
Table des matières

Introduction	17
André MARIOTTI et Jean-Charles POMEROL	
Chapitre 1. L’océan dans le système Terre : évolutions et régulations	21
Philippe BERTRAND	
1.1. Le système Terre et ses composants	21
1.1.1. Un système est un regroupement dont la délimitation est arbitraire, mais pertinente	21
1.1.2. Un système s’inscrit nécessairement dans un autre	23
1.1.3. La Terre est un système « fermé »	23
1.1.4. Les composants majeurs du système Terre	26
1.1.5. Qu’est-ce que la biosphère ?	27
1.2. L’océan des origines	27
1.2.1. Un océan dès –4,4 milliards d’années ?	27
1.2.2. L’origine de l’eau terrestre (–4,5 à –4 milliards d’années)	28
1.2.3. L’océan et la sortie de phase « vénusienne » de l’histoire terrestre (entre –4,5 et –4 milliards d’années)	29
1.2.4. Pourquoi des océans sur Terre et un enfer « vénusien » sur Vénus ?	31
1.2.5. L’océan, berceau des premiers êtres vivants (entre –4,4 et –3,5 milliards d’années)	33
1.3. L’océan, l’oxygène et l’évolution des êtres vivants	35
1.3.1. Les caractères essentiels ont été sélectionnés dans l’océan avant le Cambrien, il y a donc plus de 540 millions d’années	35
1.3.2. Comment l’oxygène s’est-il accumulé ?	38
1.3.3. La première accumulation importante de l’oxygène (vers –2,5 milliards d’années)	41

1.3.4. Une augmentation modérée de l'oxygénation (entre –2,5 et 0,5 milliards d'années)	41
1.3.5. La seconde accumulation importante de l'oxygène (entre –500 et –350 millions d'années)	43
1.4. La régulation de l'effet de serre par l'océan.	44
1.4.1. Pas de vie sans un minimum d'effet de serre	44
1.4.2. La régulation de l'effet de serre par l'océan	45
1.5. La photosynthèse océanique se régule elle-même à courte échelle de temps	50
1.5.1. Quand l'océan est déficitaire en nitrate	52
1.5.2. Quand l'océan est excédentaire en nitrate.	53
1.5.3. La régulation du rapport N/P	54
1.6. Conclusion	56
1.6.1. L'océan dans le système Terre	56
1.6.2. La perturbation anthropique du système Terre	57
1.6.3. Et la vie dans tout cela ?	59
1.7. Remerciements.	61
1.8. Bibliographie.	61
Chapitre 2. L'océan et le système climatique	65
Pascale DELECLUSE	
2.1. Introduction.	65
2.2. Le changement climatique	65
2.2.1. Le constat des observations	66
2.2.2. Interprétation des changements observés	68
2.2.3. Equilibre radiatif de la Terre et gaz à effet de serre	69
2.2.4. Le rôle des gaz à effet de serre – GES.	69
2.2.5. Scénarios et projection	71
2.3. Physique et dynamique	75
2.3.1. Rotation, Coriolis, géostrophie	77
2.3.2. Un océan mû par le vent	79
2.3.3. Ekman, spirale, transport, pompage, <i>upwelling</i> et <i>downwelling</i>	79
2.3.4. Grands tourbillons et courants de bord ouest	84
2.3.5. Un océan mû par les flux thermohalins	86
2.3.6. Stratification, couche de mélange, thermocline	89
2.3.7. Formation des masses d'eau, convection, subduction.	89
2.3.8. Schématisation de la circulation globale : le grand tapis roulant	91

2.4. Quelques éléments-clés pour comprendre le rôle de l'océan dans le climat	94
2.4.1. Les temps caractéristiques	94
2.4.2. Couplage océan-atmosphère dans les tropiques	96
2.4.3. Autres modes de variabilité	100
2.4.4. Surprises climatiques	101
2.5. Quelques questions pour le futur	104
2.6. Bibliographie	106
Chapitre 3. Les interactions océan-atmosphère.	109
Laurence EYMARD et Gilles REVERDIN	
3.1. Introduction : les interactions océan-atmosphère, qu'est-ce que c'est ?	109
3.2. Du processus à l'interface au rôle dans le système couplé	110
3.2.1. Flux radiatifs	111
3.2.1.1. Le rayonnement solaire	111
3.2.1.2. Le rayonnement infrarouge	112
3.2.1.3. Le rayonnement pénétrant dans l'océan	112
3.2.2. Flux turbulents	113
3.2.2.1. Les flux : un problème de turbulence atmosphérique	114
3.2.2.2. Les flux turbulents et l'océan	117
3.2.3. L'eau, entre océan et atmosphère	118
3.2.4. Autres échanges de matière	120
3.2.4.1. Les échanges de gaz	121
3.2.4.2. Apports des précipitations	125
3.2.4.3. Dépôts solides	126
3.2.4.4. Exports de particules	126
3.2.5. Mesure des flux	126
3.2.5.1. Flux radiatifs	127
3.2.5.2. Flux turbulents	128
3.3. Des exemples d'échanges d'énergie	129
3.3.1. Cyclones tropicaux	129
3.3.2. Les fronts de température de surface	132
3.3.3. Les interactions près des forts fronts océaniques	134
3.3.4. Les zones marginales de glace et les flux air-mer associés	137
3.3.5. L'exemple d'impact d'apport de fer par les aérosols sahariens	140
3.4. Conclusion	141
3.5. Bibliographie	142

Chapitre 4. Interface continent-mer : un continuum hydrogéologique . . .	145
Nathalie DÖRFLIGER, Bertrand AUNAY et Perrine FLEURY	
4.1. Introduction.	145
4.2. Interface terre-mer : de la géologie au continuum hydrogéologique	147
4.2.1. Le continuum continent-océan	148
4.2.1.1. Le cas des bassins sédimentaires ou deltas	148
4.2.1.2. Le cas des plates-formes carbonatées	155
4.2.2. Le continuum terre-mer : le cas des îles.	161
4.3. Problématiques de la gestion des ressources en eau des aquifères côtiers	161
4.3.1. Cas des aquifères côtiers de bassins sédimentaires	166
4.3.2. Cas des aquifères karstiques côtiers	169
4.3.3. Cas des aquifères côtiers insulaires volcaniques	173
4.4. Conclusion et perspectives	173
4.5. Bibliographie	173
Chapitre 5. Les éléments chimiques et isotopes, traceurs des échanges terre-mer	181
Catherine JEANDEL, Pieter VAN BEEK et François LACAN	
5.1. Introduction.	181
5.1.1. La géochimie marine et la notion de traceur	182
5.2. Décharges d'eau souterraines en mer et détermination de « l'âge des eaux côtières » : les isotopes du Ra.	184
5.2.1. Isotopes du Ra, comment ça marche ?	184
5.2.2. Les décharges d'eau souterraines.	185
5.2.3. Age des eaux et transports horizontaux	188
5.3. L'échange aux marges ou <i>Boundary Exchange</i> : ce qu'apportent les isotopes du néodyme et du thorium	189
5.3.1. Isotopes du néodyme, comment ça marche ?	189
5.3.2. Apport des isotopes du Nd.	190
5.3.3. Isotopes du Th : comment ça marche ?	196
5.3.4. Le thorium : indicateur des échanges côte-large, exemple de la Méditerranée	197
5.3.5. Apports des approches expérimentales : premières cinétiques de réaction particule/dissous	197
5.4. Quel processus libère le Fe des marges océaniques : l'approche des isotopes du Fe.	199
5.4.1. Au-delà du traceur, le rôle du fer dans l'océan ?	199

5.4.2. Les isotopes du fer : comment ça marche ?	200
5.4.3. Pistes sur les processus qui libèrent le fer.	203
5.5. Conclusion	204
5.6. Bibliographie.	205
Chapitre 6. Cycles biogéochimiques marins	209
Louis LEGENDRE	
6.1. Introduction : géochimie, biogéochimie et biogéochimie marine	209
6.1.1. Géochimie et cosmochimie	209
6.1.2. Biogéochimie et biogéochimie marine	211
6.2. Une caractéristique fondamentale du système Terre : les cycles biogéochimiques	213
6.3. Le carbone : au cœur de la matière vivante	216
6.3.1. Le carbone dans les grands réservoirs naturels.	216
6.3.2. Les cycles biogéochimiques du carbone	219
6.3.2.1. Le cycle court du carbone inorganique	219
6.3.2.2. Le cycle long du carbone inorganique	221
6.4. L'oxygène : un poison dont la Terre ne peut se passer	228
6.4.1. La catastrophe de l'oxygène.	229
6.4.2. Les cycles biogéochimiques de l'oxygène	230
6.5. L'azote : un élément chimique pour lequel on s'est déjà battu.	234
6.5.1. L'azote, abondant mais difficilement accessible.	235
6.5.2. Le cycle biogéochimique de l'azote	237
6.6. Le phosphore : un élément chimique pour lequel on se battra peut-être	241
6.6.1. Le phosphore, peu abondant et très peu exploitable.	241
6.6.2. Les cycles biogéochimiques du phosphore	242
6.7. Equilibres biogéochimiques et sociétés humaines : problèmes.	244
6.8. Bibliographie.	245
Chapitre 7. Ecosystèmes pélagiques marins et cycles biogéochimiques	247
Louis LEGENDRE	
7.1. Introduction.	247
7.1.1. L'océan en mouvement : circulation de surface et circulation profonde.	247
7.1.1.1. Circulation de surface et courants marins	248
7.1.1.2. Mélange vertical et circulation thermohaline profonde	249
7.2. Les écosystèmes pélagiques marins : des virus aux baleines.	251

7.2.1. Différents points de vue sur les écosystèmes pélagiques marins	252
7.2.2. Grands types d'écosystèmes planctoniques marins	253
7.3. Ecosystèmes pélagiques et cycles biogéochimiques : inséparables	256
7.3.1. Nutriments inorganiques dissous	257
7.3.1.1. Eléments essentiels.	257
7.3.1.2. Prélèvement des nutriments inorganiques dissous par les écosystèmes pélagiques	257
7.3.1.3. Remise en circulation des nutriments inorganiques dissous dans le milieu ambiant.	258
7.3.1.4. Transport vertical des nutriments inorganiques dissous	258
7.3.1.5. Cycles biogéochimiques impliquant des nutriments inorganiques dissous.	258
7.3.2. Gaz dissous	259
7.3.2.1. Gaz liés aux écosystèmes pélagiques	259
7.3.2.2. Prélèvement de gaz dissous par les écosystèmes pélagiques	259
7.3.2.3. Remise en circulation de gaz dissous dans le milieu ambiant.	259
7.3.2.4. Transport vertical des gaz dissous	260
7.3.2.5. Cycles biogéochimiques impliquant des gaz dissous.	261
7.3.3. Carbone inorganique particulaire (CIP)	261
7.3.3.1. Le CaCO_3 dans les écosystèmes pélagiques	261
7.3.3.2. Formation du CaCO_3 par les écosystèmes pélagiques	262
7.3.3.3. Dissolution du CaCO_3	262
7.3.3.4. Transport vertical du CaCO_3	263
7.3.3.5. Cycles biogéochimiques impliquant le CaCO_3	263
7.3.4. Carbone organique dissous (COD)	264
7.3.4.1. Carbone organique dissous labile et réfractaire	264
7.3.4.2. Formation du COD par les écosystèmes pélagiques	266
7.3.4.3. Circulation du COD dans le milieu ambiant	266
7.3.4.4. Transport vertical du COD	267
7.3.4.5. Cycles biogéochimiques impliquant le COD	267
7.3.5. Carbone organique particulaire (COP)	268
7.3.5.1. Carbone organique particulaire vivant et non vivant	268
7.3.5.2. Formation du COP par les écosystèmes pélagiques.	269
7.3.5.3. Remise en circulation du COP dans le milieu ambiant.	270
7.3.5.4. Transformation de la taille des particules organiques	270
7.3.5.5. Transport vertical du COP	272
7.3.5.6. Cycles biogéochimiques impliquant le COP	273

7.4. L'océan au secours de la planète : pompage et séquestration du carbone	273
7.4.1. Les pompes à carbone et la séquestration du carbone dans les océans	273
7.4.2. Les quatre pompes à carbone océaniques	274
7.5. Equilibres biogéochimiques, écosystèmes et sociétés humaines : danger !	278
7.6. Bibliographie	280
Index	281