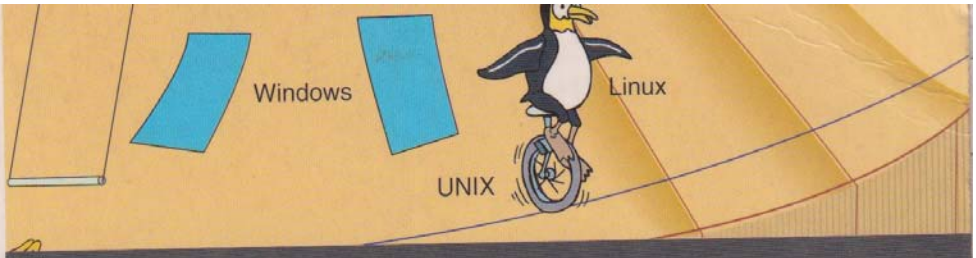
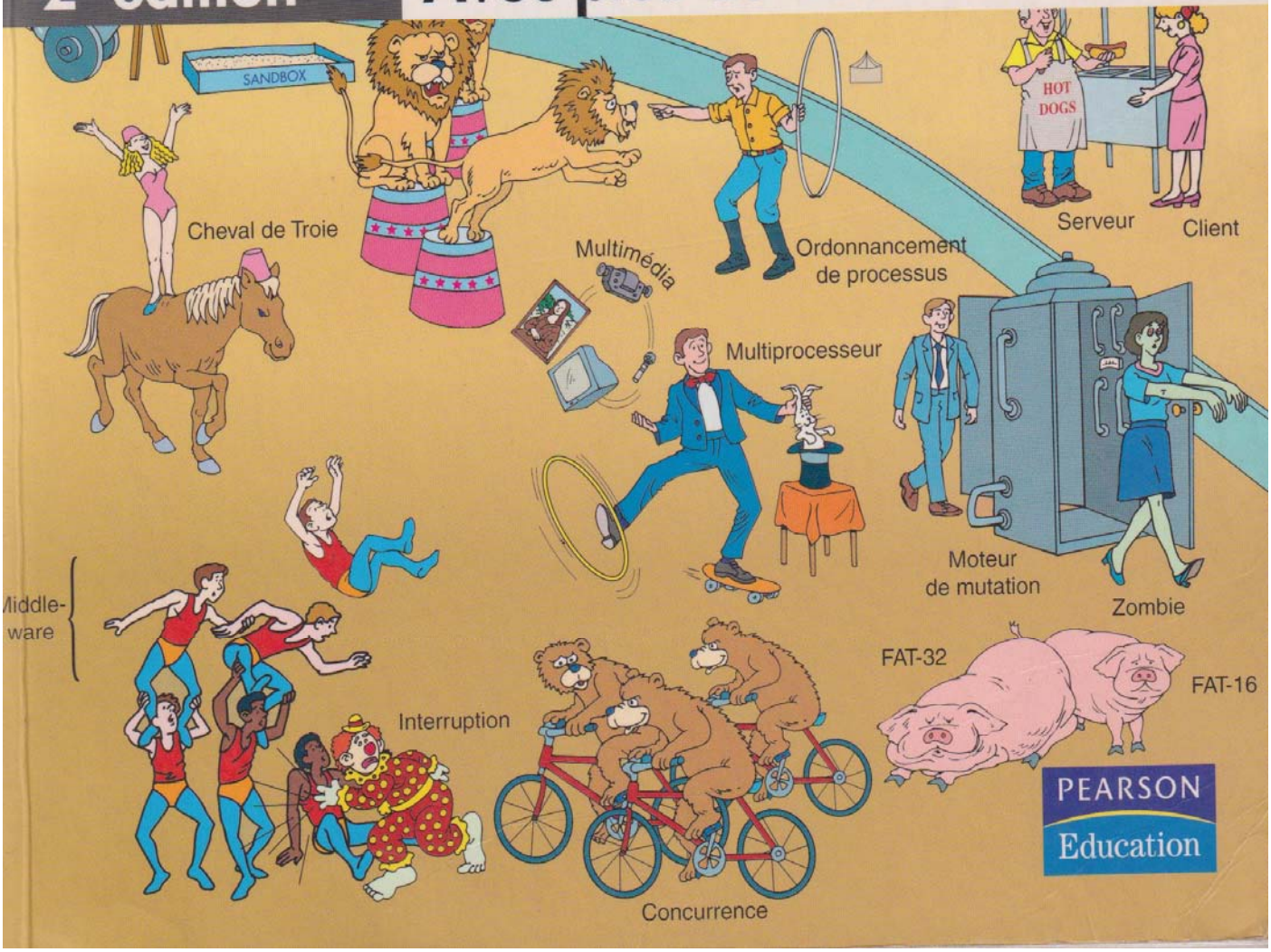


Andrew Tanenbaum

Systèmes d'exploitation

2e édition

Avec plus de 450 exercices



PEARSON Education

2_005_608_1

Andrew Tanenbaum

Université libre d'Amsterdam

Systèmes d'exploitation

2e édition

Coordination de la traduction : Jean-Alain Hernandez et René Joly, École nationale supérieure des télécommunications (ENST)

Traduction : Jean-Luc Bourdon, université de Cergy-Pontoise, Philippe Laroque, université de Cergy-Pontoise, Emmanuelle Burr, Véronique Campillo, Véronique Warion

PEARSON Education

Table des matières

جامعة البليدة
المكتبة المركزية

L'auteur XVII

Préface 1

1. Introduction 3

1.1 Qu'est-ce qu'un système d'exploitation ? 5
1.1.1 Le système d'exploitation comme machine étendue 5
1.1.2 Le système d'exploitation comme gestionnaire de ressources 7

1.2 L'historique des systèmes d'exploitation 8
1.2.1 La première génération (1945-1955) : tubes à vide et tableaux d'interrupteurs 8
1.2.2 La deuxième génération (1955-1965) : transistors et systèmes par lots 9
1.2.3 La troisième génération (1965-1980) 11
1.2.4 La quatrième génération (1980-aujourd'hui) : les ordinateurs personnels 16
1.2.5 L'ontogenèse résume la phylogenèse 19

1.3 Le bestiaire des systèmes d'exploitation 20
1.3.1 Les systèmes pour mainframes 20
1.3.2 Les systèmes d'exploitation « serveurs » 21
1.3.3 Les systèmes multiprocesseurs 21
1.3.4 Les systèmes personnels 21
1.3.5 Les systèmes temps réel 22
1.3.6 Les systèmes embarqués 22
1.3.7 Les systèmes pour smart cards 22

1.4 La structure matérielle d'un ordinateur 23
1.4.1 Le processeur 23
1.4.2 La mémoire 26
1.4.3 Les périphériques d'E/S 31
1.4.4 Les bus 34

1.5 Les concepts de base des systèmes d'exploitation 37
1.5.1 Les processus 37
1.5.2 Les interblocages 39
1.5.3 La gestion de la mémoire 40
1.5.4 Les entrées/sorties 41
1.5.5 Les fichiers 41
1.5.6 La sécurité 44
1.5.7 Le shell 45
1.5.8 Le recyclage des concepts 46
1.6 Les appels système 47
1.6.1 Les appels système pour la gestion des processus 51
1.6.2 Les appels système pour la gestion des fichiers 53
1.6.3 Les appels système pour la gestion des répertoires 54
1.6.4 Les autres appels système 55
1.6.5 L'API Win32 de Windows 56
1.7 La structure d'un système d'exploitation 59
1.7.1 Les systèmes monolithiques 59
1.7.2 Les systèmes en couches 60
1.7.3 Les machines virtuelles 61
1.7.4 Les exonoyaux 63
1.7.5 Le modèle client-serveur 64
1.8 La recherche sur les systèmes d'exploitation 66
1.9 L'organisation de l'ouvrage 67
1.10 Le système métrique 68
1.11 Résumé 69
Exercices 70

2. Processus et threads 75
2.1 Les processus 75
2.1.1 Le modèle de processus 75
2.1.2 La création d'un processus 77
2.1.3 La fin d'un processus 79
2.1.4 La hiérarchie des processus 80
2.1.5 Les états des processus 81
2.1.6 L'implémentation des processus 83
2.2 Les threads 86
2.2.1 Le modèle de thread 86

2.2.2 L'utilisation des threads 90
2.2.3 L'implémentation de threads dans l'espace utilisateur 96
2.2.4 L'implémentation de threads dans le noyau 99
2.2.5 Les implémentations hybrides 100
2.2.6 Les activations de l'ordonnanceur 100
2.2.7 Les threads spontanés 102
2.2.8 Du code monothread au code multithread 103
2.3 La communication interprocessus 106
2.3.1 Les conditions de concurrence 107
2.3.2 Les sections critiques 109
2.3.3 L'exclusion mutuelle avec attente active 110
2.3.4 Le sommeil et l'activation 115
2.3.5 Les sémaphores 117
2.3.6 Les mutex 120
2.3.7 Les moniteurs 122
2.3.8 L'échange de messages 128
2.3.9 Les barrières 131
2.4 Les problèmes classiques 132
2.4.1 Le dîner des philosophes 132
2.4.2 Le problème des lecteurs et des rédacteurs 136
2.4.3 Le problème du coiffeur endormi 137
2.5 L'ordonnancement 140
2.5.1 Introduction à l'ordonnancement 140
2.5.2 L'ordonnancement sur les systèmes de traitement par lots 147
2.5.3 L'ordonnancement des systèmes interactifs 151
2.5.4 L'ordonnancement des systèmes temps réel 157
2.5.5 La politique et le mécanisme d'ordonnancement 158
2.5.6 L'ordonnancement des threads 159
2.6 Les recherches sur les processus et les threads 161
2.7 Résumé 162
Exercices 163

3. Interblocages 169
3.1 Les ressources 170
3.1.1 Les ressources retirables et non retirables 170
3.1.2 L'acquisition de ressources 171

3.2 Introduction aux interblocages 173
3.2.1 Les conditions pour provoquer un interblocage 173
3.2.2 La modélisation des interblocages 174
3.3 La politique de l'autruche 177
3.4 La détection et la reprise des interblocages 178
3.4.1 Détecter un interblocage avec une ressource de chaque type 178
3.4.2 Détecter des interblocages avec plusieurs ressources de chaque type 180
3.4.3 Reprendre un interblocage 183
3.5 L'évitement des interblocages 185
3.5.1 Les trajectoires de ressources 185
3.5.2 Les états sûrs et non sûrs 186
3.5.3 L'algorithme du banquier pour une ressource unique 188
3.5.4 L'algorithme du banquier pour plusieurs ressources 189
3.6 La prévention des interblocages 191
3.6.1 S'attaquer à la condition de l'exclusion mutuelle 191
3.6.2 S'attaquer à la condition de détention et d'attente 191
3.6.3 S'attaquer à la condition de non-préemption 192
3.6.4 S'attaquer à la condition de l'attente circulaire 192
3.7 Autres considérations 194
3.7.1 Le verrouillage en deux phases 194
3.7.2 Les interblocages non liés aux ressources 195
3.7.3 La privation de ressources 195
3.8 Les recherches sur les interblocages 195
3.9 Résumé 196
Exercices 197

4. La gestion de la mémoire 201
4.1 La gestion élémentaire de la mémoire 202
4.1.1 La monoprogrammation sans va-et-vient ni pagination 202
4.1.2 La multiprogrammation avec des partitions de taille fixe 203
4.1.3 La modélisation de la multiprogrammation 205
4.1.4 L'analyse des performances des systèmes multiprogrammés 206
4.1.5 La réallocation et la protection 207

4.2 Le va-et-vient 209
4.2.1 Gérer la mémoire avec des tableaux de bits 211
4.2.2 Gérer la mémoire avec des listes chaînées 212
4.3 La mémoire virtuelle 215
4.3.1 La pagination 215
4.3.2 Les tables des pages 219
4.3.3 La mémoire associative 224
4.3.4 Les tables des pages inversées 227
4.4 Les algorithmes de remplacements de pages 228
4.4.1 L'algorithme optimal de remplacement de page 229
4.4.2 L'algorithme de remplacement de la page non récemment utilisée 230
4.4.3 L'algorithme de remplacement de page premier entré, premier sorti 231
4.4.4 L'algorithme de remplacement de page de la seconde chance 231
4.4.5 L'algorithme de remplacement de page de l'horloge 232
4.4.6 L'algorithme de remplacement de la page la moins récemment utilisée 232
4.4.7 La simulation logicielle de l'algorithme LRU 234
4.4.8 L'algorithme de remplacement de page « ensemble de travail » 236
4.4.9 L'algorithme de remplacement de page WSClock 240
4.4.10 Résumé des algorithmes de remplacements de pages 242
4.5 La modélisation des algorithmes de remplacements de pages 243
4.5.1 L'anomalie de Belady 243
4.5.2 Les algorithmes de pile 244
4.5.3 La chaîne des distances 247
4.5.4 Prévoir le nombre de défauts de pages 247
4.6 La conception des systèmes de pagination 249
4.6.1 Les politiques d'allocations locale et globale 249
4.6.2 Contrôle du chargement 251
4.6.3 La taille des pages 252
4.6.4 Séparation des espaces d'instructions et des données 254
4.6.5 Les pages partagées 254
4.6.6 La politique de nettoyage 256
4.6.7 L'interface de mémoire virtuelle 257

4.7 Les problèmes de l'implantation 257
4.7.1 Le rôle du système d'exploitation dans la pagination 258
4.7.2 Gérer les défauts de pages 258
4.7.3 Retourner au début d'une instruction 259
4.7.4 Verrouiller des pages en mémoire 261
4.7.5 La mémoire auxiliaire 261
4.7.6 Séparer la stratégie et le système 263
4.8 La segmentation 264
4.8.1 Implantation de la segmentation pure 268
4.8.2 La segmentation avec pagination : MULTICS 269
4.8.3 La segmentation avec pagination : le Pentium d'Intel 273
4.9 Les recherches sur la gestion mémoire 278
4.10 Résumé 278
Exercices 279

5. Entrées/sorties 285
5.1 Les aspects matériels des E/S 285
5.1.1 Les périphériques d'E/S 286
5.1.2 Le contrôleur de périphérique 287
5.1.3 Les E/S projetées ou mappées en mémoire 288
5.1.4 L'accès direct à la mémoire (DMA) 292
5.1.5 Les interruptions 296
5.2 Les aspects logiciels des E/S 300
5.2.1 Les principes des logiciels d'E/S 300
5.2.2 Les E/S programmées 301
5.2.3 Les E/S pilotées par les interruptions 303
5.2.4 Les E/S avec DMA 304
5.3 La structure en couches des logiciels d'E/S 305
5.3.1 Les gestionnaires d'interruptions 305
5.3.2 Les pilotes de périphériques 306
5.3.3 Les logiciels d'E/S indépendants du périphérique 310
5.3.4 Les logiciels d'E/S de l'espace utilisateur 316
5.4 Les disques 318
5.4.1 Les types de disques 318
5.4.2 Le formatage des disques 334
5.4.3 Les algorithmes d'ordonnancement du bras du disque ... 337

5.4.4 La gestion d'erreurs 341
5.4.5 Le stockage stable 343
5.5 Les horloges 347
5.5.1 L'horloge : la partie matérielle 347
5.5.2 L'horloge : la partie logicielle 348
5.5.3 Les timers logiciels 351
5.6 Les terminaux alphanumériques 353
5.6.1 Les terminaux RS-232 354
5.6.2 Les logiciels d'entrée 356
5.6.3 Les logiciels de sortie 361
5.7 Les interfaces graphiques 362
5.7.1 Le clavier, la souris et l'écran d'un ordinateur personnel 363
5.7.2 Les logiciels d'entrée 367
5.7.3 Les logiciels de sortie pour Windows 367
5.8 Les terminaux réseau 376
5.8.1 Le système X Window et le terminal X 376
5.8.2 Le terminal réseau SLIM 380
5.9 La gestion de l'alimentation 384
5.9.1 Les problèmes matériels liés à l'alimentation électrique .. 384
5.9.2 Les problèmes liés au système d'exploitation 386
5.9.3 Le fonctionnement en mode dégradé 391
5.10 Résumé 393
Exercices 394

6. Systèmes de fichiers 401

6.1 Fichiers 402
6.1.1 Les noms des fichiers 402
6.1.2 Les structures des fichiers 404
6.1.3 Les types de fichiers 405
6.1.4 Les accès aux fichiers 408
6.1.5 Les attributs des fichiers 408
6.1.6 Les opérations sur les fichiers 410
6.1.7 Un exemple de programme utilisant des appels au système de fichiers 411
6.1.8 Les fichiers placés (mappés) en mémoire 414
6.2 Les répertoires 415
6.2.1 Les systèmes à un seul niveau de répertoire 415

6.2.2 Les systèmes à deux niveaux de répertoire 416
6.2.3 Les systèmes à répertoire hiérarchique 417
6.2.4 Les chemins d'accès 418
6.2.5 Les opérations sur les répertoires 420
6.3 Implantation d'un système de fichiers 421
6.3.1 L'organisation du système de fichiers 421
6.3.2 Implantation des fichiers 422
6.3.3 Implantation des répertoires 427
6.3.4 Les fichiers partagés 430
6.3.5 Gérer l'espace disque 433
6.3.6 La fiabilité du système de fichiers 438
6.3.7 Les performances du système de fichiers 447
6.3.8 Les systèmes de fichiers LFS 451
6.4 Exemples de systèmes de fichiers 453
6.4.1 Les systèmes de fichiers des CD-ROM 454
6.4.2 Le système de fichiers CP/M 459
6.4.3 Le système de fichiers MS-DOS 462
6.4.4 Le système de fichiers de Windows 98 466
6.4.5 Le système de fichiers d'UNIX V7 469
6.5 Les recherches sur les systèmes de fichiers 472
6.6 Résumé 472
Exercices 473

7. Systèmes d'exploitation multimédias 479
7.1 Introduction au multimédia 480
7.2 Les fichiers multimédias 484
7.2.1 L'encodage audio 485
7.2.2 L'encodage vidéo 487
7.3 La compression vidéo 489
7.3.1 La norme JPEG 490
7.3.2 La norme MPEG 493
7.4 L'ordonnancement de processus multimédias 495
7.4.1 L'ordonnancement de processus homogènes 496
7.4.2 L'ordonnancement temps réel 496
7.4.3 L'ordonnancement RMS 498
7.4.4 L'ordonnancement EDF 499

7.5 Les paradigmes du système de fichiers multimédia 501
7.5.1 Les fonctions de commandes VCR 502
7.5.2 La quasi-vidéo à la demande (NVOD) 504
7.5.3 La quasi-vidéo à la demande avec des fonctions VCR 506
7.6 Le placement de fichier 508
7.6.1 Placer un fichier sur un disque unique 508
7.6.2 Deux autres stratégies d'organisation de fichiers 509
7.6.3 Placer des fichiers NVOD 513
7.6.4 Placer plusieurs fichiers sur un seul disque 514
7.6.5 Placer des fichiers sur plusieurs disques 516
7.7 La mise en cache 518
7.7.1 Mettre en cache des blocs 519
7.7.2 Mettre en cache des fichiers 520
7.8 L'ordonnancement du disque pour le multimédia 521
7.8.1 L'ordonnancement statique du disque 521
7.8.2 L'ordonnancement dynamique du disque 523
7.9 Les recherches sur le multimédia 524
7.10 Résumé 525
Exercices 526

8. Systèmes multiprocesseurs 531
8.1 Les multiprocesseurs 534
8.1.1 Le matériel d'un multiprocesseur 534
8.1.2 Les types de systèmes d'exploitation pour les multiprocesseurs 541
8.1.3 La synchronisation des multiprocesseurs 545
8.1.4 L'ordonnancement des multiprocesseurs 550
8.2 Les multi-ordinateurs 556
8.2.1 La configuration matérielle d'un multi-ordinateur 556
8.2.2 Les logiciels de communication de bas niveau 560
8.2.3 Les logiciels de communication au niveau utilisateur 564
8.2.4 L'appel de procédure à distance 567
8.2.5 La mémoire partagée distribuée 570
8.2.6 L'ordonnancement sur un multi-ordinateur 574
8.2.7 L'équilibrage de la charge 575
8.3 Les systèmes distribués 578
8.3.1 Le matériel réseau 581

8.3.2 Les services et les protocoles réseau 584
8.3.3 Le middleware fondé sur le document 588
8.3.4 Le middleware fondé sur le système de fichiers 590
8.3.5 Le middleware fondé sur un objet partagé 596
8.3.6 Le middleware fondé sur la coordination 603
8.4 Les recherches sur les systèmes multiprocesseurs 608
8.5 Résumé 609
Exercices 610

9. Sécurité 615
9.1 L'environnement de sécurité 615
9.1.1 Les menaces 616
9.1.2 Les intrus 617
9.1.3 Les pertes accidentelles de données 618
9.2 Les bases du chiffrement 619
9.2.1 Le chiffrement à clé secrète 620
9.2.2 Le chiffrement à clé publique 620
9.2.3 Les fonctions à sens unique 621
9.2.4 Les signatures numériques 622
9.3 L'authentification de l'utilisateur 623
9.3.1 L'authentification par mot de passe 624
9.3.2 L'authentification physique 633
9.3.3 L'authentification biométrique 636
9.3.4 Les contre-mesures 639
9.4 Les attaques de l'intérieur du système 639
9.4.1 Les chevaux de Troie 640
9.4.2 L'usurpation d'identité 642
9.4.3 Les bombes logiques 643
9.4.4 Les trappes (entrées de service) 643
9.4.5 Le dépassement de capacité du tampon 644
9.4.6 Les attaques génériques de la sécurité 646
9.4.7 Les célèbres failles dans la sécurité 647
9.4.8 Les principes de conception de la sécurité 649
9.5 Les attaques depuis l'extérieur du système 652
9.5.1 Les scénarios de dégâts provoqués par des virus 651
9.5.2 Le fonctionnement des virus 653
9.5.3 Comment se propagent les virus 661

9.5.4 Les antivirus et les techniques anti-antivirus 663
9.5.5 Le ver de l'internet 671
9.5.6 Le code mobile 673
9.5.7 La sécurité Java 679
9.6 Les mécanismes de protection 682
9.6.1 Les domaines de protection 682
9.6.2 Les listes de contrôle d'accès 685
9.6.3 La C-list 688
9.7 Les systèmes sécurisés 691
9.7.1 La base de traitement approuvée 692
9.7.2 Les modèles formels de systèmes sécurisés 693
9.7.3 La sécurité multiniveau 695
9.7.4 La sécurité selon le livre orange 697
9.7.5 Les voies clandestines (canaux cachés) 699
9.8 Les recherches sur la sécurité 704
9.9 Résumé 705
Exercices 706

10. Étude de cas n° 1 : UNIX et Linux 711

10.1 L'historique d'UNIX 712
10.1.1 UNICS 712
10.1.2 L'UNIX du PDP-11 712
10.1.3 UNIX et la portabilité 714
10.1.4 L'UNIX de Berkeley 715
10.1.5 La standardisation d'UNIX 715
10.1.6 MINIX 717
10.1.7 Linux 718
10.2 Survol d'UNIX 720
10.2.1 Les buts d'UNIX 720
10.2.2 Les interfaces dans UNIX 721
10.2.3 Le shell UNIX 723
10.2.4 Les utilitaires d'UNIX 725
10.2.5 La structure du noyau 727
10.3 Les processus dans UNIX 729
10.3.1 Les concepts fondamentaux 730
10.3.2 Les appels système UNIX pour la gestion de processus ... 732

10.3.3 L'implémentation des processus sous UNIX 738
10.3.4 Le démarrage d'UNIX 747
10.4 La gestion de la mémoire sous UNIX 750
10.4.1 Les concepts fondamentaux 750
10.4.2 Les appels système pour la gestion de la mémoire sous UNIX 754
10.4.3 L'implémentation de la gestion mémoire sous UNIX 755
10.5 Les entrées/sorties sous UNIX 764
10.5.1 Les concepts fondamentaux 764
10.5.2 Les appels système pour les entrées/sorties sous UNIX ... 767
10.5.3 L'implémentation des E/S sous UNIX 768
10.5.4 Les flots 770
10.6 Le système de fichiers UNIX 772
10.6.1 Les concepts fondamentaux 773
10.6.2 Les appels système UNIX pour le système de fichiers 777
10.6.3 L'implémentation du système de fichiers UNIX 781
10.6.4 NFS : le système de fichiers en réseau 788
10.7 La sécurité sous UNIX 794
10.7.1 Les concepts fondamentaux 794
10.7.2 Les appels système pour la sécurité sous UNIX 797
10.7.3 L'implémentation de la sécurité sous UNIX 798
10.8 Résumé 799
Exercices 800

11. Étude de cas n°2 : Windows 2000 805

11.1 L'historique de Windows 2000 805
11.1.1 MS-DOS 805
11.1.2 Windows 95/98/Me 806
11.1.3 Windows NT 807
11.1.4 Windows 2000 809
11.2 La programmation de Windows 2000 815
11.2.1 L'API Win32 815
11.2.2 Le Registre 817
11.3 L'architecture du système 821
11.3.1 La structure du système d'exploitation 822
11.3.2 L'implémentation des objets 831
11.3.3 Les sous-systèmes d'environnement 837

11.4 Les processus et les threads dans Windows 2000 842
11.4.1 Les concepts fondamentaux 842
11.4.2 Les appels API pour la gestion des jobs, processus, threads et fibres 845
11.4.3 L'implémentation des processus et des threads 848
11.4.4 L'émulation MS-DOS 855
11.4.5 L'amorçage de Windows 2000 856
11.5 La gestion de la mémoire 858
11.5.1 Les concepts fondamentaux 859
11.5.2 Les appels système pour la gestion de la mémoire 863
11.5.3 L'implémentation de la gestion de la mémoire 864
11.6 Les entrées/sorties sous Windows 2000 871
11.6.1 Les concepts fondamentaux 871
11.6.2 Les appels API pour les entrées/sorties 872
11.6.3 L'implémentation des E/S 874
11.6.4 Les pilotes de périphériques 874
11.7 Le système de fichiers Windows 2000 876
11.7.1 Les concepts fondamentaux 878
11.7.2 Les appels API du système de fichiers sous Windows 2000 879
11.7.3 L'implémentation du système de fichiers Windows 2000 ... 881
11.8 La sécurité dans Windows 2000 892
11.8.1 Les concepts fondamentaux 893
11.8.2 Les appels API pour la sécurité 894
11.8.3 L'implémentation de la sécurité 896
11.9 Le système de cache de Windows 2000 897
11.10 Résumé 899
Exercices 900

12. Conception du système d'exploitation 903
12.1 La problématique de la conception 904
12.1.1 Les objectifs 904
12.1.2 La conception d'un système d'exploitation : les raisons de la complexité 905
12.2 La conception de l'interface 907
12.2.1 Les principes directeurs 907
12.2.2 Les paradigmes 909
12.2.3 L'interface d'appel système 913

12.3 L'implémentation 915
12.3.1 La structure du système 915
12.3.2 Les procédés et la politique 919
12.3.3 L'orthogonalité 920
12.3.4 Le nommage 921
12.3.5 Les phases de liaisons 923
12.3.6 Les structures statiques ou dynamiques 924
12.3.7 L'implémentation descendante ou ascendante 925
12.3.8 Les techniques utiles 926
12.4 Les performances 932
12.4.1 Pourquoi les systèmes d'exploitation sont-ils lents ? 932
12.4.2 Que faudrait-il améliorer ? 933
12.4.3 Un compromis espace/temps 933
12.4.4 Le cache 936
12.4.5 Les indices 938
12.4.6 L'exploitation de la spatialité 938
12.4.7 L'optimisation du cas le plus courant 939
12.5 La gestion de projet 939
12.5.1 Le mythe de l'homme-mois 939
12.5.2 La structure de l'équipe 941
12.5.3 Le rôle de l'expérience 943
12.5.4 Pas de solution miracle 944
12.6 Les tendances de la conception des systèmes d'exploitation 944
12.6.1 Les systèmes d'exploitation à vaste espace d'adressage 944
12.6.2 Les réseaux 945
12.6.3 Les systèmes parallèles et distribués 946
12.6.4 Les systèmes multimédias 946
12.6.5 Les ordinateurs alimentés par batterie 946
12.6.6 Les systèmes embarqués 947
12.7 Résumé 948
Exercices 949
Bibliographie 953
Index 955