

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
Stephen Christopher MABERLY et Brigitte GONTERO	
<b>Chapitre 1. Introduction à la productivité et au cycle du carbone dans les écosystèmes aquatiques</b> . . . . .	5
Brigitte GONTERO, Timothy M. LENTON et Stephen Christopher MABERLY	
1.1. Aperçu. . . . .	5
1.2. Lumière et productivité sur Terre. . . . .	6
1.3. Conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique . . . . .	8
1.3.1. Lumière aquatique . . . . .	8
1.3.2. Phase primaire de la photosynthèse . . . . .	9
1.4. Fixation du carbone . . . . .	11
1.4.1. Carbone inorganique dans l'air et l'eau . . . . .	11
1.4.2. Mécanismes de fixation du carbone . . . . .	14
1.5. Cycle global du carbone . . . . .	17
1.6. Perspectives . . . . .	24
1.7. Remerciements. . . . .	24
1.8. Bibliographie. . . . .	25
<b>Chapitre 2. Évolution des photoautotrophes aquatiques</b> . . . . .	29
John A. RAVEN	
2.1. Contexte. . . . .	29
2.2. Bactéries anoxygéniques photosynthétiques . . . . .	30
2.3. Cyanobactéries. . . . .	32
2.4. Eucaryotes photosynthétiques . . . . .	34
2.5. Bibliographie. . . . .	38

<b>Chapitre 3. Modèles biogéographiques et génomes des photoautotrophes aquatiques</b> . . . . .	45
Juan José PIERELLA KARLUSICH, Charlotte NEF, Chris BOWLER et Richard G. DORRELL	
3.1. Introduction : la figure changeante des génomes d'algues . . . . .	45
3.2. Diversité des algues et de leurs chloroplastes . . . . .	49
3.3. Éclairages génomiques de l'évolution algale . . . . .	51
3.4. Limitations des projets de séquençage des algues en culture . . . . .	53
3.5. Histoires des approches basées sur l'omique appliquées à des échantillons de plancton environnemental . . . . .	56
3.6. Aperçus biogéographiques des algues à partir des méta-codes-barres de <i>Tara Oceans</i> . . . . .	58
3.7. Études fonctionnelles des algues provenant des données métagénomiques et métatranscriptomiques de <i>Tara Oceans</i> . . . . .	62
3.8. Application de la métagénomique résolue au niveau du génome aux eucaryotes phototrophiques . . . . .	65
3.9. Perspectives . . . . .	66
3.10. Remerciements . . . . .	70
3.11. Bibliographie . . . . .	70
<b>Chapitre 4. Acquisition du carbone inorganique par les producteurs aquatiques primaires</b> . . . . .	83
Sebastian D. ROKITTA, Sven A. KRANZ et Björn ROST	
4.1. Vue d'ensemble . . . . .	83
4.2. La Rubisco et le problème de son propre succès . . . . .	84
4.3. Carbone inorganique dissous et son comportement dans l'eau . . . . .	87
4.4. Situations de déséquilibre et implications des processus de transport. . . . .	90
4.5. Opération de MCC chez les cyanobactéries . . . . .	95
4.6. Opération de MCC chez les algues vertes . . . . .	99
4.7. Opération de MCC chez les diatomées . . . . .	101
4.8. Opération de MCC chez le coccolithophore <i>Emiliania huxleyi</i> . . . . .	104
4.9. Opération de MCC chez les macro-algues, les herbiers marins et les plantes d'eau douce . . . . .	107
4.10. Opérations du MCC et son couplage avec des processus coexistants . . . . .	112
4.11. Futurs axes de recherche . . . . .	115
4.12. Remerciements . . . . .	117
4.13. Bibliographie . . . . .	117

<b>Chapitre 5. Mécanismes biochimiques de concentration du dioxyde de carbone</b> . . . . .	135
Brigitte GONTERO et Stephen Christopher MABERLY	
5.1. Introduction. . . . .	135
5.2. Fixation du carbone par la Rubisco dans la voie $C_3$ . . . . .	136
5.3. Mécanisme de concentration du $CO_2$ de type $C_4$ . . . . .	140
5.3.1. $C_4$ chez les plantes terrestres . . . . .	140
5.3.2. $C_4$ chez les plantes et les algues aquatiques. . . . .	143
5.4. Mécanisme MAC de concentration du $CO_2$ . . . . .	152
5.4.1. MAC terrestre . . . . .	152
5.4.2. MAC aquatique . . . . .	153
5.5. Conclusions et perspectives . . . . .	155
5.6. Remerciements. . . . .	157
5.7. Bibliographie. . . . .	157
<b>Chapitre 6. Anhydrase carbonique</b> . . . . .	169
Yusuke MATSUDA, Hermanus NAWALY et Kohei YONEDA	
6.1. Vue d'ensemble . . . . .	169
6.2. Introduction. . . . .	170
6.3. Types d'AC. . . . .	171
6.3.1. AC alpha . . . . .	171
6.3.2. AC bêta . . . . .	172
6.3.3. AC gamma . . . . .	174
6.3.4. AC delta . . . . .	175
6.3.5. AC epsilon . . . . .	176
6.3.6. AC eta. . . . .	177
6.3.7. AC zeta . . . . .	177
6.3.8. AC theta . . . . .	178
6.3.9. AC iota . . . . .	179
6.3.10. Sous-classes et séquences primaires . . . . .	180
6.4. Les fonctions des AC chez les photoautotrophes aquatiques. . . . .	180
6.5. Régulation de l'efflux du $CO_2$ par les AC au niveau de l'enveloppe du chloroplaste . . . . .	183
6.6. Résumé : les AC dans la photosynthèse rouge et verte . . . . .	185
6.7. Bibliographie. . . . .	190
<b>Chapitre 7. Carboxysomes et pyrénoides dans les mécanismes de concentration du <math>CO_2</math></b> . . . . .	199
Moritz T. MEYER	
7.1. Introduction. . . . .	199

7.2. Le MCC des cyanobactéries . . . . .	201
7.2.1. L'accumulation par les cyanobactéries du bicarbonate <i>via</i> des systèmes de capture à haute et basse affinités . . . . .	201
7.2.2. Les deux lignées évolutives distinctes des carboxysomes . . . . .	204
7.2.3. Les carboxysomes et l'isolement de la Rubisco du reste du cycle CBB . . . . .	205
7.2.4. La capsid des carboxysomes . . . . .	206
7.2.5. Les carboxysomes alpha et bêta et une cargaison enzymatique grâce à des protéines de liaison différentes . . . . .	208
7.3. Le MCC algal . . . . .	209
7.3.1. Les multiples états d'acclimatation de l'algue modèle <i>Chlamydomonas</i> . . . . .	210
7.3.2. Le système de transport coopératif de $\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-$ chez <i>Chlamydomonas</i> . . . . .	210
7.3.3. L'AC-v stromale de <i>Chlamydomonas</i> pour capturer le $\text{CO}_2$ . . . . .	212
7.3.4. La conversion du $\text{HCO}_3^-$ stromal en $\text{CO}_2$ de manière catalytique dans le lumen des thylacoïdes . . . . .	213
7.3.5. L'architecture complexe du pyrénoloïde de <i>Chlamydomonas</i> . . . . .	213
7.3.6. La Rubisco et EPYC1, un complexe bimoléculaire . . . . .	214
7.3.7. L'ancrage de la Rubisco aux tubules et aux plaques d'amidon par des protéines ayant un motif de liaison commun . . . . .	214
7.4. Introduction d'un MCC aquatique dans des variétés de céréales et augmentation de la production de biomasse . . . . .	216
7.4.1. Assemblage des protocarboxysomes et des protopyrénoloïdes dans les chloroplastes . . . . .	216
7.4.2. Adressage possible de transporteurs de carbone inorganique cyanobactériens et algaux à l'enveloppe chloroplastique . . . . .	218
7.5. Conclusion . . . . .	219
7.6. Bibliographie . . . . .	219

## **Chapitre 8. Variabilité environnementale et son contrôle de la productivité . . . . .**

229

Alessandra NORICI, Caterina GEROTTO, John BEARDALL et John A. RAVEN

8.1. Introduction . . . . .	229
8.2. Macro- et micronutriments dans les environnements aquatiques au cours de l'histoire de la Terre et leurs fonctions biologiques . . . . .	230
8.2.1. Azote . . . . .	231
8.2.2. Phosphore . . . . .	235
8.2.3. Soufre . . . . .	237
8.2.4. Silicium . . . . .	239
8.2.5. Fer, cuivre, manganèse, zinc, molybdène, nickel . . . . .	241

8.3. L'élément principal limitant la productivité et la stœchiométrie cellulaire . . . . .	245
8.4. Variabilité de la lumière et effets sur la photosynthèse . . . . .	248
8.4.1. Antennes collectrices et transport photosynthétique d'électrons . . . . .	248
8.4.2. Courbes de la photosynthèse <i>versus</i> l'irradiance ( <i>P versus E</i> ) . . . . .	251
8.4.3. Écosystèmes aquatiques : variations de la lumière en fonction du temps et de la profondeur . . . . .	252
8.4.4. Processus physiologiques associés à l'exposition à diverses intensités lumineuses (acclimatation et régulation de la photosynthèse) . . . . .	253
8.5. La photosynthèse et la production primaire dans la colonne d'eau . . . . .	259
8.6. Glossaire . . . . .	261
8.7. Remerciements . . . . .	262
8.8. Bibliographie . . . . .	262

## **Chapitre 9. Réponses futures des producteurs primaires marins aux changements environnementaux . . . . .**

277

Kunshan GAO, Wenyan ZHAO et John BEARDALL

9.1. Introduction . . . . .	277
9.2. Changements environnementaux contemporains et futurs . . . . .	278
9.2.1. Acidification des océans . . . . .	278
9.2.2. Réchauffement des océans . . . . .	279
9.2.3. Rayonnements ultraviolets . . . . .	280
9.2.4. Désoxygénation des océans . . . . .	280
9.3. Effets de l'augmentation du CO <sub>2</sub> et de l'acidification des océans . . . . .	281
9.3.1. Effets du réchauffement des océans et sa combinaison avec l'AO . . . . .	284
9.3.2. Effets des rayonnements UV et leurs combinaisons avec l'AO et le réchauffement . . . . .	287
9.4. Autres interactions . . . . .	291
9.5. Résumé . . . . .	292
9.6. Perspectives . . . . .	294
9.7. Remerciements . . . . .	294
9.8. Bibliographie . . . . .	295

<b>Liste des auteurs . . . . .</b>	<b>309</b>
------------------------------------	------------

<b>Index . . . . .</b>	<b>311</b>
------------------------	------------