



université
PARIS-SACLAY



SYSTÈMES D'EXPLOITATION

LES SYSTÈMES DE FICHIERS

🎓 3A - Cours Ingénieurs - Dominante Informatique et Numérique





🏛️ CentraleSupélec - Université Paris-Saclay - 2024/2025



Idir AIT SADOUNE

idir.aitsadoune@centralesupelec.fr

PLAN

-  La notion de fichier
-  Les répertoires
-  Les systèmes de fichiers
-  Synthèse

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

LE STOCKAGE SECONDAIRE

- Le **stockage secondaire** conserve des **programmes** et des **données**.
- L'**OS** masque la **complexité** et la **diversité** des unités de stockage (matériel, système de fichiers, ...) grâce à:
 - Une **vue logique** des données :
 - ▢ **fichiers**: unité de stockage logique
 - ▢ **répertoires**: classement arborescent
 - ▢ **volumes montés**: vue globale des systèmes de fichiers
 - Une **organisation physique** des espaces de stockage :
 - ▢ découpage en **blocs**
 - ▢ affectation et libération de **blocs**
 - Un **système d'entrées/sorties** (**non traité dans ce cours**) :
 - ▢ gestion du caches, algorithmes d'optimisation des accès,
 - ▢ pilotes gérant les communications avec les périphériques

PLAN

- > La notion de fichier
- > Les répertoires
- > Les systèmes de fichiers
- > Synthèse

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

LA NOTION DE FICHIER

- **Fichier**
 - une **collection nommée** d'information accessibles via un périphérique.
- **Unité logique**
 - indépendante du support physique (périphérique)
 - abstraction des propriétés physiques
- **Type de fichier**
 - code source, données, bibliothèque, exécutable, ...
 - généralement indiqué par son **extension**
 - un type de fichier → une **structure spécifique**

EXEMPLES

- **Fichiers texte:** `.txt`
 - données textuelles à l'usage de l'utilisateur humain
 - succession de caractères ...
- **Fichiers source:** `.c`, `.java`, ...
 - fourni par un humain pour être traité par la machine
 - composés d'instructions ...
- **Exécutable:** `.exe`, ...
 - construits par un compilateur à partir d'un fichier source
 - succession d'octets ...

FILE CONTROL BLOCK - FCB

Structure de données de l'OS pour stocker les informations nécessaires à la gestion des fichiers

| | |
|-------------|-----------------------------------|
| Nom | indépendant de l'OS, lisible |
| Identifiant | numérique, unique, pour l'OS |
| Type | extension ou en-tête de fichier |
| Emplacement | pointeur sur un périphérique |
| Taille | en octets ou en blocs |
| Protection | lecture, écriture, exécution ... |
| Date(s) | création, modification, accès ... |
| Utilisateur | propriétaire du fichier |
| ... | |

PROTECTION

- **Partage de fichiers**
 - rendre **accessible** à un **utilisateur B** un fichier de l'**utilisateur A**.
- **Politique de protection**
 - définir qui peut accéder à quel(s) fichier(s)
 - ➡ identifiant utilisateur → identifiant processus
 - ➡ contrôle d'accès dans le **FCB**
 - spécifier pour chaque fichier la liste des **sujets** autorisés à effectuer un **type d'accès**

TECHNIQUES DE PROTECTION

- Liste de contrôle d'accès (ACL)
 - utilisateur → droits
 - l'ensemble des utilisateurs doit être connu a priori
 - ✗ taille du FCB grossit avec le nombre d'utilisateurs
- Mot de passe
 - 1 mot de passe par fichier × type d'accès (r, w, ...)
 - ✗ pas très pratique → peu utilisé
- Classes d'utilisateurs
 - Exemple: Propriétaires vs Autres

TECHNIQUES DE PROTECTION

- **Notion de groupe**
 - Ensemble de groupes définis a priori
 - Ex: `admin`, `dev-disque`, `user-disque`, `dev-ram`, `user-ram`
 - **FCB**: 1 utilisateur + 1 groupe (propriétaires)
 - Ex: `toto.c`, `u=batman`, `g=dev-disque`
 - Utilisateur → liste de groupes
 - Ex: `robin`, `g=[user-disque, dev-ram]`
 ➡ `robin` n'a pas accès à `toto.c`
- Dans les systèmes **POSIX** on distingue :
 - **3 modes** (lecture, écriture, exécution)
 - **3 catégories de sujets** (le propriétaire, son groupe et le reste des sujets)

TECHNIQUES DE PROTECTION

- Dans les systèmes **POSIX** on distingue :
 - **3 modes** (lecture, écriture, exécution)
 - **3 catégories de sujets** (le propriétaire, son groupe et le reste des sujets)
- Exemple → **Unix**
 - 3×3 bits par fichier

```
$ ls -l
total 248
drwx----- 6 nico prof    4096 nov. 20 12:06 private
-rw----- 1 nico prof    2356 dec.  5 15:30 notes.ods
drwxrwx--- 8 nico prof    4096 dec.  4 17:31 doc
-rw-rw-r-- 1 joe  student   36 jan. 21 16:49 programme.c
-rwxrwxr-x 1 joe  student   996 jan. 28 10:53 programme
...
```

OPÉRATIONS SUR UN FICHIER

- Appels systèmes de base
 - Création: allocation espace + entrée répertoire
 - Lecture: pointeur de lecture
 - Écriture: pointeur d'écriture
 - Repositionnement: déplacer un pointeur
 - Suppression: retrait de l'entrée dans le répertoire
 - Troncature: vider mais garder l'entrée
- Opérations composées
 - Ex: copie, renommage
 - ➡ effectuées à partir des appels systèmes de base

OUVERTURE DE FICHIER

✗ Problème

- Nécessité d'accéder au FCB à chaque opération sur le fichier
- Le FCB est stocké dans le répertoire du périphérique
- Très coûteux en accès disque (donc en temps)!

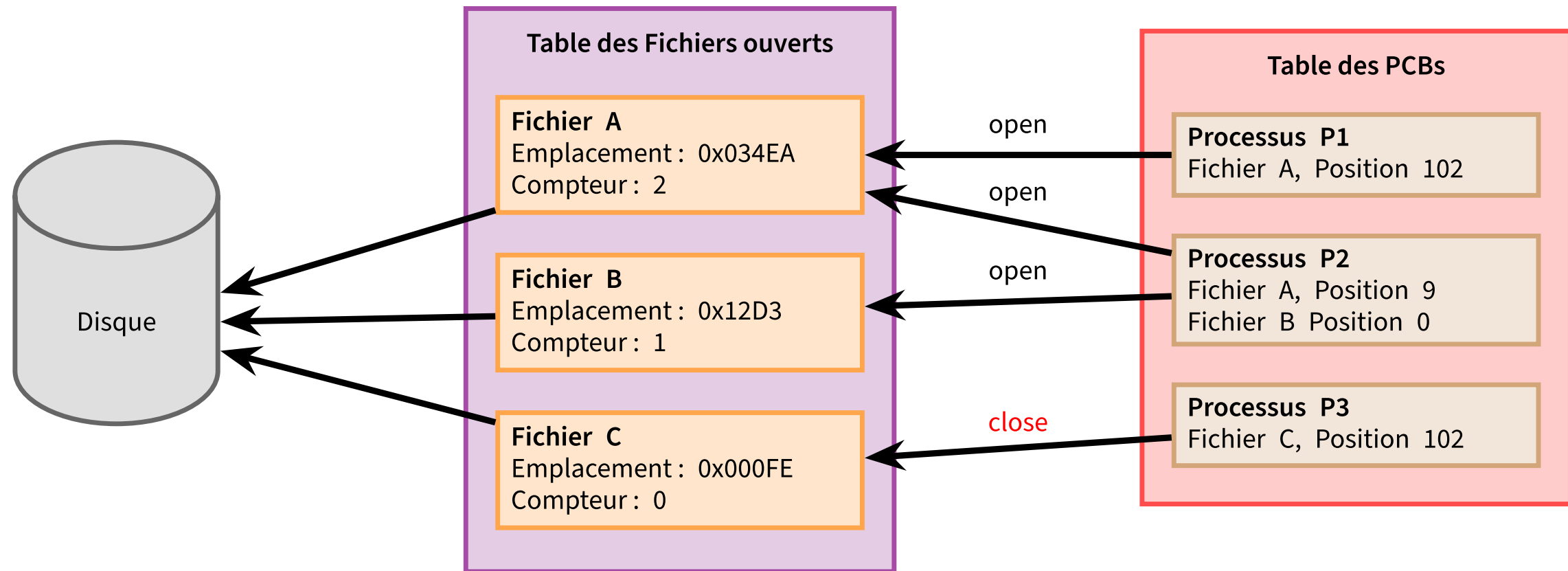
✓ Solution

- L'appel système open permet de charger le FCB en mémoire.
- L'OS impose que tout accès à un fichier soit précédé d'une ouverture.

TABLE DES FICHIERS OUVERTS

- La **table des fichiers ouverts** de l'**OS** contient l'ensemble des **FCB** des **fichiers ouverts**.
 - **ouverture** → chargement du **FCB** + ajout dans la table
 - **fermeture** → retrait de la table
 - ➡ les **FCB** sont chargés en **RAM**
 - ➡ pas d'impact sur le fichier!
- Gestion par l'**OS**
 - **implicite** → **open** implicite au premier accès
 - **explicite** → **exception** si le fichier n'a pas été ouvert avant
 - **une table de fichiers ouverts globale** avec compteurs
 - **une table par processus** → fermeture à la terminaison
 - ➡ possibilité d'**interdire l'accès aux autres processus**

TABLE DES FICHIERS OUVERTS



PLAN

- La notion de fichier
- Les répertoires
- Les systèmes de fichiers
- Synthèse

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

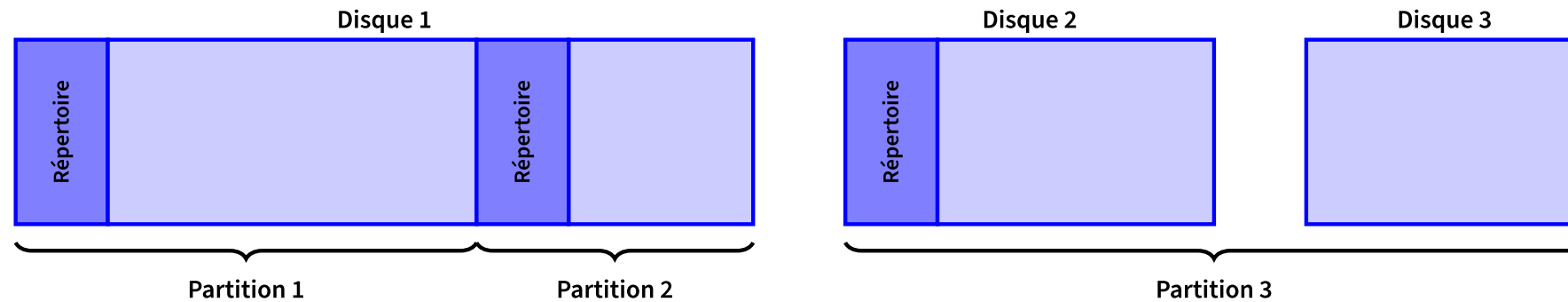
NOTION DE RÉPERTOIRE

- Le **répertoire** est la structure de **stockage des informations** des fichiers (les **FCB**) dans les **supports de stockage**.
 - ▢ ➡ **entrée du répertoire** = identifiant du fichier et/ou nom du fichier
 - ▢ ➡ **contenu du répertoire** = **FCB** des fichiers
- L'**OS** récupère les informations sur les fichiers dans **le répertoire**

STRUCTURE DES DISQUES

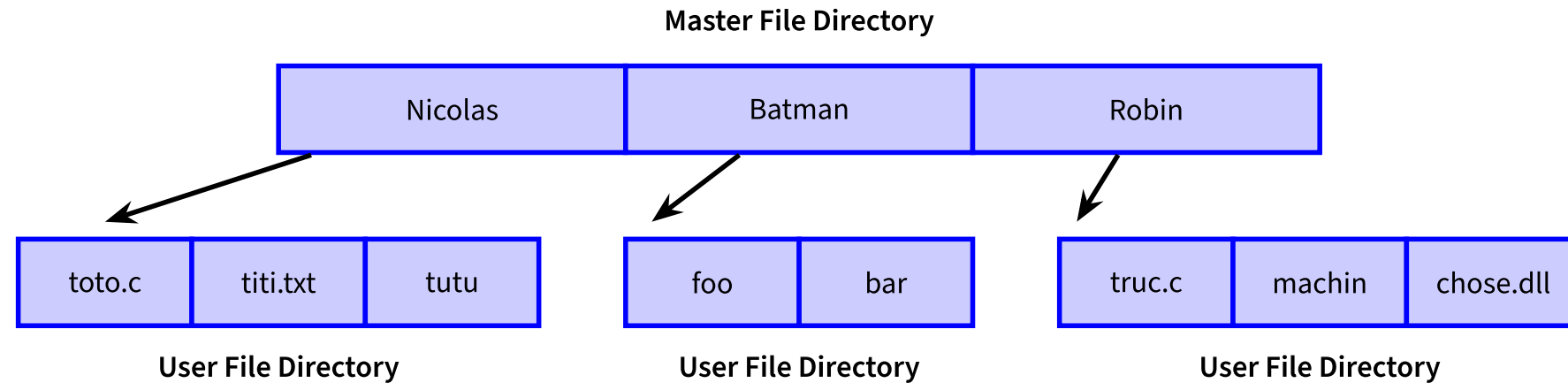
- **Disque** → Structure physique
- **Partition** → Structure logique (disque "virtuel")
 - Base : 1 disque = 1 partition
 - 1 disque = N partitions
 - 1 partition = 1 ou N disques (selon **OS**)
- **Répertoire** → Un répertoire par partition → l'ensemble des **FCB**
 - ➡ Nom/identifiant → **FCB**

STRUCTURE À 1 NIVEAU



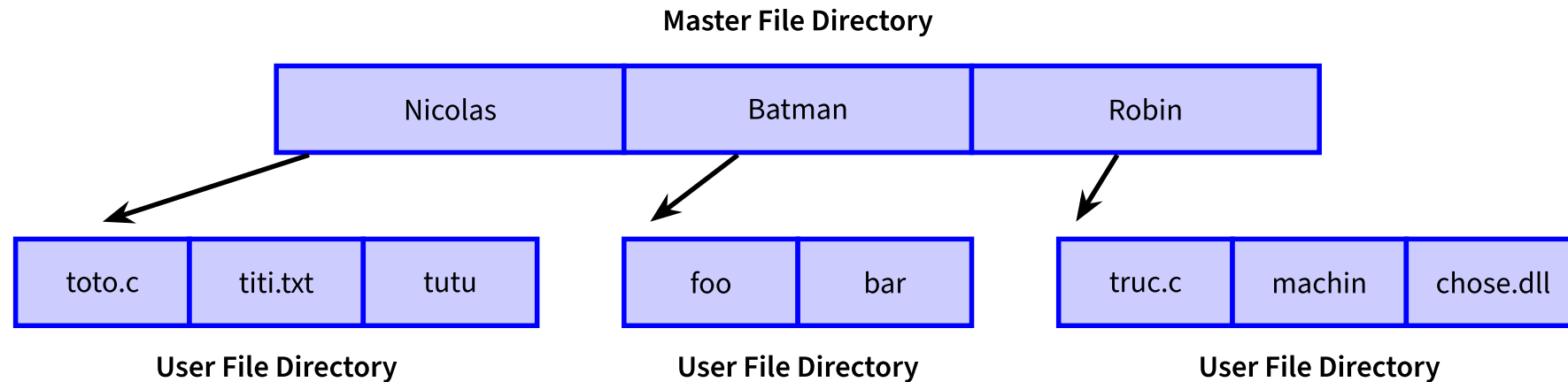
- Nom → **FCB**
 - Exemple: **MSDOS** et **Windows** → 11 octets (8 nom + 3 extension)
 - Exemple: **Unix** et **Mac** → 255 octets
- ✗ Taille du répertoire proportionnelle au nombre de fichiers
 - ▢▶ borner le nombre de fichiers . . .
- ✗ Utilisateur: organiser les fichiers, unicité de nom, . . .

STRUCTURE À 2 NIVEAUX



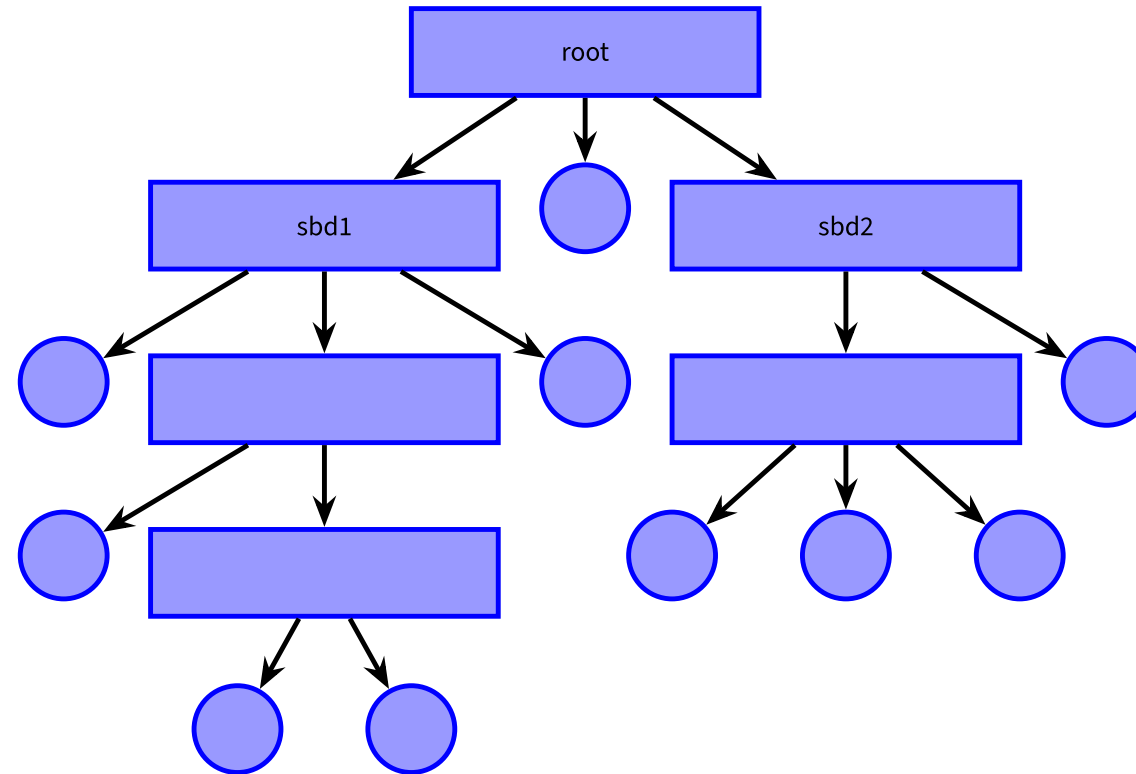
- Un répertoire par utilisateur
 - Identifiant + Nom → **FCB**
 - Répertoire des utilisateurs: **Master File Directory (MFD)**
 - ▢ Identifiant → **User File Directory**
 - Répertoire par utilisateur: **User File Directory (UFD)**
 - ▢ Nom → **FCB**

STRUCTURE À 2 NIVEAUX



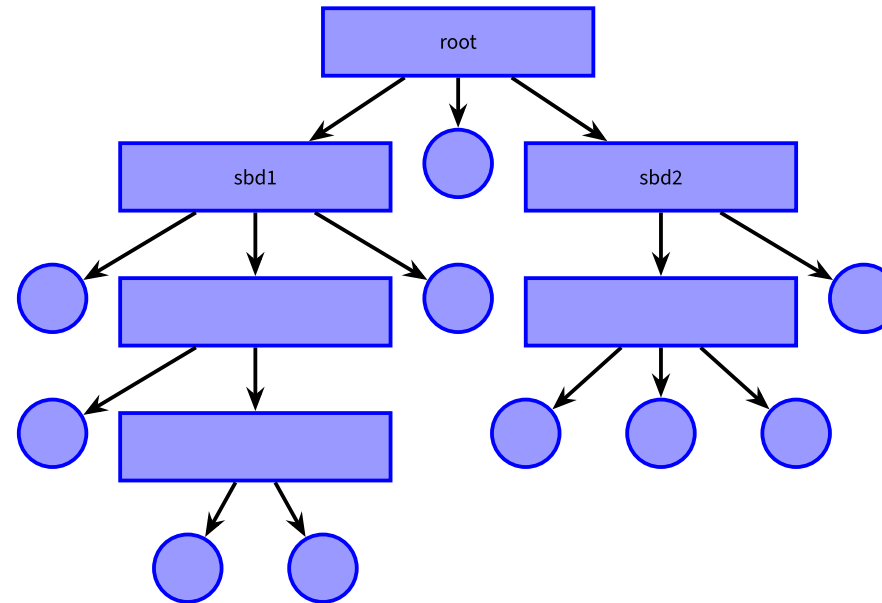
- ✓ Pas beaucoup plus coûteux en taille
- ✓ Utilisateur: organiser les fichiers, unicité de nom, . . .
- ✗ Taille des répertoires proportionnelle au nombre de fichiers
- ✗ Partage de fichiers

STRUCTURE ARBORESCENTE



- Généralisation de la structure à 2 niveaux:
 - ➡ Répertoire racine → **Master File Directory (MFD)**
 - ➡ **Sous-répertoires**, pouvant à leur tour jouer le rôle de **MFD**

STRUCTURE ARBORESCENTE

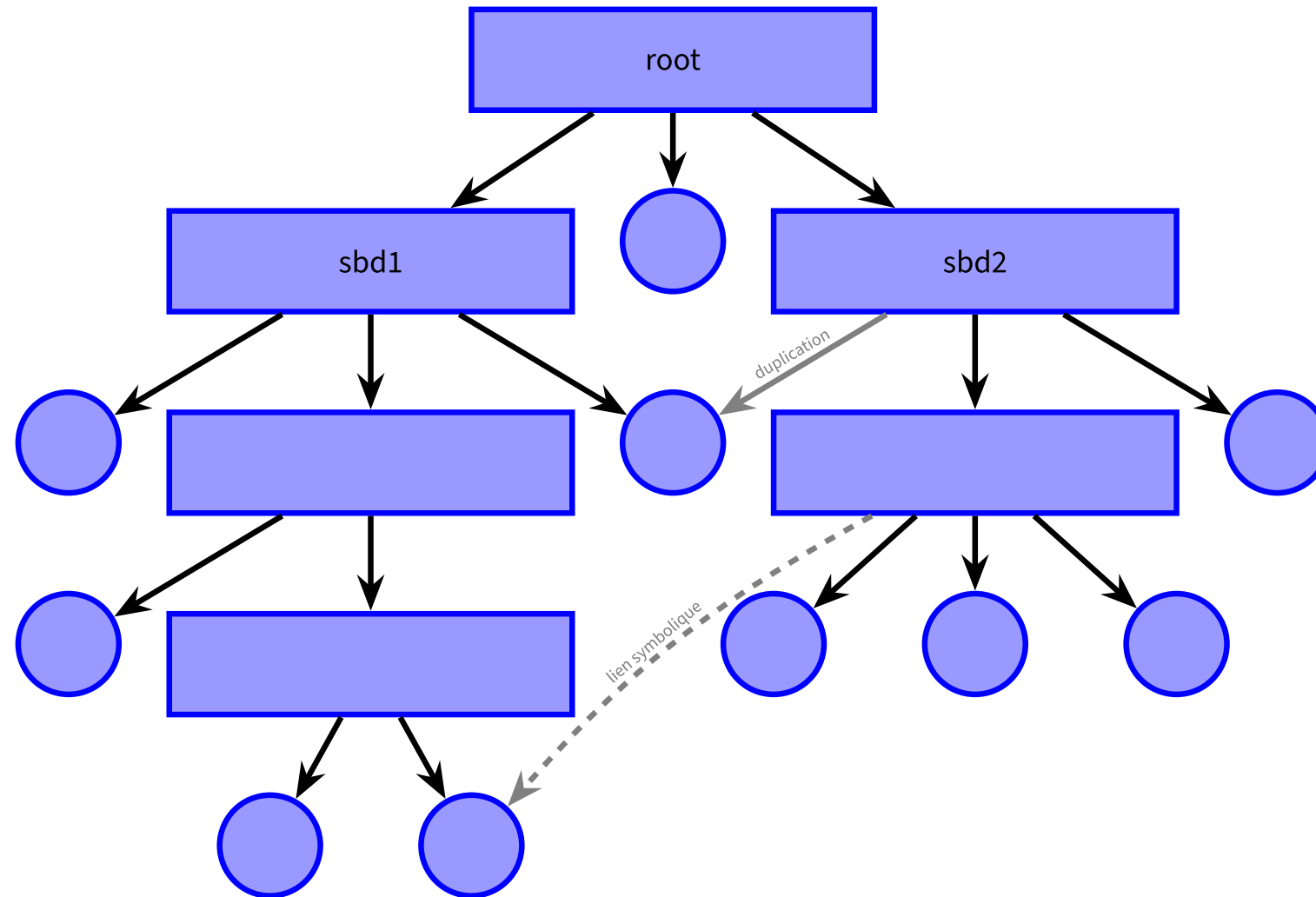


- **Fichiers**
 - Bit "répertoire" dans le **FCB**
 - Nom unique = chemin depuis la racine (chemin **absolu**)
- **OS** → Répertoire courant (par processus)
 - ➡ Recherche à partir du répertoire courant (chemin **relatif**)
 - ➡ Recherche par défaut (**PATH**)

STRUCTURE EN GRAPHE

- Généralisation de l'arbre avec des **liens**
 - ➡ Graphe **acyclique**
- **Liens**: **référencer** un fichier décrit dans un autre répertoire
 - ➡ bit "**lien**" dans le répertoire + chemin absolu
- **Extension**: **duplication**
 - ➡ **FCB** recopié → copie et original indiscernables
 - ➡ Compteur de liens (pour libérer l'espace sur le support physique)

STRUCTURE EN GRAPHE



TECHNIQUES DE PROTECTION

- Dans les systèmes **POSIX** on distingue :
 - **3 modes** (lecture, écriture, exécution)
 - **3 catégories de sujets** (le propriétaire, son groupe et le reste des sujets)

```
$ ls -l
total 248
drwx----- 6 nico prof    4096 nov.  20 12:06 private
-rw----- 1 nico prof    2356 dec.   5 15:30 notes.ods
drwxrwx--- 8 nico prof    4096 dec.   4 17:31 doc
-rw-rw-r-- 1 joe  student   36 jan.  21 16:49 programme.c
-rwxrwxr-x 1 joe  student   996 jan.  28 10:53 programme
...
```

| Mode | Lecture (r) | Écriture (w) | Exécution (x) |
|-------------------|-------------------|--|---|
| Fichier | mode lecture | mode écriture | exécution du fichier |
| Répertoire | lister le contenu | créer, renommer et supprimer un fichier | accéder au répertoire et à son contenu |

PLAN

- La notion de fichier
- Les répertoires
- Les systèmes de fichiers
- Synthèse

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

NOTION DE SYSTÈME DE FICHIER

- Comment stocker les informations (données et code) sur le disque
 - Comment les **organiser** ?
 - Comment y **accéder** ?
- Différence avec la **RAM**
 - Grande quantité de données
 - Accès lent (rapport 10^3 à 10^6)
- ➡ Définir une **norme** de gestion
 - Organisation de l'ensemble des **données** et des **périphériques**
 - **Exemple: Linux** → chaque périphérique est représenté par un fichier

LA VUE LOGIQUE

Système de fichiers (File System - FS)

- Un **système de fichiers** est un ensemble de **structures de données** et de **fonctions** qui permettent à un **OS** de **manipuler des fichiers**.

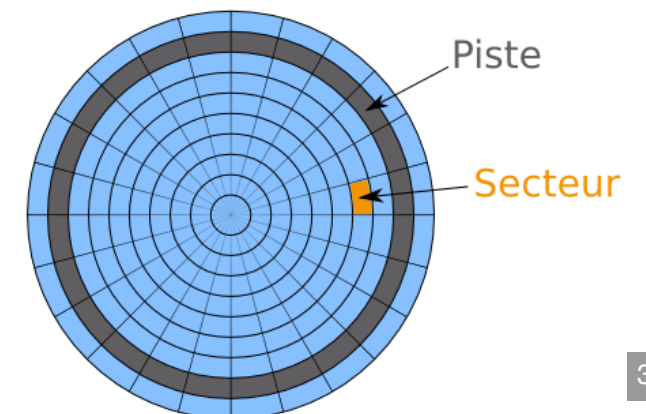
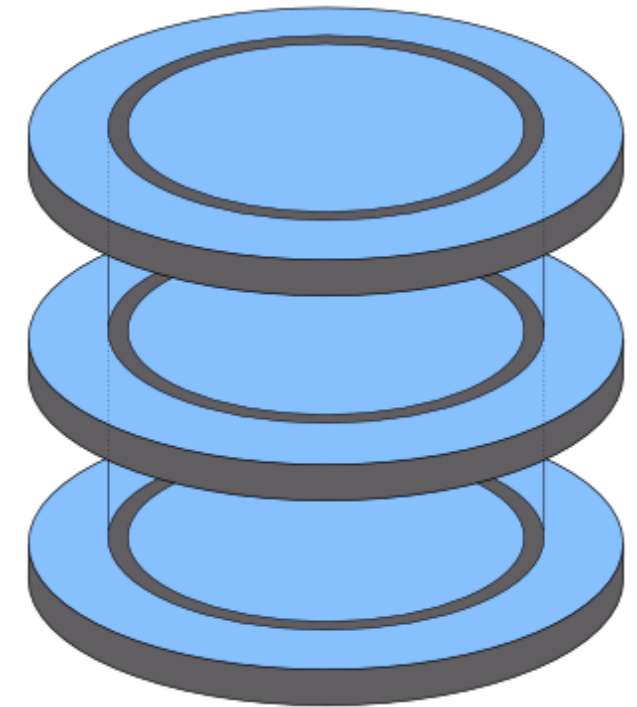
Unité logique

- Du point de vue de l'**OS**, le **FS** doit rendre des services qui ne **dépendent pas de son implémentation** (indépendant du support physique).
- Il doit répondre à des problèmes comme :
 - la diversité des supports de stockage ;
 - la sécurisation des données.

LA VUE PHYSIQUE

- Les supports de stockage sont **décomposés en blocs** (les éléments atomiques du **FS**).
- Selon les technologies, la **création des blocs** et **émule** toujours celle des **disques durs**.
- **Le formatage de bas niveau :**
 1. décomposer en **secteurs** (**cylindre**, **piste** et **secteur** de la piste)
 2. regrouper les **secteurs** en **blocs**.

Le découpage en blocs génère de **la fragmentation interne** (l'espace inutilisé du dernier bloc).



STRUCTURE D'UN SYSTÈME DE FICHIERS

- **Système logique**
 - Structure de répertoires
 - **FCB** + gestion de la protection
- **Système physique**
 - Fichiers → ensemble de blocs logiques
 - Bloc logique → blocs physique
 - Identification des blocs physiques selon support
- **Lien → pilote de périphérique**
 - **Appel système** (ex: chargement bloc 456) → instruction matériel

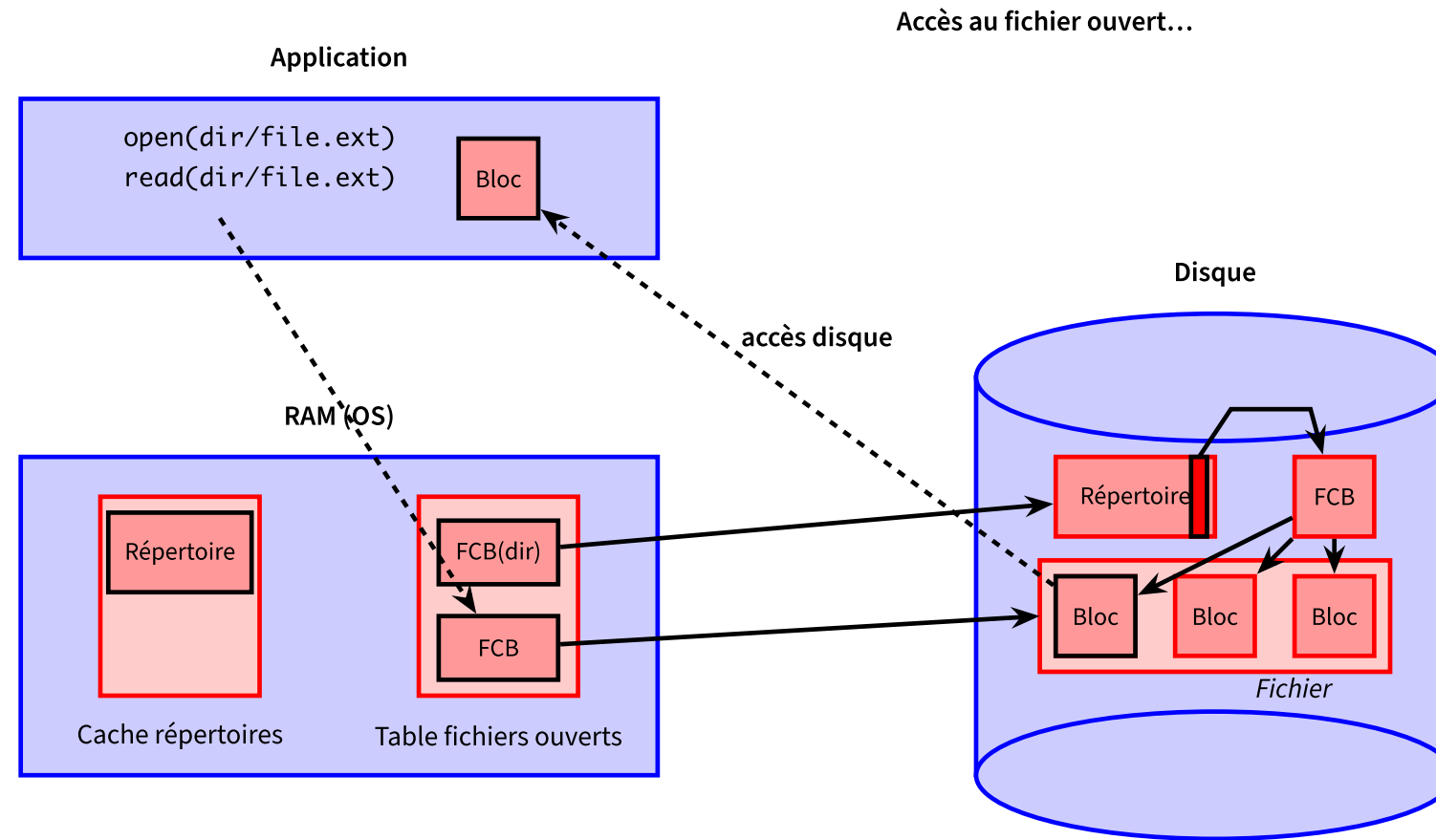
MONTAGE DE RÉPERTOIRE

- **Le système de fichiers . . .**
 - . . . associe des noms à des blocs logiques (**fichiers**)
 - . . . associe des noms à des **répertoires** venus du disque!
- **Montage de répertoire**
 - Le montage consiste à positionner un répertoire dans le **FS**
 - Chargement du **FCB** par l'**OS** (disque → **RAM**)
 - Attribué à l'utilisateur du processus
 - Association dans le **MFD au niveau logique**
 - Les fichiers deviennent accessibles

IMPLÉMENTATION

- **Sur le disque**
 - Bloc de démarrage (**Boot Control Block**) → chargement de l'**OS**
 - Bloc de contrôle de partition (**Master File Table**)
 - nombre de blocs, leur taille,
 - liste les blocs libres, liste les structures de descriptions de fichiers libres
 - Bloc de contrôle de répertoire ou de fichier (**FCB**)
- **Au niveau de l'OS**
 - Table des partitions/répertoires montés
 - Cache des répertoires
 - Table des fichiers ouverts (copie des **FCB**)
 - Blocs logiques

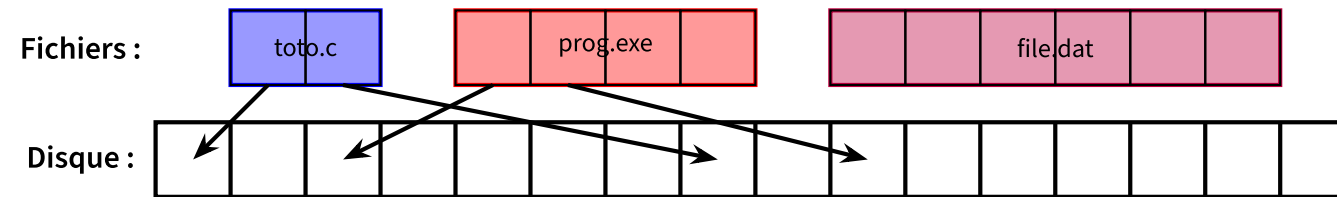
ACCÈS À UN FICHIER



ALLOCATION

Fichiers → blocs logiques → blocs physiques

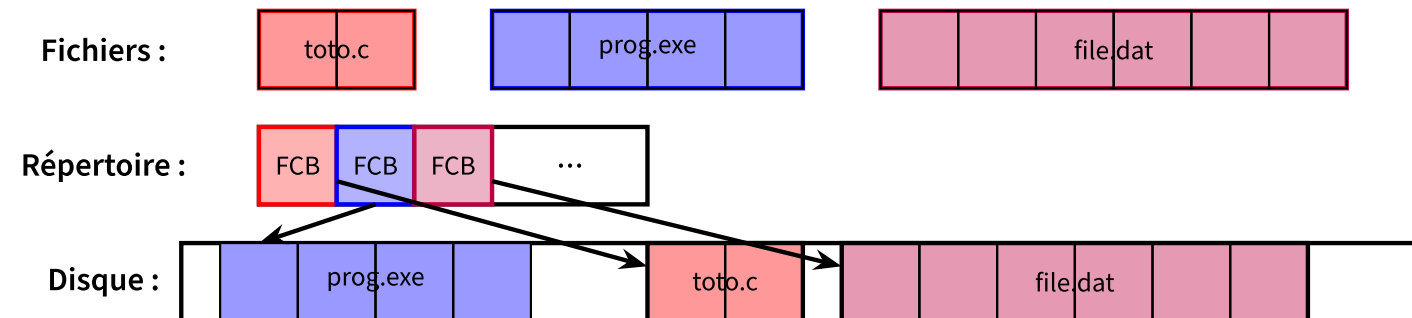
➡ Choix des blocs physiques pour 1 fichier donné



- **3 méthodes possibles**
 1. Allocation contiguë
 2. Allocation chaînée
 3. Allocation indexée

ALLOCATION CONTIGUË

Ranger les blocs les uns derrière les autres



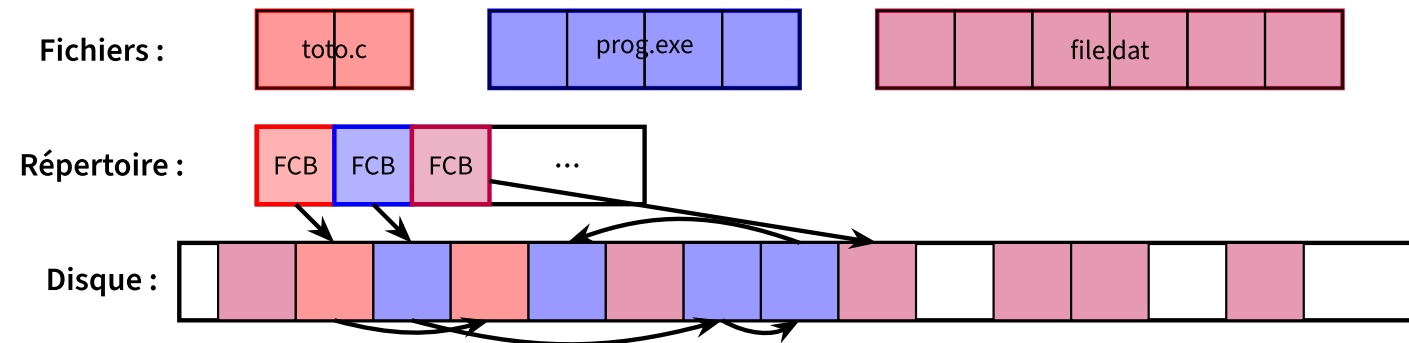
ALLOCATION CONTIGUË

Ranger les blocs les uns derrière les autres

- **Avantages**
 - ✓ Accès au bloc suivant: aucun coût
 - ✓ **FCB**: adresse bloc départ + taille
- **Inconvénients**
 - ✗ Fragmentation (compactage coûteux)
 - ✗ Connaître à l'avance la taille des fichiers
 - ✗ Recherche d'espace libre coûteux
 - ✗ Stratégies d'allocation (**BestFit**, **FirstFit**, **WorstFit**) à définir

ALLOCATION CHAÎNÉE

Fichier = liste chaînée de blocs



ALLOCATION CHAÎNÉE

Fichier = liste chaînée de blocs

- **Avantages**

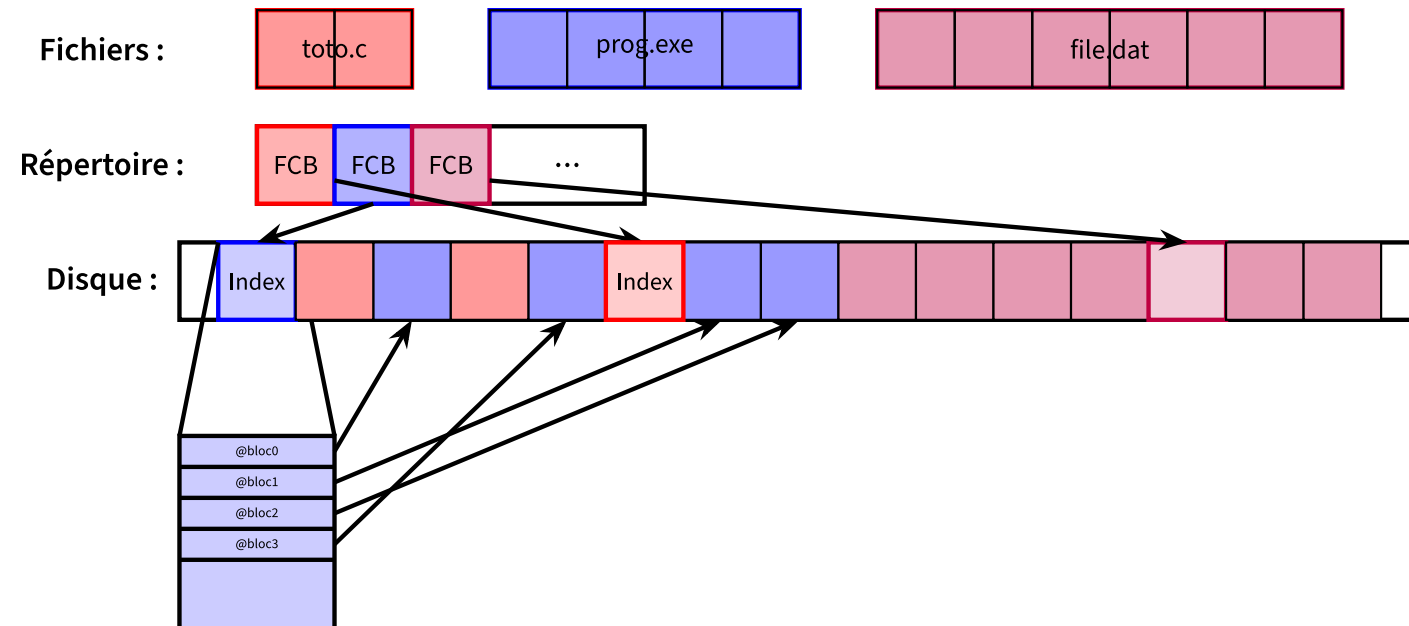
- ✓ **FCB**: adresse premier et dernier blocs
- ✓ Pas de fragmentation
- ✓ Fichiers taille quelconque

- **Inconvénients**

- ✗ Accès séquentiel: N^e bloc \rightarrow N accès disques!
- ✗ Fiabilité: 1 bloc endommagé \rightarrow tout le fichier est perdu
- ✗ Espace utilisé par les pointeurs (relativement négligeable)

ALLOCATION INDEXÉE

Rassembler tous les pointeurs dans un bloc d'index
(1 bloc par fichier)



ALLOCATION INDEXÉE

Rassembler tous les pointeurs dans un bloc d'index
(1 bloc par fichier)

- **Avantages**

- ✓ Pas de fragmentation
- ✓ Accès direct (2 accès disque)

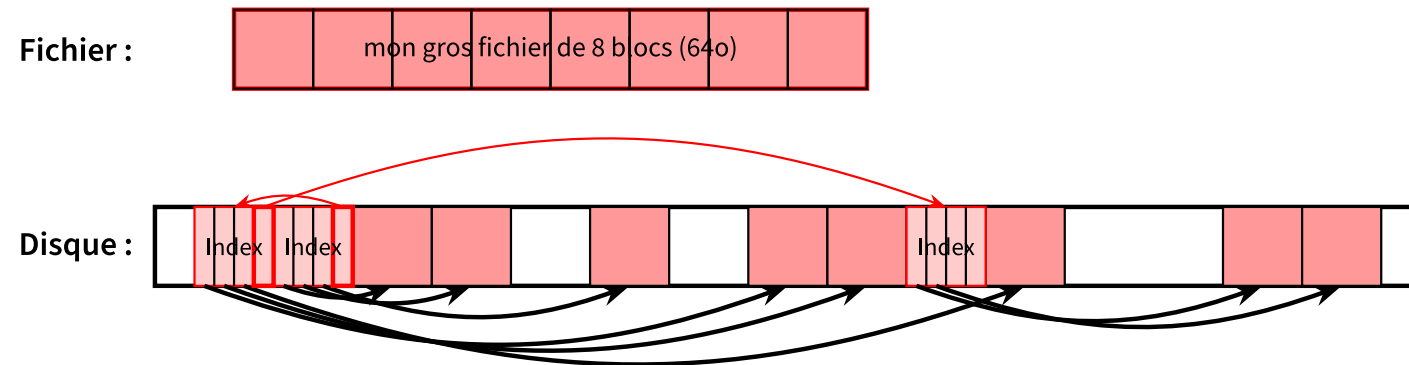
- **Inconvénients**

- ✗ 1 bloc perdu par fichier
- ✗ Taille fichier limitée par taille bloc

$64 \text{ bits} \times 64 \text{ blocs} = 5120 \Rightarrow \text{max} = 64 \times 5120 = 32 \text{ Ko}$

LISTE CHAÎNÉE DE BLOCS D'INDEX

- Le répertoire pointe vers un bloc d'index
- Le bloc d'index se termine par un pointeur vers un autre bloc d'index

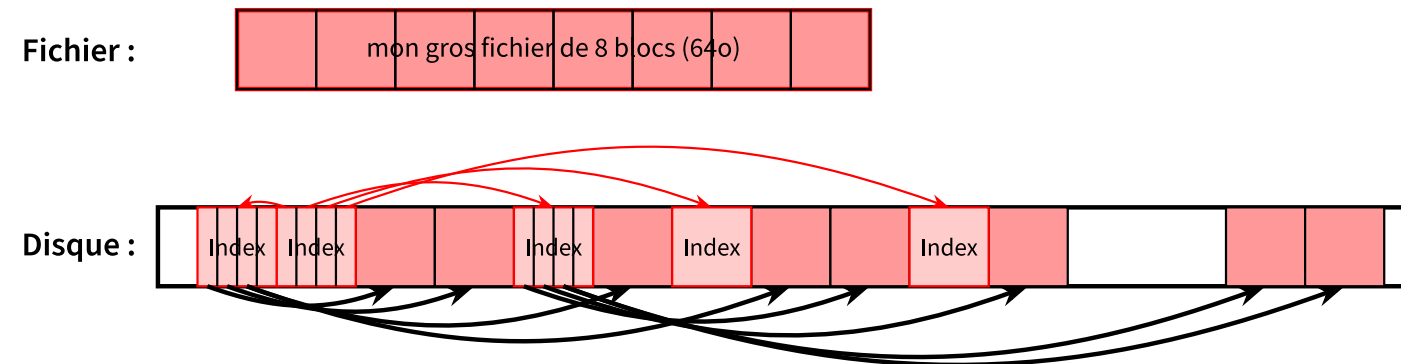


LISTE CHAÎNÉE DE BLOCS D'INDEX

- Le répertoire pointe vers un bloc d'index
- Le bloc d'index se termine par un pointeur vers un autre bloc d'index
- **Avantages**
 - ✓ Pas de fragmentation
 - ✓ Taille de fichier quelconque
- **Inconvénients**
 - ✗ N blocs perdus par fichier
 - ✗ Accès indirect (≥ 2 accès disque) mais plus rapide que la liste chaînée

INDEXATION À PLUSIEURS NIVEAUX

- Le répertoire pointe vers un bloc d'index "maître"
- Le bloc maître pointe vers des blocs d'index
 - ➡ n^2 blocs indexables au lieu de n
- Éventuellement, indexation sur 3 niveaux (n^3)

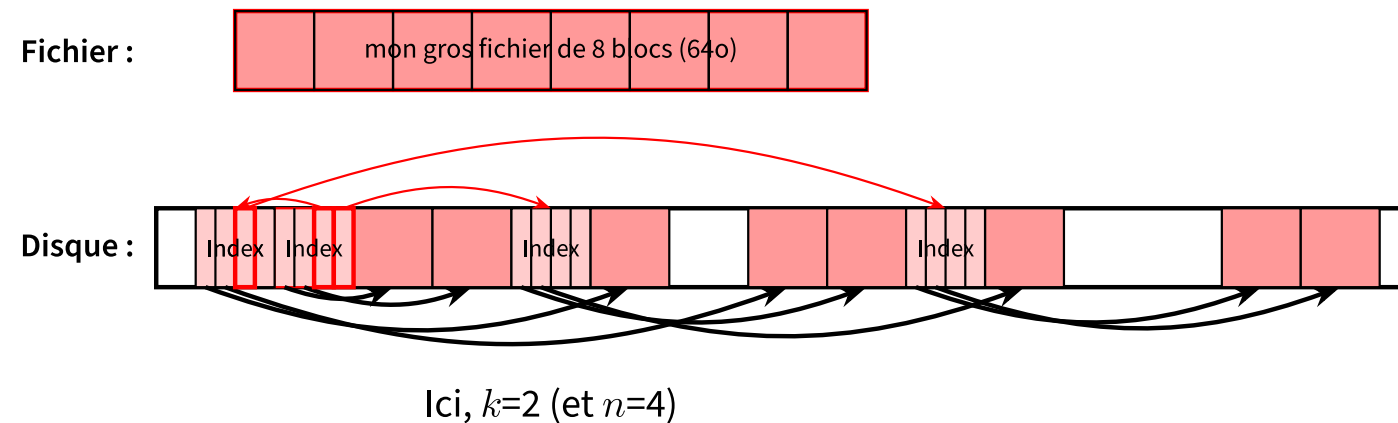


INDEXATION À PLUSIEURS NIVEAUX

- Le répertoire pointe vers un bloc d'index "maître"
- Le bloc maître pointe vers des blocs d'index
 - ➡ n^2 blocs indexables au lieu de n
- Éventuellement, indexation sur 3 niveaux (n^3)
- **Avantages**
 - ✓ Pas de fragmentation
 - ✓ Taille de fichier quelconque
 - ✓ Accès direct (3 accès disque max + possibilité index en cache)
- **Inconvénients**
 - ✗ ≥ 2 blocs perdus par fichier
(même si on ne crée pas les index en trop)

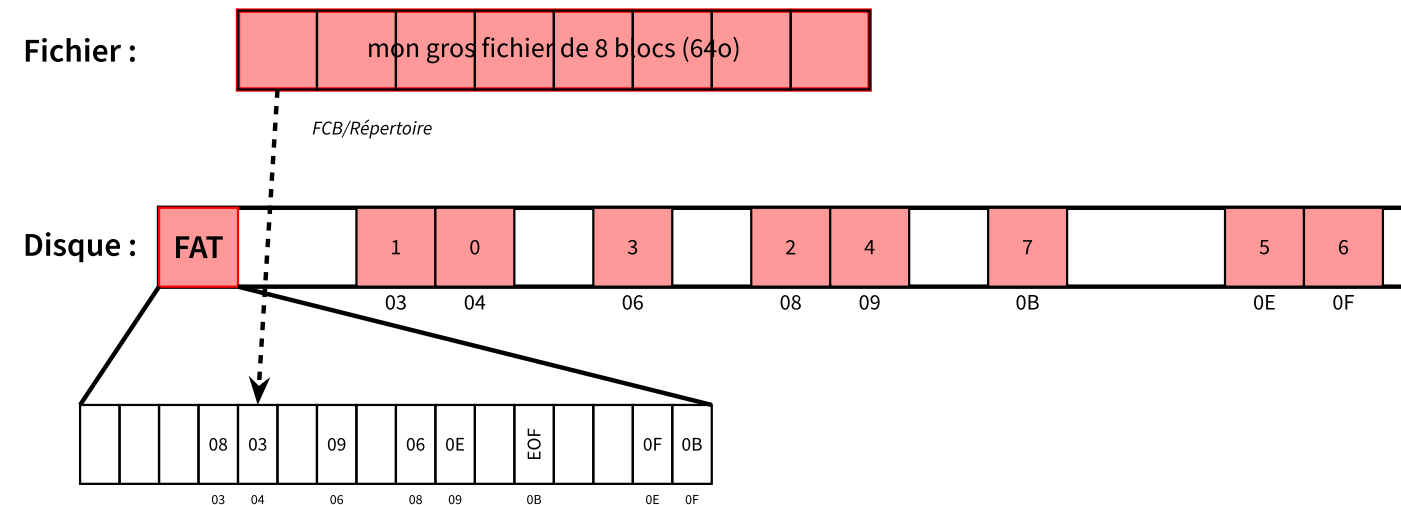
SCHÉMA COMBINÉ (EX: LINUX EXTFS)

- Combiner allocation chaînée et allocation indexée
- Index = k premiers blocs du fichier + $(n - k)$ blocs d'indirection
- ✓ Moins de perte pour les petits fichiers
- ✓ Accès rapide



FILE ALLOCATION TABLE (FAT)

- Utilisé sous **MSDOS** (**Intel**) et **OS/2** (**IBM**)
- Allocation indexée
- Liste chaînée des **index** des blocs en **début de chaque partition**



FILE ALLOCATION TABLE (FAT)

- **Avantages**

- ✓ **FCB**: adresse premier bloc = premier index
- ✓ Pas de fragmentation (allocation indexée)
- ✓ Allocation bloc simple
- ✓ Accès rapide (**FAT** chargée en cache puis accès direct disque)

- **Inconvénients**

- ✗ Fiabilité: **FAT** perdue → disque foutu!
→ doubler la **FAT** (sur 2 blocs distincts)

PLAN

- > La notion de fichier
- > Les répertoires
- > Les systèmes de fichiers
- > Synthèse

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

CE QU'IL FAUT RETENIR

- Les supports physiques sont partitionnés (découpés) en sous ensembles logiques sur lesquels un File System - FS est installé
- L'OS rend disponible les divers FS déclarés dans la table de montage (on parle aussi de Volumes)
- L'OS présente une vue unifiée des différents Volumes (FS) disponibles (Virtual File System - VFS)

CE QU'IL FAUT RETENIR

- Fichier = point d'accès au système
- File Control Block
- Répertoire
- Ouverture de fichier
- Structure d'un système de fichiers
- Blocs logiques/physiques
- Allocations contiguë, chaînée, indexée, FAT

MERCI

[Version PDF des slides](#)

[Retour à l'accueil](#) - [Retour au plan](#)