

INSTITUT DE FRANCE



ACADÉMIE DES SCIENCES

L'ozone stratosphérique



Rapport n°41

JUIN 1998

ACADÉMIE DES SCIENCES

lavoisier
TEC
DOC

Table des matières

CHAPITRE I

Introduction	1
---------------------------	---

CHAPITRE II

Les mécanismes	9
-----------------------------	---

II.1 Atmosphère terrestre	9
--	---

II.1.1 Structure verticale de l'atmosphère	10
--	----

II.1.2 L'ozone atmosphérique	12
------------------------------------	----

II.1.3 Les processus de mélange verticaux dans l'atmosphère	14
---	----

II.1.4 Les processus de mélange horizontaux	16
---	----

II.1.5 Le rayonnement dans l'atmosphère terrestre	18
---	----

II.1.6 Les cycles des constituants atmosphériques	22
---	----

II.2 Origine des constituants stratosphériques	26
---	----

II.2.1 Le méthane	27
-------------------------	----

II.2.2 L'hémioxyde d'azote et les oxydes d'azote	29
--	----

II.2.3 Les hydrocarbures halogénés	30
--	----

II.2.4 La vapeur d'eau dans la stratosphère	34
---	----

II.2.5 Les composés soufrés et l'aérosol stratosphérique	35
--	----

II.3 Équilibre chimique de l'ozone dans la stratosphère à l'échelle globale	36
--	----

II.3.1 Équilibres des constituants stratosphériques	37
---	----

II.3.2 Mécanismes de production de l'ozone	40
--	----

II.3.3 Les cycles catalytiques de destruction de l'ozone	41
--	----

II.3.4 Les processus hétérogènes dans la basse stratosphère : impact sur les cycles catalytiques	45
--	----

II.3.5 D'autres processus affectent-ils l'équilibre chimique de l'ozone ?	47
---	----

II.3.6 Les constantes de temps chimiques de l'ozone	48
---	----

II.4 Dynamique de la stratosphère et redistribution de l'ozone	50
---	----

II.4.1 Circulation méridienne à grande échelle	50
--	----

II.4.2 Circulation d'échelle moyenne et synoptique	51
--	----

II.4.3 Échanges stratosphère-troposphère	52
--	----

II.4.4 Les vortex polaires	53
----------------------------------	----

II.4.5 Conclusion : la variabilité dynamique de la stratosphère	54
---	----

II.5	Processus chimiques et dynamiques dans les régions polaires	56
II.5.1	Les nuages stratosphériques polaires	56
II.5.2	Chimie hétérogène en régions polaires	60
II.5.3	Cycles catalytiques de destruction de l'ozone dans les régions polaires	60
II.5.4	Mécanisme d'interruption de la destruction de l'ozone	61
II.5.5	Bilan de la destruction de l'ozone	63
II.5.6	Les incertitudes sur les mécanismes de destruction de l'ozone dans les régions polaires	63

CHAPITRE III

Les outils.....	65
III.1 Les mesures en laboratoire	65
III.1.1 Vitesses de réaction : définitions.....	66
III.1.2 Méthodes expérimentales	68
III.2.3 Données de laboratoire : progrès récents et incertitudes	71
III.2 Les observations	72
III.2.1 La vision globale : satellites et réseaux d'observations au sol.....	73
III.2.2 L'approche mécanistique : campagnes d'observations de terrain.....	80
III.3 Les modèles.....	82
III.3.1 Description générale des modèles de chimie-transport.....	83
III.3.2 Les différents types de modèles	85
III.3.3 Le problème du déficit d'ozone dans la haute stratosphère	91
III.3.4 Conclusion.....	93

CHAPITRE IV

L'évolution de la couche d'ozone.....	95
IV.1 L'Antarctique.....	97
IV.1.1 Un phénomène récent.....	97
IV.1.2 Le mécanisme : découverte de la chimie hétérogène et implication des CFC	99
IV.1.3 Évolution au cours des années 1990-1996	101
IV.1.4 Conséquences à l'échelle hémisphérique	103
IV.1.5 Évolution prévisible	104
IV.2 L'Arctique	106
IV.2.1 Différences entre l'Arctique et l'Antarctique.....	107
IV.2.2 Variabilité interannuelle	108
IV.2.3 La destruction de l'ozone en Arctique au cours des années récentes.....	112
IV.2.4 Évolution ultérieure et incertitudes	114
IV.3 Perturbations dues aux éruptions volcaniques majeures.....	118
IV.4 Aspects globaux et tendances à long terme	122
IV.4.1 Tendances à long terme de la colonne d'ozone.....	123
IV.4.2 Tendances à long terme de la distribution verticale d'ozone	124
IV.4.3 Les perturbations d'origine volcanique.....	126
IV.5 Conclusion	127

CHAPITRE V

Limitations des émissions et mesures réglementaires

V.1	Généralités sur le développement des cfc et de leurs substituts	132
V.1.1	Évolution de la réglementation concernant les CFC	132
V.1.2	Conséquence des réglementations sur la production des CFC et de leurs substituts	136
V.1.3	Conséquences des réglementations sur les concentrations atmosphériques des composés chlorés	137
V.1.4	Quantification de l'effet des composés halogénés sur la couche d'ozone	140
V.1.5	Projection des teneurs en chlore dans l'atmosphère	147
V.1.6	Contribution des composés de substitution à l'effet de serre additionnel	149
V.1.7	Processus de dégradation atmosphérique des HCFC et des HFC	152
V.1.8	Composés contenant du brome	157
V.1.9	L'acide trifluoroacétique	160
V.1.10	Toxicologie des produits de substitution aux CFC	162
V.1.11	Approche globale du problème de la substitution des CFC	163
V.2	Impact de la flotte aérienne sur la couche d'ozone stratosphérique	165
V.2.1	Mécanismes chimiques dans la haute troposphère et la basse stratosphère	166
V.2.2	Distribution des oxydes d'azote dans la haute troposphère et la basse stratosphère	167
V.2.3	Perturbations des concentrations d'ozone liées aux émissions de la flotte aérienne	171
V.2.4	Impact des émissions des systèmes propulsés par fusée	174
V.3	Conclusion	174

CHAPITRE VI

Conséquences de l'évolution de l'ozone stratosphérique sur le rayonnement

VI.1	Impact des changements d'ozone sur le forçage radiatif et le climat	177
VI.1.1	Le concept de forçage radiatif	177
VI.1.2	Impact des variations d'ozone sur le climat	178
VI.1.3	Impact des changements récents d'ozone sur le forçage radiatif	180
VI.1.4	Impact de la diminution de l'ozone stratosphérique sur les autres gaz à effet de serre	181
VI.2	Évolution de la température stratosphérique	182
VI.2.1	Tendances à long terme de la température stratosphérique	183
VI.2.2	Interprétation des tendances	183
VI.2.3	Impact des éruptions volcaniques	184
VI.3	Rayonnement ultraviolet à la surface	184
VI.3.1	Influences anthropiques sur le rayonnement UV à la surface	184
VI.4	Données quantitatives nécessaires à l'évaluation globale des effets biologiques du rayonnement solaire	193
VI.4.1	Expression quantitative des effets biologiques du rayonnement ultraviolet solaire	195

VI.4.2	Quantification des effets du rayonnement UV solaire sur les micro-organismes et le plancton : l'évolution de la dose ADN.....	197
VI.4.3	Quantification des effets du rayonnement UV solaire sur l'homme : la dose érythémale et cancérigène	201
VI.4.4	Effet du rayonnement UV solaire sur les végétaux.....	205

CHAPITRE VII

Conséquences de l'évolution de l'ozone stratosphérique : l'homme et la biosphère	207
VII.1 Irradiation ultraviolette et santé humaine.....	207
VII.1.1 Principes généraux	208
VII.1.2 Effets des UV-B au niveau moléculaire	209
VII.1.3 Effets des UV-B au niveau cellulaire	211
VII.1.4 Effets des UV-B sur les organes humains	213
VII.1.5 Conclusions	217
VII.2 Action des UV sur les végétaux.....	218
VII.2.1 Les mécanismes d'action des UV-B sur les végétaux.....	218
VII.2.2 Mécanismes de protection	219
VII.2.3 Effets des UV-B sur les végétaux terrestres.....	221
VII.2.4 Effets des UV-B sur les organismes photosynthétiques aquatiques	223
VII.2.5 Conclusion.....	226

CHAPITRE VIII

Conclusions et recommandations	227
VIII.1 Les faits scientifiquement établis.....	228
VIII.2 Les incertitudes	231
VIII.3 Recommandations dans le domaine des recherches	233
VIII.4 Conclusion générale	235

CHAPITRE IX

Conclusions and recommendations.....	237
IX.1 Scientific facts.....	238
IX.2 The uncertainties.....	241
IX.3 Recommendations for research	243
IX.4 General conclusions	244

Annexe 1

Composition du groupe de travail	247
--	-----

Références	249
-------------------------	------------