

INTRODUCTION AUX SYSTÈMES D'EXPLOITATION

Systèmes d'exploitation

1

Système informatique

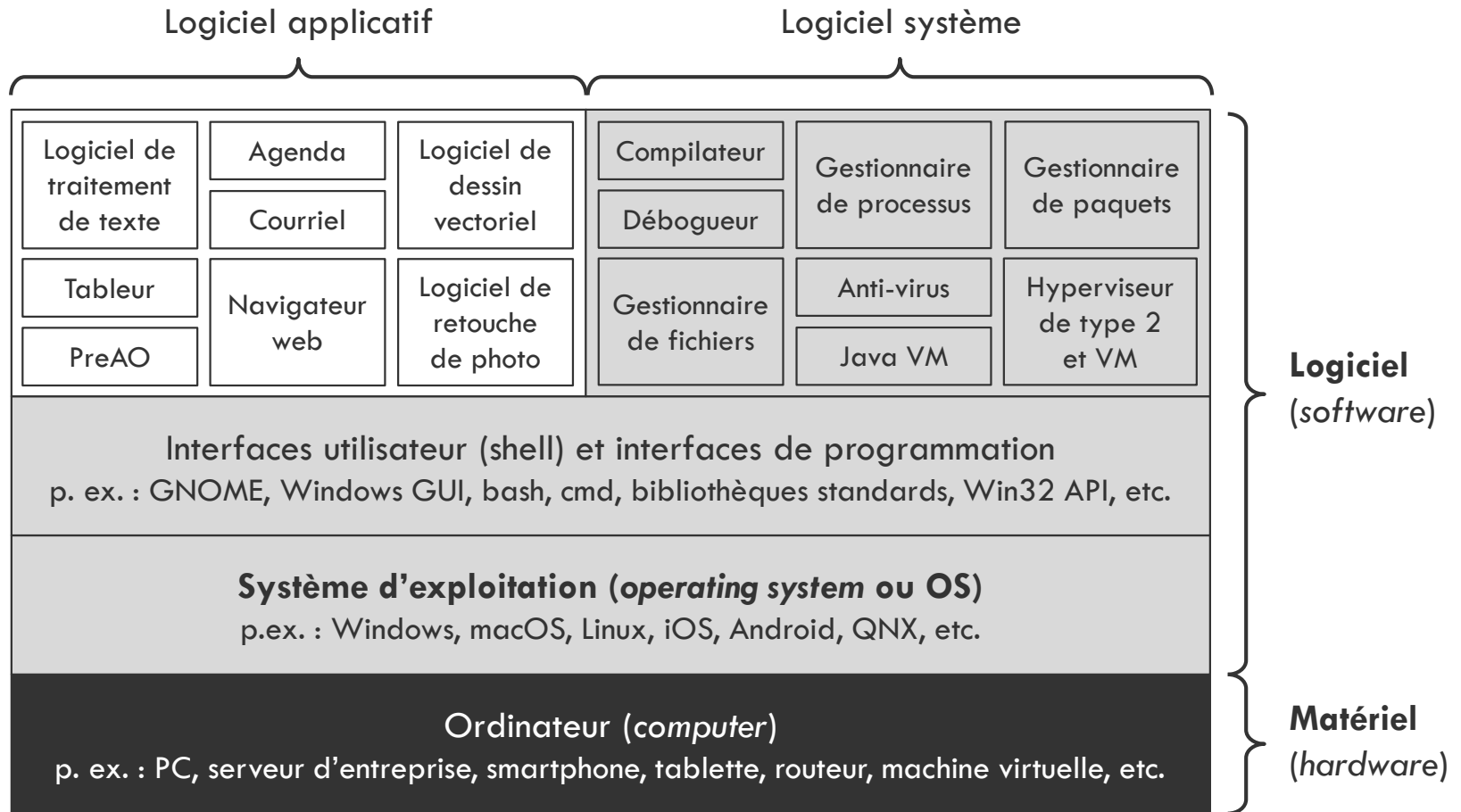
De quoi s'agit-il ?

- Un **système informatique** se compose de deux parties :
 - ▣ **Le matériel** : ensemble des éléments divers et variés qui composent l'ordinateur.
 - ▣ **Le logiciel** : ensemble des programmes qui peuvent être exécutés par l'ordinateur.
- On distingue deux catégories dans le logiciel :
 - ▣ **Le logiciel système** : ensemble des programmes qui participent au bon fonctionnement du matériel ou qui permettent de réaliser des tâches en lien avec le système informatique.
 - ▣ **Le logiciel applicatif** : ensemble des programmes qui permettent de réaliser des tâches qui ne sont pas en lien avec le système.

Vue d'ensemble

3

Système informatique



4 Architecture des ordinateurs

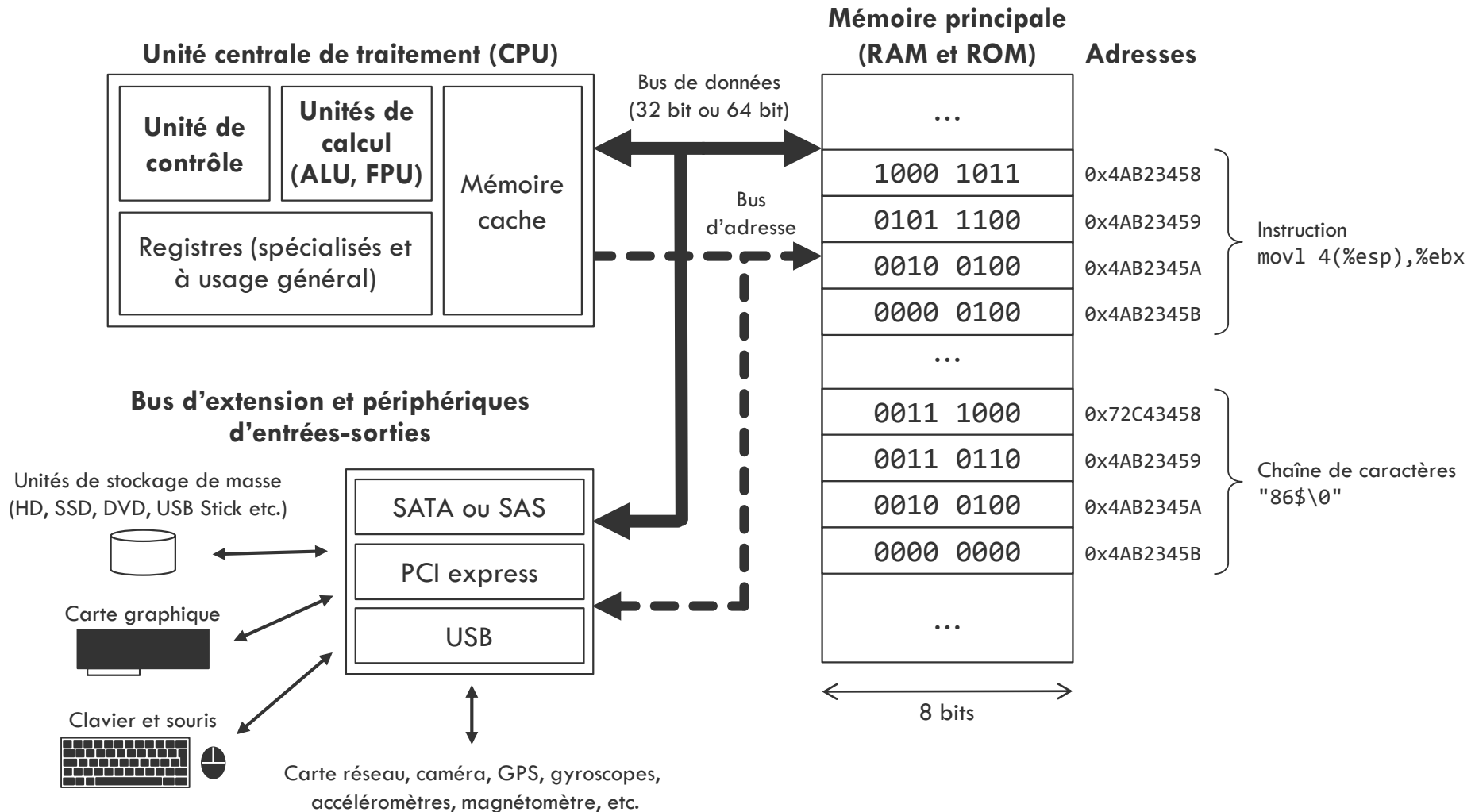
Qu'entend-on par ordinateur ? (1 / 2)

- Dans le cadre de ce cours, un ordinateur est une machine dont l'architecture générale est celle décrite (mais pas inventée) par John von Neumann en 1945 (*First Draft*).
- Cela inclut des machines aussi diverses que :
 - ▣ Ordinateur personnel (*Personal Computer* ou PC)
 - ▣ Smartphone, tablette, téléviseur, lecteur de DVD et box internet
 - ▣ Serveurs d'entreprise
 - ▣ Routeurs, commutateurs gérés (*managed switch*) et imprimantes
 - ▣ Machines virtuelles (Vmware, VirtualBox)

Architecture de von Neumann

6

Architecture des ordinateurs



Unité centrale de traitement

- Couramment appelé **CPU** (*central processing unit*).
- Caractérisée par la taille d'un **mot** (*word*), c.-à-d. la taille des nombres qu'elle peut traiter (**32 ou 64 bit**) et la taille du **bus de données**.
- Contient un ou plusieurs **cœurs** (*cores*) indépendants.
- Un cœur est composé des éléments suivants :
 - ▣ Une unité de contrôle.
 - ▣ Une ou plusieurs unités de calcul (ALU et FPU).
 - ▣ Des registres à usage général et des registres spécialisés.
 - ▣ Un ou deux niveaux de mémoire cache très rapide.
- Également appelée **processeur** ou **microprocesseur**.

Mémoire principale (*main memory*)

- Caractéristiques : **rapide** et **accessible par le CPU** et par les contrôleurs d'entrées-sorties.
- Mémoire vive (*random access memory* ou RAM) et mémoire morte (*read only memory* ou ROM).
- RAM généralement volatile (perd l'information en l'absence d'alimentation électrique) et de capacité limitée.
- Composée de cellules de 8 bits (octets ou bytes) identifiées par un numéro appelé **adresse**.
- **Contient les instructions des programmes et les données à traiter** (tout est représenté par des nombres de 8 bits).
- Également appelée mémoire centrale, mémoire primaire ou simplement mémoire.

Registres

- Désigne une mémoire rapide et de petite taille (un seul mot)
- Registres internes du processeur :
 - ▣ **Registres spécialisés** : utilisés pour stocker des valeurs spéciales (*program counter, stack pointer, status register, accumulators, etc.*).
 - ▣ **Registres à usage général** : utilisé pour stocker n'importe quelle valeur (résultat intermédiaire, opérande, pointeur, etc.)
- Registres des contrôleurs d'entrées-sorties :
 - ▣ **Registres de commande** : permettent au CPU d'envoyer des commandes aux contrôleurs.
 - ▣ **Registres de statut** : permettent aux contrôleurs de communiquer des informations au CPU.

Mémoire secondaire

- ❑ Caractéristiques : **non volatile** et **grande capacité**.
- ❑ Couramment appelée **mémoire de masse**.
- ❑ Généralement beaucoup plus lente que la mémoire primaire et pas directement accessible par le CPU.
- ❑ Grande diversité de support, par exemple :
 - ▣ Disque dur (*hard disk drive* ou HDD)
 - ▣ Disque à semi-conducteur (*solid-state drive* ou SSD)
 - ▣ CD (*Compact Disk*) et DVD (*Digital Versatil Disk*)
 - ▣ USB flash drive (USB stick ou clé USB)
 - ▣ Bande magnétique, souvent de type **LTO** (*Linear Tape-Open*)

Périphérique d'entrées-sorties

- En anglais : *input/output device* ou *I/O device*.
- Souvent appelé simplement **périphérique**.
- Permet d'échanger des données et d'interagir avec l'extérieur (la périphérie) de l'ordinateur.
- Exemples :
 - ▣ Unité de mémoire de masse (mémoire secondaire)
 - ▣ Clavier et souris,
 - ▣ Carte graphique
 - ▣ Carte réseau
 - ▣ Caméra, appareil photo,
 - ▣ Accéléromètres, gyroscopes et magnétomètre

Contrôleur d'entrées-sorties

- En anglais : *I/O controller*
- Petit ordinateur spécialisé avec une architecture spécifique qui se trouve à l'intérieur d'un périphérique.
- Ne peut être utilisé qu'à travers des registres de commande et de statut (pas d'interface utilisateur).
- Peut être extrêmement simples comme celui d'un clavier ou d'une souris, ou très complexe et puissant comme celui d'une carte graphique ou d'une carte réseau.
- Peut avoir un accès direct à la mémoire principale pour transférer des données (*direct memory access* ou DMA).

Bus de données et bus d'adresse

- Un bus est un **groupe de conducteurs** (câbles ou pistes) **partagé par plusieurs dispositifs**.
- **Bus de données :**
 - ▣ permet l'échange de données entre le CPU et la mémoire ou entre un des contrôleurs d'entrée-sorties et la mémoire (DMA).
 - ▣ Largeur égale à la taille du mot du processeur (selon la taille du mot, 4 ou 8 cellules de mémoire sont lues simultanément).
- **Bus d'adresse :**
 - ▣ Permet la sélection d'une cellule de mémoire par le CPU ou un contrôleur, ou la sélection de l'un des registres d'un contrôleur pour lire ou modifier son contenu par le CPU.
 - ▣ Largeur définie par le processeur et le constructeur de l'ordinateur (typiquement > 40 bits).

Bus d'extension

- Permet de connecter des contrôleurs d'entrées-sorties internes ou externe au bus de données et au bus d'adresse.
- Principaux bus d'extension actuels :
 - ▣ Interne : **PCI Express**
 - ▣ Mémoire de masse : **SAS, SATA**
 - ▣ Externe : **USB**, PCI Express (Thunderbolt), eSATA
- Anciens bus d'extension (pas tous disparus) :
 - ▣ Interne : PCI, MCA, EISA, ISA
 - ▣ Mémoire de masse : SCSI, PATA (IDE)
 - ▣ Externe : PS/2, USB 1, FireWire, SCSI

Espace d'adresses

- Ensemble des adresses qui peuvent être transmises sur le bus d'adresse.
- Le nombre d'adresses dépend de la largeur du bus (plus de 10^{12} adresses pour une largeur de 40 bits).
- La plus grande partie des adresses identifient des cellules de mémoire.
- Le reste est attribué aux registres de commande et de statut des contrôleurs d'entrées-sorties et des bus d'extensions.
- L'attribution des adresses à la mémoire et aux contrôleurs d'entrées-sorties est appelée cartographie de la mémoire (*memory mapping*).

Quelques ordres de grandeur

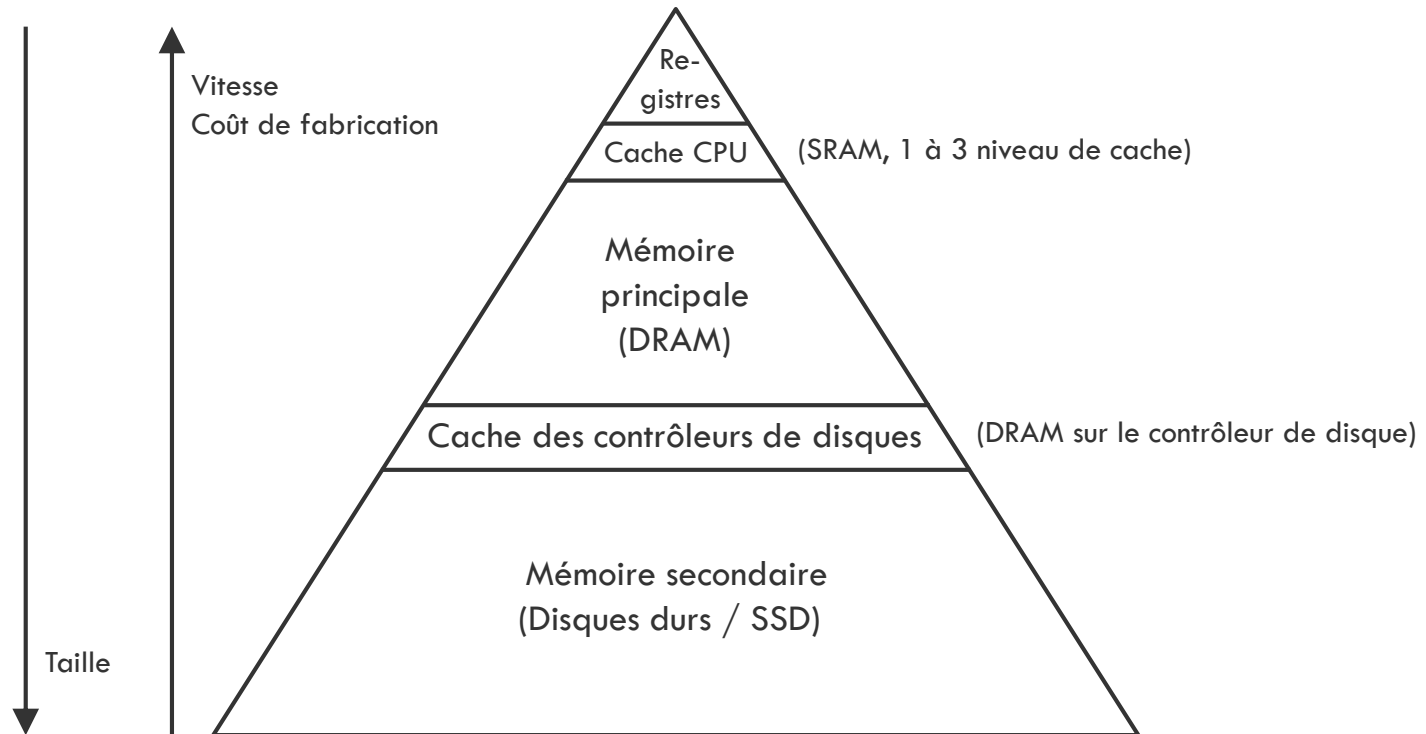
- Un processeur moderne a une cadence de plus de 1 Ghz (10^9 cycles par seconde) et est capable d'exécuter une instruction par cycle.
- L'ordre de grandeur du temps d'exécution d'une instruction donc 10^{-9} s (1 ns).
- En comparaison, celui du temps d'accès à la mémoire primaire est 10^{-7} s et celui du temps d'accès à la mémoire secondaire se situe entre 10^{-4} s (SSD) et 10^{-2} s (HDD).
- Si l'on rapporte le temps d'exécution d'une instruction à 1 s :
 - Temps d'accès à la mémoire primaire : 1.5 minute
 - Temps d'accès à la mémoire secondaire : entre 1 et 100 jours

Localité des référence

- On a observé qu'un programme tend à :
 - ▣ Utiliser des instructions et des données qui se trouvent dans une **zone de mémoire proche** de celles qu'il a utilisées récemment.
 - ▣ Utiliser des instructions et des données qu'il a **utilisées récemment**.
 - ▣ Passe 90% du temps sur 10% des instructions.
- Permet de faire des prédictions :
 - ▣ Des données ou des instructions récemment utilisées ont beaucoup de chances d'être à nouveau utilisées dans un futur proche.
 - ▣ Des données ou des instructions dont les adresses sont proches ont beaucoup de chances d'être accédées dans un temps rapproché.

Utilisation de la localité : mémoire cache

- Une mémoire cache est une mémoire de petite capacité qui contient les données (et/ou instructions) accédées récemment et sert de tampon entre un producteur et un consommateur, qui ne fonctionnent pas à la même vitesse.



Objectifs et fonctions des systèmes d'exploitation

Objectifs d'un système d'exploitation

- **Commodité** : un système d'exploitation simplifie l'utilisation de l'ordinateur et la réalisation d'application.
- **Efficacité** : un système d'exploitation permet d'utiliser plus efficacement les ressources disponibles.
- **Évolutivité** : un système d'exploitation peut être mis à jour pour des raisons de sécurité ou pour supporter un nouveau matériel sans interférer avec le travail des utilisateurs.

Qu'est-ce qu'un système d'exploitation ?

- **Une interface utilisateur** : le système d'exploitation cache la complexité du matériel tant aux utilisateurs et qu'aux programmeurs et présente une machine idéalisée.
- **Un gestionnaire de ressource** : le système d'exploitation gère les ressources partagées et se charge de les allouer de la meilleure façon possible aux différents programmes.

Complexité du matériel

- Chaque type de processeur à son propre langage machine.
- Des contrôleurs d'entrées-sorties de même type ne se commandent pas toujours de la même manière.
- L'ajout ou la suppression de contrôleurs d'entrées-sorties modifie la cartographie des adresses, les adresses des registres ne sont pas toujours la même.
- Le contenu d'une unité de stockage de masse n'est rien d'autre qu'une interminable succession de bits.
- La mémoire primaire est limitée mais la mémoire secondaire ne peut pas être utilisée directement par le processeur.

Cacher la complexité du matériel

- **Compilateurs et bibliothèques standards** : permettent de réaliser des programmes sans se soucier des particularités du matériel (p. ex. Java VM, .NET Framework, Win32 API)
- **Pilotes de périphériques (*device driver*)** : permettent d'avoir une interface identique pour tous les périphériques d'un certain type, quelle que soit la manière dont ils sont connectés.
- **Système de fichiers** : présentent le contenu d'unité de mémoire de masse sous la forme d'une **hiérarchie de répertoires** et de fichiers et supportent la gestion des permissions.
- **Mémoire virtuelle** : permet à chaque processus de disposer de la totalité de l'espace d'adresses de la mémoire principale en utilisant au besoin la mémoire secondaire (**swapping**).

Ressources partagées

- Les différents éléments (CPU, mémoire, périphériques) d'un ordinateur sont autant de ressources qui ne peuvent être utilisées que par un seul processus à la fois.
- Si l'utilisation de ces ressources n'est pas correctement arbitrée, il en résulte des problèmes tels que :
 - ▣ Corruption de la mémoire d'un processus par un autre
 - ▣ Corruption de l'affichage
 - ▣ Situation de compétition critique (*critical race condition*)
 - ▣ Interblocage (*deadlock*)

Gérer les ressources partagées

25

Objectifs et fonctions des systèmes d'exploitation

- Un système d'exploitation **multitâche** doit gérer l'allocation des ressources partagées (**multiplexage**).
- **Multiplexage temporel :**
 - ▣ Attribuer à chaque fil d'exécution (**thread**) à tour de rôle un certain temps (quanta) durant lequel il peut disposer du CPU.
 - ▣ Gérer des queues d'impression (**spooling**) qui permettent aux processus d'imprimer sans attendre que l'imprimante soit libre.
- **Multiplexage spatial :**
 - ▣ Attribuer une part de la mémoire virtuelle (mémoire primaire étendu par la mémoire secondaire) à chaque **processus**.
 - ▣ Allouer et libérer les blocs de mémoire secondaire lors des opérations sur les **fichiers** (création, modification, suppression).

26

Évolution des systèmes d'exploitation

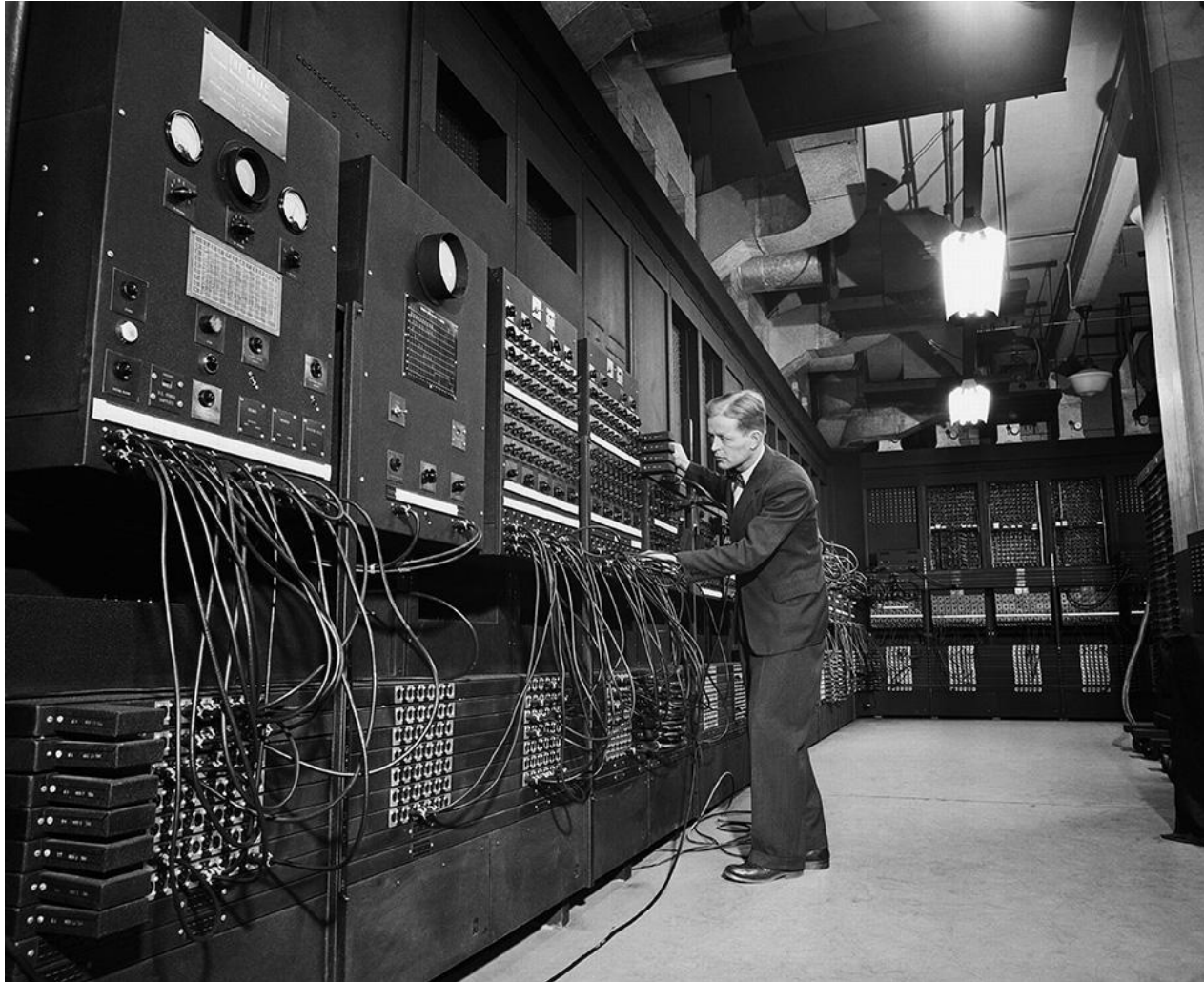
Première génération (1945-1955)

- ❑ Les mêmes personnes (souvent des ingénieurs), conçoivent construisent, programment, exploitent et maintiennent leur machine.
- ❑ Les ordinateurs effectuent des **tâches de calcul** simples, mais qui correspondent au travail de plusieurs dizaines de calculateurs humains avec un taux d'erreurs bien plus bas.
- ❑ Les travaux sont réalisés dans des **universités** et sont le plus souvent financés par des **agences gouvernementales**.
- ❑ On programme directement en **langage machine** à travers les commutateurs d'un panneau de commande ou à l'aide de tableau de connexions.
- ❑ La réalisation et la mise en œuvre d'un programme prennent beaucoup de temps et mobilisent toutes les ressources de la machine.

ENIAC (1945)

28

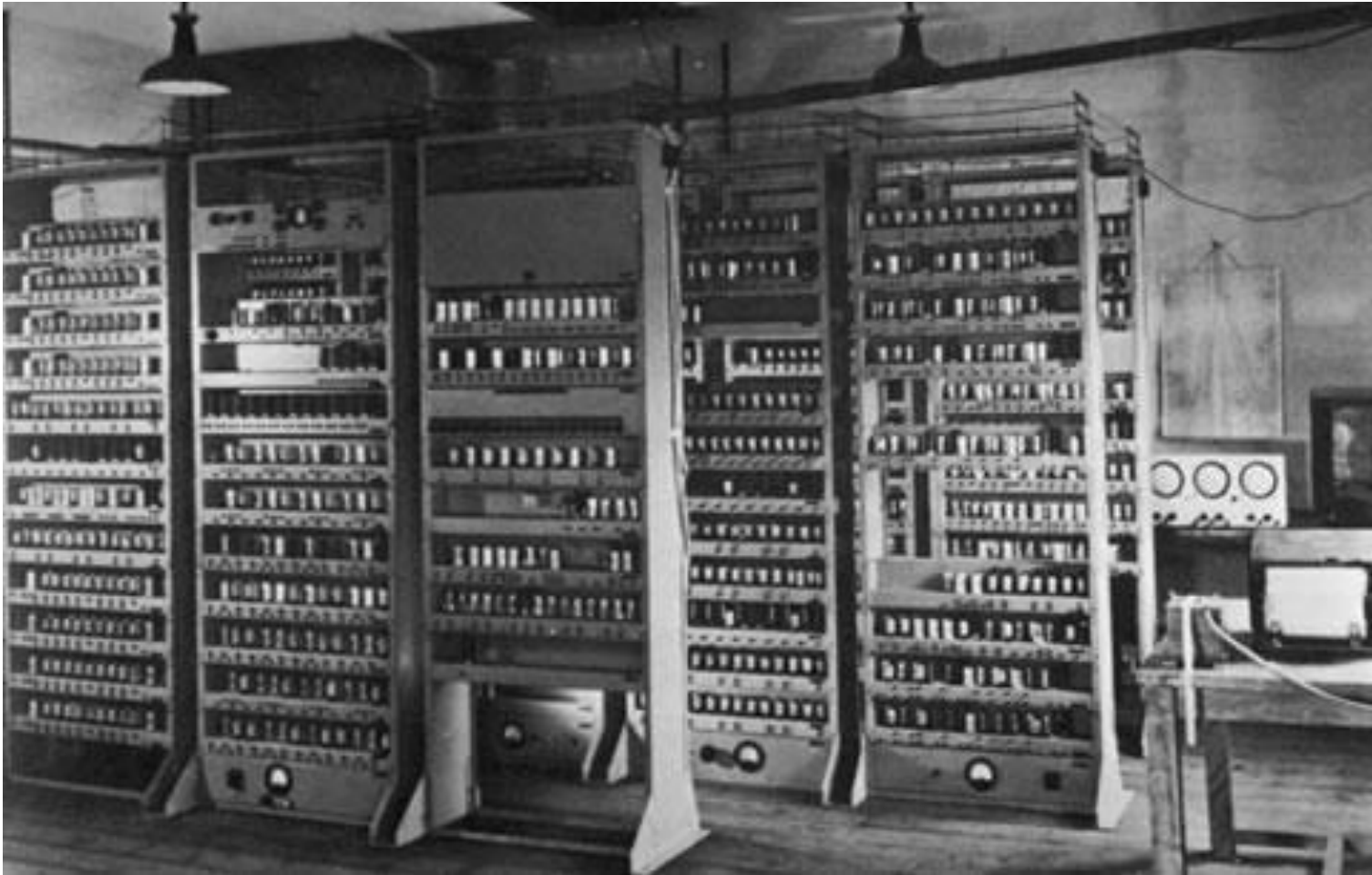
Évolution des systèmes d'exploitation



EDSAC (1949)

29

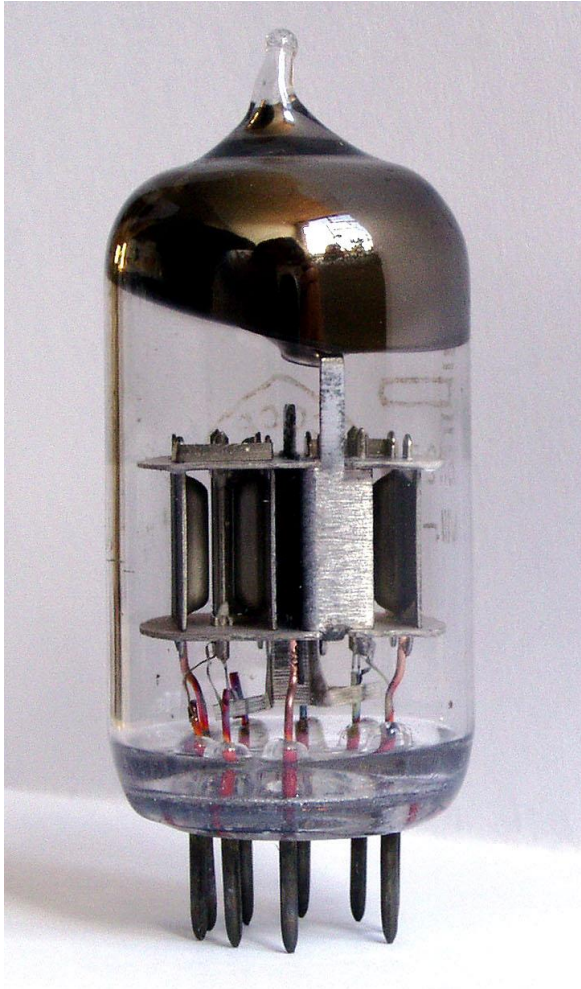
Évolution des systèmes d'exploitation



Tubes électroniques

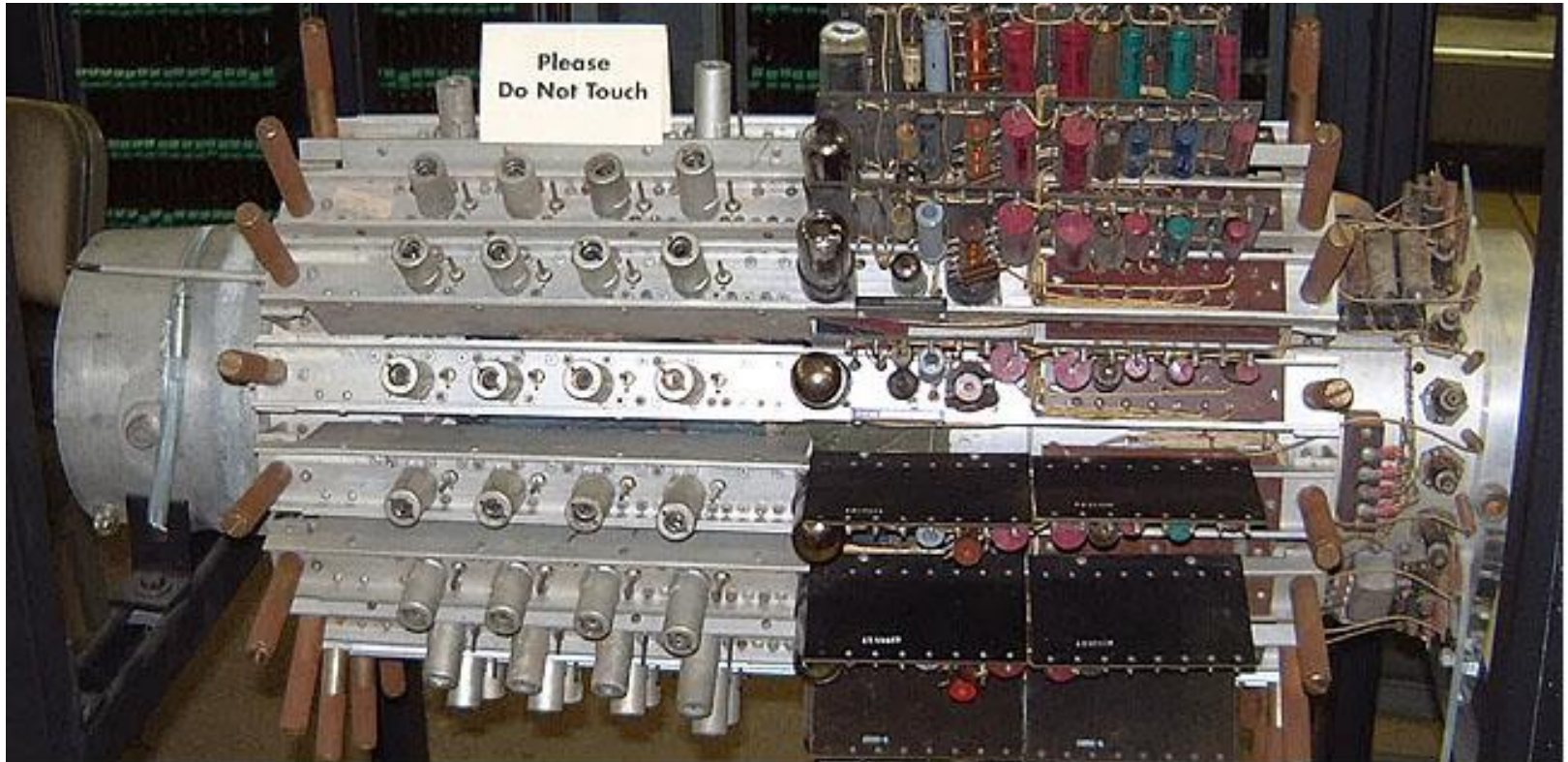
30

Évolution des systèmes d'exploitation



Mémoire à mercure (1951)

31 Évolution des systèmes d'exploitation

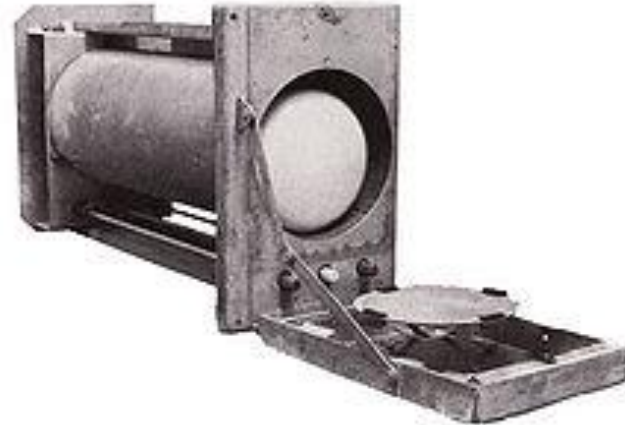


Capacité : 576 bits

Mémoire à tube de Williams-Kilburn (1947)

32

Évolution des systèmes d'exploitation



Capacité : 512 à 1024 bits

Deuxième génération (1955-1965) 1 / 2

- Les **transistors** améliorent la **fiabilité** des machines qui peuvent désormais être manufacturées et vendues à des clients privés même si elles sont encore très onéreuses (plusieurs dizaines de millions de dollars actuels)
- Les personnes qui conçoivent, construisent, exploitent et maintiennent les machines ne sont plus les mêmes.
- Les ordinateurs sont spécialisés soit dans le **traitement de données** soit dans le calcul scientifique et sont incompatibles entre eux.
- Développement des premiers **compilateurs** (FORTRAN, COBOL) pour faciliter la création de programmes permettant de résoudre les problèmes qui se présentent.

Deuxième génération (1955-1965) 2/2

- Développement des système de **traitement par lot** (*batch system*) pour maximiser le taux d'utilisation du processeur :
 - ▣ Les données à traiter sont saisies par un grand nombre d'opérateurs sur des cartes perforée qui forme un **fichier** (*file*).
 - ▣ Un fichier de tâche (*job*) est créé en combinant un fichier de donnée, un fichier de programme et des cartes qui contiennent des information sur la tâche et des commandes.
 - ▣ Plusieurs tâches sont regroupées pour former un lots (*batch of job*) qui est enregistré sur une bande magnétique pour être chargé et exécuté l'un après l'autre par l'ordinateur central .
 - ▣ **Fichier** : les fichiers physiques (cartes perforées) sont stockés sous forme de fichiers séquentiels logique sur les bandes magnétiques.
- L'ordinateur central doit être utilisé en permanence, la nuit est consacrée aux jobs de compilation des programmes.

35

Usine d'assemblage de l'IBM 1401

36

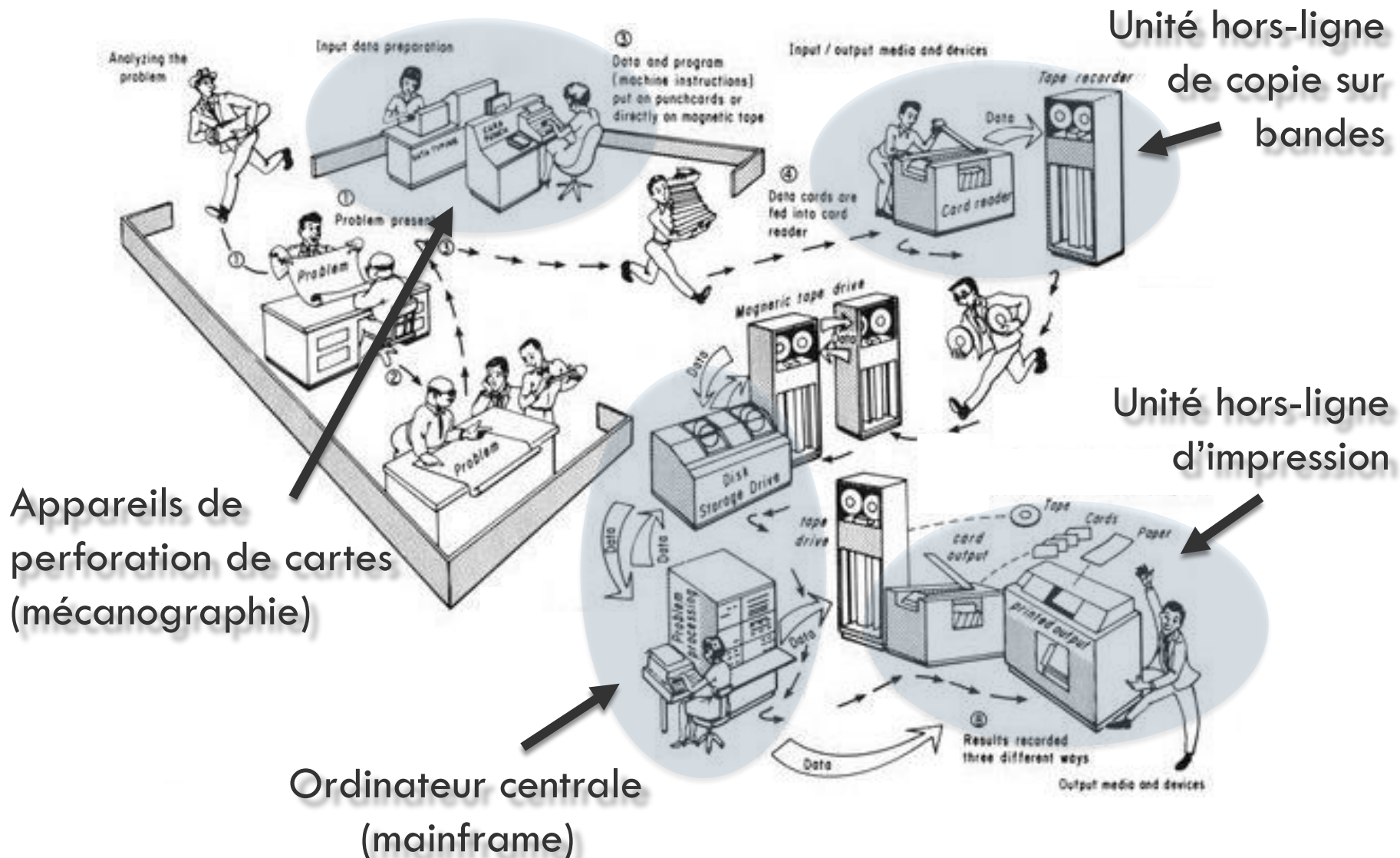
Évolution des systèmes d'exploitation



Utilisation d'un ordinateur central

37

Évolution des systèmes d'exploitation



Saisie des données sur cartes perforées

38

Évolution des systèmes d'exploitation



Ordinateur central IBM 7094

39

Évolution des systèmes d'exploitation



Troisième génération (1965-1980) 1 / 2

- Les **circuits intégrés** (*integrated circuit* ou IC) réduisent la taille des machines et augmentent leur puissance et leur capacité.
- Développement des gammes d'ordinateurs centraux compatibles entre eux (System/360 d'IBM).
- Développement des premiers mini-ordinateurs tels que les DEC PDP-8, PDP-11 et VAX ou les Data General Nova et Eclipse destinés à un usage interactif.
- Durant l'exécution d'un programme, jusqu'à 90% des cycles sont perdus à attendre sur des opérations d'entrées-sorties
- Développement de systèmes d'exploitations tels que OS/360, UNIX, BSD et VMS qui existent toujours et dont GNU Linux, macOS et Windows sont des descendants.

Troisième génération (1965-1975) 2/2

□ Solutions développées :

- **Multiprogrammation** : La capacité de la mémoire permet de charger plusieurs programmes simultanément pour avoir un programme à exécuter (**multi-tasking**) quand l'un d'eux attend.
- **Protection de la mémoire** : Pour éviter les conflits, la mémoire doit être partitionnée et chaque programme doit être confiné dans une partition.
- **Temps partagé** : La multiprogrammation étendue à l'utilisation simultanée (**multi-user**) d'un ordinateur par plusieurs personnes en attribuant à chacune d'elle une partie des cycles.
- **Système de fichier** : Permet d'organiser les fichiers stockés dans les disques durs sous la forme d'une hiérarchie de répertoires.
- **Spooling** : Les unités de lecture de cartes et d'impression sont désormais en ligne (*Simultaneous Peripheral Operation On Line*) et les tâches sont mises en attente dans la mémoire secondaire.

BASIC et time sharing, Dartmouth (1965)

42

Évolution des systèmes d'exploitation



Thompson et Ritchie, DEC PDP-11 (1972)

43

Évolution des systèmes d'exploitation



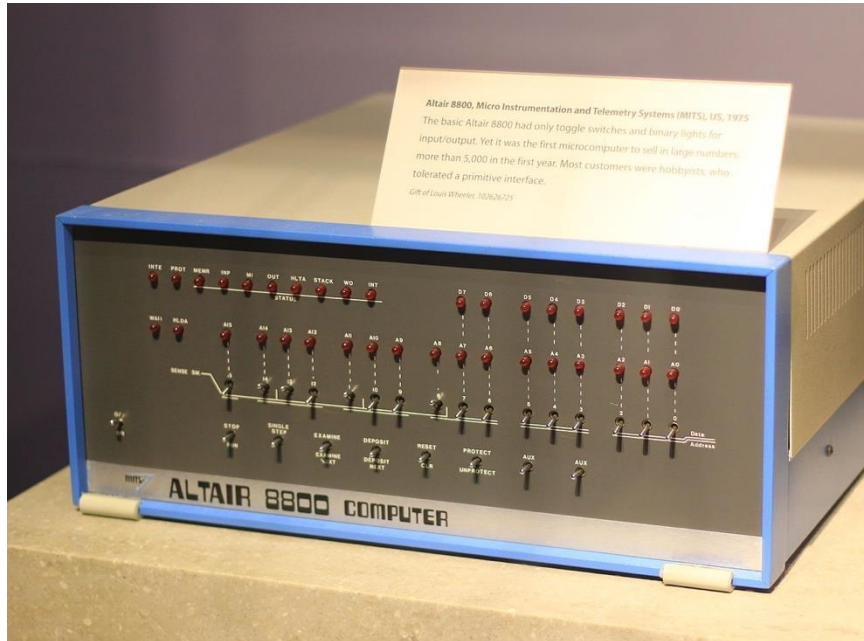
Microordinateur (1975 – aujourd'hui)

- La miniaturisation de l'électronique permet de réaliser un CPU dans un seul circuit intégré (**microprocesseur**) et met l'ordinateur (**micro-ordinateur**) à la portée des particuliers.
- D'abord dépourvus de logiciel, ils sont rapidement équipés d'un interpréteur BASIC en **ROM** qui permet de charger et lancer un programme à partir d'un support externe.
- Développement d'OS simple (**CP/M, DOS**) inspiré des systèmes d'exploitations des minis de DEC (RT-11) :
 - ▣ **Basic input output system (BIOS)** : Contient les fonctions de bas niveau spécifique au matériel.
 - ▣ **Système de fichiers (file system)** : Organise le contenu d'un support de mémoire de masse (disquette).
 - ▣ **Interpréteur de commande** : Fournit une interface en mode texte qui permet à l'utilisateur de commander l'ordinateur.

Altair 8800 (1975)

45

Évolution des systèmes d'exploitation



Micro-ordinateur

Altair 8800 (inspiré du GE Nova)

- CPU : Intel 8008 (8 bits)
- Mémoire : 256 octets à 64kio
- Pas de ROM, le programme d'amorce doit être saisi à l'aide des commutateurs.

Mini-ordinateur

Data General Nova

- CPU : 16 bit
- Mémoire : 8kio à 128kio
- Mémoire virtuelle

