A colorful illustration of a circus scene at the top of the cover. It features a tiger walking on a platform, a person performing a handstand, a person on a unicycle, and a crowd of spectators in the background.

Andrew Tanenbaum

Systemes d'exploitation

3^e édition

Avec plus de 400 exercices

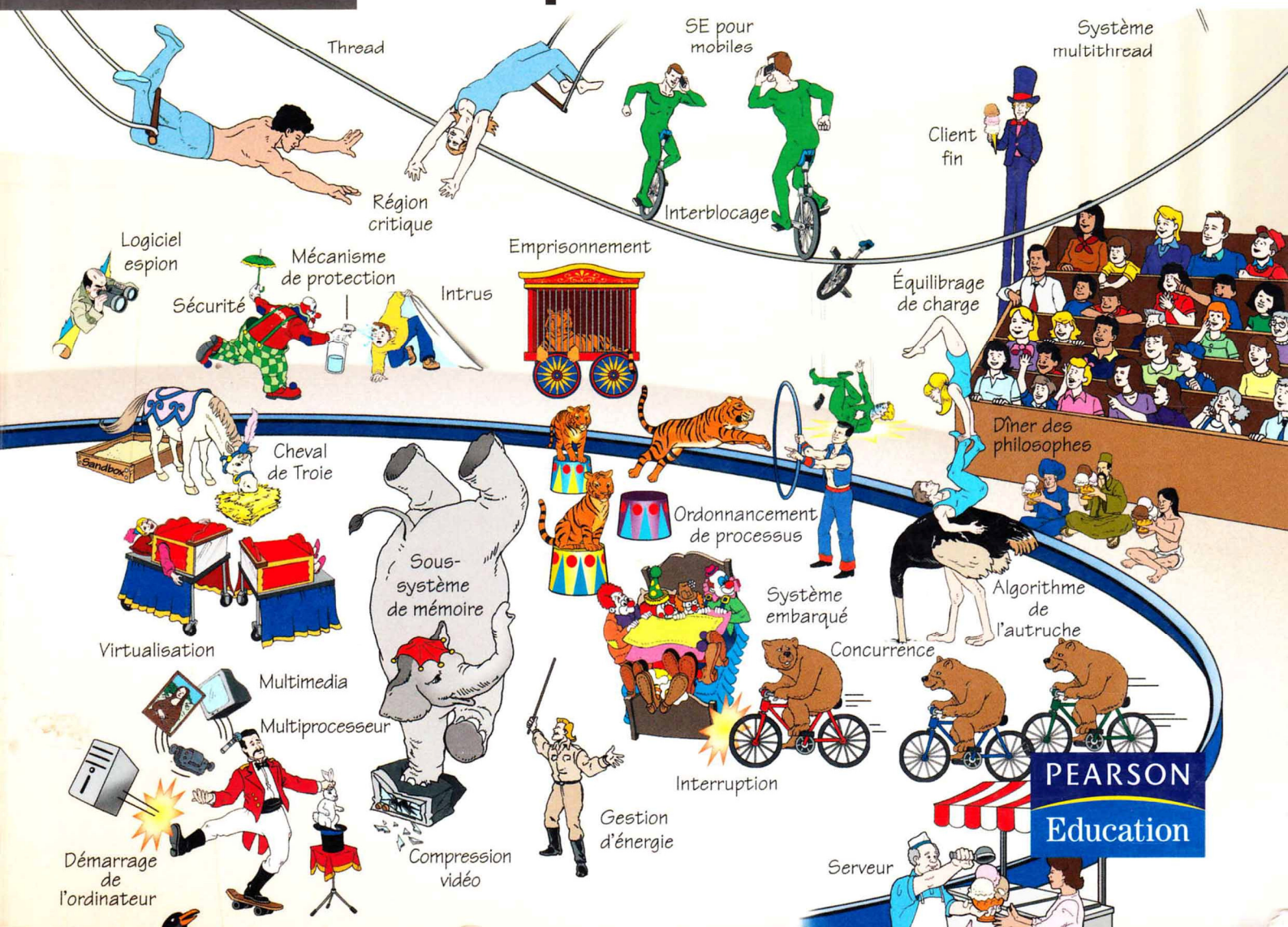


Table des matières

L'auteur	XIX
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	6
1.1.2 Le système d'exploitation comme gestionnaire de ressources	8
1.2 L'historique des systèmes d'exploitation	9
1.2.1 La première génération (1945-1955) : tubes à vide	9
1.2.2 La deuxième génération (1955-1965) : transistors et traitement par lots	10
1.2.3 La troisième génération (1965-1980) : circuits intégrés et multiprogrammation	12
1.2.4 La quatrième génération (1980-aujourd'hui) : les ordinateurs personnels	17
1.3 La structure matérielle d'un ordinateur	20
1.3.1 Le processeur	21
1.3.2 La mémoire	25
1.3.3 Les disques	28
1.3.4 Les bandes magnétiques	29
1.3.5 Les périphériques d'E/S	30
1.3.6 Les bus	33
1.3.7 Démarrage de l'ordinateur	35
1.4 Le bestiaire des systèmes d'exploitation	36
1.4.1 Les systèmes d'exploitation des mainframes	36
1.4.2 Les systèmes d'exploitation des serveurs	37
1.4.3 Les systèmes d'exploitation des multiprocesseurs	37
1.4.4 Les systèmes d'exploitation des PC	37

1.4.5	Les systèmes d'exploitation des assistants personnels	38
1.4.6	Les systèmes d'exploitation embarqués	38
1.4.7	Les systèmes d'exploitation des objets communicants	38
1.4.8	Les systèmes d'exploitation temps réel	39
1.4.9	Les systèmes d'exploitation pour smart cards	39
1.5	Les concepts de base des systèmes d'exploitation	40
1.5.1	Les processus	40
1.5.2	Espace d'adressage	42
1.5.3	Les fichiers	43
1.5.4	Les entrées/sorties	46
1.5.5	La sécurité	46
1.5.6	Le shell	46
1.5.7	L'ontogenèse résume la phylogenèse	48
1.6	Les appels système	51
1.6.1	Les appels système pour la gestion des processus	55
1.6.2	Les appels système pour la gestion des fichiers	57
1.6.3	Les appels système pour la gestion des répertoires	58
1.6.4	Autres appels système	59
1.6.5	L'API Win32 de Windows	60
1.7	La structure d'un système d'exploitation	63
1.7.1	Les systèmes monolithiques	63
1.7.2	Les systèmes en couches	64
1.7.3	Les micronoyaux	65
1.7.4	Le modèle client-serveur	68
1.7.5	Les machines virtuelles	68
1.7.6	Les exonoyaux	72
1.8	Le monde du langage C	72
1.8.1	Le langage C	73
1.8.2	Les fichiers d'en-tête	73
1.8.3	Développement de gros programmes	74
1.8.4	Le modèle d'exécution	76
1.9	Les recherches sur les systèmes d'exploitation	76
1.10	Organisation de l'ouvrage	77
1.11	Le système métrique	78
1.12	Résumé	79
	Exercices	80

2. Processus et threads	85
2.1 Les processus	85
2.1.1 Le modèle de processus	86
2.1.2 La création d'un processus	88
2.1.3 La fin d'un processus	90
2.1.4 La hiérarchie des processus	91
2.1.5 Les états des processus	92
2.1.6 L'implémentation des processus	94
2.1.7 La modélisation de la multiprogrammation	96
2.2 Les threads	98
2.2.1 L'utilisation des threads	98
2.2.2 Le modèle de thread classique	104
2.2.3 Les threads de POSIX	108
2.2.4 L'implémentation de threads dans l'espace utilisateur	110
2.2.5 L'implémentation de threads dans le noyau	113
2.2.6 Les implémentations hybrides	114
2.2.7 Les activations de l'ordonnanceur	115
2.2.8 Les threads spontanés	116
2.2.9 Du code monothread au code multithread	117
2.3 La communication interprocessus	121
2.3.1 Les conditions de concurrence	121
2.3.2 Les sections critiques	123
2.3.3 L'exclusion mutuelle avec attente active	124
2.3.4 Le sommeil et l'activation	129
2.3.5 Les sémaphores	132
2.3.6 Les mutex	135
2.3.7 Les moniteurs	140
2.3.8 L'échange de messages	146
2.3.9 Les barrières	149
2.4 L'ordonnancement	150
2.4.1 Introduction à l'ordonnancement	150
2.4.2 L'ordonnancement sur les systèmes de traitement par lots	157
2.4.3 L'ordonnancement des systèmes interactifs	159
2.4.4 L'ordonnancement des systèmes temps réel	166
2.4.5 La politique et le mécanisme d'ordonnancement	167
2.4.6 L'ordonnancement des threads	168

2.5	Les problèmes classiques	170
2.5.1	Le dîner des philosophes	170
2.5.2	Le problème des lecteurs et des rédacteurs	173
2.6	Les recherches sur les processus et les threads	175
2.7	Résumé	175
	Exercices	176
3.	La gestion de la mémoire	183
3.1	Abstraction de la mémoire ?	184
3.2	Une abstraction de la mémoire : les espaces d'adressage	187
3.2.1	La notion d'espace d'adressage	187
3.2.2	Le va-et-vient	189
3.2.3	Gérer la mémoire libre	192
3.3	La mémoire virtuelle	195
3.3.1	La pagination	196
3.3.2	Les tables des pages	200
3.3.3	Accélérer la pagination	202
3.3.4	Les tables des pages des grandes mémoires	206
3.4	Les algorithmes de remplacements de pages	209
3.4.1	L'algorithme optimal de remplacement de page	210
3.4.2	L'algorithme de remplacement de la page non récemment utilisée	211
3.4.3	L'algorithme de remplacement de page premier entré, premier sorti	212
3.4.4	L'algorithme de remplacement de page de la seconde chance	213
3.4.5	L'algorithme de remplacement de page de l'horloge	214
3.4.6	L'algorithme de remplacement de la page la moins récemment utilisée (LRU)	214
3.4.7	La simulation logicielle de l'algorithme LRU	216
3.4.8	L'algorithme de remplacement de page « ensemble de travail »	217
3.4.9	L'algorithme de remplacement de page WSClock	221
3.4.10	Résumé des algorithmes de remplacements de pages	223
3.5	La conception des systèmes de pagination	224
3.5.1	Les politiques d'allocations locale et globale	225
3.5.2	Contrôle du chargement	227

3.5.3	La taille des pages	228
3.5.4	Séparation des espaces d'instructions et des données	229
3.5.5	Les pages partagées	230
3.5.6	Les bibliothèques partagées	232
3.5.7	Les fichiers placés (mappés) en mémoire	234
3.5.8	La politique de nettoyage	234
3.5.9	L'interface de mémoire virtuelle	235
3.6	Les problèmes de l'implantation	236
3.6.1	Le rôle du système d'exploitation dans la pagination	236
3.6.2	Gérer les défauts de pages	237
3.6.3	Retourner au début d'une instruction	238
3.6.4	Verrouiller des pages en mémoire	239
3.6.5	La mémoire auxiliaire	239
3.6.6	Séparer la stratégie et le système	241
3.7	La segmentation	243
3.7.1	Implantation de la segmentation pure	247
3.7.2	La segmentation avec pagination : MULTICS	248
3.7.3	La segmentation avec pagination : le Pentium d'Intel	251
3.8	Les recherches sur la gestion mémoire	256
3.9	Résumé	256
	Exercices	257
4.	Systèmes de fichiers	265
4.1	Les fichiers	267
4.1.1	Les noms des fichiers	267
4.1.2	La structure des fichiers	269
4.1.3	Les types de fichiers	270
4.1.4	L'accès aux fichiers	273
4.1.5	Les attributs des fichiers	273
4.1.6	Les opérations sur les fichiers	275
4.1.7	Un exemple de programme utilisant des appels au système de fichiers	276
4.2	Les répertoires	279
4.2.1	Les systèmes à un seul niveau de répertoire	279
4.2.2	Les systèmes à répertoire hiérarchique	280
4.2.3	Les chemins d'accès	280
4.2.4	Les opérations sur les répertoires	283

4.3	Architecture d'un système de fichiers	284
4.3.1	L'organisation du système de fichiers	284
4.3.2	Mise en œuvre des fichiers	285
4.3.3	Mise en œuvre des répertoires	291
4.3.4	Les fichiers partagés	294
4.3.5	Les systèmes de fichiers LFS	297
4.3.6	Les systèmes de fichiers journalisés	299
4.3.7	Les systèmes de fichiers virtuels	300
4.4	Gestion et optimisation d'un système de fichiers	304
4.4.1	Gérer l'espace disque	304
4.4.2	La sauvegarde du système de fichiers	311
4.4.3	La cohérence du système de fichiers	317
4.4.4	L'efficacité du système de fichiers	320
4.4.5	La défragmentation des disques	325
4.5	Quelques systèmes de fichiers	325
4.5.1	Les systèmes de fichiers des CD-ROM	326
4.5.2	Le système de fichiers de MS-DOS	331
4.5.3	Le système de fichiers d'UNIX V7	335
4.6	Les recherches sur les systèmes de fichiers	338
4.7	Résumé	338
	Exercices	339

5. Entrées/sorties 343

5.1	Les aspects matériels des E/S	343
5.1.1	Les périphériques d'E/S	344
5.1.2	Le contrôleur de périphérique	345
5.1.3	Les E/S projetées en mémoire	346
5.1.4	L'accès direct à la mémoire (DMA)	350
5.1.5	Un retour sur les interruptions	354
5.2	Les principes des logiciels d'E/S	358
5.2.1	Les objectifs des logiciels d'E/S	358
5.2.2	Les E/S programmées	360
5.2.3	Les E/S pilotées par les interruptions	362
5.2.4	Les E/S avec DMA	363
5.3	La structure en couches des logiciels d'E/S	363
5.3.1	Les gestionnaires d'interruptions	363

5.3.2	Les pilotes de périphériques	365
5.3.3	Le logiciel d'indépendance par rapport au matériel	369
5.3.4	Les logiciels d'E/S de l'espace utilisateur	375
5.4	Les disques	377
5.4.1	Les différents types de disques	377
5.4.2	Le formatage des disques	393
5.4.3	Les algorithmes d'ordonnancement du bras du disque ...	397
5.4.4	La gestion d'erreurs	401
5.4.5	Le stockage stable	404
5.5	Les horloges	407
5.5.1	L'horloge : la partie matérielle	407
5.5.2	L'horloge : la partie logicielle	409
5.5.3	Les temporisateurs logiciels	412
5.6	L'interface utilisateur : clavier, souris, écran	413
5.6.1	Les logiciels d'entrée	414
5.6.2	Les logiciels de sortie	419
5.7	Les clients légers	435
5.8	La gestion de l'alimentation	438
5.8.1	Les aspects liés au matériel	439
5.8.2	Les aspects liés au système d'exploitation	440
5.8.3	Les aspects liés aux applications	446
5.9	Les recherches dans le domaine des E/S	447
5.10	Résumé	448
	Exercices	449
6.	Interblocages	457
6.1	Les ressources	458
6.1.1	Les ressources retirables et non retirables	458
6.1.2	L'acquisition de ressources	459
6.2	Introduction aux interblocages	461
6.2.1	Les conditions pour provoquer un interblocage	462
6.2.2	La modélisation des interblocages	462
6.3	La politique de l'autruche	465
6.4	La détection et la reprise des interblocages	465
6.4.1	Détecter un interblocage avec une ressource de chaque type	466

6.4.2	Détecter des interblocages avec plusieurs ressources de chaque type	468
6.4.3	Reprendre un interblocage	471
6.5	L'évitement des interblocages	473
6.5.1	Les trajectoires de ressources	473
6.5.2	Les états sûrs et non sûrs	474
6.5.3	L'algorithme du banquier pour une ressource unique	476
6.5.4	L'algorithme du banquier pour plusieurs ressources	477
6.6	La prévention des interblocages	478
6.6.1	S'attaquer à la condition de l'exclusion mutuelle	479
6.6.2	S'attaquer à la condition de détention et d'attente	479
6.6.3	S'attaquer à la condition de non-préemption	480
6.6.4	S'attaquer à la condition de l'attente circulaire	480
6.7	Autres considérations	482
6.7.1	Le verrouillage en deux phases	482
6.7.2	Les interblocages de communication	482
6.7.3	Interblocage actif (<i>livelock</i>)	484
6.7.4	La privation de ressources	486
6.8	Les recherches sur les interblocages	486
6.9	Résumé	487
	Exercices	487
7.	Systèmes d'exploitation multimédias	493
7.1	Introduction au multimédia	494
7.2	Les fichiers multimédias	498
7.2.1	Le codage vidéo	499
7.2.2	Le codage audio	502
7.3	La compression vidéo	504
7.3.1	La norme JPEG	504
7.3.2	La norme MPEG	507
7.4	La compression audio	510
7.5	L'ordonnancement de processus multimédias	514
7.5.1	L'ordonnancement de processus homogènes	514
7.5.2	L'ordonnancement temps réel	514
7.5.3	L'ordonnancement RMS	516
7.5.4	L'ordonnancement EDF	518

7.6	Les paradigmes du système de fichiers multimédia	520
7.6.1	Les fonctions de commandes VCR	521
7.6.2	La quasi-vidéo à la demande (NVOD)	523
7.6.3	La quasi-vidéo à la demande avec des fonctions VCR	524
7.7	Le placement de fichier	526
7.7.1	Placer un fichier sur un disque unique	527
7.7.2	Deux autres stratégies d'organisation de fichiers	528
7.7.3	Placer des fichiers NVOD	531
7.7.4	Placer plusieurs fichiers sur un seul disque	533
7.7.5	Placer des fichiers sur plusieurs disques	535
7.8	La mise en cache	537
7.8.1	Mettre en cache des blocs	538
7.8.2	Mettre en cache des fichiers	539
7.9	L'ordonnancement du disque pour le multimédia	540
7.9.1	L'ordonnancement statique du disque	540
7.9.2	L'ordonnancement dynamique du disque	542
7.10	Les recherches sur le multimédia	543
7.11	Résumé	544
	Exercices	545
8.	Systèmes multiprocesseurs	551
8.1	Les multiprocesseurs	554
8.1.1	Le matériel d'un multiprocesseur	554
8.1.2	Les types de systèmes d'exploitation pour les multiprocesseurs	563
8.1.3	La synchronisation des multiprocesseurs	567
8.1.4	L'ordonnancement des multiprocesseurs	571
8.2	Les multi-ordinateurs	578
8.2.1	La configuration matérielle d'un multi-ordinateur	578
8.2.2	Les logiciels de communication de bas niveau	582
8.2.3	Les logiciels de communication au niveau utilisateur	584
8.2.4	L'appel de procédure à distance	588
8.2.5	La mémoire partagée distribuée	590
8.2.6	L'ordonnancement sur un multi-ordinateur	595
8.2.7	L'équilibrage de la charge	595

8.3	La virtualisation	598
8.3.1	Les conditions de la virtualisation	600
8.3.2	Les hyperviseurs de type 1	601
8.3.3	Les hyperviseurs de type 2	602
8.3.4	La paravirtualisation	603
8.3.5	La virtualisation de la mémoire	605
8.3.6	La virtualisation des E/S	607
8.3.7	Les serveurs applicatifs virtuels	608
8.3.8	Les machines virtuelles sur des UC multicœurs	608
8.3.9	La question des licences	609
8.4	Les systèmes distribués	609
8.4.1	Le matériel réseau	612
8.4.2	Les services et les protocoles réseau	615
8.4.3	Le middleware fondé sur le document	619
8.4.4	Le middleware fondé sur le système de fichiers	620
8.4.5	Le middleware basé sur un objet partagé	625
8.4.6	Le middleware fondé sur la coordination	627
8.4.7	Les ordinateurs en grille	633
8.5	Les recherches sur les systèmes multiprocesseurs	633
8.6	Résumé	634
	Exercices	635
9.	Sécurité	641
9.1	L'environnement de sécurité	643
9.1.1	Les menaces	643
9.1.2	Les intrus	645
9.1.3	Les pertes accidentelles de données	646
9.2	Les bases de la cryptographie	646
9.2.1	La cryptographie à clé secrète	648
9.2.2	La cryptographie à clé publique	648
9.2.3	Les fonctions à sens unique	649
9.2.4	La signature numérique	650
9.2.5	Une plate-forme digne de confiance	652
9.3	Les mécanismes de protection	652
9.3.1	Les domaines de protection	653
9.3.2	Les listes de contrôle d'accès	655
9.3.3	Les capacités	658
9.3.4	Les systèmes de confiance	661

9.3.5	La base informatique de confiance	662
9.3.6	Les modèles formels	664
9.3.7	La sécurité multiniveaux	665
9.3.8	Les canaux cachés	668
9.4	L'authentification	673
9.4.1	L'authentification par mot de passe	674
9.4.2	L'authentification avec un objet physique	683
9.4.3	L'authentification biométrique	686
9.5	Les attaques depuis l'intérieur	689
9.5.1	Les bombes logiques	689
9.5.2	Les portes dérobées	690
9.5.3	L'usurpation d'identité	691
9.6	L'exploitation des bogues	692
9.6.1	Le débordement de mémoire	693
9.6.2	Les formats de chaînes de caractères	695
9.6.3	Les retours de fonction de la <i>libc</i>	697
9.6.4	Les dépassements de capacité	699
9.6.5	L'injection de code	699
9.6.6	L'élévation des privilèges	701
9.7	Les logiciels malveillants	701
9.7.1	Les chevaux de Troie	704
9.7.2	Les virus	706
9.7.3	Les vers	717
9.7.4	Les logiciels espions	720
9.7.5	Les outils de dissimulation d'activité	723
9.8	Les parades	729
9.8.1	Les pare-feu	729
9.8.2	Les antivirus et les techniques anti-antivirus	731
9.8.3	La signature du code	739
9.8.4	L'emprisonnement	740
9.8.5	La détection d'intrusion par modèle	741
9.8.6	L'encapsulation du code mobile	743
9.8.7	La sécurité de Java	748
9.9	Les recherches sur la sécurité	750
9.10	Résumé	751
	Exercices	752

10. Étude de cas n° 1 : Linux	759
10.1 L'historique d'UNIX et de Linux	760
10.1.1 UNICS	760
10.1.2 L'UNIX du PDP-11	761
10.1.3 UNIX et la portabilité	762
10.1.4 L'UNIX de Berkeley	763
10.1.5 La standardisation d'UNIX	764
10.1.6 MINIX	765
10.1.7 Linux	766
10.2 Survol de Linux	768
10.2.1 Les buts de Linux	769
10.2.2 Les interfaces dans Linux	770
10.2.3 Le shell	772
10.2.4 Les utilitaires Linux	775
10.2.5 La structure du noyau	777
10.3 Les processus dans Linux	779
10.3.1 Les concepts fondamentaux	780
10.3.2 Les appels système Linux pour la gestion de processus	782
10.3.3 L'implémentation des processus et des threads sous Linux	786
10.3.4 L'ordonnancement sous Linux	793
10.3.5 Démarrer Linux	796
10.4 La gestion de la mémoire sous Linux	799
10.4.1 Les concepts fondamentaux	799
10.4.2 Les appels système pour la gestion de la mémoire sous Linux	802
10.4.3 L'implémentation de la gestion mémoire sous Linux	803
10.4.4 Pagination dans Linux	810
10.5 Les entrées/sorties sous Linux	813
10.5.1 Les concepts fondamentaux	814
10.5.2 Réseau	815
10.5.3 Les appels système pour les entrées/sorties sous Linux	817
10.5.4 L'implémentation des E/S sous Linux	818
10.5.5 Les modules dans Linux	821
10.6 Le système de fichiers Linux	822
10.6.1 Les concepts fondamentaux	822
10.6.2 Les appels système Linux pour le système de fichiers	827
10.6.3 L'implémentation du système de fichiers Linux	831
10.6.4 NFS : le système de fichiers en réseau	840

10.7	La sécurité sous Linux	846
10.7.1	Les concepts fondamentaux	846
10.7.2	Les appels système pour la sécurité sous Linux	849
10.7.3	L'implémentation de la sécurité sous Linux	850
10.8	Résumé	851
	Exercices	852
11.	Étude de cas n° 2 : Windows Vista	859
11.1	Historique de Windows Vista	859
11.1.1	Années 1980 : MS-DOS	860
11.1.2	Années 1990 : Windows MS-DOS	861
11.1.3	Années 2000 : Windows NT	861
11.1.4	Windows Vista	865
11.2	Programmer Windows Vista	866
11.2.1	L'interface de programmation d'applications NT native ..	869
11.2.2	L'API Win32	872
11.2.3	Le registre Windows	877
11.3	Structure du système	880
11.3.1	Structure du système d'exploitation	880
11.3.2	Démarrer Windows Vista	896
11.3.3	Implémentation du gestionnaire d'objets	898
11.3.4	Sous-systèmes, DLL et services en mode utilisateur	909
11.4	Processus et threads dans Windows Vista	912
11.4.1	Les concepts fondamentaux	912
11.4.2	Les appels API pour la gestion des jobs, processus, threads et fibres	917
11.4.3	Implémentation des processus et des threads	923
11.5	Gestion de la mémoire	932
11.5.1	Concepts fondamentaux	932
11.5.2	Les appels système pour la gestion de la mémoire	937
11.5.3	Implémentation de la gestion mémoire	938
11.6	Mise en cache dans Windows Vista	948
11.7	Entrées/sorties dans Windows Vista	951
11.7.1	Concepts fondamentaux	951
11.7.2	Appels d'API d'E/S	953
11.7.3	Implémentation des E/S	956

11.8	Le système de fichiers Windows NT	962
11.8.1	Concepts fondamentaux	962
11.8.2	Implémentation du système de fichiers NT	963
11.9	La sécurité dans Windows Vista	974
11.9.1	Concepts fondamentaux	975
11.9.2	Appels d'API de sécurité	978
11.9.3	Implémentation de la sécurité	979
11.10	Résumé	981
	Exercices	983

12. Conception du système d'exploitation 987

12.1	La problématique de la conception	987
12.1.1	Les objectifs	988
12.1.2	La conception d'un système d'exploitation : les raisons de la complexité	989
12.2	La conception de l'interface	991
12.2.1	Les principes directeurs	991
12.2.2	Les paradigmes	993
12.2.3	L'interface d'appel système	997
12.3	L'implémentation	999
12.3.1	La structure du système	999
12.3.2	Les procédés et la politique	1003
12.3.3	L'orthogonalité	1004
12.3.4	Le nommage	1005
12.3.5	Les phases de liaisons	1007
12.3.6	Les structures statiques ou dynamiques	1008
12.3.7	L'implémentation descendante ou ascendante	1009
12.3.8	Les techniques utiles	1010
12.4	Les performances	1016
12.4.1	Pourquoi les systèmes d'exploitation sont-ils lents ?	1016
12.4.2	Que faudrait-il améliorer ?	1017
12.4.3	Un compromis espace/temps	1018
12.4.4	Le cache	1021
12.4.5	Les indices	1022
12.4.6	L'exploitation de la spatialité	1022
12.4.7	L'optimisation du cas le plus courant	1023

12.5	La gestion de projet	1024
12.5.1	Le mythe de l'homme-mois	1024
12.5.2	La structure de l'équipe	1025
12.5.3	Le rôle de l'expérience	1027
12.5.4	Pas de solution miracle	1028
12.6	Les tendances de la conception des systèmes d'exploitation	1028
12.6.1	La virtualisation	1029
12.6.2	Les puces multicœurs	1029
12.6.3	Les systèmes d'exploitation à vaste espace d'adressage ...	1030
12.6.4	Les réseaux	1030
12.6.5	Les systèmes parallèles et distribués	1031
12.6.6	Les systèmes multimédias	1031
12.6.7	Les ordinateurs alimentés par batterie	1032
12.6.8	Les systèmes embarqués	1032
12.6.9	Les nœuds capteurs	1033
12.7	Résumé	1033
	Exercices	1034
	Bibliographie	1039
	Index	1041