

Systèmes de fichiers

Cyril Rabat

`cyril.rabat@univ-reims.fr`

Licence 3 Informatique - Info0601 - Systèmes d'exploitation - concepts avancés

2020-2021



Cours n°2

Organisation des fichiers

Présentation de différents systèmes de fichiers

Version 14 décembre 2020

Table des matières

1 Fichiers et implantation

- Implantation des systèmes de fichiers
- Répertoires et liens

2 Exemples de systèmes de fichiers

- ISO 9660
- Systèmes de fichiers pour MS-DOS
- Ext2
- NTFS

Fichier logique et enregistrement

- **Fichier logique** : vision que l'utilisateur et les programmes ont des données
- Chaque fichier est déterminé par un nom
- Ensemble d'opérations possibles :
 - ↪ Création/destruction : liaison fichier logique/fichier physique
 - ↪ Ouverture/fermeture : rupture de la liaison
- **Enregistrement** :
 - ↪ Unité logique de traitement
 - ↪ Structure de données compréhensible par le programme
 - ↪ Accessible via des fonctions d'accès : lecture et écriture

Les types de fichiers

- Les **fichiers ordinaires** : contiennent des informations (données, programmes, bibliothèques)
- Les **répertoires** : fichiers systèmes qui conservent la structure du système de fichiers
- Les **fichiers spéciaux caractère** :
 - Liés aux entrées/sorties
 - Transfert de données via des périphériques
↪ Terminaux, imprimantes et réseau
 - Pas de temporisation (envoi caractère par caractère)
- Les **fichiers spéciaux bloc** :
 - Liés aux entrées/sorties
 - Transfert de données via des périphériques
↪ Disques durs, clés, CD-ROM
 - Utilisation de tampons pour accélérer les transferts

Les fichiers ordinaires

- Les **fichiers textes/ASCII** :
 - Contiennent des lignes de texte
 - Possibilité de les lire et de les imprimer directement
- Les **fichiers binaires** :
 - Suite d'octets incompréhensibles (sauf pour les applications)
- Le type du fichier :
 - Déterminé par une extension (exemple : `.exe` sous MSDOS)
 - Déterminé par un attribut (sous MAC OS)
 - Indéfini : spécifique à une application

Les attributs de fichier

- Informations complémentaires concernant un fichier
- Le nombre d'attributs varie en fonction du système
- Quelques exemples :
 - Indicateurs sur les possibilités de lecture, écriture et exécution
 \hookrightarrow `r`, `w` et `x` sous *Unix*
 - Créateur/propriétaire du fichier
 - Fichier ASCII ou binaire
 - L'heure et la date de création ...

Fichier logique : mode d'accès

- **Accès séquentiel :**

- ↪ Traitement des enregistrements les uns après les autres
- ↪ "Pointeur" sur l'enregistrement courant
- ↪ Lecture : donne l'enregistrement courant et se déplace au suivant
- ↪ Écriture : à la fin du fichier
- ↪ Accès soit en lecture seule, soit en écriture seule

- **Accès indexé/aléatoire :**

- ↪ Accès direct à un enregistrement
- ↪ Utilisation d'une clé (champ commun à tous les enregistrements)
- ↪ Index ou structure d'accès maintenue
- ↪ Accès en lecture seule, en écriture seule ou en lecture/écriture

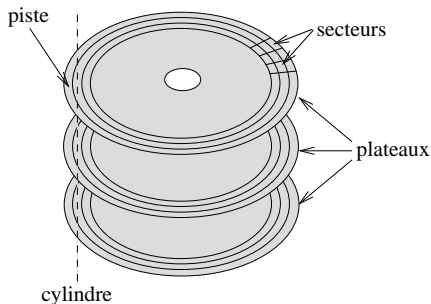
- **Accès direct/relatif :**

- ↪ Réalisé en spécifiant la position relative de l'enregistrement
- ↪ Soit à partir du début, de la fin ou de la position courante

Fichier physique

- Entité allouée sur le support
- Contient les données physiques
- Problématiques :
 - ↪ Comment placer un fichier sur le support (blocs ou non) ?
 - ↪ Où placer le fichier ?
 - ↪ Comment le retrouver ensuite ?

Structure d'un disque dur



- Plateaux
↪ Jusqu'à 20 par disque dur
- Faces :
↪ 2 par plateau
- Pistes
↪ de 10 à plus de 1000 par face
- Cylindres
↪ 1 par piste
- Secteurs
↪ 4 à 32 par piste

- Exemple : 3 plateaux donc 6 faces et 6 têtes de lecture
- Normalement 512 octets par secteur (de 32 à 4096 octets)
- Premier secteur adressable : cylindre 0, tête 0 et secteur 0

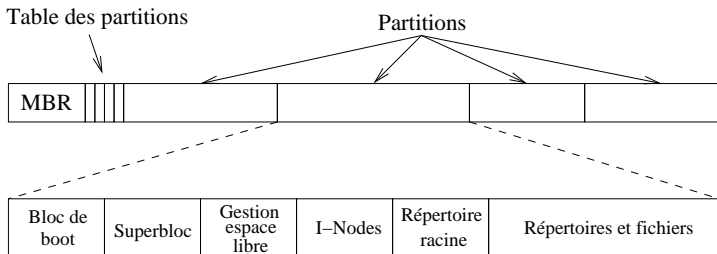
Les blocs

- Objectif : optimisation des opérations de lecture/écriture
- Regroupe plusieurs secteurs consécutifs
- Unité d'échange entre le disque et la mémoire

Les partitions (1/2)

- Le secteur 0 du disque contient le MBR (*Master Boot Record*)
↪ Sert à “booter” la machine
- À la suite du MBR se trouve la table des partitions :
⇒ Adresses de début et de fin de chaque partition
- Dans chaque partition :
↪ Bloc de boot
↪ Superbloc contenant les informations sur le système de fichiers

Les partitions (2/2)



- Au démarrage de la machine :
 - Interrogation du MBR pour obtenir la partition active
 - Lecture du premier bloc de cette partition : le *bloc de boot*
 - Le programme dans le bloc de boot charge le système

Implantation des fichiers

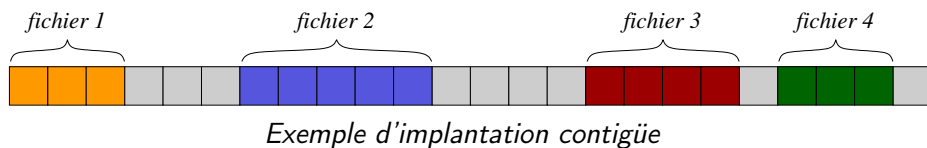
- Le disque est découpé en un ensemble de blocs
- Comment stocker les fichiers ?
- Plusieurs stratégies :
 - Contigüe
 - Par liste chaînée
 - Par liste chaînée et FAT
 - Indexée

Quelle que soit la stratégie,
un bloc est associé aux données d'un seul fichier

Implantation des fichiers : contigüe

- Les données d'un fichier sont stockées dans des blocs consécutifs
- Avantages :
 - Simple à mettre en œuvre
 - Excellentes performances car un seul déplacement au début du fichier.
- Inconvénient :
 - Fragmentation de l'espace libre
- Système utilisé avec les DVD et CD-Rom.

Illustration



- Problème : comment choisir la position d'un fichier ?
- Stratégies : *first-fit*, *next-fit*, *best-fit*, *worst-fit*

Stratégie *First-Fit*

- Algorithme de placement pour un fichier :
 - ➊ Commencer la recherche depuis le début
 - ➋ Avancer jusqu'au prochain segment libre
 - ➌ Si la taille du segment n'est pas suffisante, avancer jusqu'au prochain segment libre
 - ➍ Sinon, le segment courant est choisi
- Algorithme rapide car recherches limitées

Stratégie *Next-Fit*

- Idem que *First-Fit* mais la recherche débute à partir de la position trouvée précédemment
- Par simulation, on observe que cette stratégie est plus rapide que le *First-Fit*

Algorithme *Best-Fit*

- Fichier placé à l'endroit optimal :
 ↪ le plus petit emplacement libre possible
- Stratégie plus lente que les deux précédentes
- Tendance à perdre de la place car les emplacements libres sont très petits

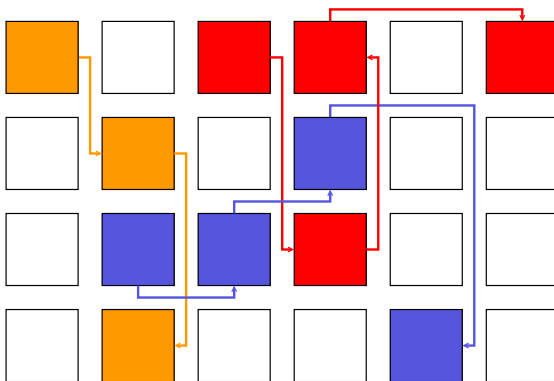
Stratégie *Worst-Fit*

- Idem que *Best-Fit* mais fichier placé dans l'emplacement le plus grand
- Par simulation, on observe que cet algorithme n'est pas performant

Implantation des fichiers : par liste chaînée

- Chaque fichier est considéré comme une liste chaînée de blocs
↪ Les blocs des fichiers sont donc répartis sur le disque
- Avantage :
 - Pas de fragmentation de l'espace libre
- Inconvénients :
 - Lecture du fichier plus lente et plus complexe
 - Utilisation d'octets dans chaque bloc pour indiquer le prochain bloc

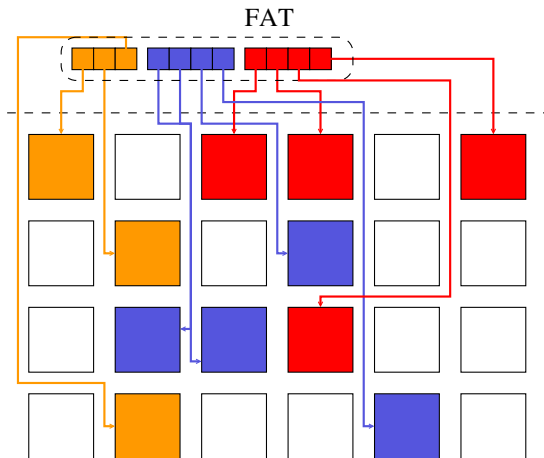
Exemple d'implantation par liste chaînée



Implantation des fichiers : par liste chaînée et FAT

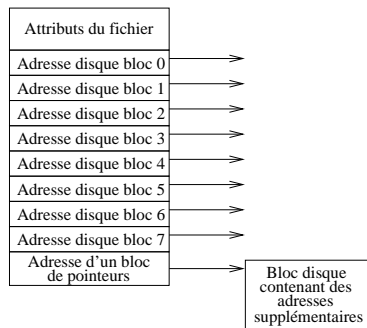
- Les pointeurs vers les blocs sont stockés dans une table :
↔ La FAT (*File Allocation Table*)
- La table est complètement mise en mémoire
- Avantage :
 - Un bloc physique est intégralement disponible pour les données
- Inconvénient :
 - La place occupée par la table peut être considérable

Exemple d'implantation par FAT

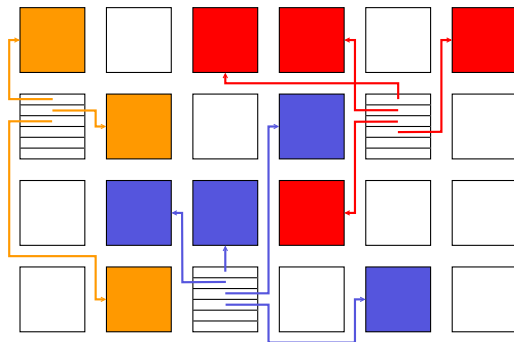


Implantation des fichiers : indexée

- À chaque fichier est associée une structure de données appelée *i-node* contenant :
 - Les attributs
 - Les adresses du disque des blocs du fichier
- Avantage :
 - ↪ Seuls les *i-nodes* des fichiers ouverts sont chargés en mémoire



Exemple d'implantation indexée



Gestion de l'espace libre : par tableaux/chaine de bits

- À chaque bloc correspond un bit dans le tableau / la chaîne :
 ↪ 0 si le bloc est libre, 1 sinon
- Problème : taille du tableau / de la chaîne

Exemple



Tableau de bits correspondant :

1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0

Gestion de l'espace libre : par listes chaînées

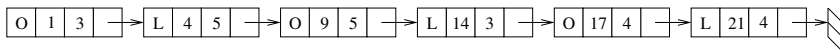
- Le tableau est remplacé par une liste chaînée
- Chaque entrée de la liste indique :
 - L'état du segment (L pour libre ou O pour occupé)
 - L'adresse à laquelle le segment débute
 - La taille du segment

Exemple

- Mémoire :



- Liste chaînée :



Les répertoires (1/2)

- Correspondance fichiers logiques / fichiers physiques :
 ↪ Utilisation d'une table appelée répertoire
- Un répertoire est constitué d'un ensemble d'entrées, chacune correspondant à un fichier
- Une entrée contient :
 - Le nom du fichier
 - Le type du fichier
 - La localisation physique
 - La taille
 - Le propriétaire
 - Les protections

Les répertoires (2/2)

- Différents niveaux de répertoires :
 - Systèmes à un seul niveau de répertoire :
 - ↪ Un seul répertoire, l'ensemble des fichiers sont dans le répertoire
 - Systèmes à deux niveaux de répertoires :
 - ↪ Un répertoire racine contenant un répertoire par utilisateur
 - ↪ Chacun contient les fichiers de l'utilisateur
 - Systèmes à répertoires hiérarchiques :
 - ↪ Arbre de répertoires (arborescence)

Remarque

- La majorité des systèmes d'exploitation actuels utilisent les répertoires hiérarchiques
- Attention cependant la taille maximum du chemin absolu !

"Lecture" d'un répertoire

- Possible d'ouvrir un répertoire en lecture :
 - ↪ En C, utilisation de DIR (au lieu de FILE pour un fichier)
- Permet de parcourir les entrées du répertoires :
 - ↪ Possible de faire un parcours récursif

Les liens

- Utilisé pour partager des fichiers entre plusieurs utilisateurs
- Lien physique ou matériel :
 - Ajout d'un nouveau nom dans le système de fichier qui pointe vers le même *i-node* que le nom original
 - Permet d'avoir plusieurs noms pour un même fichier
 - L'*i-node* contient un compteur de liens (visible grâce à `ls -l`)
- Lien symbolique :
 - Fichier texte qui contient le chemin d'accès et le nom du fichier vers lequel il pointe
 - Le lien est marqué par un type spécial
 - Associé à un raccourcis

La norme ISO 9660

- ISO 9660 est un système de fichiers pour CD-ROM (1988)
- C'est un standard :
 - ↔ Tous les lecteurs actuels sont compatibles ISO 9660
- Sur un CD, les données sont organisées en une spirale continue
- La spirale est divisée en blocs de 2352 octets
- La partie utile par bloc est de 2048 octets :
 - ⇒ Les autres octets sont utilisés pour les préambules, à la correction d'erreurs et à la gestion en général

Organisation sur le CD-ROM

- Les 16 premiers blocs n'ont pas d'utilisation définie
↪ Destinés aux fabricants
- Le bloc descripteur primaire de volume composé des identificateurs :
 - Du système (32 octets)
 - Du volume (32 octets)
 - De l'éditeur (128 octets)
 - Du préparateur de données (128 octets)
 - Le nom de 3 fichiers qui contiennent le résumé, la note sur les droits réservés et des informations bibliographiques
 - Le nombre de blocs du CD, la date de création, la position du répertoire racine

Les répertoires

- Les répertoires sont composés d'un nombre variable d'entrées dont la dernière est marquée par un bit spécial
- Chaque entrée est de taille variable :
 - ↪ Constituée de 10 à 12 champs
 - ↪ Champs codés en ASCII ou en binaire
- Une entrée contient entre autres :
 - La longueur de l'entrée du répertoire (1 octet)
 - La localisation du premier bloc du fichier (8 octets) :
 - ↪ Les fichiers sont stockés de manière contigüe
 - ↪ La position du premier bloc détermine la position des suivants
 - Taille du fichier, date et heure
 - La taille du nom du fichier, le nom du fichier ...

Les niveaux

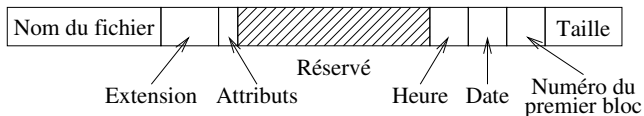
- Il existe 3 niveaux dans cette norme :
- Niveau 1 :
 - Nom de fichier de 8 + 3 caractères
 - Tous les fichiers sont contigus
 - Nom de répertoire de 8 caractères sans extension
- Niveau 2 : noms des fichiers et répertoires allant jusqu'à 31 caractères
- Niveau 3 :
 - Les fichiers ne sont plus contigus
 - Ils peuvent partager des blocs s'ils sont identiques :
↪ Optimisation de l'espace

Les extensions de la norme

- *Rock Bridge* :
 - But : reproduire le système *Unix*
 - Attributs "rwxrwxrwx"
 - Liens symboliques
 - Relocalisation des répertoires pour augmenter la profondeur ...
- *Joliet* :
 - But : reproduire le système *Windows*
 - Noms longs jusqu'à 64 caractères
 - Caractères *Unicode* sur 2 octets
 - Profondeur de répertoire supérieure à 8
 - Nom des répertoires avec extension

Systèmes de fichiers pour MS-DOS

- Format d'une entrée d'un répertoire :
 - Nom du fichier (8 octets) + extension (3 octets)
 - Attributs : (1 octet)
 - ⇒ Lecture seule, archive, caché, système
 - 10 octets inutilisés
 - Heure (2 octets) et date à partir de 1980 (2 octets)
 - Indice du premier bloc du fichier (2 octets)
 - Taille du fichier (4 octets)



FAT pour MS-DOS : FAT 12

- Première version fonctionne avec des blocs de 512 octets
- 12 bits pour une adresse disque : $2^{12} = 4096$ blocs indexés
 \hookrightarrow En fait seulement 4086 car 10 adresses sont réservées
- Taille max. par partition : 4086×512 octets
 \hookrightarrow Partition maximum de 2Mo
- La FAT en mémoire est de 4096 entrées de 2 octets
- Pour accroître la taille max., augmentation de la taille des blocs de 1Ko, 2Ko et 4Ko :
 \hookrightarrow Partition maximum de 16Mo
- MS-DOS supportait 4 partitions par disque :
 \hookrightarrow Gestion de disque jusqu'à 64Mo

FAT pour MS-DOS : FAT 16

- 16 bits pour une adresse disque
- Des blocs de 8Ko, 16Ko et 32Ko sont autorisés
- La FAT-16 occupe en permanence 128Ko de mémoire
- Taille maximale par partition : 2Go (64Ko d'entrées de 32Ko chacune)
- Taille maximale d'un disque de 8Go ($4 \times 2\text{Go}$)

FAT pour MS-DOS : FAT 32

- 28 bits pour une adresse disque (et non 32 bits !)
- Théoriquement, taille des partitions de $2^{28} \times 2^{15} = 8\text{To}$...
- ... mais bridée à 2To
- Avantage par rapport à la FAT-16 : un disque de 8Go en une seule partition
- Taille des blocs de 4ko à 64ko
- Recherche de blocs libres réalisée en analysant la FAT :
 - ↪ Les blocs libres ont un code particulier
- Taille des fichiers limitée à 4Go :
 - ↪ Limitée par l'entrée "taille de fichier" d'un répertoire
- Dans les dernières versions de *Windows* : limitation du FAT32 à des partitions inférieures à 32Go

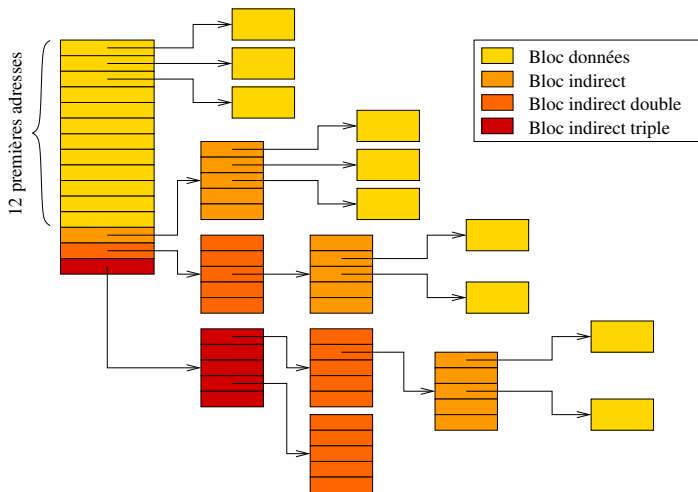
Le système de fichiers Ext2

- Ext2 pour *EXtended File System version 2*
- Premier bloc : le *boot*
- Ensuite, groupes de blocs contenant chacun :
 - Super bloc : nombre de blocs et *i-nodes*, taille des blocs, ...
 - Descripteur de groupe
 - Bitmap des blocs libres puis des *i-nodes* libres
 - Table des *i-nodes*
 - Blocs de données
- Blocs de 512o à 4096o

Les *i-nodes* (1/2)

- Chaque *i-nodes* fait 128 octets
- Contient :
 - Nom du fichier, type et droits
 - Heures (dernier accès, dernière modification, etc.)
 - Nombre de liens vers d'autres fichiers
 - Taille du fichier et nombre de blocs alloués
 - Liste de contrôle d'accès (une pour le fichier, une pour le répertoire)
 - Table d'adresses des blocs de données
- Table d'adresses :
 - Adresses sur 4 octets
 - 15 entrées
 - 12 premières : blocs logiques contenant des données
 - 3 dernières : différents niveaux d'indirection

Les *i-nodes* (2/2) : table d'adresses d'un fichier



La journalisation

- Lors d'un arrêt brutal de la machine, il est possible que la structure de données soit dans un état instable
- Il est nécessaire d'avoir recours à des outils :
 - ↪ Exécutés automatiquement au démarrage
- Les outils vérifient alors toute la structure :
 - ↪ Coût en temps important
- Pour éviter ça, une nouvelle structure de données est ajoutée :
 - ↪ Structure appelée *journal*
- Toutes les actions que le système de fichiers s'apprête à faire y sont stockées
- Lorsqu'un problème survient, il suffit de reprendre le journal :
 - ↪ Gain de temps important et intégrité des données garantie

Les évolutions de Ext2

- Ext3 :

- Proposé pour apporter le principe de la journalisation au système de fichiers Ext2
- Compatibilité entre les 2 systèmes
- Suffisant pour un poste utilisateur, mais pas pour l'utilisation sur des serveurs

- Ext4 :

- Gestion de disques jusqu'à 1024×2^{50} octets
- Allocation contigüe des fichiers pour minimiser la fragmentation
- Compatibilité limitée entre Ext3 et Ext4

NT *File System* : NTFS

- Mis au point pour *Windows NT* :
↪ Autre traduction : *New Technology File System*
- Adresses disques sur 64 bits
- Noms de fichiers limités à 255 caractères et chemin complet limité à 32767 caractères
- Utilisation possible de caractères *Unicode* avec le respect de la casse (mais pas par l'API *Win32*)
- Blocs de taille comprise entre 512Ko et 64Ko (généralement 4Ko)
- Les fichiers/répertoires correspondent à des enregistrements dans une table :
↪ La MFT

La MFT

- MFT pour *Master File Table*
- Chaque fichier et répertoire possède une entrée de 1Ko dans la MFT :
 ↪ Vu comme une suite d'attributs
- Si l'attribut peut être stocké dans la MFT, il est dit résident :
 ↪ Date de création, nom du fichier. . .
- Les attributs non-résidents stockés ailleurs sur le disque
- Si le fichier est petit, il est intégralement stocké dans la MFT
- La MFT est un fichier qui peut croître jusqu'à 2^{48} enregistrements :
 ↪ Elle peut être placée n'importe où sur le disque

Fonctionnalités avancées de NTFS

- Support de la compression de fichiers, de répertoires et de volume :
 - ↪ Lecture/écriture par n'importe quelle application sans décompression par un autre programme
 - ↪ Algorithme de compression supportant des blocs de 4Ko maximum
- EFS (Encrypting File System) : NTFS5
 - Permet de protéger l'accès aux fichiers
 - Utilisation de clé de cryptage symétrique + clés publiques

Pour plus d'informations

Le site officiel : <http://ntfs.com/>