

# Les systèmes d'exploitation

Wadoud BOUSDIRA<sup>1</sup>  
wadoud.bousdira@univ-orleans.fr

<sup>1</sup>LIFO, University of Orléans  
**Orléans, France**

Orléans, 2023

## Système d'E/S

Interface entre les utilisateurs et les périphériques

## Les périphériques

- extrême diversité de périphériques ;
- correspondent à la partie la moins figée de l'ordinateur (on ajoute, on remplace des périphériques. . .)
- permet à l'utilisateur de réaliser des opérations d'E/S de manière uniforme, avec des commandes de haut niveau.

L'utilisateur ordonne des opérations d'E/S logiques (ou virtuelles)  $\rightsquigarrow$  le SE les transforme en E/S physiques ou réelles.

## Grandes familles de périphériques

- terminaux (clavier/souris/écran)
- disques (disque dur, CD-ROM, disquette, DVD)
- bandes magnétiques
- imprimantes
- scanners
- cartes son
- cartes réseau
- modems
- webcam
- ...

## Unification des interfaces

périphériques bloc, périphériques caractère

- interface réseau, système de fichier

- Exemples :
  - ▶ disques (disque dur, CD-ROM, disquette, DVD)
  - ▶ bandes magnétiques
- gère une famille de blocs adressables.

- Exemples :
  - ▶ terminaux (clavier/souris/écran)
  - ▶ bandes magnétiques
  - ▶ imprimantes
  - ▶ scanners
  - ▶ cartes son
  - ▶ modems
  - ▶ webcam.
- gère un flux de données et un flux de contrôle.

- Le périphérique est relié à une carte contrôleur  
interfaçage électronique/mécanique
- La carte contrôleur est reliée au bus  
interfaçage électronique/système
- interface (bas niveau) logicielle avec le périphérique
  - ▶ registres de contrôleur
  - ▶ vecteur d'interruption

- Écriture de commandes dans les registres d'E/S.  
écriture en mémoire physique sans cache
- Le contrôleur effectue l'opération.  
opération asynchrone libérant le processeur
- Notification de fin par la levée d'une interruption.  
réquisition du processeur
- Copie du résultat dans la mémoire.

# Le DMA (Direct Memory Access)

Permet d'éviter la recopie active.

Idée : on indique une adresse de destination et un nombre d'octets à copier.

- Le DMA est un transfert de données direct entre un périphérique et la mémoire ou vice-versa, effectué **sans intervention du processeur**.
- Le contrôleur DMA est un circuit intégré qui gère le transfert par DMA.
- Le transfert par DMA se fait par bloc de données, les données étant à des adresses contigües de la mémoire et provenant habituellement du même périphérique.

## Gestion des E/S

Différents niveaux d'interaction :

- Le gestionnaire d'interruptions.  
asynchrone, réveille le processus en E/S
- Le pilote de périphérique  
spécifique au contrôleur de périphérique
- Les services du système aux périphériques  
ex : gestion de caches de blocs
- Les démons de gestion de périphériques.  
ex : files d'impression

- Routines de configuration et d'initialisation.
- Routines de gestion de requêtes d'E/S.
- Routines de gestion des interruptions.
- File d'attente d'E/S.  
    sections critiques

## Configuration/initialisation

- détecte la configuration du périphérique  
bus de connexion, vecteur d'interruption, adresse mémoire
- initialisation du périphérique
- initialisation des structures du pilote  
fichier de configuration des pilotes.

- Nommage uniforme des périphériques.  
arborescence, /dev et fichiers spéciaux
- Protection de l'accès aux périphériques.  
droits usuels sur les fichiers
- Taille de bloc indépendante du matériel.
- Tampons (i.e. caches) de lecture/écriture.
- Accès aux périphériques dédiés.

Terminal = interface système/utilisateur.  
clavier/écran

Plus généralement,

- terminaux autonomes série
- clavier et moniteur des ordinateurs personnels
- terminaux papier
- terminaux de connexion réseau
- terminaux de sessions graphiques
- etc. . .

## Aspects contrôle

- État de la ligne :
  - ▶ ouverte
  - ▶ en attente
  - ▶ erreur
  - ▶ ...
- Paramètres et mode :
  - ▶ vitesse de la ligne
  - ▶ nombre de bits
  - ▶ gestion des erreurs
  - ▶ gestion de l'écho
  - ▶ ...
- Discipline de ligne.

## Aspects entrée

- Mode cru (brut).  
communication directe des caractères frappés
- Mode cuit (canonique).  
notion de ligne  
caractères d'échappement  
ERASE, KILL, LNEXT, STOP, START, INTR, QUIT,  
EOF, CR, NL
- Tampon d'entrée.

## Aspects sortie

- Le pilote envoie directement les caractères.
- Séquences d'échappement du terminal.

- Comment gérer des sessions virtuelles ?
- Notion de pseudo-terminal.

Pseudo terminal : composé d'un couple de pseudo-périphériques : un émulateur de console système, asservi à un processus de contrôle.

- Paire maître/esclave.

Le rôle du processus émulateur de terminal est l'interaction avec l'utilisateur (shell interactif).

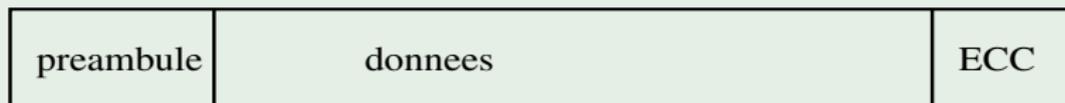
## Les disques magnétiques

- Un disque magnétique est découpé en :
  - ▶ cylindres (ex : 2434)
  - ▶ pistes (ex : 255)
  - ▶ secteurs (ex : 63)

$$\text{Total} = 2434 \times 255 \times 63 \times 512 = 20 \text{ Go}$$

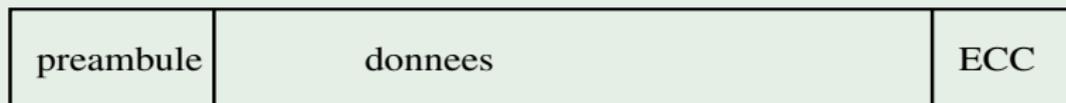
- Notion de disque RAID (Redundant Array of Independent Disks)  
protection contre la défaillance d'une (ou plusieurs) unité de stockage.

- Formatage bas niveau des secteurs LLF (Low-level format) :
  - ▶ opération faite par le constructeur du disque dur,
  - ▶ efface toutes les données du stockage et les remplace par des bits à l'état zéro. Création des pistes et des secteurs
  - ▶ rend la surface du disque conforme à ce qu'attend le contrôleur.



- Préambule = adresse du secteur.
- Entrelacement.

- Formatage bas niveau des secteurs LLF (Low-level format) :
  - ▶ opération faite par le constructeur du disque dur,
  - ▶ efface toutes les données du stockage et les remplace par des bits à l'état zéro. Création des pistes et des secteurs
  - ▶ rend la surface du disque conforme à ce qu'attend le contrôleur.



- Préambule = adresse du secteur.
- Entrelacement.

## Formatage logique

ou de haut niveau.

- s'effectue après le formatage de bas niveau.
- crée un système de fichiers sur le disque, qui permet au SE d'utiliser l'espace disque pour stocker et utiliser des fichiers.

## Application 1

- Un dispositif d'E/S effectue dix requêtes/seconde, chacune d'entre elles nécessitant 5000 instructions processeur pour être traitée.
- Les E/S se font par interruption.
- Il faut
  - ▶ 1000 instructions processeur pour sauvegarder le contexte et démarrer le gestionnaire de traitement de la requête,
  - ▶ et de nouveau 1000 instructions processeur pour charger le contexte et revenir au processus principal.

Combien d'instructions/seconde faut-il pour gérer les E/S ?

## Application 1

Chaque requête nécessite une sauvegarde du contexte, un traitement et un chargement de contexte, soit au total :

$$1000 + 5000 + 1000 = 7000 \text{ instructions/requête}$$

À raison de 10 requêtes/s, il faut **70 000 instructions/s** pour gérer les E/S.

## Application I (suite)

- Les E/S se font maintenant par interrogation.
- Le processeur profite d'une interruption périodique préexistante tous les  $\frac{1}{100}$  de seconde pour scruter le périphérique et voir s'il y a une requête à traiter.  
Donc pas de coût supplémentaire de commutation de contexte.
- Chaque interrogation nécessite 500 instructions processeur, en plus du traitement de la requête si elle est présente.

Combien d'instructions/seconde faut-il pour gérer les E/S ?

## Application I (suite)

- Le processeur effectue 1 interrogation tous les  $\frac{1}{100}$  de seconde, donc il effectue 100 interrogations/s.
- 90 de ces interrogations sont infructueuses puisque le dispositif d'E/S n'effectue que 10 requêtes/s.
- Les interrogations inutiles emploient 500 instructions processeur, tandis que les 10 autres en utilisent  $500 + 5000$  instructions.

Au total, par seconde,

$$90 \times 500 + 10 \times (500 + 5000) = 100\ 000 \text{ instructions/s}$$

## Application II : sollicitation du processeur

Un disque dur peut transférer des données sur le bus à la vitesse de  $8\text{ Mo/s}$ .

### 1) Les E/S se font par interrogation.

Chaque scrutation du périphérique prend  $0,1\ \mu\text{s}$ , temps pendant lequel sont transférés 4 octets.

- a) Combien d'interrogations faut-il chaque seconde pour soutenir le débit du disque ?

Chaque transfert concerne 4 octets, à la vitesse de  $8\text{ Mo/s}$ , donc il faut  $0,5\ \mu\text{s}$  pour transférer 4 octets.

1 interrogation toutes les  $0,5\ \mu\text{s}$  (en prenant l'hypothèse optimiste que le processeur ne scrute pas inutilement),

Par conséquent,  $2 \times 10^6$  interrogations/s.

## Application II

Un disque dur peut transférer des données sur le bus à la vitesse de  $8\text{ Mo/s}$ .

### 1) Les E/S se font par interrogation.

Chaque scrutation du périphérique prend  $0,1\ \mu\text{s}$ , temps pendant lequel sont transférés 4 octets.

b) Quel pourcentage de temps processeur est utilisé pour cela ?

Chaque scrutation du périphérique prend  $0,1\ \mu\text{s}$ , temps pendant lequel sont transférés 4 octets, et ce temps de transfert =  $0,5\ \mu\text{s}$

Donc le rapport est de  $\frac{0,1}{0,5} = 0,2 = 20\% !$

## Application II (suite)

### 2) Les E/S se font maintenant par DMA.

$1 \mu s$  est nécessaire pour initialiser le contrôleur DMA et encore  $1 \mu s$  pour traiter l'interruption de fin.

Le disque peut transférer 4 Ko à chaque session DMA.

a) Combien de temps prend chaque session de transfert ?

Une session de transfert envoie 4 Ko à la vitesse de 8 Mo/s, donc la session de transfert dure **0,5 ms**.

## Application II (suite)

### 2) Les E/S se font maintenant par DMA.

$1 \mu s$  est nécessaire pour initialiser le contrôleur DMA et encore  $1 \mu s$  pour traiter l'interruption de fin.

Le disque peut transférer  $4 Ko$  à chaque session DMA.

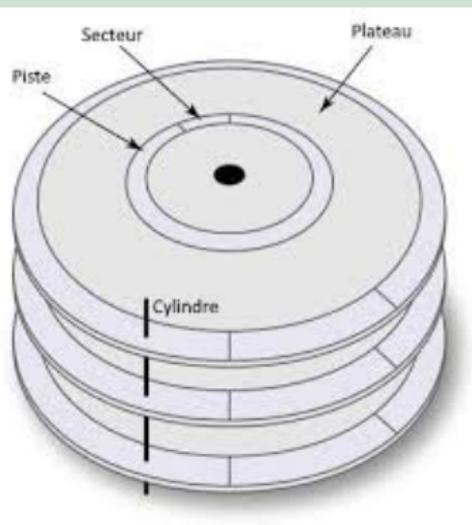
- b) Quel pourcentage de temps processeur est utilisé pour gérer le transfert de données ?

Toutes les  $0,5 ms$  (transfert par le DMA), le processeur utilise  $2 \mu s$  (initialisation du contrôleur et traitement fin interruption),

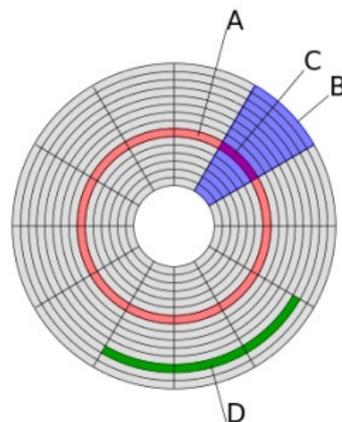
correspond à  $\frac{2 \times 10^{-6}}{0,5 \times 10^{-3}} = 0,4 \times 10^{-2} = 0,4\%$

**Petit bémol** : le processeur peut être ralenti par les transferts DMA sur le bus (conflit avec le contrôleur DMA) et donc perdre plus de temps que le calcul ne le laisse supposer.

# Ordonnancement du bras



## Vue de haut



piste A, secteur B du disque, secteur C dans la piste, grappe D.

- Déplacement mécanique :
  - ▶ déplacement du bras jusqu'au cylindre
  - ▶ rotation du cylindre pour trouver le secteur

- Adressage par blocs.
- Notion de partition.
- Formatage des partitions.

## Ordonnancement des requêtes disque



Le superviseur d'E/S place chaque nouvelle requête d'E/S dans la file d'attente du contrôleur du disque concerné.

L'accès à un secteur du disque se décompose en deux parties :

- 1 le temps de positionnement du bras sur la piste contenant le secteur
- 2 le temps de latence nécessaire pour qu'une fois la tête placée sur la bonne piste, le secteur passe sous la tête de lecture.

Dépend de la vitesse de rotation du disque.

# Ordonnancement des requêtes disque

Le temps de positionnement est la partie la plus pénalisante  $\rightsquigarrow$  algorithmes d'ordonnancement.

Exemple : File de requêtes disque

50, 110, 25, 105, 12, 100, 40, 45, 10, 80, 88

chaque nombre représente un numéro de piste à atteindre.

## Algorithme *First Come, First Served (FCFS)*

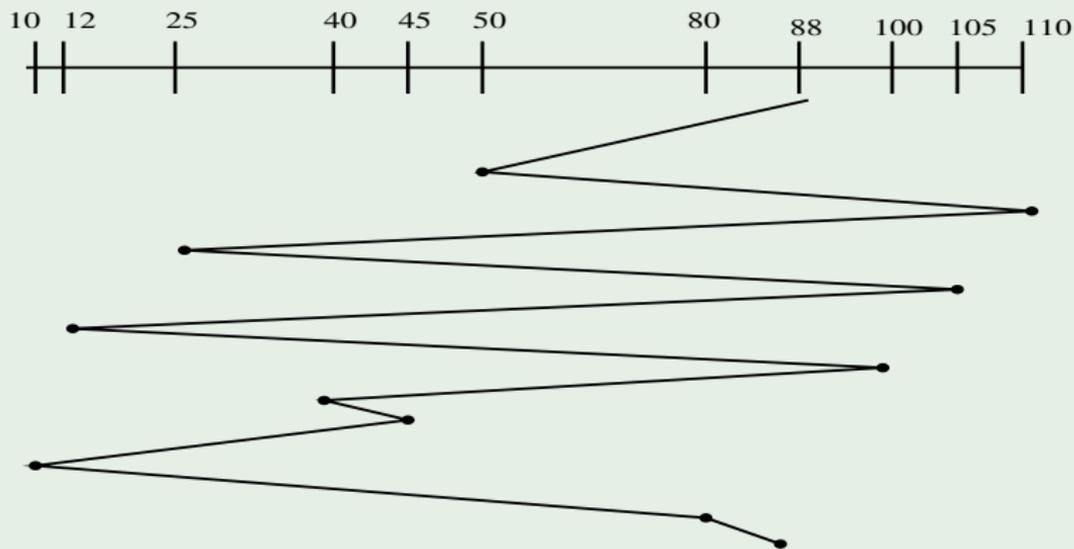
Les requêtes disque sont servies dans l'ordre de soumission.

- simple à mettre en œuvre 
- ne minimise pas les mouvements du bras 

# Algorithme FCFS

50, 110, 25, 105, 12, 100, 40, 45, 10, 80, 88

## Exemple



Déplacement total du bras = 624 pistes !

## Algorithme *SSTF*

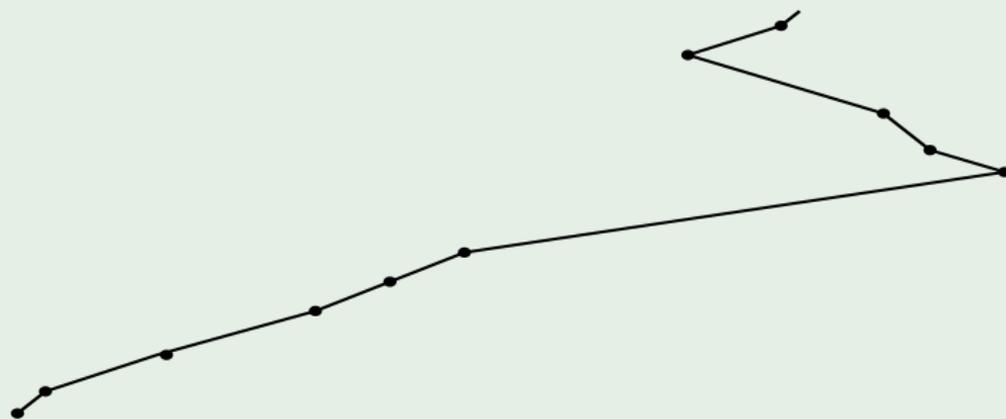
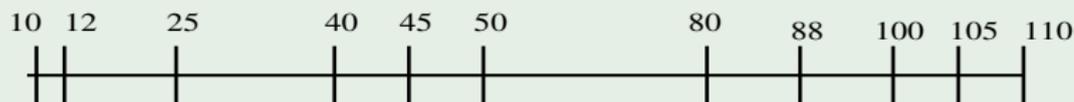
La prochaine requête disque servie est celle dont la position est la plus proche de la position courante.

- risque de famine pour les requêtes excentrées 

# Algorithme SSTF

50, 110, 25, 105, 12, 100, 40, 45, 10, 80, 88

## Exemple



Déplacement total du bras = 140 pistes

## Algorithme *SCAN*

de type balayage.

- La tête de lecture/écriture démarre à une extrémité du disque et parcourt le disque jusqu'à l'autre extrémité.
- Quand la tête de lecture/écriture est parvenue à l'autre extrémité du disque, son mouvement s'inverse et le service continue en sens opposé.

# Algorithme SCAN

50, 110, 25, 105, 12, 100, 40, 45, 10, 80, 88

## Exemple



Si on suppose un parcours initialement ascendant des pistes, déplacement total du bras = 195 pistes

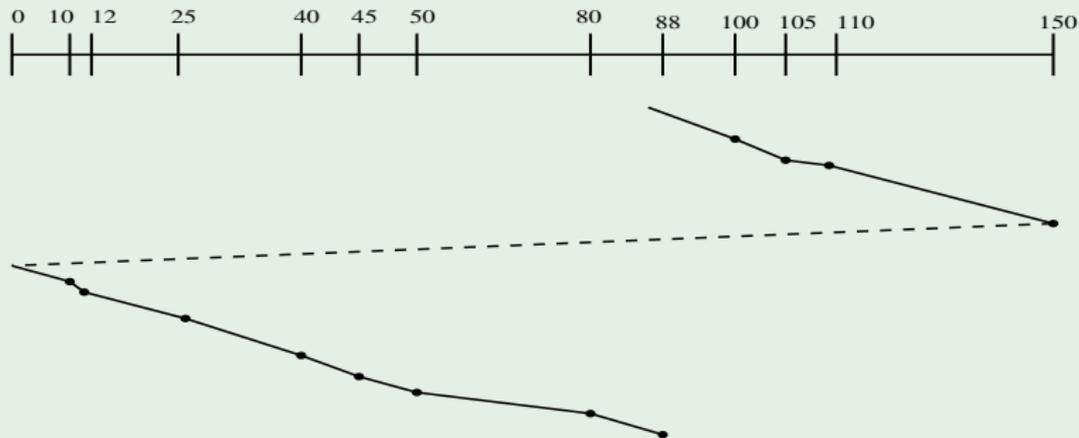
## C-SCAN

Une variante de SCAN.

- au lieu de repartir en sens inverse, le bras se repositionne sur l'extrémité initiale de son parcours  
↪ le parcours des pistes se fait toujours dans le même sens.

50, 110, 25, 105, 12, 100, 40, 45, 10, 80, 88

## Exemple



Déplacement total du bras = 298 pistes

## LOOK

- Le bras parcourt de la même manière l'ensemble du disque en sens montant ou descendant, mais il s'arrête dans son balayage dès qu'il a rencontré la requête la plus extrême dans le sens montant ou descendant.

# Algorithme LOOK

## Exemple

