

## Fichiers et entrées-sorties

Sacha Krakowiak  
 Université Joseph Fourier  
 Projet Sardes (INRIA et IMAG-LSR)  
<http://sardes.inrialpes.fr/~krakowia>

## Fichiers

### ■ Définitions

- ◆ **Fichier** : ensemble d'informations regroupées en vue de leur conservation et de leur utilisation dans un système informatique
- ◆ **Système de gestion de fichiers (SGF)** : partie du système d'exploitation qui conserve les fichiers et permet d'y accéder

### ■ Fonctions d'un SGF

- ◆ **Conservation permanente** des fichiers (permanente : indépendamment de l'exécution des programmes et de l'intégrité de la mémoire principale) -> conservation en mémoire secondaire (disque)
- ◆ **Organisation logique et désignation** des fichiers
- ◆ **Partage et protection** des fichiers
- ◆ **Réalisation des fonctions d'accès** aux fichiers

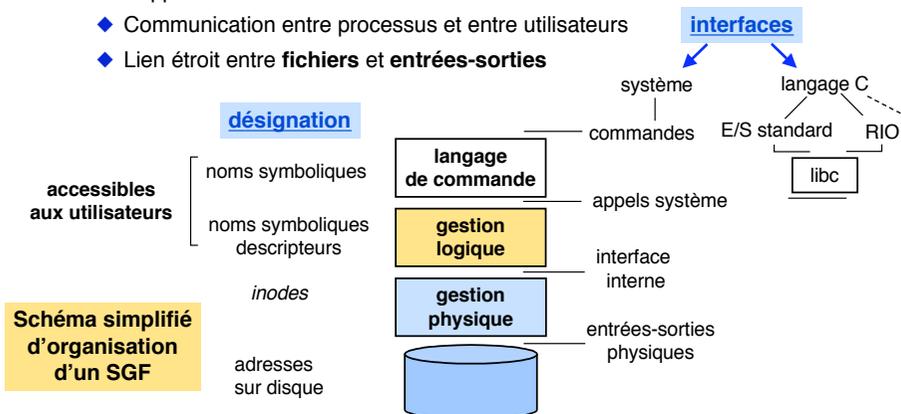
### ■ Plan d'étude (illustré par le SGF d'Unix)

- ◆ **Désignation**
- ◆ **Fonctions d'accès aux fichiers**
- ◆ **Entrées-sorties, flots et tubes**
- ◆ **Protection**
- ◆ **Notions sur la réalisation**

## Place du SGF dans un système d'exploitation

### ■ Les fichiers jouent un rôle central dans un système d'exploitation

- ◆ Support des programmes exécutables
- ◆ Support des données
- ◆ Communication entre processus et entre utilisateurs
- ◆ Lien étroit entre **fichiers** et **entrées-sorties**



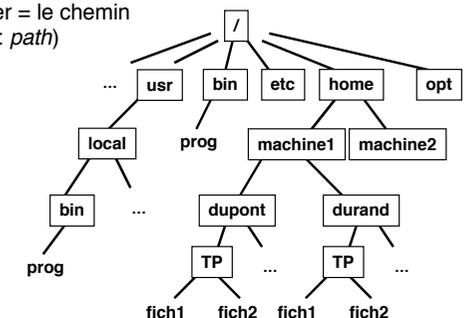
## Désignation des fichiers (1)

### ■ Principe de la désignation symbolique : organisation hiérarchique

- ◆ Les noms forment une arborescence
- ◆ Nœuds intermédiaires = catalogues, ou répertoires - en anglais *directory* (ce sont aussi des fichiers)
- ◆ Nœuds terminaux = fichiers simples
- ◆ Nom (universel ou absolu) d'un fichier = le chemin d'accès depuis la racine (en anglais : *path*)

### Exemples de noms universels :

```
/
/bin
/usr/local/bin/prog
/home/machine1/dupont/TP/fich1
/home/machine1/durand/TP/fich1
```



## Désignation des fichiers (2)

### ■ Divers raccourcis simplifient la désignation

#### ◆ noms relatifs au catalogue courant

Si catalogue courant = /home/machine1/dupont/  
alors on peut utiliser les noms relatifs  
TP/fich1, TP/fich2

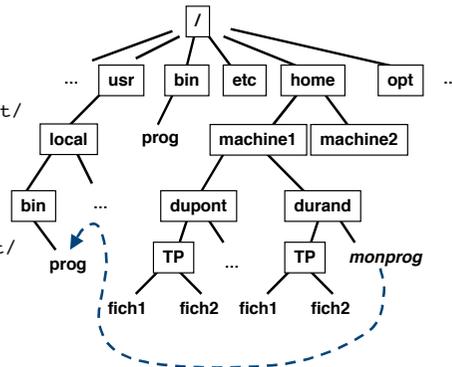
#### ◆ désignation du père

Si catalogue courant = /home/machine1/dupont/  
alors on peut utiliser  
../durand/TP/fich1

#### ◆ liens symboliques

Si catalogue courant = /home/machine1/durand/

- création du lien : `ln -s /usr/local/bin/prog monprog`
- dans le catalogue courant, le nom `monprog` désigne maintenant le fichier `/usr/local/bin/prog`
- un lien n'est qu'un raccourci : si le fichier cible est supprimé, le lien devient invalide



## Désignation des fichiers (3)

### ■ Catalogue courant

- ◆ par défaut, tout usager a un catalogue courant de base (*home directory*), par exemple `/home/machine/dupont` ; un raccourci est `~dupont`
- ◆ on peut changer de catalogue courant au moyen de la commande `cd <nom du nouveau catalogue>`  
`cd` sans paramètres ramène au catalogue de base
- ◆ le nom `.` désigne le catalogue courant
- ◆ on peut connaître le nom absolu du catalogue courant par `pwd`
- ◆ on peut connaître le contenu du catalogue courant par `ls` (`ls -l` est plus complet)

```
<unix> ls -l
total 16
lrwxrwxrwx  1 krakowia sardes   19 Jul  9  2004 isr-l3-td.cls -> ../../isr-l3-td.cls
-rw-r--r--  1 krakowia sardes   94 Jul  9  2004 Makefile
drwxr-xr-x  2 krakowia sardes  4096 Dec 20 16:20 Old/
-rw-r--r--  1 krakowia sardes  4320 Jan 18 10:17 td3.tex
```

## Désignation des fichiers : règles de recherche

Pour exécuter un programme (fichier exécutable), il suffit d'entrer une commande avec son nom simple. Comment le système trouve-t-il le fichier correspondant ?

Il existe une **règle de recherche** qui donne la suite de catalogues qui seront successivement explorés, dans cet ordre, pour trouver le fichier. Cette suite est enregistrée dans une variable d'environnement (`PATH`) définie au départ pour chaque usager, et que l'on peut modifier (a priori vous n'aurez pas à le faire)

```
<unix> echo $PATH
/usr/local/bin:/bin:/usr/bin:/opt/gnu/arm/bin:/usr/j2se/bin
```

Pour les programmes usuels (commandes du système, etc), la commande `which` indique le nom absolu du fichier qui sera exécuté par défaut

```
<unix> which gcc
/usr/local/bin/gcc
```

Application : vous avez écrit votre propre `gcc`, et vous voulez l'exécuter dans le répertoire courant ; vous pouvez procéder de deux façons

1. changer la règle de recherche en mettant le catalogue courant en tête

```
<unix> setenv PATH .:$PATH
<unix> gcc ...
```

2. plus simplement, exécuter

```
<unix> ./gcc ...
```

## Utilisations courantes des fichiers

Dans Unix, le contenu d'un fichier est simplement une **suite d'octets**, sans autre structure. L'interprétation de ce contenu dépend de l'utilisation

### ■ Programmes exécutables

- ◆ Commandes du système ou programmes créés par un usager

- ◆ Exemple

```
gcc -o prog prog.c    produit le programme exécutable dans un fichier prog
./prog                exécute le programme prog
```

- ◆ On aurait pu aussi écrire `prog` (sans `./`). Quel est l'intérêt d'écrire `./prog` ?

### ■ Fichiers de données

- ◆ Documents, images, programmes sources, etc.
- ◆ Convention : il est commode de mettre au nom un suffixe indiquant la nature du contenu  
Exemples : `.c` (programme C), `.o` (binaire translatable), `.h` (Inclusions), `.gif` (un format d'images), `.ps` (PostScript), `.pdf` (Portable Document Format), etc.

### ■ Fichiers temporaires servant pour la communication

- ◆ Ne pas oublier de les supprimer après usage
- ◆ On peut aussi utiliser des tubes (cf plus loin)

## Utilisation des fichiers dans le langage de commande

### ■ Créer un fichier

- ◆ Le plus souvent, les fichiers sont créés par les applications, non directement dans le langage de commande. Exemple : éditeur de texte, compilateur, etc
- ◆ On peut néanmoins créer explicitement un fichier (cf plus loin, avec flots)

### ■ Créer un catalogue

- ◆ `mkdir <nom du catalogue>`; le catalogue est initialement vide

### ■ Détruire un fichier

- ◆ `rm <nom du fichier>`; il est recommandé de faire `rm -i` (demande de confirmation)

### ■ Détruire un catalogue

- ◆ `rmdir <nom du catalogue>`; le catalogue doit être vide

### ■ Conventions pour les noms de fichiers

\* désigne n'importe quelle chaîne de caractères :

`rm *.o` : détruit tous les fichiers dont le nom finit par `.o`

`ls *.c` : donne la liste de tous les fichiers dont le nom finit par `.c`

## Interface système pour l'utilisation des fichiers (1)

Au niveau de l'interface des appels système, un fichier est représenté par un **descripteur**. Les descripteurs sont numérotés par des (petits) entiers.

Avant d'utiliser un fichier, il faut l'ouvrir (`open()`), ce qui lui alloue un descripteur. Exemple :

```
fd = open ("/home/machine/toto/fich", O_RDONLY, 0)
```

Ici, le fichier est ouvert **en lecture seule** (on ne peut pas y écrire) ; le numéro de descripteur alloué par le système est `fd` (renvoie `-1` si erreur). Les autres modes d'ouverture possibles sont `O_RDWR` et `O_WRONLY`. Le fichier pourra être créé s'il n'existe pas (on peut aussi utiliser la primitive `creat()`)

Voir détails dans `man`.

Quand on a fini d'utiliser un fichier, il faut le fermer

```
close (fd)
```

Le descripteur `fd` n'est plus utilisable, et pourra être réalloué par le système

## Interface système pour l'utilisation des fichiers (2)

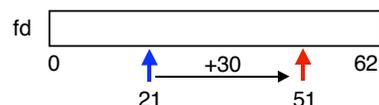
L'ouverture crée un **pointeur courant** (position dans le fichier), initialisé à 0. Ce pointeur (invisible directement) est déplacé

- indirectement, par les opérations de lecture (`read`) et d'écriture (`write`). (cf détails plus loin)
- directement, par l'opération `lseek` (ci-dessous)

`lseek()` déplace le pointeur courant. Exemples :

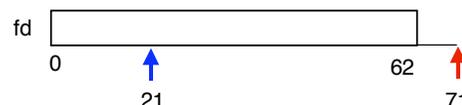
**dépl. relatif**

```
lseek(fd, 30, SEEK_CUR)
+30 octets depuis position courante
```



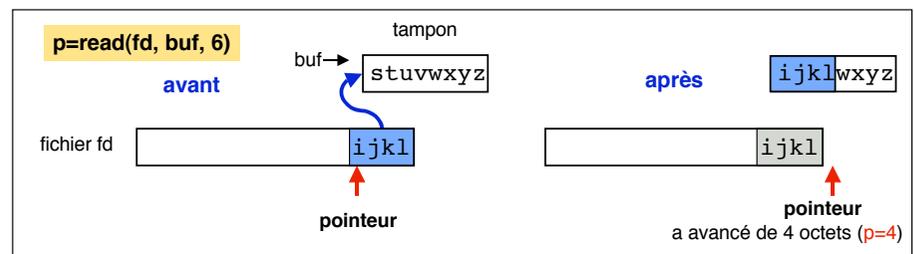
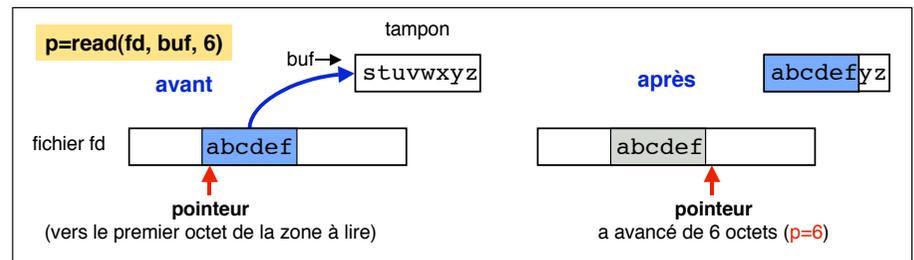
**dépl. absolu**

```
lseek(fd, 71, SEEK_SET)
place le pointeur à la position 71
```

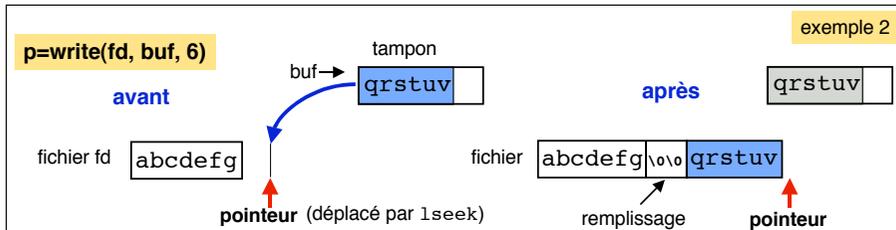
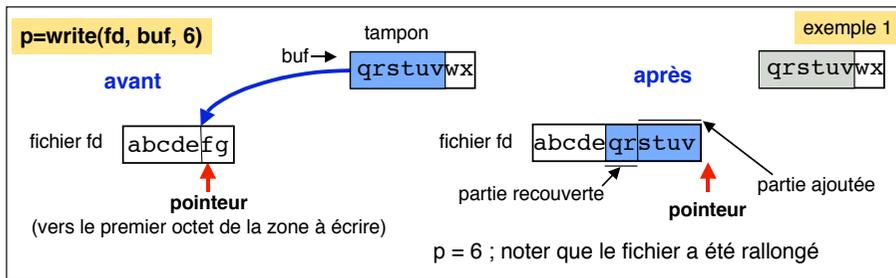


Le pointeur peut être placé au-delà de la fin du fichier.

## Interface système pour l'utilisation des fichiers : `read()`



## Interface système pour l'utilisation des fichiers : write()



## Interfaces des fichiers

Les primitives fournies par le noyau (`open`, `close`, `lseek`, `read`, `write`) sont celles de plus bas niveau. Leur utilisation est souvent **délicate** (gestion des erreurs, lectures tronquées, etc.)

Il est en général préférable de les utiliser à travers des bibliothèques qui facilitent leur usage. Deux bibliothèques sont recommandées :

La **bibliothèque dite "standard"**, ensemble de fonctions d'accès de plus haut niveau, avec formats, inclus dans la bibliothèque C : `fopen`, `fread`, `fwrite`, `fscanf`, `fprintf`, `fflush`, `fseek`, `fclose` (et fonctions analogues pour les chaînes : `sprintf`, `scanf`). Voir man.

Une **bibliothèque appelée R10** (*Robust Input-Output*), développée par W. R. Stevens et améliorée par R. Bryant et D. O'Hallaron. Voir documentation dans le placard (document technique n°2). Recommandée pour les tubes et les *sockets* (cf plus loin)

W. R. Stevens, *Unix Network Programming*, vol. 1, Prentice Hall, 1998  
R. E. Bryant, D. O'Hallaron : *Computer Systems, A Programmer's Perspective*, Prentice Hall, 2003

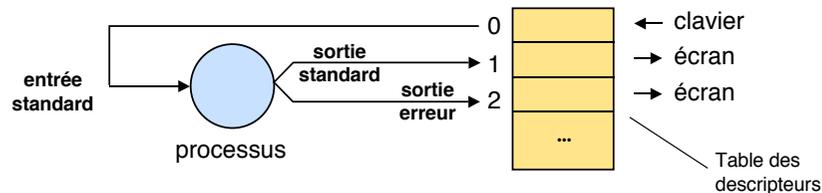
## Fichiers et flots d'entrée-sortie

Il y a un lien étroit entre **fichiers** et **entrées-sorties**

Les organes d'entrée-sortie sont représentés par des fichiers particuliers (sous Unix, dans le catalogue `/dev`)

Tout processus utilise des **flots** d'entrée-sortie qui peuvent être dirigés soit vers un fichier, soit vers un organe d'entrée-sortie : *entrée standard*, *sortie standard*, et *sortie erreur*

Par convention, ces flots sont associés aux descripteurs 0, 1 et 2



Les flots d'entrée-sortie peuvent être réorientés vers des fichiers

## Manipuler les flots d'entrée-sortie (commandes)

Dans le langage de commande, on réoriente les flots standard au moyen de `< et >`

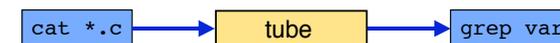
```
cat fich écrit le contenu de fich sur la sortie standard (l'affiche à l'écran)
cat fich > fich1 copie fich dans fich1 (qui est créé s'il n'existe pas)
cat /dev/null > fich crée le fichier vide fich s'il n'existe pas, sinon le rend vide
```

Les **tubes** (*pipes*) permettent de faire communiquer des processus.

Un tube est un fichier anonyme qui sert de tampon entre deux processus fonctionnant en producteur-consommateur. La commande

```
cat *.c | grep var
```

- crée un tube et deux processus : p1 qui exécute `cat *.c`, p2 qui exécute `grep var`
- connecte la sortie de p1 à l'entrée du tube et l'entrée de p2 à la sortie du tube



**Question :** que fait la commande suivante ?

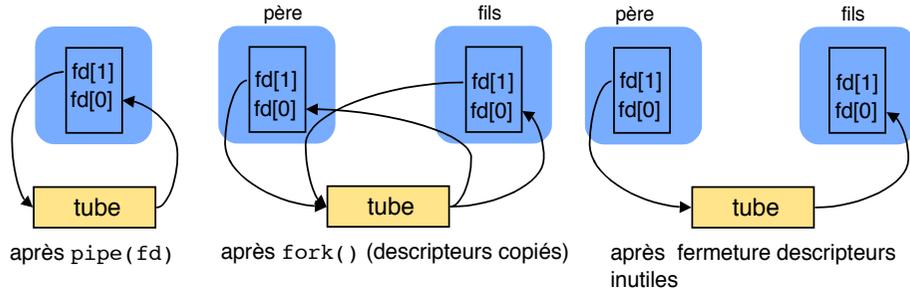
```
cat f1 f2 f3 | grep toto | wc -l > result
```

## Manipuler les flots d'entrée-sortie (primitives)

Les tubes et les flots peuvent être manipulés au niveau des appels système.  
Créer un tube : la primitive `pipe()` crée un tube, dont l'entrée et la sortie sont associées à des descripteurs choisis par le système

```
int fd[2]; pipe(fd);
```

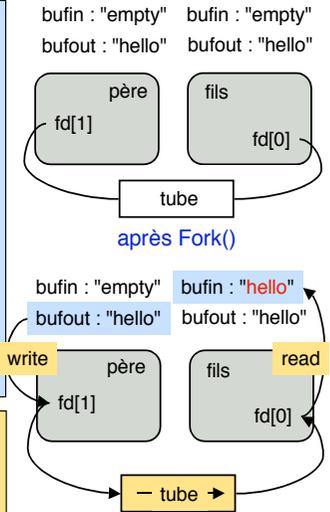
Si la primitive réussit, elle crée un tube, renvoie 0, et met à jour le tableau `fd` :  
`fd[0]` = desc. sortie du tube, `fd[1]` = desc. entrée du tube. Si elle échoue, elle renvoie -1  
Par exemple, un père peut communiquer avec un fils à travers un tube.



## Programmation d'un tube père -> fils

```
#include "csapp.h"
#define BUFSIZE 10
int main(void) {
    char bufin[BUFSIZE] = "empty";
    char bufout[] = "hello";
    int bytesin; pid_t childpid;
    int fd[2];
    Pipe(fd);
    bytesin = strlen(bufin);
    childpid = Fork();
    if (childpid != 0) { /* père */
        Close(fd[0]); write(fd[1], bufout, strlen(bufout)+1);
    } else { /* fils */
        Close(fd[1]); bytesin = read(fd[0], bufin, BUFSIZE);
        printf("[%d]:my bufin is {%.*s}, my bufout is {%s}\n",
            getpid(), bytesin, bufin, bufout);
    }
    exit(0);
}
```

```
<unix> ./parentwritepipe
[29196]:my bufin is {empty}, my bufout is {hello}
[29197]:my bufin is {hello}, my bufout is {hello}
<unix>
```



## Tubes nommés (FIFOs)

Un tube ne peut être utilisé qu'entre un processus et ses descendants (ou entre descendants d'un même processus). En effet, ses extrémités ne sont désignées que par des **descripteurs**, qui ne peuvent se transmettre qu'entre père et fils.

Pour faire communiquer deux processus quelconques, on utilise des **tubes nommés**, ou **FIFOs**, tubes possédant un **nom symbolique** dans le catalogue des fichiers. Un tel tube est créé par la primitive `mkfifo`

```
#include <sys.types.h>
#include <sys/stat.h>
int mkfifo(char *nom, mode_t mode) /* renvoie 0 si OK, -1 si erreur */
```

créé un FIFO appelé `nom` avec le mode de protection `mode` (comme pour un fichier, cf plus loin).

Pour pouvoir être utilisé, un FIFO doit avoir été préalablement ouvert par deux processus, l'un en mode écriture, l'autre en mode lecture. Chacun des processus reste bloqué tant que l'autre n'a pas ouvert le FIFO. Détails en TD4 et TP4.

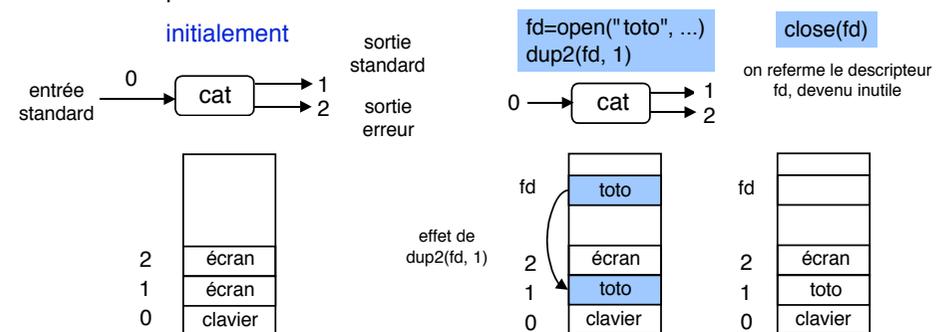
## Copie de descripteurs : dup()

Que fait la commande suivante ?

```
<unix> cat > toto
```

Elle recopie ce qui est lu sur l'entrée standard (clavier) vers le fichier `toto` (qui est créé s'il n'existe pas). L'entrée doit finir par EOF (control-D)

Que se passe-t-il "derrière" ?



## Copie de descripteurs : dup() (2)

La primitive `dup(fd)` recopie le descripteur de numéro `fd` dans le premier descripteur disponible (descripteur disponible de plus petit numéro).

La primitive `dup2(fd, fd1)` recopie le descripteur de numéro `fd` dans le descripteur de numéro `fd1`.

Le rôle de ces primitives est la redirection des flots d'entrée-sortie, cf exemple précédent. Noter aussi qu'un processus fils hérite de la table de descripteurs de son père. Les redirections effectuées se transmettent aux fils.

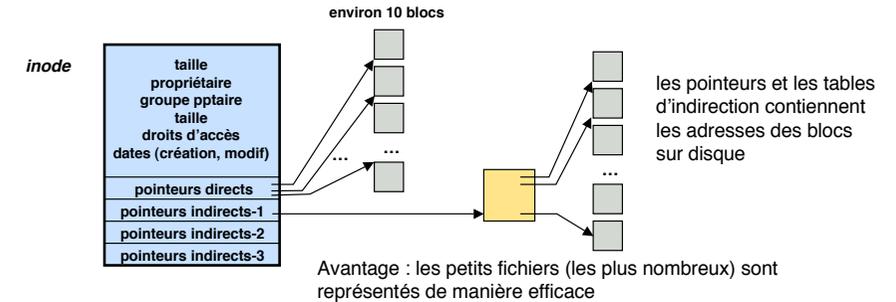
## Réalisation des fichiers dans Unix

### ■ Représentation physique d'un fichier

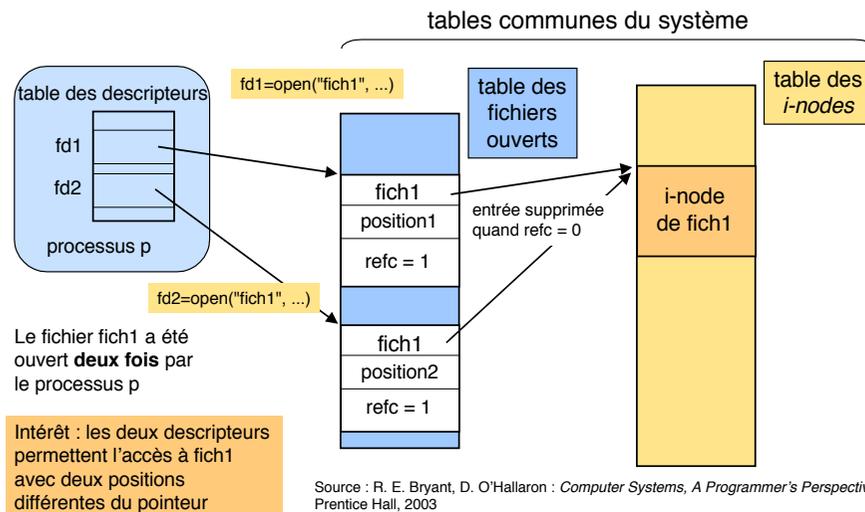
- ◆ Un fichier est représenté physiquement par un ensemble de blocs (suite d'octets de taille fixe) sur disque. Les blocs ne sont pas nécessairement contigus.
- ◆ Typiquement, la taille d'un bloc est 8 Koctets (peut varier selon réalisations)

### ■ Structures de données pour la gestion interne des fichiers

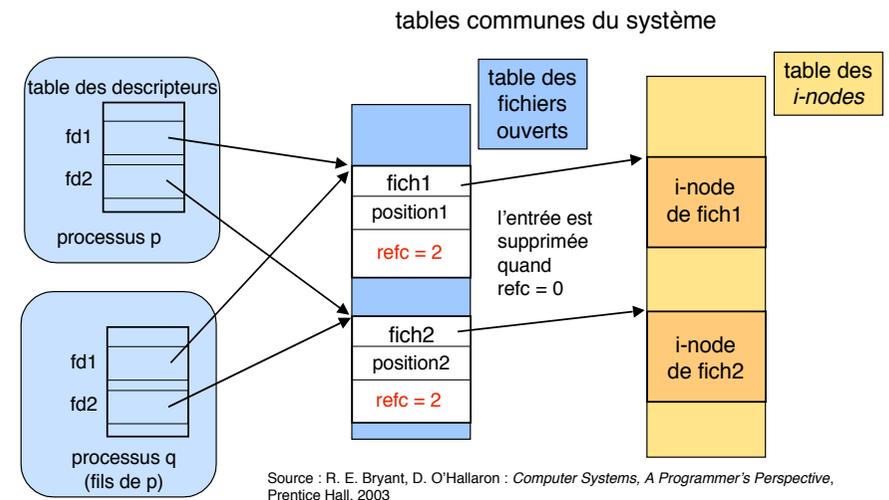
- ◆ La structure principale (invisible aux usagers) associée à un fichier est un descripteur appelé *inode* du fichier. Les *inodes* sont contenus dans une table globale



## Relation entre descripteurs et i-nodes



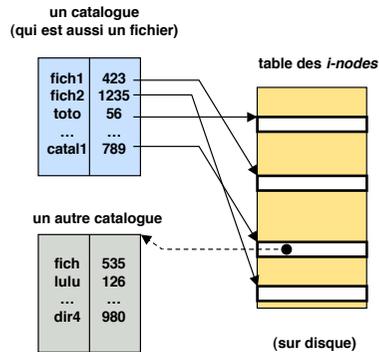
## Partage de fichiers entre père et fils



## Réalisation des catalogues dans Unix

### Correspondance entre noms symboliques et représentation physique

Les *i-nodes* sont conservés dans une table globale (et désignés par un numéro). Chaque entrée d'un catalogue (fichier ou catalogue) pointe vers l'*i-node* correspondant



### Noter que :

- les *i-nodes* ne contiennent pas le nom des fichiers, ce qui simplifie les modifications (changement de nom, etc.)

- pour améliorer les performances, les *i-nodes* et les catalogues sont conservés en cache (en mémoire principale)

## Protection des fichiers (1)

### ■ Définition (générale) de la sécurité

- ◆ confidentialité : informations accessibles aux seuls usagers autorisés
- ◆ intégrité : pas de modifications non désirées
- ◆ contrôle d'accès : seuls certains usagers sont autorisés à faire certaines opérations
- ◆ authentification : garantie qu'un usager est bien celui qu'il prétend être

### ■ Comment assurer la sécurité

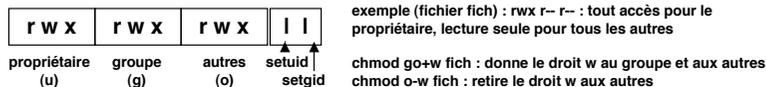
- ◆ Définition d'un ensemble de règles (politiques de sécurité) spécifiant la sécurité d'une organisation ou d'une installation informatique
- ◆ Mise en place de mécanismes (mécanismes de protection) pour assurer que ces règles sont respectées

### ■ Sécurité des fichiers (dans Unix)

- ◆ On définit
  - ❖ des types d'opérations sur les fichiers : lire, écrire, exécuter (contraintes de confidentialité, intégrité, contrôle d'accès)
  - ❖ des classes d'usagers
    - ▲ usager propriétaire du fichier
    - ▲ groupe propriétaire
    - ▲ tous les autres

## Protection des fichiers (2)

### ■ Fichiers ordinaires



- ◆ r = lecture, w = écriture, x = exécution

### ■ Catalogues

- ◆ même chose, mais le droit x signifie "recherche dans le catalogue"

### ■ Un mécanisme de délégation

- ◆ Le problème : partager un programme dont l'exécution nécessite des droits d'accès que n'ont pas les usagers potentiels
- ◆ Solution (*setuid* ou *setgid*) : pour l'exécution de ce programme (et **uniquement** pour cette exécution), un usager quelconque reçoit temporairement les droits de l'usager ou du groupe propriétaire

### ■ Règles d'éthique

- ◆ protéger vos informations confidentielles
- ◆ ne pas tenter de contourner les mécanismes de protection
- ◆ les règles de bon usage s'appliquent indépendamment de la protection (ce n'est pas parce qu'un fichier n'est pas protégé qu'il est licite de le lire)

## Quelques statistiques d'usage sur les fichiers

### ■ Taille

- ◆ La plupart des fichiers sont de petite taille (taille médiane : quelques Koctets) ; mais il y a aussi de très grands fichiers (quelques Goctets), en raison du développement des applications multimédia

### ■ Durée de vie

- ◆ Beaucoup de fichiers ont une durée de vie très brève (quelques secondes) ; ce sont les fichiers temporaires utilisés pour les échanges
- ◆ Quand un fichier survit à la phase initiale, il dure généralement très longtemps

### ■ Accès

- ◆ Une forte majorité des accès (entre 2/3 et 3/4) sont des lectures
- ◆ La plupart des accès sont séquentiels, et concernent l'ensemble du fichier
- ◆ Les accès possèdent la propriété de localité (accès récents = bonne estimation des accès futurs)

### ■ Partage

- ◆ Le partage simultané des fichiers est rare

### ■ Intérêt de ces statistiques

- ◆ pour améliorer la conception des applications
- ◆ pour améliorer la conception des SGF

## Résumé de la séance 6

---

### ■ Notion de fichier

- ◆ conservation permanente de l'information
- ◆ partage de l'information
- ◆ désignation (espace de noms)

### ■ Le SGF d'Unix

- ◆ désignation symbolique : arborescence de fichiers, noms absolus, relatifs, liens
- ◆ manipulation des fichiers dans le langage de commande
- ◆ manipulation des fichiers par les appels système
  - ❖ *descripteurs*
  - ❖ *opérations primitives : open, close, read, write, lseek*
  - ❖ *flots de données et "tubes" : pipe, dup, mkfifo*
- ◆ quelques idées sur la réalisation
- ◆ protection