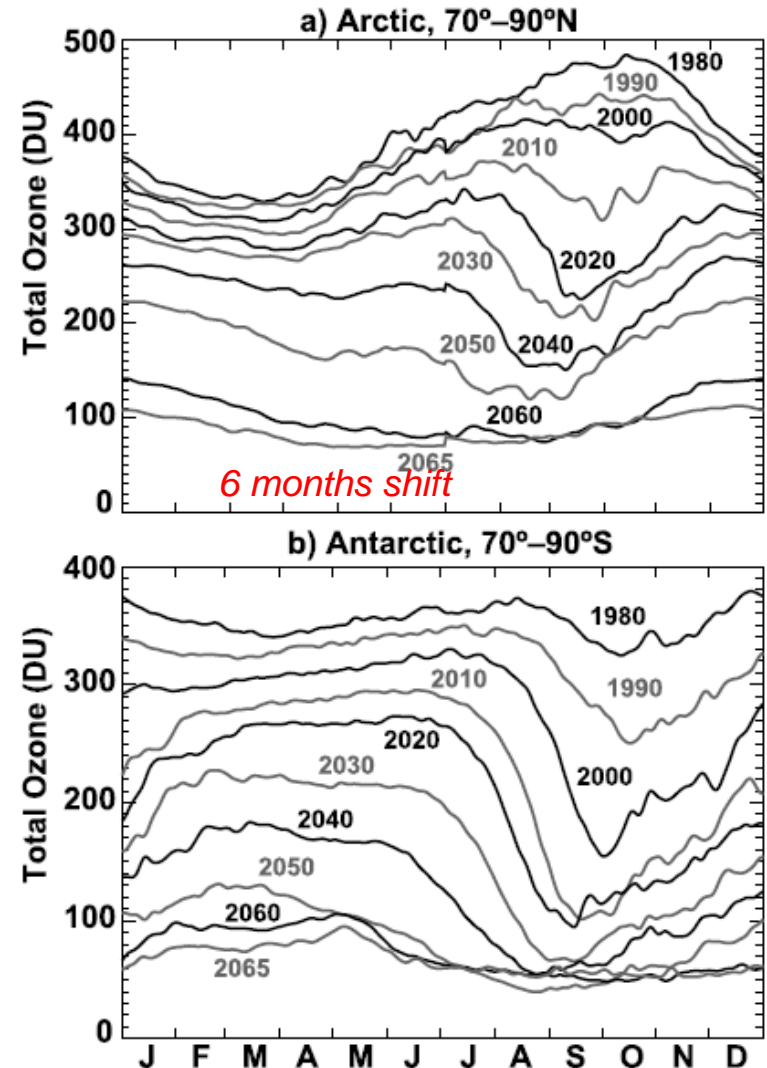
Effet ?

5. Sur l'Ozone et l'UV ? Le monde évité....

Moyenne annuelle de l'O₃ totale en fonction de la latitude



Moyenne annuelle de l'O₃ totale aux pôles



P. Newman et al., Atmos. Chem. Phys., 9, 2113–2128, 2009

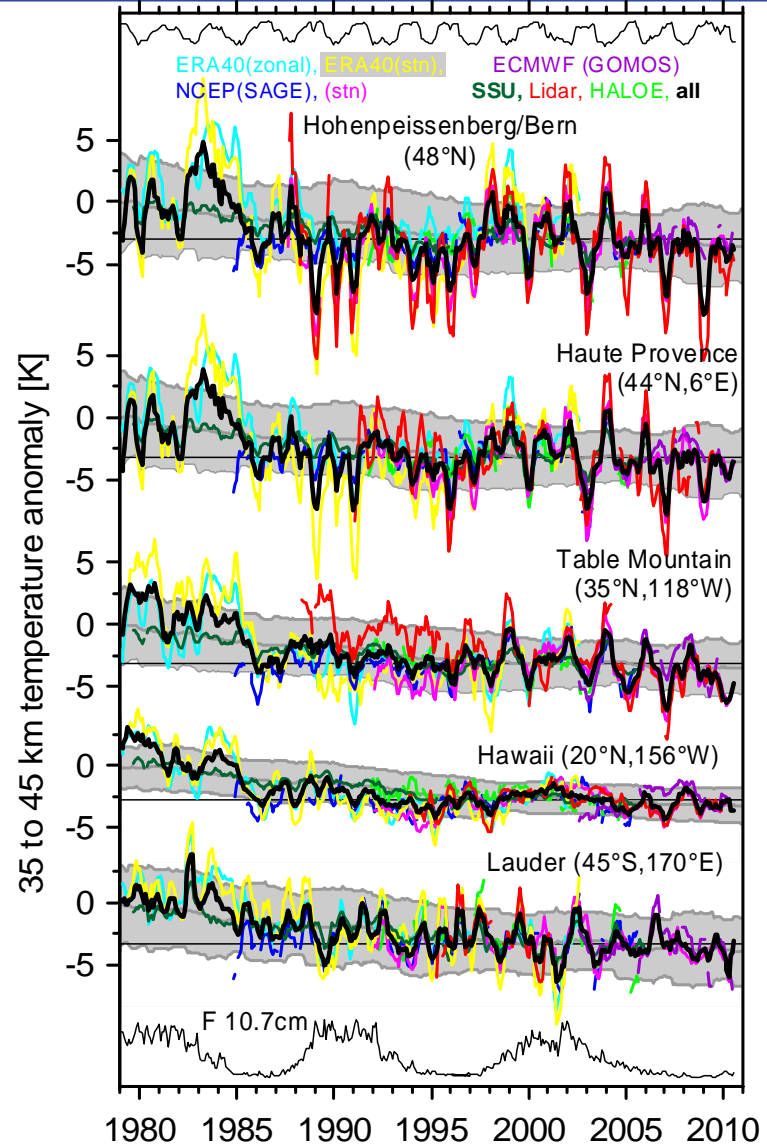
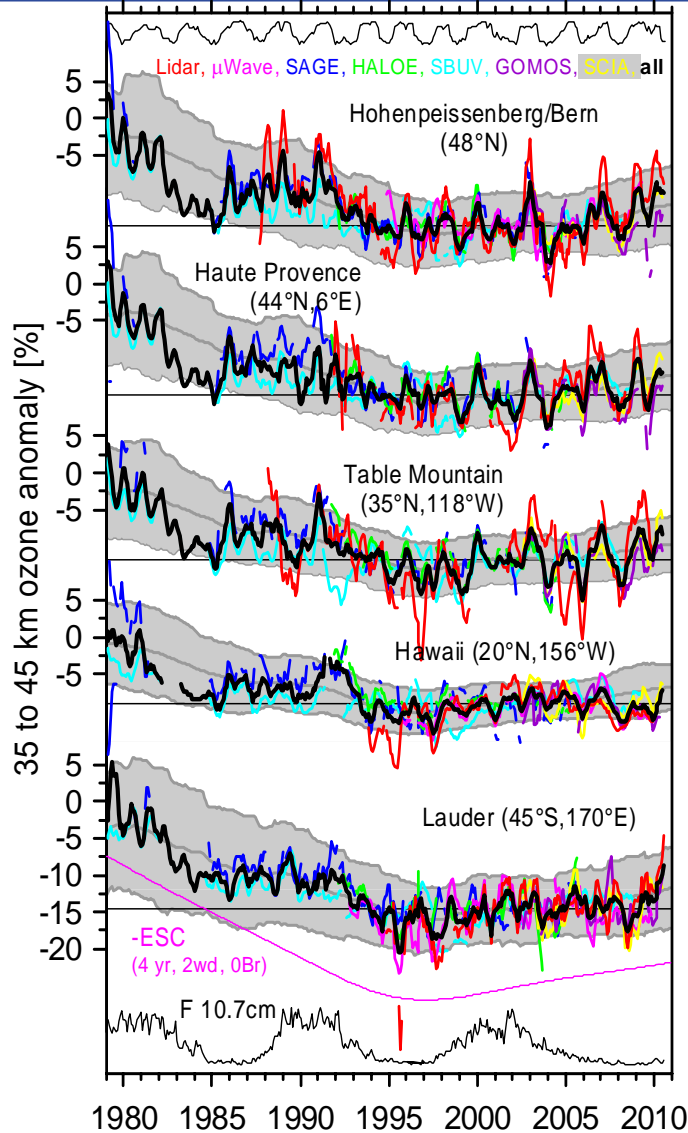
La situation d'aujourd'hui et les prévisions



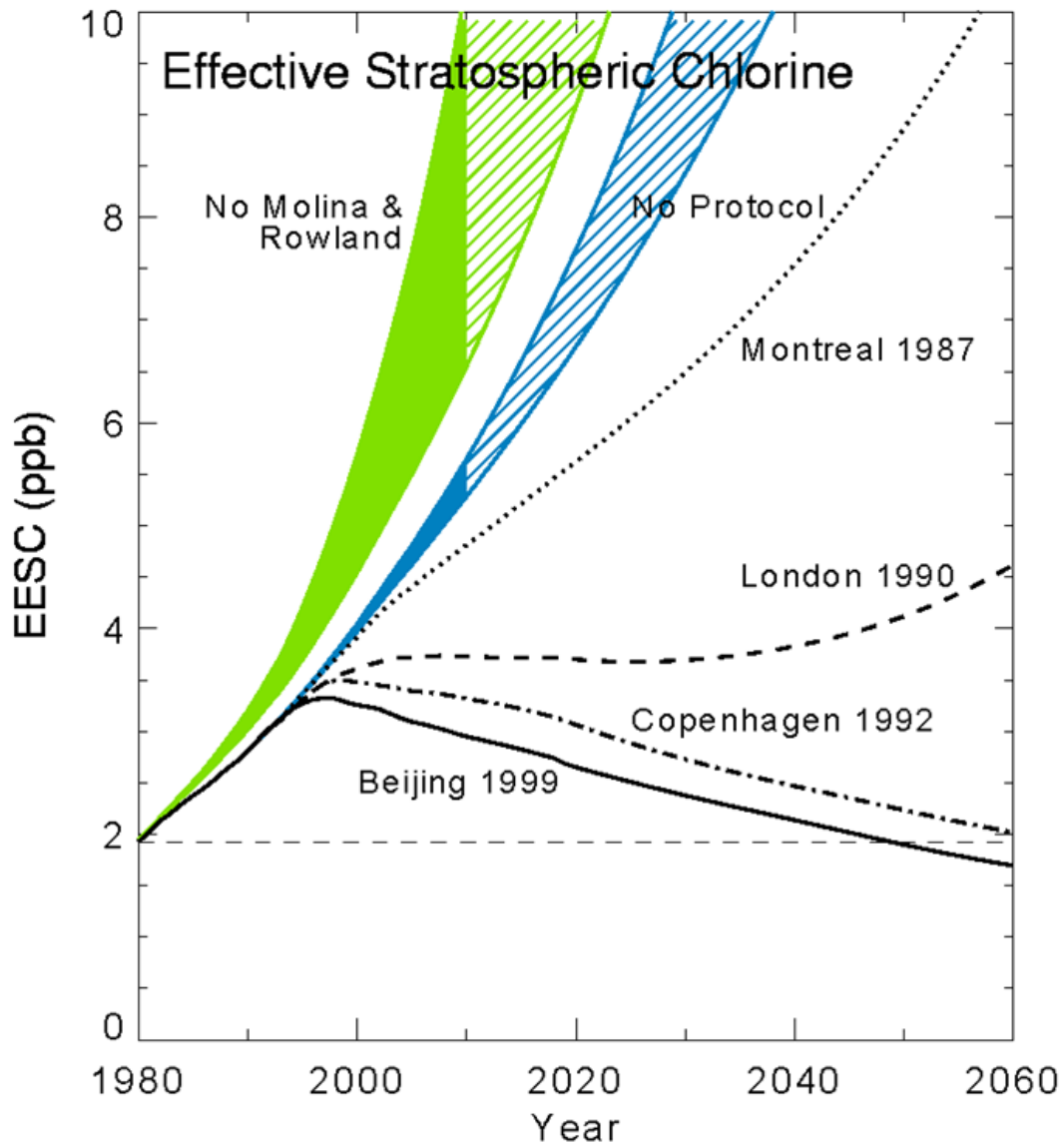
Etat d'aujourd'hui (WMO 2010)

- En 2006-2009, l'O₃ **à moyenne latitude** (35°-60°) est resté au même niveau qu'en 1996-2005, c-à-d
 - 6% en dessous de la moyenne 1964-1980 dans HS
 - 3.5% en dessous la moyenne 1964-1980 dans HN
- L'UV n'a plus augmenté au-dessus des doses en fin des années 1990
- Les trous d'ozone **aux pôles** sont restés comme en début des années 1990 (+ variabilité), c-à-d, l'O₃ est plus bas de 40% en Octobre en Antarctique par rapport à 1980.
- L'UV en Antarctique est toujours plus élevé de 55 à 85% qu'en 1963-1980.
- Le trou d'O₃ en Antarctique a effectué des changements climatiques significatifs à la surface dans HS
- La stratosphère s'est refroidie de qqes degrés K entre 1980 et 1995; il n'y a plus de refroidissement supplémentaire depuis.

ozone @ 5 NDACC stations



Prévisions



- Retour de EESC au niveau 1980
 - en ~2050
 - en ~2065 aux pôles (air plus âgé)

Prévisions (cont'd)

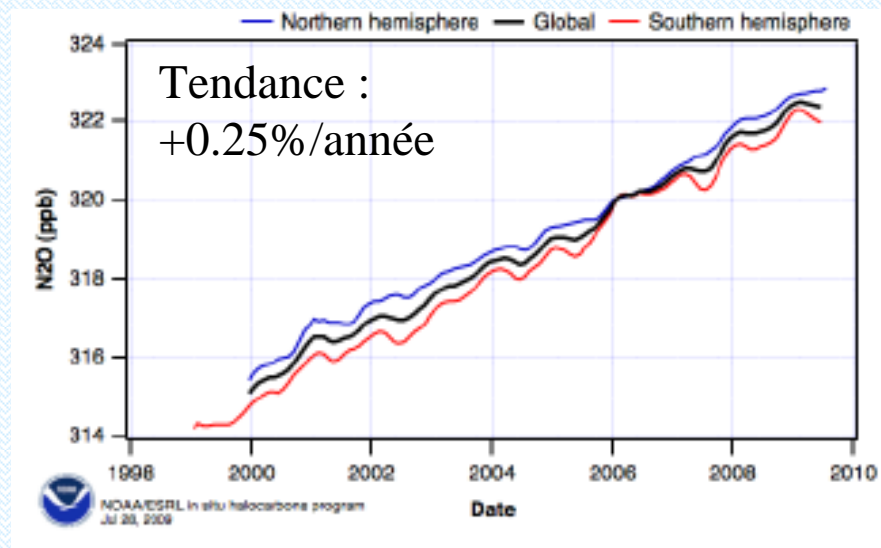
- L'O₃ au niveau global se rétablira en accord avec les futurs décroissances des ODS, mais atteindra le niveau de 1980 plus tôt que 2050
 - rétablissement à moyenne latitude: 2015-2030 dans HN; 2030-2040 dans HS
 - rétablissement en Antarctique: ~ 2045-2060
 - L'augmentation de l'O₃ sera accéléré dans une stratosphère haute plus froide.
- A la fin du siècle, l'O₃ aura augmenté au-delà du niveau 1980
L'UV diminuera en accord avec l'augmentation de l'O₃ mais sera également sujet aux changements de la concentration en aérosol, des nuages, du SO₂, de l'albédo de surface, ...
- Incertitudes:
 - Interactions avec changements climatiques, par ex. Intensification de la circulation Brewer-Dobson, ...
 - Émissions de CFC en provenance des 'stocks', ...
 - Autres ODS comme le N₂O ?

Prévisions : question du N₂O

A. R. Ravishankara, John S. Daniel, and Robert W. Portmann, **Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century**, SCIENCE, Vol. 326, Pages: 123-125, 2009

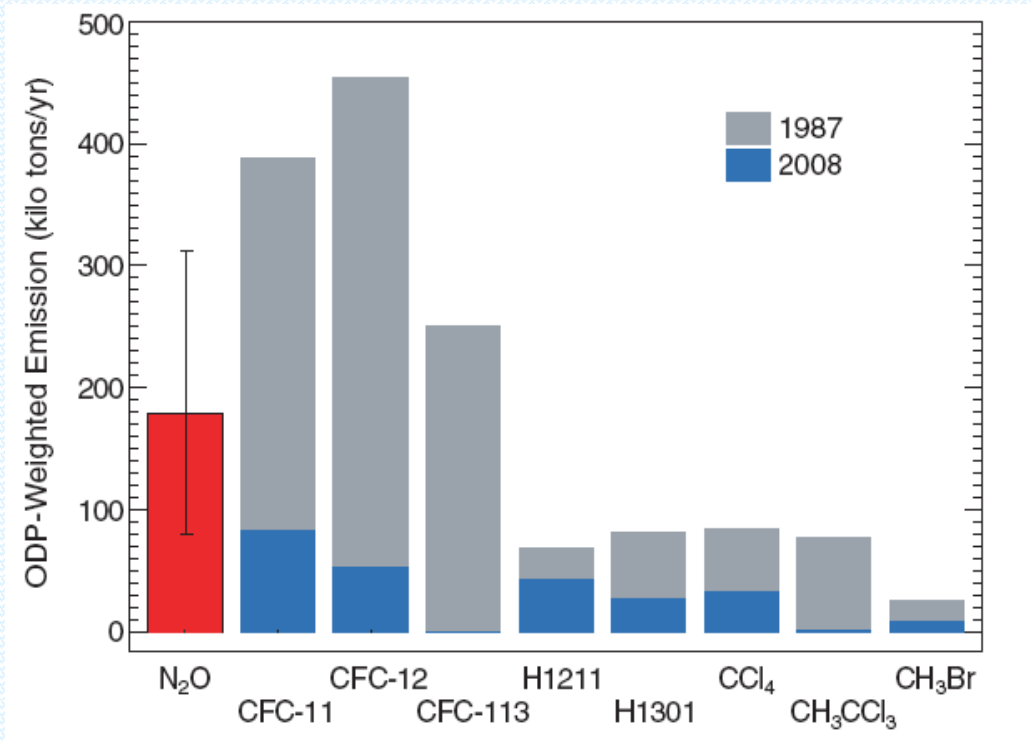
N₂O: gaz à effet de serre et source de NO_x = ODS !

- NO_x: ODP = 0.017 – même ordre de grandeur que certains HCFC
- Augmentation rapide due aux émissions anthropogéniques: fertilisation agriculture, industrie, feux



Prévisions : question du N₂O (cont'd)

Emissions pondérées par le ODP



1987: N₂O est le 4^{ème} plus important des ODS

2008: N₂O est LE plus important

et son abondance continue à augmenter !

N₂O (cont'd)

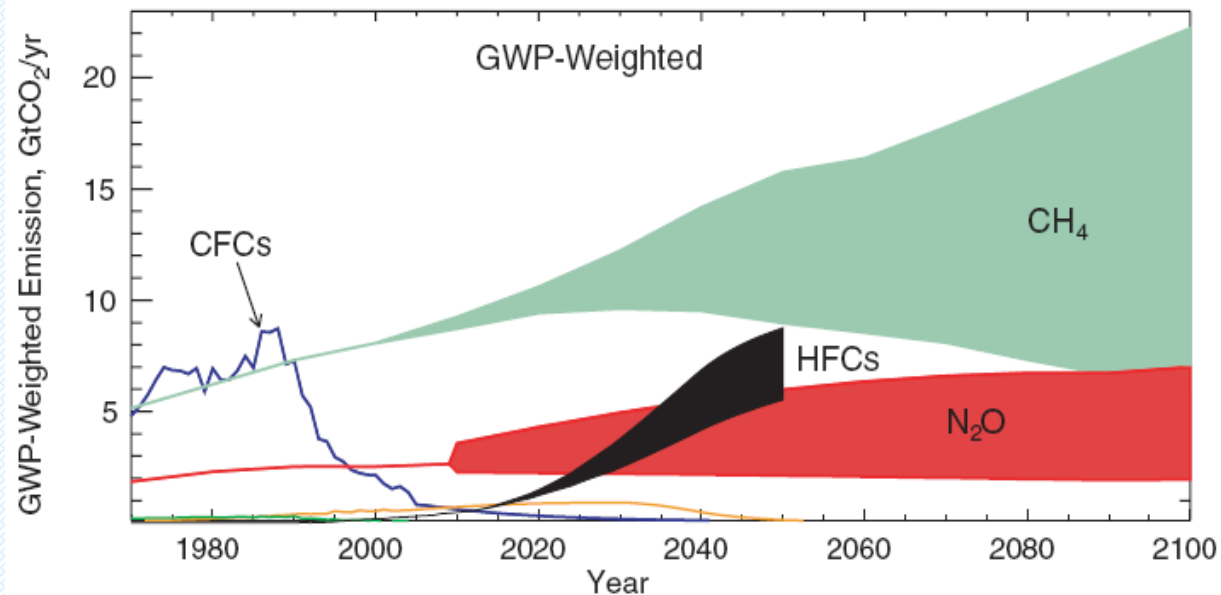
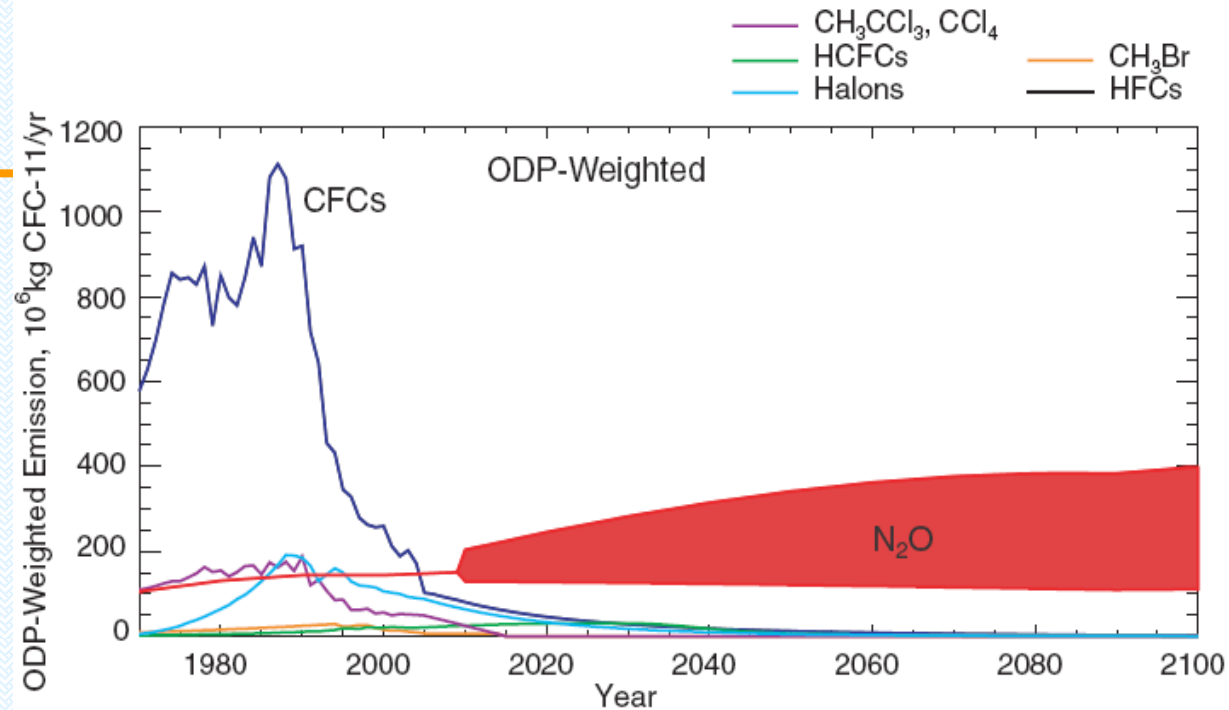
- Ozone – climat:

Réduire les émissions de N₂O serait bénéfique pour l'O₃ ET pour le climat!

Comment ?

Différentes sources – pas bien connues

Nouveau défi pour le 21^{ème} siècle!



Contributions de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique



aeronomie.be

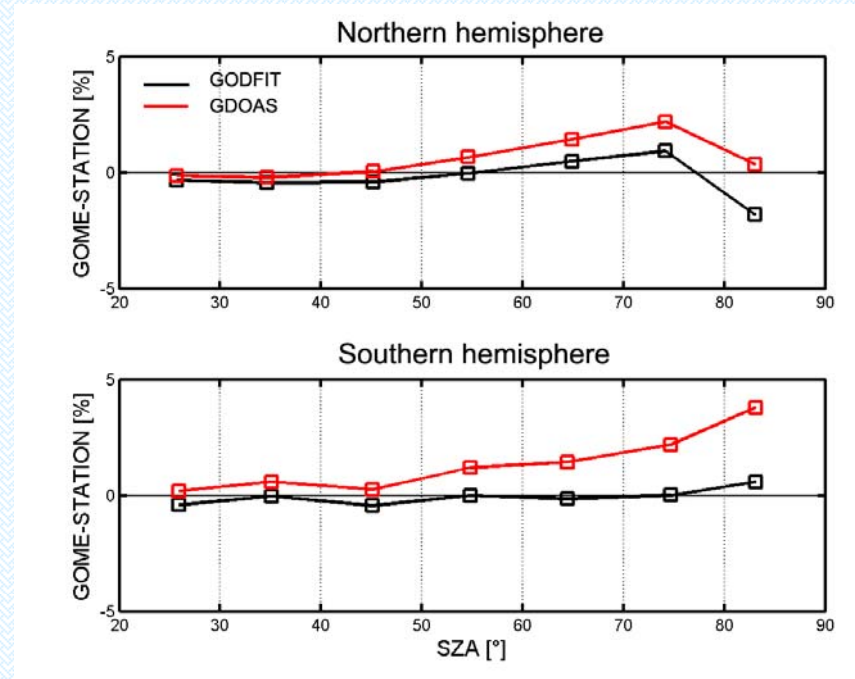


Contributions de l'IASB aux études d'O₃

- Produits d'O₃ satellite (ESA / EUMETSAT)
 - GOME ; ENVISAT (GOMOS, SCIAMACHY, MIPAS) ; GOME-2; OMI
- couvrant la période 1995 – 2010 →
- et leur validation

Exemple:

GOME minus ground-based O₃ (%)
as a function of SZA



J.C. Lambert, IASB

- Leader du projet Ozone ECV (ESA Climate Change Initiative)

ALTIUS: a Belgian satellite

ALTIUS is a limb sounder spectrometer, capable of a 1-km vertical resolution.

It consists of one or several spectral camera's (optics+AOTF+2-D imager) in the UV-Vis-NIR range.

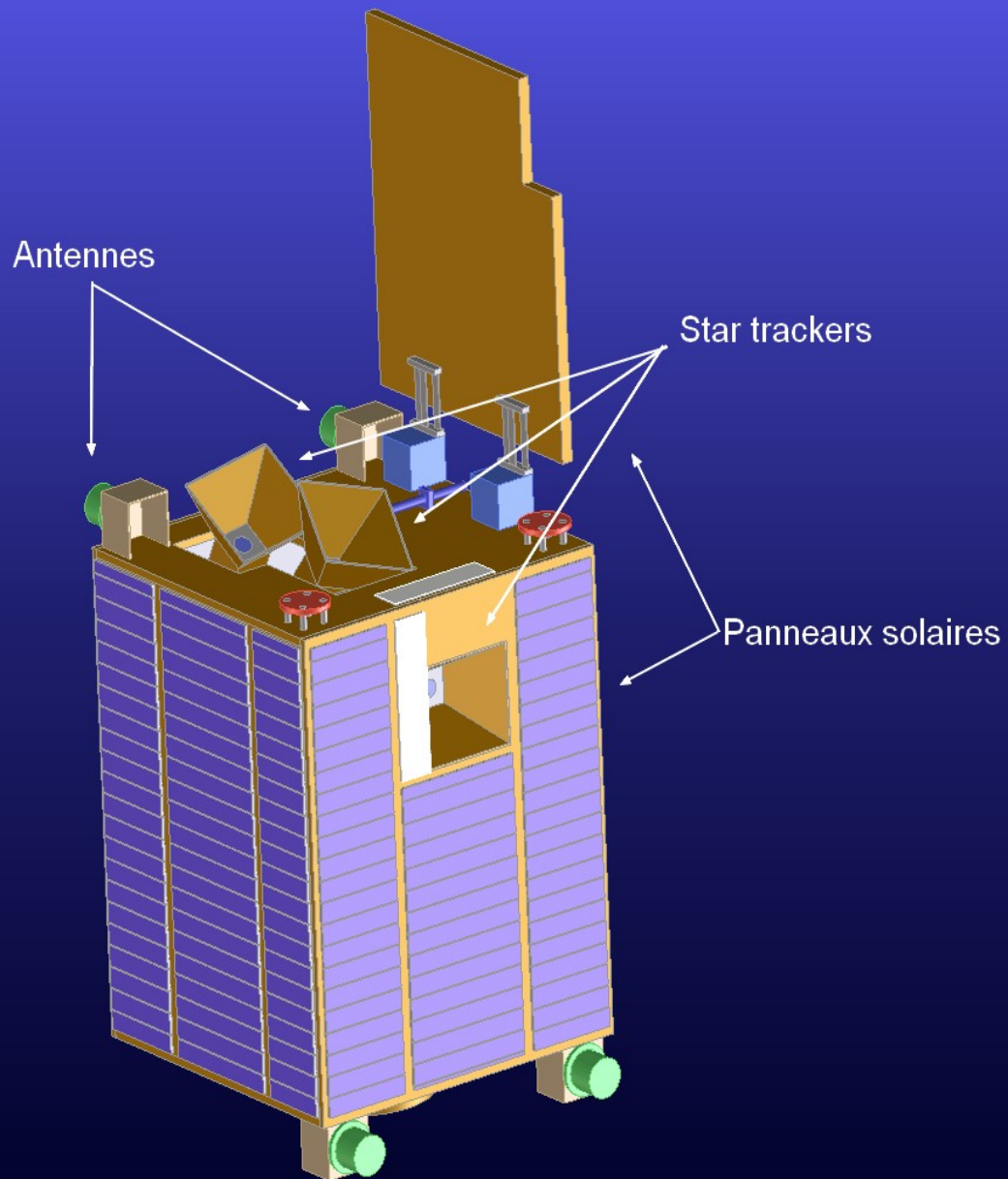
The instrument, on board a heliosynchronous micro-satellite, can be operated in different viewing modes (limb, solar occ, stellar occ) and/or scenarios by the scientific user.

It is optimized for on board signal processing (including image compression).

The main geophysical targets are stratospheric/mesospheric ozone profiles and some minor trace gases (NO_2 , H_2O , BrO, aerosols,...).

PI: D. Fussen, IASB

ALTIUS: a Belgian satellite



Contributions de l'IASB aux études d'O₃

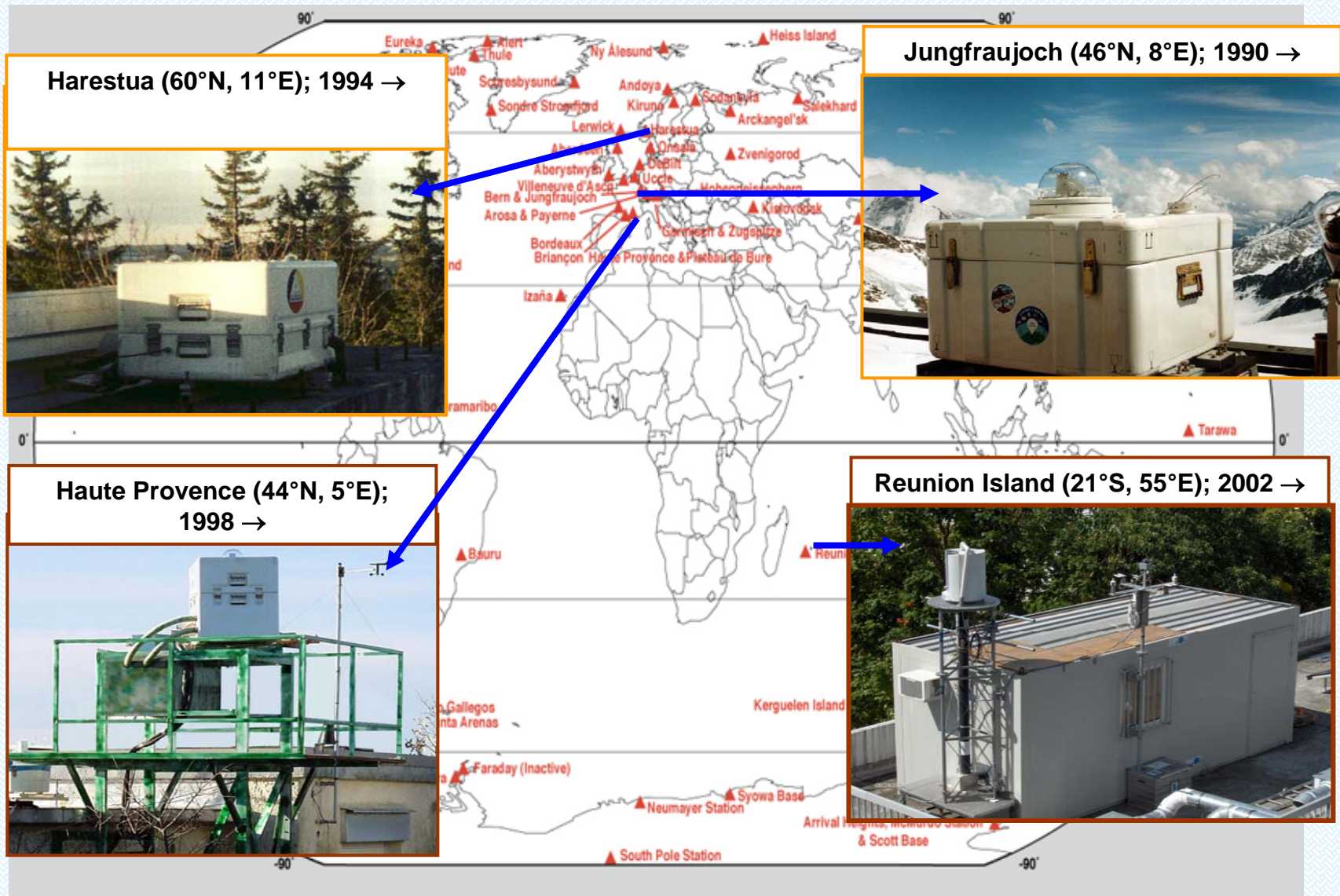
IASB et NDACC



aeronomie.be

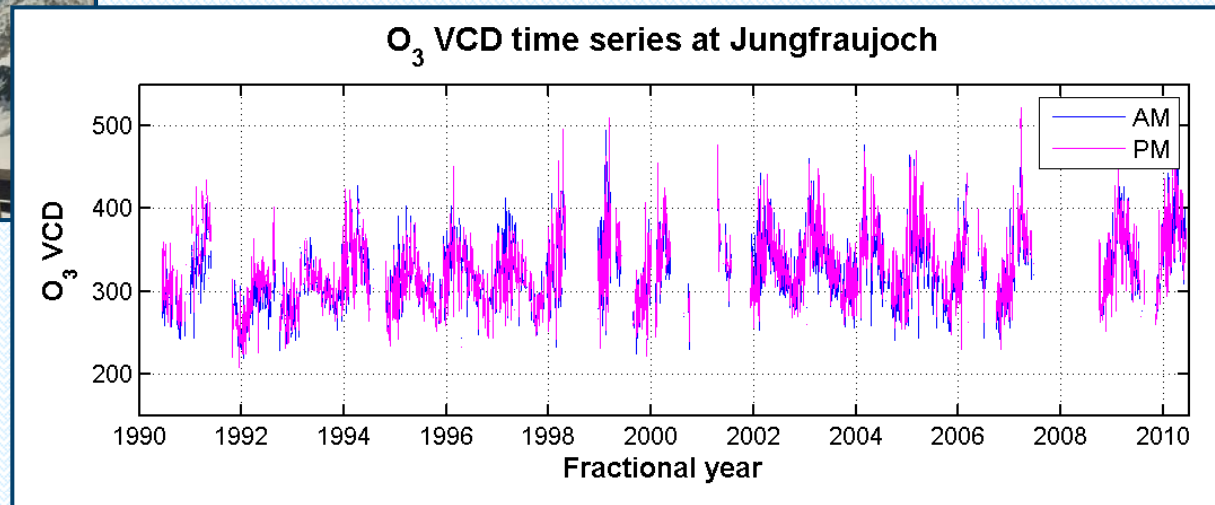


.be



IASB et NDACC

- Séries temporelles d'O₃



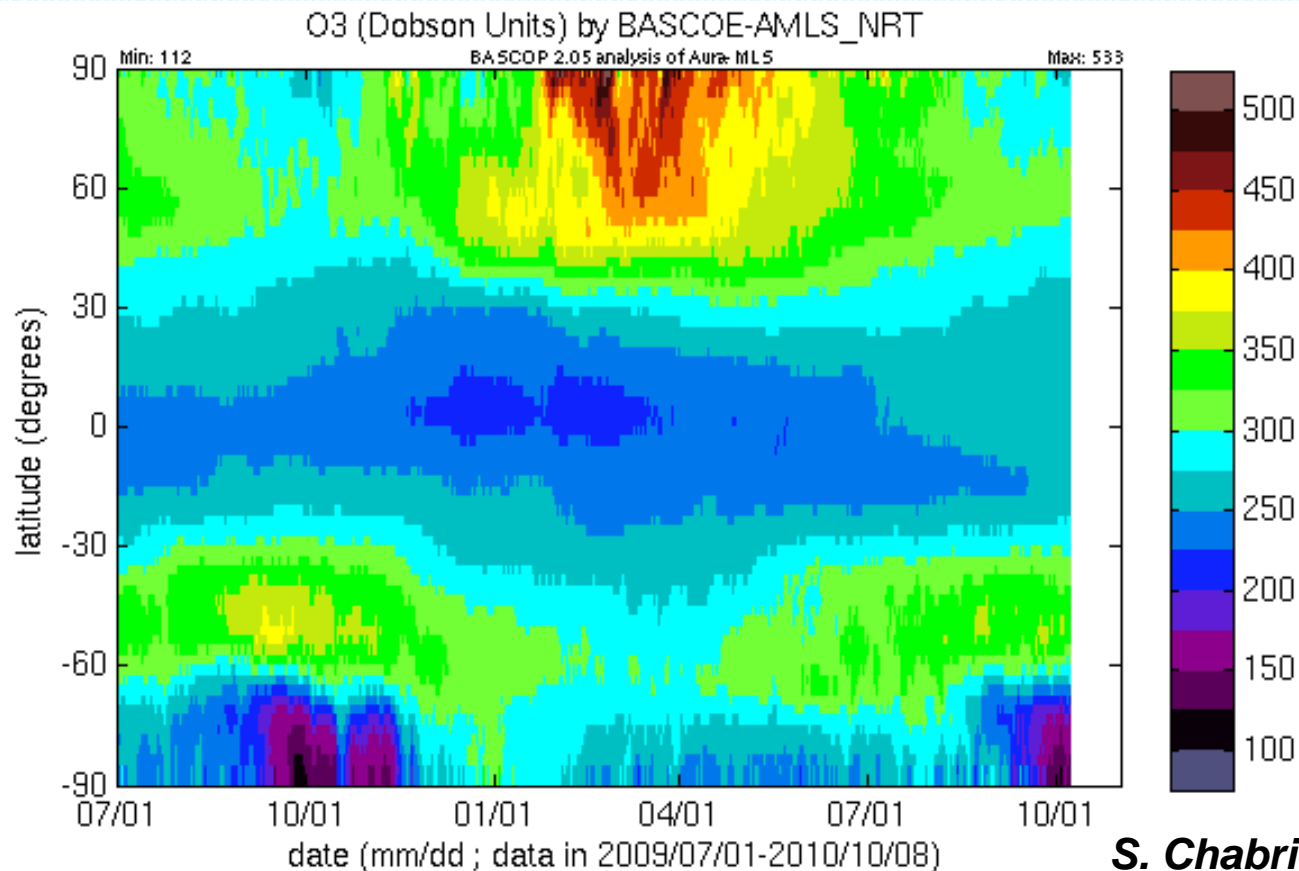
M. Van Roozendael, IASB

- Séries temporelles d'espèces chlorés et bromés et leurs tendances à long terme en colonne totale et en fonction de l'altitude

Contributions de l'IASB aux études d'O₃

- Modélisation numérique (avec assimilation de données observationnelles) de la stratosphère et du trou d'ozone, en temps quasi-réel; analyse et prévisions

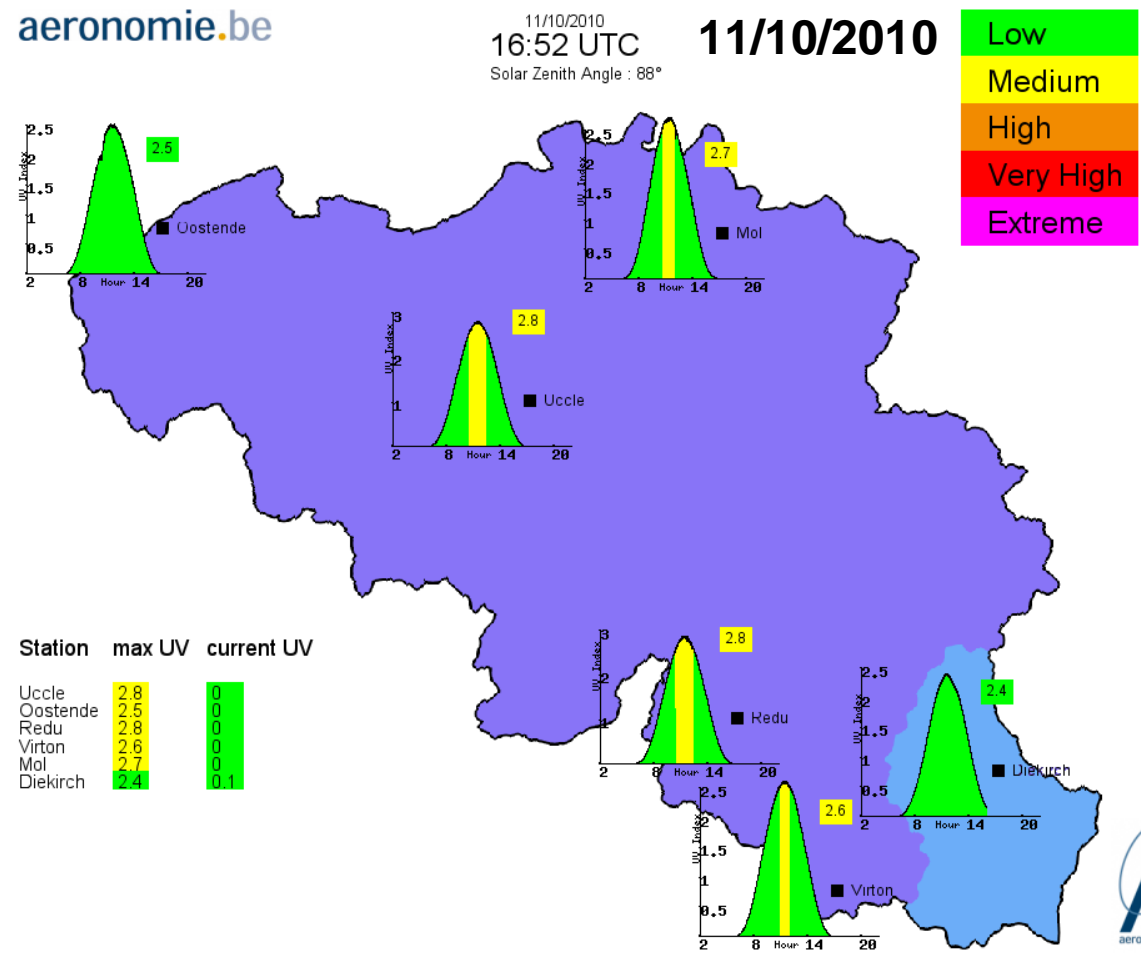
<http://macc.aeronomie.be/>



Contributions de l'IASB aux études d'O₃



- Surveillance de l'UV : UV index en temps réel: <http://www.aeronomie.be/uv/globaluv/index.php>



D. Gillotay, IASB

See also : [UV index from RMI](#)

en fr nl

Conclusions



aeronomie.be



.be

Final Conclusions

- The study of ozone and of aeronomy in general has progressed enormously in the past 50 years, especially with the advent of satellites and computer technologies.



Final Conclusions

- The signature and the further evolution of the Montreal Protocol is a success story.
 - It demonstrates the strength of a good interaction between science and policies.
 - It has a positive impact on the reduction of climate changes, although this was not targeted.
- Ozone research is not finished
 - Verify forecasted recovery; verify interaction with climate change
 - How to limit the threats of N_2O on ozone ?
 - What will happen in troposphere and mesosphere ?
 - Follow-up of Montreal Protocol and interaction with Kyoto Protocol
- Geo-engineering issues



The End



aeronomie.be



.be