

Systèmes informatiques

Principes et fonctionnement

Joëlle Delacroix

Maître de conférences en informatique
au Conservatoire des Arts et Métiers

Alain Cazes

Ancien maître de conférences en informatique
au Conservatoire national des Arts et Métiers

DUNOD

Illustration de couverture : © Mer_Studio – Shutterstock

© Dunod, 2025
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-089044-6

Table des matières

PARTIE 1 • INTRODUCTION

CHAPITRE 1 • INTRODUCTION À L'ARCHITECTURE DES ORDINATEURS	3
1.1 Structure générale d'un ordinateur	3
1.2 La machine matérielle	4
1.2.1 La fonction d'exécution : le processeur	5
1.2.2 La fonction de mémorisation	8
1.2.3 La fonction de communication : périphériques et bus	12
1.3 Le mécanisme des interruptions matérielles	13
1.4 Le concept de cache	15
1.5 Conclusion	17
1.6 Qu'avez-vous retenu ?	17
 CHAPITRE 2 • INTRODUCTION AUX SYSTÈMES D'EXPLOITATION MULTIPROGRAMMÉS	 19
2.1 Rôle et définition d'un système d'exploitation multiprogrammé	19
2.1.1 Un premier rôle : assurer le partage de la machine physique	22
2.1.2 Un second rôle : rendre conviviale la machine physique	22
2.2 Structure d'un système d'exploitation multiprogrammé les composants	24
2.2.1 Les différentes fonctionnalités	24
2.2.2 Les routines	25
2.3 Principaux types de systèmes d'exploitations multiprogrammés	26
2.3.1 Les systèmes à traitements par lots	26
2.3.2 Les systèmes interactifs	27
2.3.3 Les systèmes temps réel	28

2.3.4	Les systèmes mobiles	29
2.3.5	Les systèmes virtualisés	29
2.4	Notions de base	30
2.4.1	Modes d'exécutions et commutations de contexte	30
2.4.2	Gestion des interruptions matérielles et logicielles	32
2.4.3	Langage de commandes	37
2.5	Conclusion	40
2.6	Qu'avez-vous retenu ?	41

PARTIE 2 • FONCTION D'EXÉCUTION

CHAPITRE 3 • LA CHAÎNE DE PRODUCTION DE PROGRAMMES	45
3.1 La compilation	46
3.1.1 Grammaire et structure d'un langage de haut niveau	47
3.1.2 Analyse lexicale	49
3.1.3 Analyse syntaxique	50
3.1.4 Analyse sémantique	53
3.1.5 Génération du code final	55
3.2 L'édition des liens	58
3.2.1 Rôle de l'éditeur de liens	58
3.2.2 Fonctionnement de l'éditeur de liens	58
3.3 Le chargement	71
3.3.1 Rôle du chargeur	71
3.3.2 Chargement et édition des liens dynamique	72
3.4 Le préprocesseur	74
3.4.1 La directive #include	74
3.4.2 La directive #define	74
3.4.3 La compilation conditionnelle	75
3.4.4 Un exemple	75
3.5 L'utilitaire Make	76
3.5.1 Format du fichier Makefile	77
3.5.2 Fonctionnement de l'utilitaire Make	78
3.6 Compilateur, interpréteur et machine virtuelle	78
3.7 Conclusion	80
3.8 Qu'avez-vous retenu ?	81
3.9 Exercice	83
3.10 Solutions	88

CHAPITRE 4 • PROCESSUS ET ORDONNANCEMENT	95
4.1 Notion de processus	95
4.1.1 États d'un processus	96
4.1.2 Bloc de contrôle du processus	97
4.2 Opérations sur les processus	99
4.2.1 Création de processus	99
4.2.2 Destruction de processus	99
4.2.3 Suspension d'exécution	100
4.2.4 Un exemple de processus : les processus Unix	100
4.3 Programmation de processus : l'exemple de Linux	102
4.3.1 Structure, états et attributs d'un processus Linux	102
4.3.2 Création d'un processus Linux	104
4.3.3 Terminaison d'un processus et synchronisation avec son père	106
4.4 Langage de commandes processus : l'exemple de Linux	109
4.4.1 Commande <i>ps</i> : connaître les processus existants	109
4.4.2 Commande <i>kill</i> : arrêter l'exécution d'un processus	110
4.5 Ordonnancement sur l'unité centrale	111
4.5.1 Ordonnancement préemptif et non préemptif	111
4.5.2 Entités systèmes responsable de l'ordonnancement	113
4.5.3 Politiques d'ordonnancement	114
4.5.4 Exemples	119
4.6 Notion de processus léger ou thread	121
4.6.1 Notion de thread	121
4.6.2 Exemple sous Linux	122
4.6.3 Exemple sous Windows	123
4.7 Conclusion	125
4.8 Qu'avez-vous retenu ?	125
4.9 Exercices	127
4.10 Solutions	129
CHAPITRE 5 • COMMUNICATION CENTRALISÉE ET SYNCHRONISATION ENTRE PROCESSUS	131
5.1 L'exclusion mutuelle	132
5.1.1 Un exemple simple	132
5.1.2 Ressource critique, section critique et exclusion mutuelle	133
5.1.3 Réalisation d'une section critique à l'aide des interruptions matérielles	133
5.2 L'outil sémaphore	134
5.2.1 Présentation de l'outil sémaphore	134
5.3 Le schéma de l'allocation de ressources	136
5.3.1 Présentation du schéma	136
5.3.2 Interblocage	136

5.3.3	Politique de détection/guérison	137
5.3.4	Politique de prévention	138
5.3.5	Inversion de priorité	139
5.4	Le schéma lecteurs-rédacteurs	142
5.4.1	Le rédacteur	142
5.4.2	Le lecteur	143
5.4.3	Utilisation de ce schéma au niveau du système d'exploitation	143
5.5	Le schéma producteur-consommateur	144
5.5.1	Présentation du problème	144
5.5.2	Une solution au problème	145
5.6	Exemple des outils de synchronisation et de communication sous le système Linux	145
5.6.1	Implémentation des sémaphores sous Linux	145
5.6.2	Outils de communication : les tubes anonymes	146
5.7	Conclusion	150
5.8	Exercices	151
5.9	Solutions	155

PARTIE 3 • FONCTION DE MÉMORISATION

CHAPITRE 6 • GESTION DE LA MÉMOIRE CENTRALE	165
6.1 Mémoire physique et mémoire logique	165
6.2 Allocation de la mémoire physique	167
6.2.1 Allocation contiguë de la mémoire physique	167
6.2.2 Allocation non contiguë de la mémoire physique	173
6.3 Mémoire virtuelle	187
6.3.1 Principe de la mémoire virtuelle	187
6.3.2 Le défaut de page	190
6.3.3 Le remplacement de pages	192
6.4 Exemples	196
6.4.1 Gestion de la mémoire sous Linux	196
6.4.2 La mémoire virtuelle sous l'OS MVS/370	198
6.4.3 Gestion de la mémoire sous Windows	198
6.5 Swapping des processus	200
6.6 Conclusion	200
6.7 Qu'avez-vous retenu ?	201
6.8 Exercices	203
6.9 Solutions	206

CHAPITRE 7 • SYSTÈME DE GESTION DE FICHIERS	213
7.1 Le fichier logique	213
7.1.1 Définition	213
7.1.2 Les modes d'accès	214
7.2 Le fichier physique	217
7.2.1 Structure du disque dur	218
7.2.2 Méthodes d'allocation de la mémoire secondaire	219
7.3 Correspondance fichier logique-fichier physique	230
7.3.1 Notion de répertoire	230
7.3.2 Réalisation des opérations : fonctions et commandes du système de gestion de fichiers	237
7.4 Protection	241
7.4.1 Protection contre les accès inappropriés	241
7.4.2 Protection contre les dégâts physiques	245
7.5 Conclusion	250
7.6 Qu'avez-vous retenu ?	250
7.7 Exercices	252
7.8 Solutions	255
 INDEX	 292

PARTIE 1

INTRODUCTION

Dans cette première partie, nous introduisons les notions fondamentales nécessaires à la bonne compréhension du fonctionnement des systèmes d'exploitation.

Un système d'exploitation est une couche logicielle qui construit une interface entre les applications de l'utilisateur et la machine matérielle. Cette couche logicielle interagit donc, d'une part, avec les applications et, d'autre part, avec la machine physique.

Le chapitre 1 présente de façon succincte les principes fondamentaux de l'architecture des ordinateurs qu'il est nécessaire de connaître pour comprendre certains aspects des systèmes d'exploitation.

Le chapitre 2 introduit la notion de système d'exploitation et décrit l'architecture générale d'un système ainsi que les principes de base de son fonctionnement.

Mots-clés : système d'exploitation, processeur, mémoire physique, périphériques, interruptions, multiprogrammation.

Chapitre 1

Introduction à l'architecture des ordinateurs

Dans ce chapitre, nous rappelons quelques éléments fondamentaux concernant l'architecture des ordinateurs, utiles pour la compréhension du fonctionnement des systèmes d'exploitation.

Nous commençons par décrire les principaux composants matériels d'un ordinateur et leur rôle. Nous abordons également le principe des interruptions matérielles et la notion fondamentale de cache.

1.1 STRUCTURE GÉNÉRALE D'UN ORDINATEUR

Une machine informatique est souvent représentée sous forme d'une entité structurée en trois couches (figure 1.1) :

- la couche supérieure est celle des logiciels des utilisateurs : ce sont les programmes qui permettent à l'utilisateur de réaliser des tâches sur la machine, soit les applications courantes comme les logiciels de bureautique, le navigateur, les jeux, etc. ;
- la couche la plus basse est celle du matériel ou « *hardware* ». Elle contient les dispositifs matériels permettant à l'ordinateur de fonctionner. Nous les présentons dans ce chapitre ;
- la couche intermédiaire est celle du logiciel « système d'exploitation » (*Operating System*, OS) : il s'agit d'un ensemble de programmes qui se place à l'interface entre

le matériel et les logiciels applicatifs. Il permet notamment à ces logiciels applicatifs d'utiliser et de partager les ressources matérielles de la machine. Il construit également une sorte de « machine virtuelle » plus simple à utiliser. Les principaux systèmes d'exploitation sont notamment Linux, Windows, Mac OS, Unix.

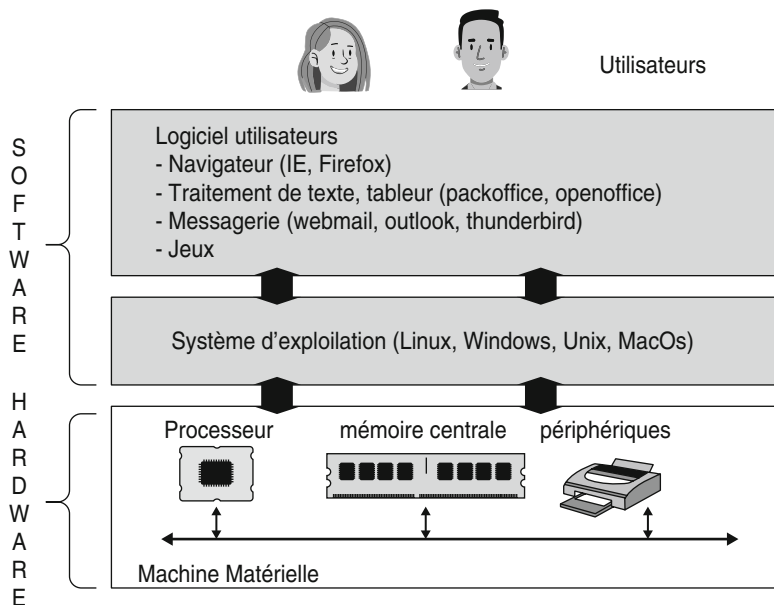


Figure 1.1 Les couches de la machine informatique.

1.2 LA MACHINE MATÉRIELLE

Le rôle d'un ordinateur est de réaliser des traitements sur des données. Cet ordinateur doit donc physiquement se composer d'éléments qui permettent (figure 1.2) :

- *la réalisation de calculs et de traitements* : c'est la fonction d'exécution représentée notamment par le processeur ;
- *le stockage de données* : c'est la fonction de mémorisation représentée par différents types de mémoire comme la mémoire centrale ou les mémoires de masse ;
- *l'échange de données* : c'est la fonction de communication représentée par différents périphériques d'entrées-sorties comme la souris, le clavier, l'écran, le réseau.

Dans cette configuration qui correspond à une architecture de Von Neumann, le processeur – qui en quelque sorte est le chef d'orchestre de la machine physique – exécute les instructions de programmes informatiques placés dans la mémoire centrale. Ces instructions manipulent des données qui se trouvent elles aussi dans la mémoire centrale. Cette dernière peut être vue comme un tableau d'octets, chaque octet étant identifié de façon unique par son rang dans la mémoire, ce qui constitue

son adresse. Pour échanger avec les utilisateurs de la machine, le processeur utilise les périphériques d'entrées-sorties qui lui permettent de récupérer des données (par exemple, depuis un clavier) ou d'envoyer des données (par exemple, vers un écran).

Bit et octet

Un octet est un ensemble de 8 bits. Le bit ou *binary digit* correspond à la plus petite information représentable au niveau matériel. Elle prend deux états : 0 ou 1. Ces deux états correspondent aux deux niveaux de sortie des circuits composant les éléments matériels de l'ordinateur.

Tous les éléments composant l'ordinateur doivent pouvoir communiquer entre eux. Par exemple, une donnée saisie au clavier doit pouvoir être envoyée depuis ce périphérique vers la mémoire centrale et le processeur. Permettre l'échange de données et de commandes entre les différents composants de la machine est le rôle des bus de communication.

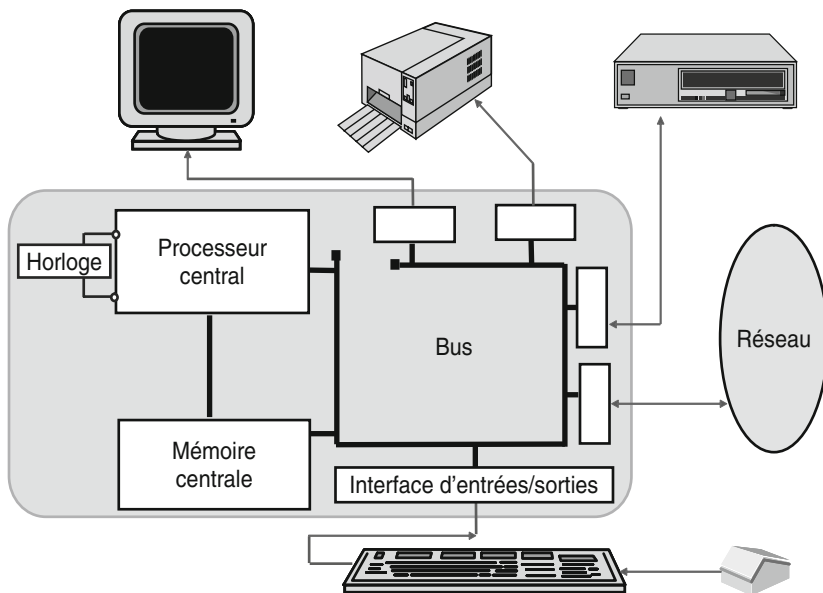


Figure 1.2 Les composants de la machine physique.

1.2.1 La fonction d'exécution : le processeur

Le processeur (*Central Processing Unit*, CPU) est le cerveau de l'ordinateur. Il permet de manipuler des données et d'exécuter des instructions codées sous forme binaire.

Le processeur est un circuit électronique cadencé au rythme d'une horloge interne qui envoie des impulsions, appelées « top ». La fréquence d'horloge correspond au