

# Table des matières

|   |    |
|---|----|
| <b>Introduction. L'inventaire de la biodiversité aujourd'hui : nouvelles méthodes et découvertes.</b> . . . . .   | 1  |
| Violaine NICOLAS  |    |
| <br>  |    |
| <b>Chapitre 1. Les campagnes d'exploration scientifique pour inventorier la biodiversité et favoriser la découverte de nouvelles espèces.</b> . . . . . | 5  |
| Line LEGALL   |    |
| 1.1. Introduction. . . . .  | 5  |
| 1.2. Un aperçu historique des inventaires de diversité . . . . .  | 6  |
| 1.3. L'avènement de la taxonomie moléculaire . . . . .  | 7  |
| 1.4. Biodiversité, émergence d'un concept face à la crise . . . . .   | 8  |
| 1.5. Un inventaire de la diversité lacunaire . . . . .  | 8  |
| 1.6. Place des campagnes d'exploration scientifique du Muséum dans l'inventaire de la biodiversité. . . . .   | 9  |
| 1.7. Des innovations pour accélérer la description des espèces . . . . .  | 10 |
| 1.8. Défis et enjeux des campagnes d'exploration scientifique . . . . .   | 11 |
| 1.9. Conclusion . . . . .   | 12 |
| 1.10. Bibliographie . . . . .   | 12 |
| <br>  |    |
| <b>Chapitre 2. Un demi-siècle d'exploration naturaliste des milieux benthiques de moyenne profondeur : ruptures et continuités</b> . . . . .            | 15 |
| Sarah SAMADI et Sophie BARY   |    |
| 2.1. L'océan profond : une exploration à peine entamée . . . . .  | 15 |
| 2.2. Le programme <i>Tropical Deep-Sea Benthos</i> . . . . .  | 16 |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.1. De MUSORSTOM à <i>Tropical Deep-Sea Benthos</i> . . . . .  | 16 |
| 2.2.2. Les campagnes TDSB dans le temps et dans l'espace . . . . .  | 17 |
| 2.2.3. Les métriques du programme . . . . .   | 23 |
| 2.3. Continuité et ruptures dans le programme TDSB . . . . .  | 23 |
| 2.3.1. La place des « fossiles vivants » dans les discours<br>sur les grands fonds . . . . .                                    | 23 |
| 2.3.2. Un programme qui évolue avec les enjeux sociétaux . . . . .  | 24 |
| 2.4. Des campagnes en mer aux résultats taxonomiques : une dynamique<br>de réseau autour des collections naturalistes . . . . . | 26 |
| 2.5. Bibliographie . . . . .  | 27 |

### **Chapitre 3. CEAMARC : une campagne intégrée pour évaluer la biodiversité à toutes les échelles en terre Adélie . . . . .** 31

Marc ELÉAUME, Nadia AMÉZIANE, Frédéric BUSSON, Romain CAUSSE,  
Agnès DETTAÏ, Guillaume LECOINTRE et Catherine OZOUF-COSTAZ

|  |    |
|--|----|
| 3.1. Introduction . . . . .  | 31 |
| 3.2. La campagne CEAMARC ( <i>Collaborative East-Antarctic<br/>Marine Census</i> ) . . . . . | 32 |
| 3.2.1. Une campagne « intégrée » . . . . .   | 32 |
| 3.2.2. Les outils de collecte . . . . .  | 34 |
| 3.2.2.1. Chalut à perche . . . . .   | 34 |
| 3.2.2.2. Carottier boîte, bennes Van Veen et MacIntyre . . . . .                             | 36 |
| 3.2.2.3. Rosette, bouteilles Niskin et les capteurs CTD et ADCP . . . . .                    | 36 |
| 3.2.2.4. Sondeur monofaisceau . . . . .  | 37 |
| 3.3. Quelques résultats . . . . .  | 38 |
| 3.4. Conclusion . . . . .  | 39 |
| 3.5. Bibliographie . . . . .   | 40 |

### **Chapitre 4. Objectif Plancton : un programme de science participative pour l'étude de la diversité du plancton . . . . .** 43

Cyril GALLUT, Céline LIRET, Marine LE MOAL, Philippe PONDAVEN,  
Cécile BANOVSKI-KLEIN, Mathilde CADIER, Antoine CHARPENTIER,  
Klervi FUSTEC, Julianne LE GUEN, Molène LE ROY, Joëlle PICHON,  
Martin PLUS, Laura SCHWEIBOLD, Marc SOURISSEAU et Nalani K. SCHNELL

|   |    |
|---|----|
| 4.1. Un projet de science participative . . . . . | 43 |
| 4.2. Objectifs scientifiques . . . . .            | 45 |
| 4.3. Matériel et méthode . . . . .                | 47 |
| 4.4. Axes de recherche . . . . .                  | 50 |
| 4.4.1. Ichtyoplancton . . . . .                   | 50 |

|   |    |
|---|----|
| 4.4.2. Phytoplancton . . . . .                | 52 |
| 4.4.3. Sciences humaines et sociales. . . . . | 54 |
| 4.5. Conclusion . . . . .                     | 56 |
| 4.6. Bibliographie. . . . .                   | 57 |

## **Chapitre 5. L'ADN environnemental pour observer les mammifères marins dans les aires marines**

### **protégées d'Iroise et des Antilles. . . . . 59**

Jean-Luc JUNG

|   |    |
|---|----|
| 5.1. Introduction. . . . .  | 59 |
| 5.2. Étudier les cétacés pour mieux les connaître : de l'observation visuelle à l'analyse de l'ADN . . . . .                              | 60 |
| 5.3. Les progrès des approches basées sur l'étude de l'ADN environnemental (ADNe) et le <i>metabarcoding</i> . . . . .                    | 61 |
| 5.4. Détection de mammifères marins par analyse d'ADNe . . . . .  | 62 |
| 5.5. Première campagne en mer d'Iroise, 2019-2020 . . . . .   | 63 |
| 5.6. La campagne Anbad'lo en Martinique . . . . .   | 65 |
| 5.7. Détection de mammifères marins grâce à l'étude de l'ADNe : des inventaires naturalistes à l'appui aux politiques publiques . . . . . | 67 |
| 5.8. Bibliographie. . . . .   | 68 |

## **Chapitre 6. Les codes-barres ADN pour l'identification des espèces et la surveillance de la biodiversité française . . . . . 73**

Rodolphe ROUGERIE, Lucas SIRE et Antoine LÉVÊQUE

|  |    |
|--|----|
| 6.1. Introduction. . . . .   | 73 |
| 6.2. Les codes-barres ADN pour l'identification des espèces . . . . .  | 74 |
| 6.2.1. Un outil d'identification moléculaire simple et standardisé . . . . .   | 74 |
| 6.2.2. Du spécimen à la communauté : identification par <i>barcoding</i> ou <i>metabarcoding</i> . . . . .                     | 75 |
| 6.2.3. Les codes-barres ADN du vivant : un effort collectif et international . . . . .   | 78 |
| 6.3. Les bibliothèques de codes-barres ADN pour la biodiversité de France métropolitaine et ultramarine. . . . .               | 80 |
| 6.4. Principaux enjeux pour l'identification moléculaire des espèces en France. . . . .  | 83 |
| 6.4.1. Développement de bibliothèques de référence exhaustives et accessibles . . . . .  | 83 |
| 6.4.2. Identification moléculaire des espèces : un atout pour la surveillance de la biodiversité terrestre française . . . . . | 84 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 6.5. Conclusion . . . . .    | 86 |
| 6.6. Bibliographie . . . . . | 87 |

## **Chapitre 7. Exploration de la biodiversité moléculaire de spécimens de collections : le cas des coccinelles . . . . . 93**

Karen SALAZAR, Romain NATTIER et Guillaume ACHAZ

|  |     |
|--|-----|
| 7.1. Introduction . . . . .  | 93  |
| 7.2. Le séquençage de l'ADN des spécimens de collection . . . . .                                    | 94  |
| 7.3. Méthodologie du séquençage de l'ADN des spécimens de collection . . . . .                       | 95  |
| 7.3.1. Extraction de l'ADN à partir des spécimens de collection . . . . .                            | 95  |
| 7.3.2. Difficultés de l'utilisation moléculaire de spécimens de collections . . . . .                | 95  |
| 7.3.3. Technologies de séquençage à haut débit (NGS) utilisées en muséomique . . . . .               | 96  |
| 7.4. Résultats récents des études de muséomique chez les insectes . . . . .                          | 97  |
| 7.5. Contexte de l'étude sur la biodiversité et systématique des Coccinellidae . . . . .             | 104 |
| 7.5.1. Applications de la muséomique pour l'exploration de la biodiversité des coccinelles . . . . . | 104 |
| 7.5.2. Facteurs rendant difficile l'exploration de la biodiversité des coccinelles . . . . .         | 107 |
| 7.6. Conclusion . . . . .  | 109 |
| 7.7. Bibliographie . . . . .   | 110 |

## **Chapitre 8. Nouveaux outils et nouvelles découvertes en paléontologie : vers les défis futurs . . . . . 119**

André NEL, Patricia NEL, Jean-Paul KUNDURA, Romain GARROUSTE, Valérie NGÔ-MULLER, Mathieu BODERAU, Thomas SCHUBNEL et Corentin JOUAULT

|  |     |
|--|-----|
| 8.1. Les insectes acteurs essentiels des écosystèmes présents et passés . . . . .                  | 119 |
| 8.2. Connaître le passé pour comprendre le présent (et prévoir le futur, éventuellement) . . . . . | 121 |
| 8.2.1. Une science délaissée jusqu'à tout récemment . . . . .                                      | 122 |
| 8.2.2. De spectaculaires progrès récents en analyse de données . . . . .                           | 123 |
| 8.3. Des outils modernes de capture de l'information . . . . .                                     | 124 |
| 8.3.1. La bibliographie : « I had a dream » . . . . .  | 124 |
| 8.3.2. Le terrain . . . . .  | 124 |
| 8.3.3. La préparation des fossiles . . . . .   | 125 |
| 8.3.4. La capture des informations sur les fossiles . . . . .                                      | 125 |

|   |     |
|---|-----|
| 8.4. Des approches plus « exotiques » . . . . .       | 126 |
| 8.4.1. Les interactions trophiques fossiles . . . . . | 126 |
| 8.4.2. L'ADN et la chimie organique . . . . .         | 127 |
| 8.5. Conclusion . . . . .                             | 127 |
| 8.6. Bibliographie . . . . .                          | 128 |

## **Chapitre 9. Crinoïdes sous rayons X : diversité morphologique et évolution sous une autre lumière . . . . . 133**

Pablo MARTINEZ-SOARES, Nadia AMÉZIANE, Marta BELLATO, Julien BIGOT, Margot MATHIEU, Michel ROUX, Patricia WILLS et Marc ELÉAUME

|  |     |
|--|-----|
| 9.1. La microtomographie à rayons X . . . . .  | 133 |
| 9.2. L'échantillon . . . . .   | 134 |
| 9.3. Les logiciels . . . . .   | 135 |
| 9.4. Crinoïdes sous rayons X . . . . .   | 136 |
| 9.4.1. Présentation et problématique actuelle des crinoïdes . . . . .                    | 136 |
| 9.4.2. De la radiographie au CT-scan . . . . .   | 136 |
| 9.4.3. Crinoïdes et CT-scan au MNHN : différents projets en cours . . .                  | 137 |
| 9.4.3.1. Étude des crinoïdes fossiles : exemple<br>des Bourgueticrinina . . . . .        | 137 |
| 9.4.3.2. Étude de l'ontogenèse : exemple d' <i>Holopus alidis</i> . . . . .              | 138 |
| 9.4.3.3. Étude de la diversité morphologique : exemple<br>de <i>Notocrinus</i> . . . . . | 141 |
| 9.5. Conclusion . . . . .  | 143 |
| 9.6. Bibliographie . . . . .   | 143 |

## **Chapitre 10. Bases conceptuelles et méthodologiques de la taxonomie intégrative . . . . . 145**

Aurélien MIRALLES et Nicolas PUILLANDRE

|   |     |
|---|-----|
| 10.1. Introduction . . . . .  | 145 |
| 10.2. Une discipline plurielle . . . . .  | 146 |
| 10.2.1. Définir la taxonomie . . . . .  | 146 |
| 10.2.2. Les deux tâches de l' $\alpha$ -taxonomie contemporaine . . . . .             | 147 |
| 10.3. Une brève histoire du paradigme taxonomique, de Linnée<br>à nos jours . . . . . | 149 |
| 10.3.1. Origines . . . . .  | 149 |
| 10.3.2. Évolution(s) . . . . .  | 150 |
| 10.3.3. Renaissance . . . . .   | 151 |
| 10.4. La taxonomie de demain : enjeux et perspectives . . . . .                       | 154 |
| 10.5. Bibliographie . . . . .   | 156 |

**Chapitre 11. *Thiomargarita magnifica* : un géant des mangroves de bord de mer repoussant les limites de la bactériologie . . . . . 161**

Olivier GROS, Silvina GONZALEZ-RIZZO, Nathalie ELISABETH  
et Jean-Marie VOLLAND

|   |     |
|---|-----|
| 11.1. Introduction . . . . .  | 161 |
| 11.1.1. Un monde microbien diversifié . . . . .                                     | 161 |
| 11.1.2. Un monde microbien pas toujours microscopique . . . . .                     | 162 |
| 11.1.3. Limitations physiologiques liées au gigantisme chez les bactéries . . . . . | 162 |
| 11.2. <i>Thiomargarita magnifica</i> . . . . .                                      | 164 |
| 11.2.1. Une bactérie de taille géante . . . . .                                     | 165 |
| 11.2.2. Une bactérie au génome hors norme . . . . .                                 | 165 |
| 11.2.3. Une bactérie à fort niveau de complexité cellulaire . . . . .               | 166 |
| 11.2.4. Un géant colonisant les sédiments des mangroves de Guadeloupe . . . . .     | 166 |
| 11.3. Conclusion . . . . .  | 168 |
| 11.4. Bibliographie . . . . .   | 169 |

**Chapitre 12. Nouvelles espèces de poissons d'eau douce de France : les raisons et les conséquences pour la gestion . . . . . 173**

Gaël DENYS, Agnès DETTAÏ, Henri PERSAT, Nicolas POULET  
et Philippe KEITH

|   |     |
|---|-----|
| 12.1. Introduction . . . . .  | 173 |
| 12.2. Les raisons de ces changements . . . . .                            | 177 |
| 12.2.1. Une prise en compte du contexte biogéographique . . . . .         | 177 |
| 12.2.2. Le concept d'espèce et approche de taxonomie intégrative. . . . . | 182 |
| 12.3. Impacts sur la gestion . . . . .                                    | 182 |
| 12.4. Conclusion . . . . .  | 184 |
| 12.5. Bibliographie . . . . .   | 185 |

**Chapitre 13. Effets des biais d'échantillonnage dans l'estimation de la phylodiversité de l'océan Austral . . . . . 191**

Anna KONDRATYEVA

|   |     |
|---|-----|
| 13.1. Pourquoi étudier l'océan Austral et sa biodiversité ? . . . . .                           | 191 |
| 13.2. Connaissance de la biodiversité marine dans l'océan Austral . . . . .                     | 192 |
| 13.3. Biais d'échantillonnage dans les données sur la biodiversité marine antarctique . . . . . | 193 |

|   |            |
|---|------------|
| 13.4. Mesures de la biodiversité de l’océan Austral. . . . .  | 194        |
| 13.5. Effets des biais d’échantillonnage sur le calcul d’indices<br>de phylodiversité . . . . .     | 195        |
| 13.5.1. Biais taxonomique et phylodiversité . . . . .   | 196        |
| 13.5.1.1. Quelques solutions à court terme. . . . .   | 196        |
| 13.5.2. Biais évolutif et phylodiversité . . . . .  | 197        |
| 13.5.2.1. Quelques solutions à court terme. . . . .   | 198        |
| 13.5.3. Biais spatial et phylodiversité . . . . .   | 198        |
| 13.5.3.1. Quelques solutions à court terme. . . . .   | 199        |
| 13.6. Conclusion . . . . .  | 200        |
| 13.7. Bibliographie . . . . .   | 201        |
| <br>  |            |
| <b>Chapitre 14. Standardisation des données de la recherche<br/>et science ouverte . . . . .</b>    | <b>207</b> |
| Visotheary UNG  |            |
| 14.1. Pourquoi parler de standards, de données ouvertes<br>et de science ouverte ? . . . . .        | 207        |
| 14.1.1. Les enjeux . . . . .  | 208        |
| 14.1.2. Contexte national . . . . .   | 209        |
| 14.1.3. Contexte international . . . . .  | 210        |
| 14.2. Comment FAIR en pratique ? . . . . .  | 211        |
| 14.2.1. S’inspirer de l’existant . . . . .  | 211        |
| 14.2.2. Implémenter des standards . . . . .   | 212        |
| 14.2.3. Informatique pour la biodiversité<br>(ou <i>Biodiversity Informatics</i> ) . . . . .        | 213        |
| 14.3. Où déposer les données de la recherche ? Entrepôts ouverts<br>et <i>data papers</i> . . . . . | 216        |
| 14.4. Conclusion . . . . .  | 218        |
| 14.4.1. De la nécessité de changer de paradigme socioculturel... . . . .                            | 218        |
| 14.4.2. ... à une recherche plus éthique. . . . .   | 219        |
| 14.5. Bibliographie . . . . .   | 220        |
| <br>  |            |
| <b>Liste des auteurs. . . . .</b>   | <b>225</b> |
| <br>  |            |
| <b>Index . . . . .</b>  | <b>231</b> |