



Algorithmique : cours avec 957 exercices et 187 problèmes
 auteur et préface Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein
 traduit de l'américain par Xavier Cazin et Georges-Louis Kocher
 Dunod, Paris
 Sciences sup. Informatique
 ISBN: 978-2-10-054526-1

Table des Matières

Algorithmique

Cours avec 957 exercices et 158 problèmes

Thomas H. Cormen

Charles E. Leiserson

Ronald L. Rivest

Clifford Stein

Dunod

| | |
|---|----|
| Préface à l'édition française | V |
| Préface | IX |
| Partie 1 ▣ Introduction | |
| Chapitre 1 ▣ Rôle des algorithmes en informatique | 3 |
| 1.1 Algorithmes | 3 |
| Exercices | 8 |
| 1.2 Algorithmes en tant que technologie | 9 |
| Exercices | 11 |
| Problèmes | 12 |
| Chapitre 2 ▣ Premiers pas | 13 |
| 2.1 Tri par insertion | 13 |
| Exercices | 19 |
| 2.2 Analyse des algorithmes | 19 |
| Exercices | 25 |
| 2.3 Conception des algorithmes | 26 |
| Exercices | 34 |
| Problèmes | 35 |
| Chapitre 3 ▣ Croissance des fonctions | 39 |
| 3.1 Notation asymptotique | 40 |
| Exercices | 48 |
| 3.2 Notations standard et fonctions classiques | 49 |
| Exercices | 55 |
| Problèmes | 55 |
| Chapitre 4 ▣ Diviser pour régner | 59 |
| 4.1 Le problème du sous-tableau maximal | 62 |
| Exercices | 68 |
| 4.2 Algorithme de Strassen pour la multiplication matricielle | 69 |

| | |
|--|-----|
| Exercices | 75 |
| 4.3 La méthode de substitution pour la résolution des récurrences | 76 |
| Exercices | 80 |
| 4.4 La méthode de l'arbre récursif pour la résolution des récurrences | 81 |
| Exercices | 85 |
| 4.5 La méthode générale pour la résolution des récurrences | 86 |
| Exercices | 89 |
| 4.6 Démonstration du théorème général | 89 |
| Exercices | 97 |
| Problèmes | 98 |
| Chapitre 5 \bowtie Analyse probabiliste et algorithmes randomisés | 105 |
| 5.1 Le problème de l'embauche | 105 |
| Exercices | 108 |
| 5.2 Variables aléatoires indicatrices | 109 |
| Exercices | 112 |
| 5.3 Algorithmes randomisés | 113 |
| Exercices | 118 |
| 5.4 Analyse probabiliste et autres emplois des variables aléatoires indicatrices | 120 |
| Exercices | 131 |
| Problèmes | 132 |
| Partie 2 \bowtie Tri et rangs | |
| Chapitre 6 \bowtie Tri par tas | 139 |
| 6.1 Tas | 140 |
| Exercices | 141 |
| 6.2 Conservation de la propriété de tas | 142 |
| Exercices | 144 |
| 6.3 Construction d'un tas | 144 |
| Exercices | 147 |
| 6.4 Algorithme du tri par tas | 147 |
| Exercices | 148 |
| 6.5 Files de priorités | 149 |
| Exercices | 152 |
| Problèmes | 153 |
| Chapitre 7 \bowtie Tri rapide | 157 |
| 7.1 Description du tri rapide | 157 |
| Exercices | 161 |
| 7.2 Performances du tri rapide | 161 |
| Exercices | 164 |
| 7.3 Une version randomisée du tri rapide | 165 |
| Exercices | 166 |
| 7.4 Analyse du tri rapide | 166 |
| Exercices | 170 |

| | |
|---|-----|
| Problèmes | 171 |
| Chapitre 8 ▫ Tri en temps linéaire | 177 |
| 8.1 Minorants pour le tri | 177 |
| Exercices | 179 |
| 8.2 Tri par dénombrement | 180 |
| Exercices | 181 |
| 8.3 Tri par base | 182 |
| Exercices | 184 |
| 8.4 Tri par paquets | 185 |
| Exercices | 188 |
| Problèmes | 189 |
| Chapitre 9 ▫ Médiants et rangs | 197 |
| 9.1 Minimum et maximum | 198 |
| Exercices | 199 |
| 9.2 Sélection en temps espéré linéaire | 199 |
| Exercices | 203 |
| 9.3 Sélection en temps linéaire dans le cas le plus défavorable | 203 |
| Exercices | 206 |
| Problèmes | 207 |
| Partie 3 ▫ Structures de données | |
| Chapitre 10 ▫ Structures de données élémentaires | 215 |
| 10.1 Piles et files | 215 |
| Exercices | 218 |
| 10.2 Listes chaînées | 219 |
| Exercices | 222 |
| 10.3 Implémentation de pointeurs et d'objets | 223 |
| Exercices | 227 |
| 10.4 Représentation des arbres | 227 |
| Exercices | 229 |
| Problèmes | 230 |
| Chapitre 11 ▫ Tables de hachage | 235 |
| 11.1 Tables à adressage direct | 236 |
| Exercices | 237 |
| 11.2 Tables de hachage | 238 |
| Exercices | 242 |
| 11.3 Fonctions de hachage | 243 |
| Exercices | 249 |
| 11.4 Adressage ouvert | 250 |
| Exercices | 257 |
| 11.5 Hachage parfait | 258 |
| Exercices | 262 |
| Problèmes | 262 |

| | |
|--|-----|
| Chapitre 12 ▣ Arbres binaires de recherche | 267 |
| 12.1 Qu'est-ce qu'un arbre binaire de recherche ? | 268 |
| Exercices | 269 |
| 12.2 Requête dans un arbre binaire de recherche | 270 |
| Exercices | 273 |
| 12.3 Insertion et suppression | 274 |
| Exercices | 278 |
| 12.4 Arbres binaires de recherche construits aléatoirement | 279 |
| Exercices | 282 |
| Problèmes | 283 |
| Chapitre 13 ▣ Arbres rouge-noir | 287 |
| 13.1 Propriétés des arbres rouge-noir | 287 |
| Exercices | 290 |
| 13.2 Rotations | 291 |
| Exercices | 292 |
| 13.3 Insertion | 293 |
| Exercices | 300 |
| 13.4 Suppression | 301 |
| Exercices | 307 |
| Problèmes | 308 |
| Chapitre 14 ▣ Extension des structures de données | 315 |
| 14.1 Rangs dynamiques | 316 |
| Exercices | 320 |
| 14.2 Comment étendre une structure de données | 321 |
| Exercices | 323 |
| 14.3 Arbres d'intervalles | 324 |
| Exercices | 328 |
| Problèmes | 329 |
| Partie 4 ▣ Techniques avancées de conception et d'analyse | |
| Chapitre 15 ▣ Programmation dynamique | 333 |
| 15.1 découpe de barres | 334 |
| Exercices | 343 |
| 15.2 Multiplications matricielles enchaînées | 343 |
| Exercices | 350 |
| 15.3 Éléments de programmation dynamique | 351 |
| Exercices | 361 |
| 15.4 Plus longue sous-séquence commune | 362 |
| Exercices | 367 |
| 15.5 Arbres binaires de recherche optimaux | 368 |
| Exercices | 374 |
| Problèmes | 375 |
| Chapitre 16 ▣ Algorithmes Gloutons | 383 |

| | |
|--|-----|
| 16.1 Un problème de choix d'activités | 384 |
| Exercices | 390 |
| 16.2 Éléments de la stratégie gloutonne | 391 |
| Exercices | 395 |
| 16.3 Codages de Huffman | 396 |
| Exercices | 403 |
| 16.4 Matroïdes et méthodes gloutonnes | 404 |
| Exercices | 409 |
| 16.5 Un problème d'ordonnancement de tâches en tant que matroïde | 410 |
| Exercices | 412 |
| Problèmes | 412 |
| Chapitre 17 ▣ Analyse amortie | 417 |
| 17.1 Analyse de l'agrégat | 418 |
| Exercices | 422 |
| 17.2 Méthode comptable | 422 |
| Exercices | 424 |
| 17.3 Méthode du potentiel | 424 |
| Exercices | 427 |
| 17.4 Tables dynamiques | 428 |
| Exercices | 436 |
| Problèmes | 437 |
| Partie 5 ▣ Structures de données avancées | |
| Chapitre 18 ▣ B-arbres | 447 |
| 18.1 Définition d'un B-arbre | 451 |
| Exercices | 453 |
| 18.2 Opérations fondamentales sur les B-arbres | 453 |
| Exercices | 460 |
| 18.3 Suppression d'une clé dans un B-arbre | 461 |
| Exercices | 464 |
| Problèmes | 464 |
| Chapitre 19 ▣ Tas de Fibonacci | 467 |
| 19.1 Structure des tas de Fibonacci | 469 |
| 19.2 Opérations sur les tas fusionnables | 471 |
| Exercices | 479 |
| 19.3 Diminution d'une clé et suppression d'un noeud | 479 |
| Exercices | 483 |
| 19.4 Borne du degré maximal | 483 |
| Exercices | 486 |
| Problèmes | 486 |
| Chapitre 20 ▣ Arbres de Van Emde Boas | 491 |
| 20.1 Approches préliminaires | 492 |
| Exercices | 495 |

| | |
|--|-----|
| 20.2 Une structure réursive | 496 |
| Exercices | 503 |
| 20.3 L'arbre de van Emde Boas | 504 |
| Exercices | 514 |
| Problèmes | 514 |
| Chapitre 21 \bowtie Structures de données pour ensembles disjoints | 519 |
| 21.1 Opérations sur les ensembles disjoints | 519 |
| Exercices | 522 |
| 21.2 Représentation d'ensembles disjoints par des listes chaînées | 522 |
| Exercices | 525 |
| 21.3 Forêts d'ensembles disjoints | 526 |
| Exercices | 529 |
| 21.4 Analyse de l'union par rang avec compression de chemin | 530 |
| Exercices | 537 |
| Problèmes | 538 |
| Partie 6 \bowtie Algorithmes pour les graphes | |
| Chapitre 22 \bowtie Algorithmes élémentaires pour les graphes | 545 |
| 22.1 Représentation des graphes | 545 |
| Exercices | 548 |
| 22.2 Parcours en largeur | 549 |
| Exercices | 556 |
| 22.3 Parcours en profondeur | 557 |
| Exercices | 564 |
| 22.4 Tri topologique | 566 |
| Exercices | 568 |
| 22.5 Composantes fortement connexes | 568 |
| Exercices | 572 |
| Problèmes | 573 |
| Chapitre 23 \bowtie Arbres couvrants minimaux | 577 |
| 23.1 Construction d'un arbre couvrant minimal | 578 |
| Exercices | 582 |
| 23.2 Algorithmes de Kruskal et de Prim | 583 |
| Exercices | 588 |
| Problèmes | 589 |
| Chapitre 24 \bowtie Plus courts chemins à origine unique | 595 |
| 24.1 Algorithme de Bellman-Ford | 602 |
| Exercices | 605 |
| 24.2 Plus courts chemins à origine unique dans les graphes orientés sans circuit | 606 |
| Exercices | 608 |
| 24.3 Algorithme de Dijkstra | 609 |
| Exercices | 613 |
| 24.4 Contraintes de différence et plus courts chemins | 614 |

| | |
|--|-----|
| Exercices | 618 |
| 24.5 Démonstrations des propriétés de plus court chemin | 620 |
| Exercices | 625 |
| Problèmes | 626 |
| Chapitre 25 \approx Plus courts chemins entre toutes paires de sommets | 631 |
| 25.1 Plus courts chemins et multiplication de matrices | 633 |
| Exercices | 637 |
| 25.2 L'algorithme de Floyd-Warshall | 639 |
| Exercices | 645 |
| 25.3 Algorithme de Johnson pour les graphes peu denses | 646 |
| Exercices | 650 |
| Problèmes | 650 |
| Chapitre 26 \approx Flot maximum | 653 |
| 26.1 Réseaux de flot | 654 |
| Exercices | 657 |
| 26.2 La méthode de Ford-Fulkerson | 658 |
| Exercices | 672 |
| 26.3 Couplage biparti maximum | 673 |
| Exercices | 676 |
| 26.4 Algorithmes pousser-réétiqueter | 677 |
| Exercices | 686 |
| 26.5 Algorithme réétiqueter-vers-l'avant | 688 |
| Exercices | 698 |
| Problèmes | 698 |
| Partie 7 \approx Morceaux choisis | |
| Chapitre 27 \approx Algorithmes multithread | 709 |
| 27.1 Fondements du multithread dynamique | 711 |
| Exercices | 726 |
| 27.2 Multiplication matricielle multithread | 727 |
| Exercices | 731 |
| 27.3 Tri par fusion multithread | 732 |
| Exercices | 738 |
| Problèmes | 739 |
| Chapitre 28 \approx Calcul matriciel | 747 |
| 28.1 Résolution de systèmes d'équations linéaires | 747 |
| Exercices | 760 |
| 28.2 Inversion des matrices | 760 |
| Exercices | 764 |
| 28.3 Matrices symétriques définies positives et approximation par la méthode des moindres carrés | 765 |
| Exercices | 770 |
| Problèmes | 771 |
| Chapitre 29 \approx Programmation linéaire | 775 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| 29.1 | Forme standard et forme canonique | 782 |
| | Exercices | 788 |
| 29.2 | Formulation de problèmes comme programmes linéaires | 789 |
| | Exercices | 794 |
| 29.3 | Algorithme du simplexe | 795 |
| | Exercices | 807 |
| 29.4 | Dualité | 808 |
| | Exercices | 814 |
| 29.5 | La solution réalisable de base initiale | 814 |
| | Exercices | 820 |
| | Problèmes | 822 |
| Chapitre 30 | Polynômes et transformée de Fourier rapide | 827 |
| 30.1 | Représentation des polynômes | 829 |
| | Exercices | 834 |
| 30.2 | Transformée discrète de Fourier et transformée rapide de Fourier | 835 |
| | Exercices | 842 |
| 30.3 | Implémentations efficaces de la transformée rapide de Fourier | 842 |
| | Exercices | 847 |
| | Problèmes | 847 |
| Chapitre 31 | Algorithmes de la théorie des nombres | 853 |
| 31.1 | Notions élémentaires de la théorie des nombres | 854 |
| | Exercices | 858 |
| 31.2 | Plus grand commun diviseur | 860 |
| | Exercices | 864 |
| 31.3 | Arithmétique modulaire | 865 |
| | Exercices | 870 |
| 31.4 | Résolution d'équations linéaires modulaires | 871 |
| | Exercices | 874 |
| 31.5 | Théorème du reste chinois | 875 |
| | Exercices | 877 |
| 31.6 | Puissances d'un élément | 878 |
| | Exercices | 881 |
| 31.7 | Le cryptosystème à clés publiques RSA | 881 |
| | Exercices | 887 |
| 31.8 | Test de primalité | 888 |
| | Exercices | 896 |
| 31.9 | Factorisation des entiers | 897 |
| | Exercices | 901 |
| | Problèmes | 902 |
| Chapitre 32 | Recherche de chaînes de caractères | 905 |
| 32.1 | Algorithme naïf de recherche de chaîne de caractères | 908 |
| | Exercices | 909 |

| | |
|---|------|
| 32.2 Algorithme de Rabin-Karp | 910 |
| Exercices | 914 |
| 32.3 Recherche de chaîne de caractères au moyen d'automates finis | 915 |
| Exercices | 921 |
| 32.4 Algorithme de Knuth-Morris-Pratt | 921 |
| Exercices | 929 |
| Problèmes | 930 |
| Chapitre 33 \bowtie Géométrie algorithmique | 933 |
| 33.1 Propriétés des segments de droite | 934 |
| Exercices | 938 |
| 33.2 Déterminer si deux segments donnés se coupent | 940 |
| Exercices | 945 |
| 33.3 Recherche de l'enveloppe convexe | 946 |
| Exercices | 955 |
| 33.4 Recherche des deux points les plus rapprochés | 956 |
| Exercices | 959 |
| Problèmes | 960 |
| Chapitre 34 \bowtie NP-complétude | 965 |
| 34.1 Temps polynomial | 970 |
| Exercices | 977 |
| 34.2 Vérification en temps polynomial | 977 |
| Exercices | 980 |
| 34.3 NP-complétude et réductibilité | 982 |
| Exercices | 991 |
| 34.4 Preuves de NP-complétude | 992 |
| Exercices | 998 |
| 34.5 Problèmes NP-complets | 999 |
| Exercices | 1012 |
| Problèmes | 1013 |
| Chapitre 35 \bowtie Algorithmes d'approximation | 1017 |
| 35.1 Problème de la couverture de sommets | 1019 |
| Exercices | 1022 |
| 35.2 Problème du voyageur de commerce | 1022 |
| Exercices | 1027 |
| 35.3 Problème de la couverture d'ensemble | 1027 |
| Exercices | 1032 |
| 35.4 Randomisation et programmation linéaire | 1032 |
| Exercices | 1036 |
| 35.5 Problème de la somme de sous-ensemble | 1037 |
| Exercices | 1042 |
| Problèmes | 1042 |
| Annexes \bowtie Éléments de mathématiques | |

| | |
|---|------|
| Annexe A π Sommes | 1051 |
| A.1 Formules et propriétés des sommes | 1051 |
| Exercices | 1055 |
| A.2 Bornes des sommes | 1055 |
| Exercices | 1061 |
| Problèmes | 1061 |
| Annexe B π Ensembles, etc. | 1063 |
| B.1 Ensembles | 1063 |
| Exercices | 1067 |
| B.2 Relations | 1067 |
| Exercices | 1069 |
| B.3 Fonctions | 1070 |
| Exercices | 1071 |
| B.4 Graphes | 1072 |
| Exercices | 1076 |
| B.5 Arbres | 1076 |
| Exercices | 1081 |
| Problèmes | 1082 |
| Annexe C π Dénombrement et probabilités | 1085 |
| C.1 Dénombrement | 1085 |
| Exercices | 1089 |
| C.2 Probabilités | 1091 |
| Exercices | 1096 |
| C.3 Variables aléatoires discrètes | 1097 |
| Exercices | 1100 |
| C.4 Distributions géométrique et binomiale | 1102 |
| Exercices | 1106 |
| C.5 Queues de la distribution binomiale | 1107 |
| Exercices | 1113 |
| Problèmes | 1114 |
| Annexe D π Matrices | 1115 |
| D.1 Matrices et opérations matricielles | 1115 |
| Exercices | 1120 |
| D.2 Propriétés fondamentales des matrices | 1120 |
| Exercices | 1123 |
| Problèmes | 1124 |
| Bibliographie | 1127 |
| Index | 1151 |