

# Table des matières

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>I</b> | <b>L'essentiel du langage</b>                                   | <b>1</b>  |
| <b>1</b> | <b>Environnement de programmation</b>                           | <b>3</b>  |
| 1.1      | Installation de la distribution Anaconda . . . . .              | 3         |
| 1.2      | L'éditeur IDLE et sa console . . . . .                          | 4         |
| 1.3      | Le gestionnaire de paquets <code>conda</code> . . . . .         | 5         |
| 1.4      | L'interface graphique : Anaconda Navigator . . . . .            | 9         |
| 1.5      | Un autre IDE pour Anaconda : Spyder . . . . .                   | 10        |
| 1.5.1    | L'éditeur de Spyder . . . . .                                   | 11        |
| 1.5.2    | La console de Spyder . . . . .                                  | 11        |
| 1.6      | Le projet Jupyter . . . . .                                     | 12        |
| 1.6.1    | Les <i>notebooks</i> de Jupyter . . . . .                       | 13        |
| 1.6.2    | Jupyter Lab . . . . .   | 15        |
| 1.7      | Conclusion . . . . .  | 15        |
| <b>2</b> | <b>Variables, nombres et fonctions</b>                          | <b>17</b> |
| 2.1      | Qu'est-ce qu'une variable ? . . . . .                           | 17        |
| 2.2      | Qu'est-ce qu'un type ? . . . . .                                | 18        |
| 2.3      | Le type <code>int</code> des nombres entiers . . . . .          | 20        |
| 2.4      | Les nombres flottants . . . . .                                 | 20        |
| 2.5      | Les nombres complexes . . . . .                                 | 22        |
| 2.6      | Qu'est-ce qu'un module en Python ? . . . . .                    | 22        |
| 2.7      | Donc pas de nombres rationnels en Python ? . . . . .            | 24        |
| 2.8      | L'égalité est-elle fiable sur les nombres flottants ? . . . . . | 24        |
| 2.9      | L'infini existe-t-il en programmation ? . . . . .               | 25        |
| 2.10     | Qu'est-ce que la priorité d'un opérateur ? . . . . .            | 25        |
| 2.11     | Comment construire couples, triplets, <i>etc.</i> ? . . . . .   | 26        |
| 2.12     | Quelle différence entre expression et instruction ? . . . . .   | 27        |
| 2.13     | Les expressions booléennes . . . . .                            | 28        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.14     | Les instructions conditionnelles . . . . .                           | 30        |
| 2.15     | Comment tirer un nombre au hasard ? . . . . .                        | 32        |
| 2.16     | Fonction, paramètres et variables locales . . . . .                  | 32        |
| 2.17     | Qu'est-ce qu'une variable globale ? . . . . .                        | 34        |
| 2.18     | Les différentes formes de paramètres . . . . .                       | 36        |
| 2.19     | Les arguments optionnels de la fonction <code>print</code> . . . . . | 37        |
| 2.20     | Les lambda-expressions . . . . .                                     | 38        |
| 2.21     | Comment documenter une fonction ? . . . . .                          | 40        |
| 2.22     | Quelle est la différence entre fonction et méthode ? . . . . .       | 41        |
| 2.23     | Qu'est-ce qu'une fonction récursive ? . . . . .                      | 41        |
| 2.23.1   | Suivre une fonction à la trace . . . . .                             | 43        |
| 2.23.2   | Le rôle de la pile de récursion . . . . .                            | 44        |
| 2.24     | La boucle <code>while</code> . . . . .                               | 47        |
| 2.25     | La boucle <code>for</code> . . . . .                                 | 49        |
| 2.26     | Comment interrompre brutalement une boucle ? . . . . .               | 51        |
| 2.27     | Le calcul d'une somme en compréhension . . . . .                     | 51        |
| 2.28     | La complexité d'un calcul . . . . .                                  | 52        |
| <b>3</b> | <b>Traitement du texte : les bases</b>                               | <b>55</b> |
| 3.1      | Les caractères Unicode . . . . .                                     | 55        |
| 3.2      | Les textes sont des chaînes de caractères . . . . .                  | 56        |
| 3.3      | Comment programmer avec des chaînes ? . . . . .                      | 59        |
| 3.4      | Les chaînes formatées . . . . .                                      | 60        |
| 3.5      | Une chaîne peut-elle contenir du code Python ? . . . . .             | 61        |
| <b>4</b> | <b>Dessiner</b>  | <b>65</b> |
| 4.1      | Le graphisme de la tortue . . . . .                                  | 65        |
| 4.1.1    | La fenêtre graphique . . . . .                                       | 65        |
| 4.1.2    | Le graphisme cartésien . . . . .                                     | 66        |
| 4.1.3    | Le graphisme polaire . . . . .                                       | 69        |
| 4.1.4    | Une courbe fractale . . . . .  | 70        |
| 4.2      | Le système <i>Processing.py</i> . . . . .                            | 72        |
| 4.3      | Stéganographie avec le module <i>Pillow</i> . . . . .                | 75        |
| <b>5</b> | <b>Les collections d'objets</b>                                      | <b>79</b> |
| 5.1      | Collections et séquences . . . . .                                   | 79        |
| 5.2      | Les listes sont des séquences mutables . . . . .                     | 79        |
| 5.3      | Les constructions fonctionnelles de listes . . . . .                 | 81        |
| 5.4      | Déstructuration d'un objet itérable . . . . .                        | 83        |
| 5.5      | Suppression d'objets avec <code>del</code> . . . . .                 | 84        |
| 5.6      | Listes et partage de mémoire . . . . .                               | 84        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.7      | Les ensembles . . . . .  | 88         |
| 5.8      | Les dictionnaires . . . . .  | 90         |
| 5.9      | Gestion des erreurs : les exceptions . . . . .                                 | 93         |
| <b>6</b> | <b>Les entrées-sorties</b>   | <b>97</b>  |
| 6.1      | Le système de fichiers et le module <code>os</code> . . . . .                  | 97         |
| 6.2      | Écriture dans un fichier texte sur disque (en sortie) . . . . .                | 99         |
| 6.3      | Lecture d'un fichier texte sur disque (en entrée) . . . . .                    | 100        |
| 6.3.1    | La construction <code>with</code> . . . . .                                    | 102        |
| 6.3.2    | L'utilisation de <code>split</code> . . . . .                                  | 103        |
| 6.4      | Des fichiers en mémoire centrale . . . . .                                     | 103        |
| 6.5      | Exécution d'un script Python au terminal . . . . .                             | 104        |
| <b>7</b> | <b>Les objets et les classes</b>   | <b>107</b> |
| 7.1      | Définition d'une nouvelle classe d'objets . . . . .                            | 107        |
| 7.2      | Les attributs de classe . . . . .  | 112        |
| 7.3      | Utilisation des méthodes spéciales . . . . .                                   | 114        |
| 7.4      | Boucle <code>for</code> et méthodes spéciales : les itérateurs . . . . .       | 114        |
| 7.5      | Les générateurs . . . . .  | 116        |
| 7.6      | Les objets <i>soft</i> . . . . .   | 117        |
| 7.7      | La hiérarchie des classes . . . . .  | 118        |
| 7.8      | Les classes abstraites . . . . .   | 121        |
| 7.9      | Qu'est-ce qu'un décorateur ? . . . . .   | 122        |
| <b>8</b> | <b>Traitement avancé du texte</b>  | <b>125</b> |
| 8.1      | Expressions régulières : le module <code>re</code> . . . . .                   | 125        |
| 8.1.1    | Présence d'une sous-chaîne dans une chaîne . . . . .                           | 126        |
| 8.1.2    | Les méta-caractères d'un motif . . . . .                                       | 127        |
| 8.1.3    | Remplacements dans une chaîne . . . . .  | 130        |
| 8.2      | Analyse lexicale avec l'outil <code>lex</code> . . . . .                       | 131        |
| 8.2.1    | Installation avec <code>pip</code> . . . . .                                   | 131        |
| 8.2.2    | Programmation d'un analyseur lexical . . . . .                                 | 132        |
| 8.3      | Analyse syntaxique avec l'outil <code>yacc</code> . . . . .                    | 134        |
| 8.4      | Recherche de texte dans une page Web : <code>requests</code> . . . . .         | 138        |
| <b>9</b> | <b>Les interfaces graphiques (GUI)</b>   | <b>139</b> |
| 9.1      | Le module <code>tkinter</code> . . . . .                                       | 139        |
| 9.1.1    | La programmation dirigée par les événements . . . . .                          | 139        |
| 9.1.2    | La fenêtre du programme . . . . .  | 140        |
| 9.1.3    | Dessiner avec les classes <code>Canvas</code> et <code>Button</code> . . . . . | 141        |
| 9.1.4    | L'interface graphique comme sous-classe de <code>Tk</code> . . . . .           | 144        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 9.1.5     | Les options du gestionnaire <code>pack</code> . . . . .      | 145        |
| 9.1.6     | Gestion des évènements souris et clavier . . . . .           | 145        |
| 9.1.7     | Variables de contrôle . . . . .                              | 148        |
| 9.1.8     | Compléments sur les évènements souris . . . . .              | 150        |
| 9.1.9     | Animation en style MVC avec <code>tkinter</code> . . . . .   | 152        |
| 9.1.10    | La tortue dans une interface graphique . . . . .             | 155        |
| 9.2       | Programmer une animation avec <code>pygame</code> . . . . .  | 156        |
| <b>10</b> | <b>De Java vers Python</b>                                   | <b>159</b> |
| 10.1      | Le typage : fort ou dynamique ? . . . . .                    | 159        |
| 10.2      | Les boucles . . . . .  | 161        |
| 10.3      | Les listes . . . . .   | 162        |
| 10.4      | Les classes d'objets . . . . .                               | 163        |
| <b>11</b> | <b>EXERCICES</b>   | <b>167</b> |
|           | <b>Nombres, fonctions, boucles</b>                           |            |
| 11.1      | Valeur d'une expression . . . . .                            | 167        |
| 11.2      | Quotient et reste. Écriture binaire d'un entier . . . . .    | 167        |
| 11.3      | Écriture binaire d'un nombre flottant . . . . .              | 167        |
| 11.4      | Avec ou sans résultat ? . . . . .                            | 168        |
| 11.5      | Heures – minutes – secondes . . . . .                        | 169        |
| 11.6      | Décomposition en sous-fonctions . . . . .                    | 169        |
| 11.7      | Une fonction, comment ça marche ? . . . . .                  | 169        |
| 11.8      | Addition relativiste des vitesses . . . . .                  | 170        |
| 11.9      | La formule de Stirling . . . . .                             | 170        |
| 11.10     | Payez vos impôts ! . . . . .                                 | 170        |
| 11.11     | Une variable locale dans une lambda ? . . . . .              | 171        |
| 11.12     | Tirage au hasard de nombres entiers . . . . .                | 171        |
| 11.13     | Nombres fractionnaires (rationnels) . . . . .                | 172        |
| 11.14     | Solutions complexes d'une équation de degré 2 . . . . .      | 172        |
| 11.15     | Nombres complexes et géométrie plane . . . . .               | 172        |
| 11.16     | La division euclidienne dans les entiers . . . . .           | 173        |
| 11.17     | Travail arithmétique sur les chiffres d'un entier . . . . .  | 173        |
| 11.18     | Boucles <code>for</code> emboîtées . . . . .                 | 174        |
| 11.19     | Calcul de $x^n$ par dichotomie . . . . .                     | 174        |
| 11.20     | Tester si un nombre entier est premier (naïf) . . . . .      | 174        |
| 11.21     | Nombres premiers entre eux. Le PGCD . . . . .                | 175        |
| 11.22     | Calcul de $a^b$ modulo $n$ dans les grands entiers . . . . . | 176        |
| 11.23     | Tester si un grand nombre est premier (Fermat) . . . . .     | 176        |
| 11.24     | Calcul des nombres de Fibonacci . . . . .                    | 177        |
| 11.25     | Vérification qu'un dé est correctement truqué . . . . .      | 178        |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 11.26 | Dérivation numérique approchée . . . . .                 | 179 |
| 11.27 | Approximation numérique d'un sinus . . . . .             | 180 |
| 11.28 | Valeur approchée d'une intégrale simple . . . . .        | 180 |
| 11.29 | Coût du (temps de) calcul de $n!$ . . . . .              | 182 |
| 11.30 | Rectification d'un arc paramétré . . . . .               | 183 |
| 11.31 | Valeur approchée d'une intégrale double . . . . .        | 184 |
| 11.32 | Centre de gravité d'une figure plane . . . . .           | 185 |
| 11.33 | Solution approchée d'une équation (dichotomie) . . . . . | 185 |
| 11.34 | Solution approchée d'une équation (Newton) . . . . .     | 186 |
| 11.35 | Régime d'un système dépendant du temps . . . . .         | 186 |
| 11.36 | Cryptographie à clé publique (RSA/1) . . . . .           | 187 |

### Chaînes de caractères

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 11.37 | Affichage d'une table de multiplication . . . . .      | 188 |
| 11.38 | Construction de l'alphabet minuscule . . . . .         | 188 |
| 11.39 | Les plus longs mots d'une phrase . . . . .             | 188 |
| 11.40 | Travail textuel sur les chiffres d'un entier . . . . . | 189 |
| 11.41 | Récurrance sur des chaînes . . . . .                   | 189 |
| 11.42 | Le codage secret selon César . . . . .                 | 190 |
| 11.43 | Les palindromes . . . . .                              | 190 |
| 11.44 | Le nombre de Champernowne . . . . .                    | 191 |
| 11.45 | Vérification d'un code bancaire IBAN . . . . .         | 191 |
| 11.46 | Les règles de réécriture . . . . .                     | 192 |
| 11.47 | L'addition binaire avec retenue . . . . .              | 192 |
| 11.48 | Analyse lexicale à la main . . . . .                   | 193 |
| 11.49 | HTML et Unicode . . . . .                              | 194 |

### Graphisme de la tortue, Processing

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 11.50 | Graphismes polaire et cartésien . . . . .             | 194 |
| 11.51 | Tracé d'un cercle avec centre et rayon . . . . .      | 195 |
| 11.52 | Mangez des oursins! . . . . .                         | 195 |
| 11.53 | Un traceur minimal de courbes paramétrées . . . . .   | 195 |
| 11.54 | Dessin d'une courbe en coordonnées polaires . . . . . | 196 |
| 11.55 | Le jeu du chaos . . . . .                             | 197 |
| 11.56 | Une courbe fractale du dragon . . . . .               | 197 |
| 11.57 | La tortue, le hasard et les flaques . . . . .         | 198 |
| 11.58 | Génération d'une fractale par un L-système . . . . .  | 199 |
| 11.59 | Graphisme avec <i>Processing.py</i> . . . . .         | 200 |

### Les séquences

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 11.60 | Tirage d'un élément aléatoire dans une séquence . . . . . | 202 |
| 11.61 | Courbe d'un système dépendant du temps . . . . .          | 203 |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 11.62   | Inversion des mots d'une phrase . . . . .                              | 203 |
| 11.63   | Recherche séquentielle dans une liste non triée . . . . .              | 203 |
| 11.64   | Comptage d'éléments dans une collection . . . . .                      | 204 |
| 11.65   | Extraction d'éléments dans une séquence . . . . .                      | 204 |
| 11.66   | Recherche dichotomique dans une liste triée . . . . .                  | 205 |
| 11.67   | Compactage d'une liste . . . . .                                       | 205 |
| 11.68   | Le drapeau hollandais de Dijkstra . . . . .                            | 206 |
| 11.69   | Les fonctionnelles <code>map</code> et <code>reduce</code> . . . . .   | 207 |
| 11.70   | Vérification des éléments d'une collection . . . . .                   | 208 |
| 11.71   | Attention aux mutations dans les listes! . . . . .                     | 208 |
| 11.72   | Le triangle de Pascal . . . . .  | 209 |
| 11.73   | Tri stupide d'une liste . . . . .                                      | 209 |
| 11.74   | Tri d'une liste sur place, par sélection . . . . .                     | 211 |
| 11.75   | Chronométrage d'un algorithme sur une longue liste aléatoire . . . . . | 211 |
| 11.76   | Tri par insertion : récurrence et itération . . . . .                  | 212 |
| 11.77   | Tri d'une liste avec copie, par fusion . . . . .                       | 213 |
| 11.78   | Tri rapide . . . . .   | 214 |
| 11.79   | Trier sur des critères exotiques . . . . .                             | 215 |
| 11.80   | Crible d'Ératosthène pour les nombres premiers . . . . .               | 215 |
| 11.81   | Cryptographie à clé publique (RSA/2) . . . . .                         | 216 |
| 11.82   | Unicode et les bizarreries typographiques . . . . .                    | 217 |
| 11.83   | Opérations sur des matrices . . . . .                                  | 218 |
| 11.84   | Construction d'un carré magique d'ordre impair . . . . .               | 219 |
| 11.85   | Message caché dans une image . . . . .                                 | 220 |
| 11.86   | Automates cellulaires 1-D . . . . .                                    | 220 |
| 11.87   | Les piles de données . . . . .   | 222 |
| 11.88   | Retour sur la pile de récursion . . . . .                              | 223 |
| 11.89   | Polynômes creux . . . . .  | 225 |
| 11.90   | Polynômes de Legendre . . . . .  | 227 |
| 11.91   | Polynôme d'Interpolation de Lagrange . . . . .                         | 228 |
| 11.92   | Racines simples d'un polynôme (1) . . . . .                            | 229 |
| 11.93   | Racines simples d'un polynôme (2) . . . . .                            | 231 |
| <b>Itérateurs, ensembles et dictionnaires</b> |  |     |
| 11.94   | Fermeture-éclair : l'itérateur <code>zip</code> . . . . .              | 232 |
| 11.95   | Générateur des éléments distincts d'une liste . . . . .                | 233 |
| 11.96   | Réunion et intersection de listes . . . . .                            | 233 |
| 11.97   | Produit cartésien d'ensembles . . . . .                                | 234 |
| 11.98   | Combinaisons dans un ensemble . . . . .                                | 234 |
| 11.99   | Dictionnaires et fréquences . . . . .                                  | 235 |
| 11.100  | Mémorisation : remplacer le temps par l'espace . . . . .               | 236 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 11.101 | Automate cellulaire 2-D : le Jeu de la Vie . . . . .                | 237 |
| 11.102 | Arbres binaires d'expression . . . . .                              | 239 |
| 11.103 | La machine à pile VRISC1 . . . . .                                  | 242 |
| 11.104 | La machine VRISC2 : les sauts à étiquette . . . . .                 | 243 |
| 11.105 | Parcours itératif d'un arbre binaire . . . . .                      | 245 |
| 11.106 | Introduction à la simplification symbolique . . . . .               | 246 |
| 11.107 | L'algorithme de dérivation symbolique . . . . .                     | 248 |
| 11.108 | Calcul numérique avec <code>numpy</code> . . . . .                  | 250 |
| 11.109 | Ajustement numérique d'une courbe avec <code>scipy</code> . . . . . | 253 |

### Expressions régulières

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 11.110 | Quelques expressions régulières . . . . .                          | 255 |
| 11.111 | Mais tout n'est pas régulier! . . . . .                            | 256 |
| 11.112 | Fin de l'analyseur lexical du § 8.2 avec <i>lex</i> . . . . .      | 257 |
| 11.113 | Fin de l'analyseur syntaxique du § 8.3 avec <i>yacc</i> . . . . .  | 258 |
| 11.114 | Une calculette interactive avec <i>lex</i> & <i>yacc</i> . . . . . | 259 |
|        | 11.114.1 L'analyseur lexical ( <i>lexer</i> ) . . . . .            | 260 |
|        | 11.114.2 L'analyseur syntaxique ( <i>parser</i> ) . . . . .        | 261 |
|        | 11.114.3 L'évaluateur . . . . .                                    | 262 |
| 11.115 | Retour sur les <i>cpbb</i> à dos de <i>yacc</i> . . . . .          | 264 |

### Fichiers, Web

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 11.116 | Écriture dans un fichier texte sur disque . . . . .                              | 264 |
| 11.117 | Lecture d'un fichier texte sur disque . . . . .                                  | 265 |
| 11.118 | Lecture d'un fichier au format CSV . . . . .                                     | 265 |
| 11.119 | Transformation d'un fichier texte sur disque . . . . .                           | 266 |
| 11.120 | Construction d'un graphique Excel en Python . . . . .                            | 266 |
| 11.121 | Trouver une heure locale sur Internet . . . . .                                  | 268 |
| 11.122 | Échange de données au format JSON . . . . .                                      | 269 |
| 11.123 | Sérialisation des données : <code>json</code> ou <code>pickle</code> ? . . . . . | 270 |
| 11.124 | Lancer un programme à heure donnée : <code>cron</code> . . . . .                 | 271 |
| 11.125 | Dissection d'une page HTML avec <code>Beautiful Soup</code> . . . . .            | 272 |

### Objets

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 11.126 | Classe des matrices $n \times p$ sans <code>numpy</code> . . . . . | 276 |
| 11.127 | Naissance d'une tortue avec <i>Processing.py</i> . . . . .         | 277 |
| 11.128 | Incursion dans le graphisme 3D . . . . .                           | 281 |
| 11.129 | Ajustement par programmation génétique . . . . .                   | 283 |
| 11.130 | Introduction au moteur physique <code>pymunk</code> . . . . .      | 286 |
| 11.131 | Moteur physique appliqué : pendule de Newton . . . . .             | 292 |
| 11.132 | Décoration de la récurrence terminale . . . . .                    | 294 |
| 11.133 | Neurones : le perceptron . . . . .                                 | 295 |

|                      |  |            |
|----------------------|--|------------|
| 11.134               | Neurones : la rétro-propagation (théorie) . . . . .        | 298        |
| 11.135               | Neurones : la rétro-propagation (pratique) . . . . .       | 301        |
| 11.136               | Programmation audio (théorie) . . . . .                    | 304        |
| 11.137               | Programmation audio avec <b>Beads</b> (pratique) . . . . . | 308        |
| <b>Bibliographie</b> |  | <b>313</b> |
| <b>Index</b>         |  | <b>317</b> |