

Pollution atmosphérique

Classification, ordres de grandeur

Bruno Sportisse, sportiss@cerea.enpc.fr

CEREA, Joint Laboratory Ecole des Ponts/EDF R&D
INRIA/ENPC CLIME project

2007

Plan

- 1 Composition chimique de l'atmosphère
- 2 Structure verticale de l'atmosphère
- 3 Quelques échelles de temps
- 4 Exercices

Air sec

Espèce	Symbole	Fraction molaire
Azote	N ₂	780 000 ppmv
Oxygène	O ₂	210 000 ppmv
Argon	Ar	9300 ppmv
Dioxyde de carbone	CO ₂	365 ppmv
Ozone	O ₃	1 ppbv-10 ppmv
Méthane	CH ₄	1.8 ppmv
Protoxyde d'azote	N ₂ O	314 ppbv

TAB.: Composition chimique indicative de l'air sec (2000). Pour les unités : 1 ppmv pour 10^{-6} mol mol⁻¹ et 1 ppbv pour 10^{-9} mol mol⁻¹.

Évolution

Espèce (unité)	Préindustriel (1750)	1960	1980	1990	1998
CO ₂ (ppmv)	278	315	325	352	365
CH ₄ (ppmv)	0.7	1.27	1.57	1.68	1.745
N ₂ O (ppbv)	270	300	303	310	314
CFC-11 (pptv)	0	11	173	275	268
CFC-12 (pptv)	0	33	297	468	533

TAB.: Évolution estimée de quelques espèces chimiques (prendre garde aux unités). 1 pptv pour 10^{-12} mol mol⁻¹.

Phases de la matière

« Corps »	Taille
Molécule gazeuse	0.1 nm
Aérosol « fin »	1 nm-1 μm
Aérosol « grossier »	10-20 μm
Goutte de nuage	10-50 μm
Goutte de pluie	0.1 mm

TAB.: Taille caractéristique des divers « corps » atmosphériques.

Émissions des oxydes d'azote

Source	Flux annuel
Combustion fossile	33
Feux de biomasse	7.1
Aviation	0.7
Sols	5.6
Éclairs	5
Total	51.4

TAB.: Émissions de NO_x dans la troposphère (2000), en $\text{Tg}(\text{N})\text{an}^{-1}$ (l'oxygène atomique n'est pas comptabilisé dans les émissions). Le téragramme est défini par $1 \text{ Tg} = 10^{12} \text{ g}$.

Émissions de COV

Source	Flux annuel
Combustion fossile	161
Feux de biomasse	33
Total biogénique (végétation)	377
dont isoprène (C ₅ H ₈)	220
dont monoterpène (C ₁₀ H ₁₆)	127
dont autres	30
Total	571

TAB.: Émissions de COV dans la troposphère (2000), en Tg(C) an⁻¹. Les émissions liées à la végétation sont particulièrement incertaines (d'autres estimations donnent deux fois plus d'émission).

Spéciation des COV

Composé	Automobile	Évaporation (essence)	Solvants	Chauffage (gaz)
éthylène	16.4			
toluène	16	2.8	53.3	8.5
méta-para-xylène	9.4	1.1	12.2	
isopentane	8.1	26.3		
benzène	6.9	1.5	0.1	15.3
propène	6.8			
acétylène	6.5			
1,2,4-TMB	4.1		4.8	
ortho-xylène	3.7		8.1	
éthylbenzène	3.2		4.2	
1,3-butadiène	2.5			
éthane	1.9			
n-pentane	1.8	8.6		23.7
n-butane	1.8	35.8		33.9
1-butène	1.6			
1,3,5-TMB	1.2		1.9	
1,2,3-TMB	1.			
n-heptane	0.9		1.6	
trans-2-pentène	0.8			
trans-2-butène	0.8	1.3		
isobutane	0.7	12.3		
isooctane	0.6			
1-pentène	0.6			
cis-2-butène	0.6			
n-hexane	0.6	1.8	12.6	3.4
n-octane	0.5		1.3	
cis-2-pentène	0.5			
isoprène	0.4			
propane	0.1	3.4		15.3
1-hexène	0.1			

TAB.: Spéciation standard (en % de la fraction massique) des COV en fonction des secteurs émetteurs. TMB désigne le triméthylbenzène. La contribution la plus importante par secteur est encadrée.

Plan

- 1 Composition chimique de l'atmosphère
- 2 Structure verticale de l'atmosphère**
- 3 Quelques échelles de temps
- 4 Exercices

Profil vertical de température

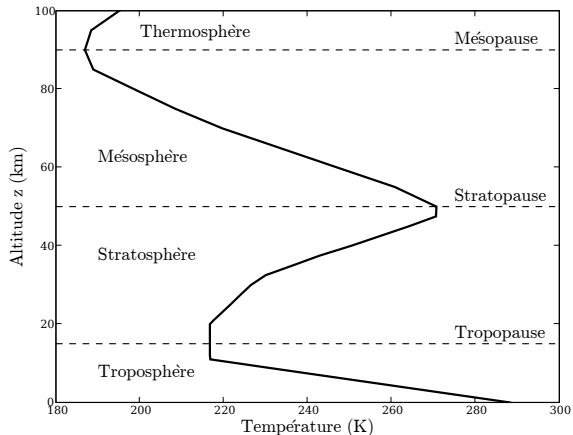


FIG.: Profil vertical de température (atmosphère standard USA 1976).

Profil vertical de pression

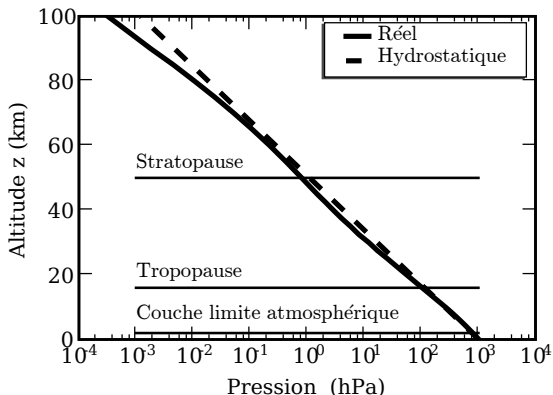


FIG.: Profil vertical de pression (atmosphère standard USA 1976) *versus* profil hydrostatique (calculé avec une hauteur d'échelle $H = 7.3$ km).

Profil vertical de quelques espèces

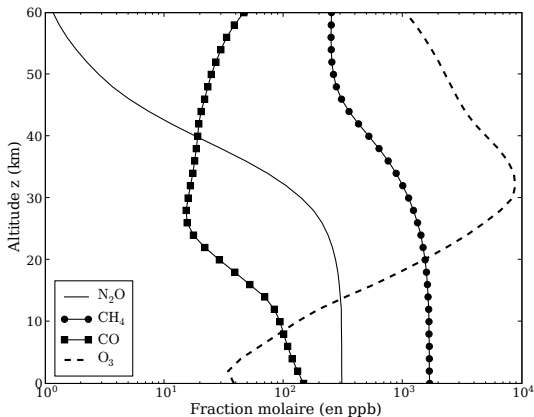


FIG.: Distribution verticale typique de quelques espèces (fraction molaire en ppb), 30° nord, mois de mars.

Plan

- 1 Composition chimique de l'atmosphère
- 2 Structure verticale de l'atmosphère
- 3 Quelques échelles de temps**
- 4 Exercices

Temps caractéristiques

Transport	Temps caractéristique
Continental	1 semaine
Intercontinental	2 semaines
Hémisphérique	1 mois
Inter-hémisphérique	1 année
Couche limite atmosphérique	1 heure - 1 journée
Troposphère libre ($\simeq 5000$ m)	1 semaine
Troposphère	1 mois
Échange troposphère vers stratosphère	de 5 à 10 ans
Échange stratosphère vers troposphère	de 1 à 2 ans

TAB.: Temps caractéristiques du transport atmosphérique.

Temps de vie des CFC

Espèce	Symbole chimique	Temps de vie (an)
CFC 11	CCl_3F	45
CFC 113	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	85
CFC 12	CCl_2F_2	100
CFC 114	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	300
CFC 13	CClF_3	640
CFC 115	CF_3CClF_2	1700

TAB.: Temps de vie de quelques CFC.

Temps de vie des principales espèces chimiques

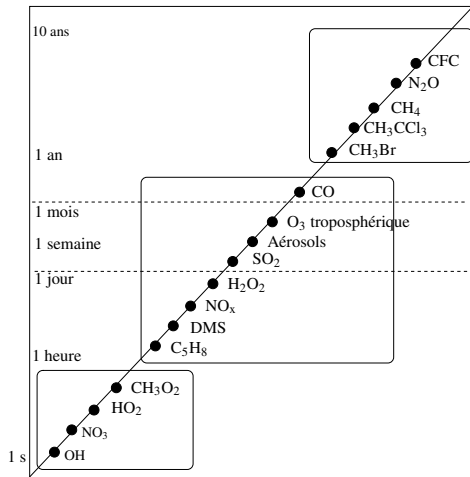


FIG.: Temps de résidence des principales espèces atmosphériques.

Plan

- 1 Composition chimique de l'atmosphère
- 2 Structure verticale de l'atmosphère
- 3 Quelques échelles de temps
- 4 Exercices

Échange interhémisphérique et krypton

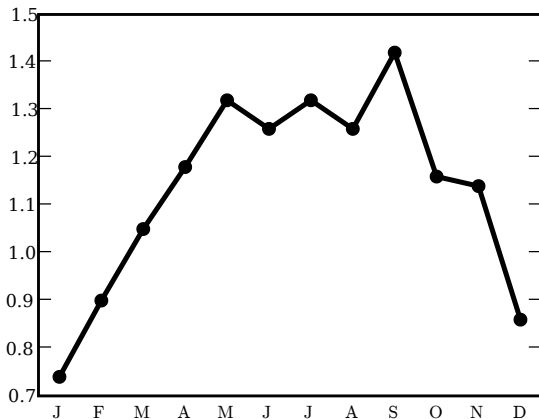


FIG.: Évolution du temps d'échange interhémisphérique (en année) au cours de l'année (avec le krypton comme traceur, année 1987).

Échange tropo/strato et strontium

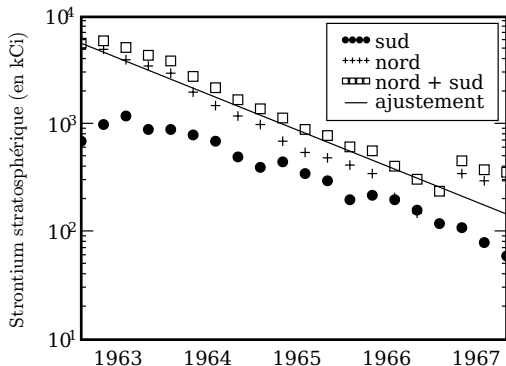


FIG.: Évolution de la concentration de strontium dans la stratosphère (hémisphères nord et sud), mesurée en kilocivert ($1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$). La droite d'ajustement est tracée avec une pente de temps caractéristique 1.3 année.

Protocole de Montréal : CFC-11 et CFC-12

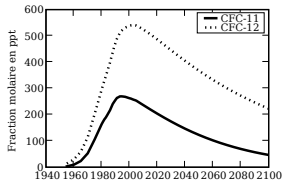


FIG. : Évolution des fractions molaires de CFC-11 et de CFC-12 (en ppt) de 1955 à 2100. Jusqu'en 2005, les fractions molaires sont estimées à partir d'observations.

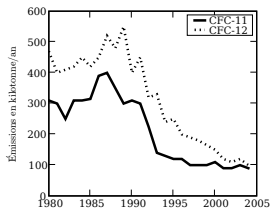


FIG. : Évolution de 1980 à 2004 des émissions (en kilotonne an^{-1}) de CFC-11 et de CFC-12.