

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> .....	9
<b>Chapitre 1. Les formes chimiques du silicium dans le domaine marin</b> .....	13
1.1. L'élément silicium .....	13
1.2. L'acide orthosilicique .....	14
1.3. Les silices particulières .....	15
1.3.1. La silice lithogénique .....	16
1.3.2. La silice biogène .....	17
<b>Chapitre 2. Les techniques d'étude des stocks et des flux</b> .....	19
2.1. Techniques d'analyse chimique du silicium .....	19
2.1.1. La méthode des digestions séquentielles .....	20
2.1.2. La méthode des cinétiques d'extraction .....	21
2.1.3. La méthode de correction par l'aluminium .....	22
2.2. Techniques d'analyse des flux de silicium .....	24
2.2.1. Marquage par des isotopes radioactifs .....	24
2.2.2. Marquage par des isotopes stables .....	27
2.3. Marquage des dépôts de silice et imagerie cellulaire .....	30
2.4. Fractionnement isotopique du silicium et utilisation du $\delta^{30}\text{Si}$ comme traceur en océanographie .....	31

2.4.1. La mise en évidence du fractionnement isotopique par les diatomées . . . . .	36
2.4.2. L'utilisation du $\delta^{30}\text{Si}$ comme traceur en océanographie . . . . .	37
2.4.3. L'intérêt des analyses des rapports isotopiques du silicium . . . . .	37

**Chapitre 3. Les producteurs marins de silice biogène . . . . . 41**

3.1. Les radiolaires . . . . .	41
3.2. Les silicoflagellés . . . . .	43
3.3. Les diatomées . . . . .	43
3.4. La silicification au sein du nanoplancton et du picoplancton . . . . .	45
3.5. Les éponges siliceuses . . . . .	47
3.6. Les fonctions de la silice biogène . . . . .	48
3.7. L'évolution des organismes siliceux et le cycle océanique du silicium . . . . .	51
3.8. Les dépôts sédimentaires d'opale . . . . .	53

**Chapitre 4. Mécanismes cellulaires du dépôt de silice chez les diatomées . . . . . 57**

4.1. Influence de la disponibilité de l'acide orthosilicique sur l'absorption et la croissance des diatomées . . . . .	57
4.1.1. Formulations générales et données cinétiques . . . . .	57
4.1.2. Les formes biodisponibles du silicium minéral dissous . . . . .	60
4.1.2.1. Le modèle de Riedel et Nelson (1985) . . . . .	60
4.1.2.2. Le modèle de Del Amo et Brzezinski (1999) . . . . .	62
4.1.3. Les transporteurs membranaires . . . . .	63
4.2. Mécanismes cellulaires de l'absorption d'acide orthosilicique . . . . .	65
4.3. Intervention de protéines spécifiques dans le mécanisme de dépôt . . . . .	68
4.3.1. Le modèle conceptuel de Hecky et al. (1973) . . . . .	68
4.3.2. Frustulines et silaffines . . . . .	70

4.3.3. La synthèse du frustule, un processus physiologique complexe . . . . .	73
4.4. Les rapports stœchiométriques Si:C:N des diatomées . . . . .	73
4.4.1. Stœchiométrie des diatomées et limitation par le fer . . . . .	74
4.4.2. L'influence des métaux-traces sur l'absorption de l'acide orthosilicique . . . . .	75

## **Chapitre 5. Dissolution de la silice biogène et régénération de l'acide orthosilicique . . . . . 79**

5.1. Réactivité de la silice particulaire et constantes de dissolution . . . . .	79
5.2. Processus de contrôle de la dissolution en phase aqueuse . . . . .	82
5.2.1. Variation de la solubilité de l'opale avec la profondeur . . . . .	83
5.2.2. Influence du pH . . . . .	84
5.2.3. Rôle de la température . . . . .	84
5.2.4. Relation avec les processus de dégradation bactérienne . . . . .	87
5.2.5. Influence de la concentration en aluminium . . . . .	88
5.3. La solubilité de l'opale dans les conditions naturelles . . . . .	90

## **Chapitre 6. Le silicium et le contrôle de la biogéochimie à l'échelle globale . . . . . 93**

6.1. La préservation de la calcite dans les sédiments océaniques . . . . .	93
6.1.1. Le contrôle de l'alcalinité par la production biologique . . . . .	94
6.1.2. Le rapport $\text{CaCO}_3/\text{C}_{\text{org}}$ (rain ratio) . . . . .	95
6.1.3. La distribution de l'acide orthosilicique dans l'océan Global . . . . .	96
6.2. Le rôle central de l'océan Austral . . . . .	99
6.2.1. L'eau modale subantarctique . . . . .	99
6.2.2. Le traceur $\text{Si}^*$ . . . . .	101
6.2.3. L'influence de la SAMW dans l'océan Global . . . . .	103
6.2.4. Le modèle conceptuel de Sarmiento <i>et al.</i> (2003) . . . . .	104
6.3. L'hypothèse de la « fuite d'acide orthosilicique » . . . . .	106

6.3.1. La dernière transition glaciaire-interglaciaire . . . . . 106  
6.3.2. L'enregistrement sédimentaire. . . . . 111

**Chapitre 7. Le bilan global du silicium  
dans les océans . . . . . 115**

7.1. Estimation de la production et de l'exportation  
de silice biogène. . . . . 115  
7.1.1. Estimation de la limite supérieure. . . . . 116  
7.1.2. Estimation de la limite inférieure . . . . . 118  
7.1.3. Bilan général de la production et de l'exportation. . . . . 121  
7.2. Le cycle biogéochimique du silicium  
dans l'océan Global. . . . . 123

**Bibliographie. . . . . 127**

**Index . . . . . 143**