



Matthieu Roy-Barman
& Catherine Jeandel

LICENCE 3 & MASTER
SCIENCES DE LA TERRE
SCIENCES DE
L'ENVIRONNEMENT

Géochimie marine

Circulation océanique, cycle du carbone
et changement climatique

- Cours complet
- Exercices d'application corrigés
- Exercices d'approfondissement
et leurs solutions

Vuibert

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

Table des matières

Préface	1
Avant-propos	3
Unités	5
Introduction	9
CHAPITRE 1. Quelques bases d'océanographie descriptive et physique	15
1.1. Les dimensions de l'océan	15
1.2. Salinité, température et densité : les paramètres de base de l'océanographe	16
1.3. Structure verticale de l'océan	21
1.4. Les principales masses d'eau	23
1.5. Les courants océaniques	27
1.6. La circulation à grande échelle	44
Annexe. Le forçage atmosphérique	54
Exercices d'approfondissement	56
CHAPITRE 2. L'eau de mer : bien plus que de l'eau salée	59
2.1. Pourquoi l'eau de mer est-elle salée ?	60
2.2. Notion de traceurs conservatifs et non conservatifs	65
2.3. Le cycle des éléments nutritifs et le rôle de l'activité biologique	67
2.4. Les gaz dans l'eau de mer	72
2.5. Relations entre les différents traceurs	75
2.6. La chimie du carbone	79
2.7. Les conditions redox dans l'océan	83
2.8. Comportement des métaux en traces	86
Annexe. Composition chimique de l'eau de mer	91
Exercices d'approfondissement	94
CHAPITRE 3. Les isotopes stables	97
3.1. Qu'est-ce qu'un isotope ?	97
3.2. Les notations	99
3.3. Les différents types de fractionnements : l'exemple de l'oxygène	100
3.4. Les fractionnements des isotopes de l'oxygène	104

3.5. Les fractionnements des isotopes de l'hydrogène	108
3.6. Les fractionnements des isotopes du carbone	108
3.7. Les fractionnements des isotopes de l'azote	112
3.8. Les fractionnements des isotopes du soufre	113
3.9. Les fractionnements des isotopes du bore	114
3.10. Mélange de traceurs isotopiques	115
3.11. Évolution de la signature isotopique durant une réaction	119
Annexe. Calcul de l'évolution des signatures isotopiques durant les phénomènes de fractionnement	122
Exercices d'approfondissement	124
CHAPITRE 4. Les isotopes radioactifs et les isotopes radiogéniques	127
4.1. La radioactivité	127
4.2. La loi de désintégration radioactive	128
4.3. Les radioactivités à longues périodes	133
4.4. Les chaînes de désintégration de l'uranium et du thorium	140
4.5. Les isotopes cosmogéniques	144
4.6. Les isotopes artificiels	148
Annexe. Calcul de l'évolution des systèmes radioactifs	152
Exercices d'approfondissement	155
CHAPITRE 5. Les modèles en boîte	159
5.1. Modèle à une boîte	159
5.2. Comportement dynamique d'un réservoir	163
5.3. Modèles en boîte et traceurs isotopiques	166
5.4. Dynamique des réservoirs couplés	171
5.5. Âge moyen, temps de résidence et âge réservoir d'un traceur	173
Exercices d'approfondissement	174
CHAPITRE 6. Les modèles d'advection-diffusion	179
6.1. Une boîte infinitésimale	179
6.2. Advection	180
6.3. Diffusion moléculaire	182
6.4. Diffusion turbulente	186
6.5. L'équation de conservation complète	188
6.6. Le cas du transport dans les sédiments	195
Exercices d'approfondissement	197

CHAPITRE 7. Fonctionnement et limitations de l'activité biologique dans les eaux de surface	199
7.1. Cycles de vie dans l'océan	199
7.2. Évolution de la production biologique dans les eaux de surface	203
7.3. Estimation de la production primaire	206
7.4. Répartition globale de la photosynthèse et couleur de la mer	210
7.5. La limitation par le fer	212
7.6. La limitation par la silice	214
7.7. Une limitation par le CO_2 ?	215
7.8. La limitation de la production à long terme	216
7.9. Les effets de l'anthropisation	217
Exercices d'approfondissement	219
CHAPITRE 8. Les échanges de CO_2 entre l'océan et l'atmosphère	223
8.1. Le cycle global du carbone	223
8.2. La pression partielle en CO_2 dans l'eau de mer	224
8.3. La capacité de stockage du CO_2 par l'océan	230
8.4. Vitesse des transferts de gaz à l'interface air-mer	232
8.5. Temps d'équilibrage des gaz entre la couche mélangée et l'atmosphère	234
8.6. Observation de la perturbation anthropique dans les eaux de surface	237
8.7. Quantification globale des échanges océan-atmosphère	238
8.8. Propagation de la perturbation anthropique en profondeur	239
Exercices d'approfondissement	245
CHAPITRE 9. Le petit monde des particules marines	249
9.1. Origine et nature des particules marines	250
9.2. Prélever les particules marines	253
9.3. La répartition des particules	256
9.4. La chute des particules	258
9.5. Évolution du flux de particules avec la profondeur	261
9.6. Estimer les flux de particules	263
9.7. Le rôle des marges	270
9.8. La répartition des sédiments au fond de l'océan	272
9.9. La diagenèse	273
9.10. Les échelles de temps et les flux de sédiments	278
Exercices d'approfondissement	280

CHAPITRE 10. La circulation thermohaline	283
10.1. Le long cheminement des eaux profondes	283
10.2. La progression rapide des traceurs transitoires	288
10.3. Comparaison ^{14}C -traceurs transitoires	294
10.4. L'apport de ^{231}Pa - ^{230}Th	296
10.5. L'origine de l'AABW	299
10.6. La remontée des eaux profondes	302
10.7. Circulation thermohaline : le retour	303
Exercices d'approfondissement	304
 CHAPITRE 11. L'histoire de l'océan et l'évolution du climat	 309
11.1. L'origine de l'océan	309
11.2. Les premières traces de vie	311
11.3. L'apparition de l'oxygène	311
11.4. Le piégeage géologique du CO_2	314
11.5. La fermeture de l'isthme de Panama	317
11.6. La dernière glaciation	318
11.7. El Niño amplifié par l'activité humaine ?	325
11.8. Le climat du futur et l'océan	327
11.9. Les conséquences prévues	329
Exercices d'approfondissement	334
 Solutions des exercices d'approfondissement	 339
Références bibliographiques	345
Glossaire	354
Index	359