

Table des matières

Préface	xi
Avant-propos	xiii
Introduction	1
1 Le système climatique : l'atmosphère et l'océan	5
1.1 La Terre, planète chauffée par le Soleil	5
1.2 L'atmosphère	8
1.2.1 Gradient de température et stabilité verticale de l'atmosphère	10
1.2.2 La convection	11
1.2.3 La subsidence	13
1.2.4 Les vents	13
1.3 L'océan	19
1.3.1 La circulation océanique de surface	20
1.3.2 La circulation océanique profonde : circulation thermohaline	21
1.4 Échanges atmosphère océan	23
1.5 Conclusion	24
2 Les acteurs du climat et leurs interactions	27
2.1 Le cycle de l'eau	27
2.2 Le cycle du carbone	30
2.2.1 Les océans et le cycle du carbone	31
2.2.2 La partie continentale du cycle du carbone	33
2.3 L'effet de serre	36
2.4 Les nuages	45
2.5 Les aérosols	47
2.5.1 Effet direct des aérosols	48

2.5.2	Effet indirect des aérosols	50
2.5.3	Effet global	50
2.6	Rôle de l'océan dans la machine climatique	51
2.7	Interactions cryosphère-climat	53
2.8	Interactions biosphère continentale - climat	56
2.9	Interactions du climat avec les continents et la lithosphère	58
2.10	Les échanges de matière et les temps caractéristiques des processus climatiques	60
2.11	Forçages, rétroactions et sensibilité climatique	61
2.12	Conclusion	62
3	Diversité des climats et variabilité à grande échelle	65
3.1	La diversité des climats	65
3.1.1	Le rôle du soleil	65
3.1.2	La diversité géographique des climats	68
3.1.3	La variabilité météorologique	69
3.2	Les modes de variabilité : oscillations océan-atmosphère	69
3.2.1	El Niño – La Niña	71
3.2.2	L'oscillation nord-atlantique (NAO, <i>North Atlantic Oscillation</i>)	73
3.2.3	Autres exemples d'oscillations	75
3.3	Conclusion	76
4	La modélisation du climat	77
4.1	Une évolution rapide des modèles de climat	78
4.2	Les fondements des modèles de climat	81
4.2.1	Grilles et résolution	83
4.2.2	Les paramétrisations physiques	87
4.2.3	Les autres composantes des modèles de climat	89
4.2.4	Le couplage entre les composantes	91
4.3	L'ajustement des modèles	92
4.3.1	Les différents types de simulations	93
4.3.2	Les ensembles multi-modèles	96
4.3.3	L'évaluation des modèles	98
4.4	Les modèles de complexité intermédiaire	104
4.5	Les modèles régionaux	104
4.6	Conclusion	106

5	Le réchauffement	107
5.1	Les températures mesurées depuis 1880	107
5.2	Des témoins du réchauffement dans l'environnement	113
5.2.1	Les températures extrêmes	113
5.2.2	Fonte de la banquise et des glaciers	113
5.2.3	Phénologie des êtres vivants	116
5.3	Qu'est-ce qui peut faire changer le climat ?	119
5.3.1	Les changements globaux	120
5.3.2	Les changements régionaux	120
5.3.3	Le court terme	121
5.4	Conclusion	122
6	Les perturbations du climat, facteurs anthropiques et naturels	123
6.1	Le dioxyde de carbone CO ₂	123
6.1.1	L'accumulation du CO ₂ dans l'atmosphère	124
6.1.2	L'origine anthropique du CO ₂ ajouté à l'atmosphère	126
6.1.3	Les puits naturels de CO ₂	126
6.2	Autres gaz à effet de serre	128
6.2.1	La vapeur d'eau	128
6.2.2	Le méthane CH ₄	128
6.2.3	L'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote N ₂ O	130
6.2.4	Les gaz industriels : CFC, HCFC, SF ₆	130
6.2.5	La contribution indirecte de gaz réactifs	132
6.3	La part des divers gaz à l'effet de serre additionnel	133
6.4	Le changement d'usage des sols	135
6.5	Les autres causes possibles de perturbation du climat	137
6.5.1	Les aérosols	137
6.5.2	Trainées des avions à réaction	138
6.5.3	Les volcans	138
6.5.4	La contribution du soleil	140
6.6	Effet combiné des différentes perturbations	140
6.7	Détection et attribution des perturbations anthropiques sur le climat récent	141
6.7.1	Simulations avec des ensembles de modèles	142
6.7.2	Détection/attribution des différents facteurs en jeu	144
6.8	Conclusion	146
7	Variations passées du climat	147
7.1	Forçages et rétroactions	148
7.1.1	Les forçages	148

7.1.2	Les rétroactions	153
7.2	Archives et proxies	154
7.2.1	Sur les continents	154
7.2.2	Dans les océans	157
7.2.3	Datation des archives climatiques	158
7.2.4	Incertitudes sur les reconstructions	158
7.3	Les derniers 60 millions d'années : de la Terre « serre » à la Terre « glaciaire »	159
7.3.1	Les glaciations du Quaternaire	161
7.3.2	Entrée en glaciation	166
7.3.3	Sortie de glaciation	168
7.3.4	La période interglaciaire actuelle : l'Holocène	169
7.4	Instabilités abruptes	171
7.4.1	Les événements de Dansgaard-Oeschger	172
7.4.2	Autres instabilités	175
7.5	Le dernier millénaire	177
7.5.1	Les facteurs de l'évolution du climat	177
7.5.2	Reconstruction de l'histoire du climat du dernier millénaire	180
7.5.3	Que nous apprend le climat du dernier millénaire ?	181
7.6	Changements climatiques en cours et futurs dans la perspective de l'évolution passée du climat	187
7.7	Conclusion	189
8	Quel climat demain ?	195
8.1	Tester un ensemble de possibles : les trajectoires radiatives représentatives	196
8.2	Les projections climatiques	197
8.2.1	L'évolution de la température	198
8.2.2	La répartition géographique du réchauffement	199
8.3	Couplage entre le climat et le cycle du carbone	200
8.4	Incertitudes sur l'amplitude du réchauffement simulé	202
8.4.1	Réponse directe au CO ₂	202
8.4.2	Les nuages	203
8.4.3	Autres sources d'incertitudes dans les modèles	203
8.5	Incertitudes et horizon temporel	204
8.5.1	Incertitudes liées à la variabilité interne du climat	205
8.5.2	Autres sources naturelles d'incertitudes	206
8.6	Cycle hydrologique et extrêmes de précipitation	207

8.7	La fonte de la calotte glaciaire et la circulation thermohaline de l'océan	208
8.8	Traduction environnementale, études de vulnérabilité et d'impacts	210
8.8.1	Les événements extrêmes	211
8.8.2	À l'échelle régionale	212
8.9	Conclusion	215
9	Conclusion	217
	Index	219
	Des livres récents sur le climat	225
	Des sites internet qui parlent du climat	227