



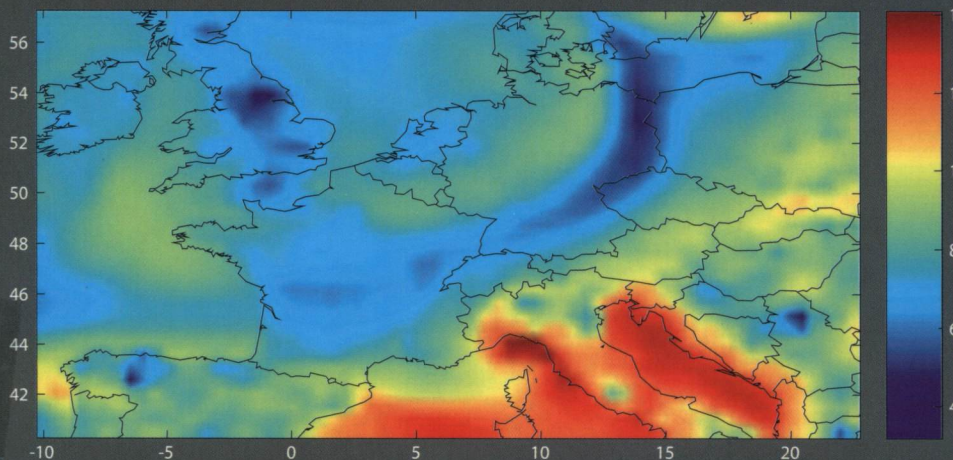
Ingénierie

et développement durable

Bruno Sportisse

Pollution atmosphérique

Des processus à la modélisation



Sommaire

Sommaire	vii
Remerciements	1
Introduction	3
1 Éléments de classifications et ordres de grandeur	23
1.1 Composition chimique de l'atmosphère	23
1.1.1 Espèces traces	23
1.1.2 Phases de la matière	27
1.1.3 Les principales espèces considérées	27
1.1.4 Espèces primaires, espèces secondaires	28
1.2 Structure verticale de l'atmosphère	29
1.2.1 Couches de l'atmosphère	29
1.2.2 Pression atmosphérique	31
1.2.3 Distribution verticale des espèces	34
1.3 Quelques échelles de temps	38
1.3.1 Temps de transport	38
1.3.2 Temps de résidence d'une espèce chimique	40
2 Interaction matière/rayonnement	53
2.1 Notions de transfert radiatif	54
2.1.1 Définitions	54
2.1.2 Transitions admises	57
2.1.3 Émissions	58
2.1.4 Absorption	61
2.1.5 Diffusion	64
2.1.6 Équation du transfert radiatif	69
2.1.7 Compléments pour une particule	70
2.1.8 Albédo	71
2.2 Applications à l'atmosphère terrestre	73
2.2.1 Rayonnement solaire et rayonnement terrestre	73
2.2.2 Bilan radiatif du système Terre/atmosphère	79
2.2.3 Effet de serre	82

2.2.4	Aérosols, nuages et effet de serre	90
2.2.5	Pollution atmosphérique et visibilité	98
3	Quelques éléments sur la couche limite atmosphérique	109
3.1	Notion d'échelles en météorologie	111
3.2	Couche limite atmosphérique	112
3.2.1	Généralités	112
3.2.2	Classification	113
3.3	Stratification thermique et stabilité	116
3.3.1	Quelques notions bien utiles	116
3.3.2	Stabilité atmosphérique	117
3.3.3	Cas d'une atmosphère humide	120
3.3.4	Évolution de la stabilité au cours d'une journée	122
3.4	Description de la turbulence dans la CLA	124
3.4.1	Turbulence dans la CLA	124
3.4.2	Dispersion des échelles	126
3.4.3	Énergie cinétique turbulente	127
3.4.4	Hauteur de mélange et indicateurs de la turbulence	129
3.5	Éléments de dynamique atmosphérique	132
3.5.1	Rappel sur les équations de la dynamique	132
3.5.2	Écoulement dans la CLA	136
3.6	Quelques éléments sur le climat urbain	145
3.6.1	Forçage thermique et brise urbaine	146
3.6.2	Bilan énergétique	147
3.6.3	Îlot de chaleur urbain	148
3.6.4	Couche limite urbaine	149
4	Notions de chimie atmosphérique	155
4.1	Quelques caractéristiques de la chimie atmosphérique	157
4.1.1	Rappels de cinétique chimique	157
4.1.2	Réactions photochimiques	160
4.1.3	L'atmosphère, un milieu oxydant	165
4.1.4	Temps de vie chimique d'une espèce	167
4.1.5	Domaines de validité des mécanismes chimiques	172
4.2	Chimie stratosphérique de l'ozone	175
4.2.1	Destruction et production de l'ozone stratosphérique	175
4.2.2	Destruction d'ozone catalysée par les composés bromés et chlorés	178
4.2.3	Trou d'ozone polaire	180
4.3	Chimie troposphérique de l'ozone	184
4.3.1	Quelques notions élémentaires de combustion	184
4.3.2	Équilibre photostationnaire de l'ozone troposphérique	187
4.3.3	Chaînes d'oxydation des COV	189
4.3.4	Régimes chimiques : NO _x limité/COV limité	191

4.3.5	Évaluation des stratégies de réduction des précurseurs de l'ozone	193
4.3.6	Un exemple de pollution photochimique : la région Île-de-France	197
4.3.7	Le rôle du transport transcontinental	198
4.4	Une brève introduction à la qualité de l'air intérieur	199
5	Aérosols, nuages et pluies	207
5.1	Aérosols et particules	208
5.1.1	Généralités	208
5.1.2	Temps de résidence et distribution verticale	215
5.1.3	Dynamique des aérosols	217
5.1.4	Principales paramétrisations utilisées	223
5.2	Aérosols et nuages	233
5.2.1	Généralités	233
5.2.2	Pression de vapeur saturante de l'eau, humidité relative, point de rosée	235
5.2.3	Noyaux de condensation	236
5.2.4	Transfert de masse entre la phase gazeuse et les gouttes de nuage	241
5.3	Pluies acides et lessivage	245
5.3.1	Pluies acides	245
5.3.2	Lessivage	251
6	Vers la simulation numérique	265
6.1	Équation de dispersion réactive	266
6.1.1	Hypothèse de dilution et couplage <i>off line</i>	266
6.1.2	Équations d'advection-diffusion-réaction	267
6.1.3	Modèles moyens et schémas de fermeture	269
6.1.4	Conditions aux limites	273
6.1.5	Une hiérarchie de modèles	274
6.2	Méthodes numériques pour les modèles de chimie-transport	281
6.2.1	Méthodes de séparation d'opérateurs	281
6.2.2	Résolution des équations de la cinétique chimique	285
6.2.3	Schémas d'advection	291
6.3	Résolution numérique de l'équation générale de la dynamique des aérosols (GDE)	297
6.3.1	Représentations de la distribution en taille	298
6.3.2	Coagulation	300
6.3.3	Condensation/évaporation	301
6.4	Chaînes modernes de simulation	302
6.4.1	Simulation directe	302
6.4.2	Incertitudes	303
6.4.3	Méthodes avancées	303
6.4.4	Comparaison aux données et validation	313