

Troisième chapitre

Fichiers et entrées/sorties

- Fichiers et systèmes de fichiers
 - Introduction
 - Désignation des fichiers
- Interface d'utilisation des fichiers
 - Interface en langage de commande
 - Interface de programmation
 - Flots d'entrée/sortie et tubes
- Réalisation des fichiers
 - Implantation des fichiers
 - Manipulation des répertoires
 - Protection des fichiers
- Conclusion

Fichiers

Définitions

- ▶ Fichier : un ensemble d'informations groupées pour conservation et utilisation
- ▶ Système de gestion de fichiers (SGF) : partie de l'OS conservant les fichiers et permettant d'y accéder

Fonctions d'un SGF

- ▶ Conservation permanente des fichiers (*ie*, après la fin des processus, sur disque)
- ▶ Organisation logique et désignation des fichiers
- ▶ Partage et protection des fichiers
- ▶ Réalisation des fonctions d'accès aux fichiers

(84/217)

Unix et les fichiers

Les fichiers jouent un rôle central dans Unix

- ▶ Support des données
- ▶ Support des programmes exécutables
- ▶ Communication avec l'utilisateur : fichiers de config, `stdin`, `stdout`
- ▶ Communication entre processus : sockets, tubes, etc.
- ▶ Interface du noyau : `/proc`
- ▶ Interface avec le matériel : périphériques dans `/dev`

(85/217)

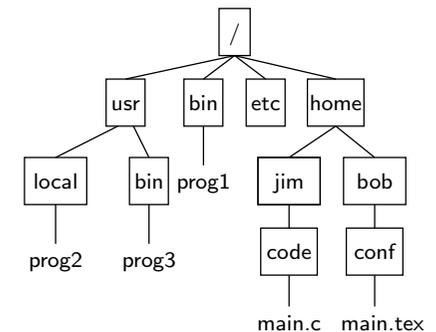
Désignation des fichiers

Désignation symbolique (nommage) : Organisation hiérarchique

- ▶ Noeuds intermédiaires : répertoires (*directory* – ce sont aussi des fichiers)
- ▶ Noeuds terminaux : fichiers simples
- ▶ Nom absolu d'un fichier : le chemin d'accès depuis la racine

Exemples de chemins absolus :

```
/
/bin
/usr/local/bin/prog
/home/bob/conf/main.tex
/home/jim/code/main.c
```



(86/217)

Raccourcis pour simplifier la désignation

Noms relatifs au répertoire courant

- ▶ Depuis /home/bob, `conf/main.tex` = /home/bob/conf/main.tex

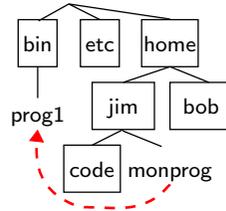
Abréviations

- ▶ **Répertoire père** : depuis /home/bob, `../jim/code` = /home/jim/code
- ▶ **Répertoire courant** : depuis /bin, `./prog1` = /bin/prog1
- ▶ Depuis n'importe où, `~bob/` = /home/bob/ et `~/` = /home/<moi>/

Liens symboliques

Depuis /home/jim

- ▶ Création du lien : `ln -s cible nom_du_lien`
Exemple : `ln -s /bin/prog1 monprog`
- ▶ /home/jim/prog1 désigne /bin/prog1
- ▶ Si la cible est supprimée, le lien devient invalide



Liens durs : `ln cible nom`

- ▶ Comme un lien symbolique, mais copies indifférenciables (ok après `rm cible`)
- ▶ Interdit pour les répertoires (cohérence de l'arbre)

(87/217)

Règles de recherche des exécutables

- ▶ Taper le chemin complet des exécutable (/bin/lis) est lourd
- ▶ => on tape le nom sans le chemin et le shell cherche
- ▶ Variable environnement PATH : liste de répertoires à examiner successivement
/usr/local/bin:/usr/local/sbin:/sbin:/usr/sbin:/bin:/usr/bin:/usr/bin/X11
- ▶ Commande `which` indique quelle version est utilisée

Exercice : Comment exécuter un script nommé `gcc` dans le répertoire courant ?

- ▶ Solution 1 : `export PATH=".:$PATH"; gcc <bla>`
- ▶ Solution 2 : `./gcc <bla>`

(88/217)

Utilisations courantes des fichiers

- ▶ Unix : fichiers = suite d'octets sans structure (interprétée par utilisateur)
- ▶ Windows : différencie fichiers textes (où `\n` est modifié) des fichiers binaires

Programmes exécutables

- ▶ Commandes du système ou programmes créés par un utilisateur
- ▶ Exemple : `gcc -o test test.c ; ./test`
Produit programme exécutable dans fichier `test` ; exécute le programme `test`
- ▶ Question : pourquoi `./test` ? (car `test` est un binaire classique : `if test $n -le 0;`)

Fichiers de données

- ▶ Documents, images, programmes sources, etc.
- ▶ Convention : le suffixe indique la nature du contenu
Exemples : `.c` (programme C), `.o` (binaire translatable, cf. plus loin), `.h` (entête C), `.gif` (un format d'images), `.pdf` (Portable Document Format), etc.
Remarque : ne pas faire une confiance aveugle à l'extension (cf. `man file`)

Fichiers temporaires servant pour la communication

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

(89/217)

Troisième chapitre

Fichiers et entrées/sorties

- Fichiers et systèmes de fichiers
 - Introduction
 - Désignation des fichiers
- Interface d'utilisation des fichiers
 - Interface en langage de commande
 - Interface de programmation
 - Flots d'entrée/sortie et tubes
- Réalisation des fichiers
 - Implantation des fichiers
 - Manipulation des répertoires
 - Protection des fichiers
- Conclusion

Utilisation des fichiers dans le langage de commande

Créer un fichier

- ▶ Souvent créés par applications (éditeur, compilateur, etc), pas par shell
- ▶ On peut néanmoins créer explicitement un fichier (cf plus loin, avec flots)

Quelques commandes utiles

créer un répertoire `mkdir <nom du répertoire>` (initialement vide)

détruire un fichier `rm <nom du fichier>` (option `-i` : interactif)

détruire un répertoire `rmdir <rep>` s'il est vide; `rm -r <rep>` sinon

chemin absolu du répertoire courant `pwd` (*print working directory*)

contenu du répertoire courant `ls` (*list - ls -l* plus complet)

Expansion des noms de fichiers (*globbing*)

- ▶ * 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`
`*.[co] [A-Z]` : fichiers dont le nom termine par 'c' ou 'o' puis une majuscule

(91/217)

Interface de programmation POSIX des fichiers

Interface système

- ▶ Dans l'interface de programmation, un fichier est représenté par **descripteur**
Les descripteurs sont de (petits) entiers (indice dans des tables du noyau)
- ▶ Il faut **ouvrir** un fichier avant usage :
`fd = open("/home/toto/fich", O_RDONLY, 0);`
 - ▶ Ici, ouverture en lecture seule (écriture interdite)
 - ▶ Autres modes : `O_RDWR`, `O_WRONLY`
 - ▶ `fd` stocke le descripteur alloué par le système (ou `-1` si erreur)
 - ▶ Fichier créé s'il n'existe pas (cf. aussi `creat(2)`)
 - ▶ `man 2 open` pour plus de détails
- ▶ Il faut **fermer** les fichiers après usage :
`close (fd)`
 - ▶ Descripteur `fd` plus utilisable; le système peut réallouer ce numéro

Interface standard

- ▶ Il existe une autre interface, plus simple (on y revient)

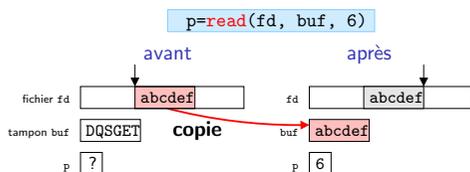
(92/217)

Interface de programmation POSIX : `read()`

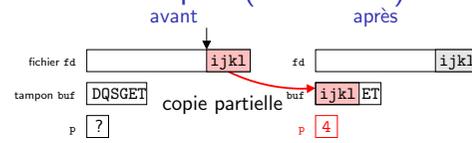
L'objet fichier

- ▶ Chaque fichier a un **pointeur courant** : tête de lecture/écriture logique
- ▶ Les lectures et écritures le déplacent implicitement
- ▶ On peut le déplacer explicitement (avec `lseek()` – voir plus loin)

Lecture normale (`read()`)



S'il n'y a pas assez de données : lecture tronquée (*short read*)



(93/217)

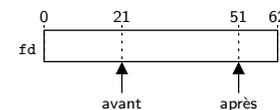
Interface de programmation POSIX : `lseek()`

Objectif

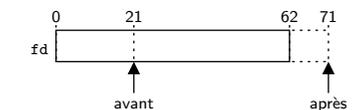
- ▶ Permet de déplacer le pointeur de fichier explicitement

Exemples

`lseek(fd, 30, SEEK_CUR)`



`lseek(fd, 71, SEEK_SET)`

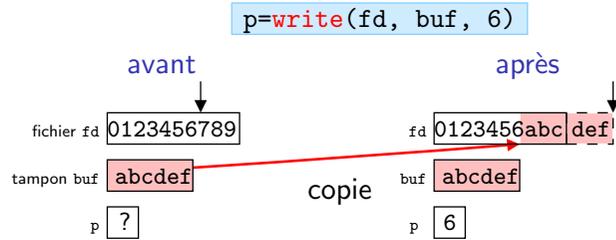


- ▶ Le pointeur peut être placé après la fin du fichier

(94/217)

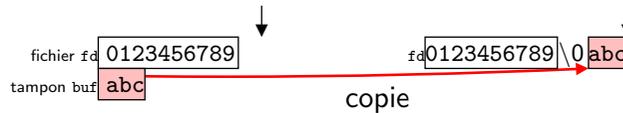
Interface de programmation POSIX : write()

- Écriture dans les conditions normales :



Le fichier a été rallongé

- Si un `lseek()` a déplacé le pointeur après la fin, remplissage avec des zéros (qui ne sont pas immédiatement alloués par le SGF)



- Possibilité d'écriture tronquée (*short-write*) si le disque est plein, ou si descripteur est un tube ou une socket (cf. plus loin)

(95/217)

Différentes interfaces d'usage des fichiers

Interface POSIX système

- Appels systèmes `open`, `read`, `write`, `lseek` et `close`.
- Utilisation délicate : lecture/écriture tronquée, traitement d'erreur, etc.
- Meilleures performances après réglages précis

Bibliothèque C standard

- Fonctions `fopen`, `fscanf`, `fprintf` et `fclose`.
- Plus haut niveau (utilisation des formats d'affichage)
- Meilleures performances sans effort (POSIX : perfs au tournevis)
- Un syscall ≈ 1000 instructions \Rightarrow écritures dans un tampon pour les grouper

```
#include <stdio.h>

FILE *fd = fopen("mon_fichier", "w");
if (fd != NULL) {
    fprintf(fd, "Résultat %d\n", entier);
    fprintf(fd, "un autre %f\n", reel);
    fclose(fd);
}
```

```
#include <stdio.h>

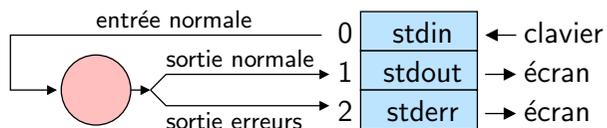
FILE *fd = fopen("mon_fichier", "r");
if (fd != NULL) {
    char toto[50];
    fscanf(fd, "%s%d", toto, &entier);
    fscanf(fd, "%s%s%f", toto, toto, &reel);
    fclose(fd);
}
```

(96/217)

Fichiers et flots d'entrée sortie

Sous Unix, tout est un fichier

- Les périphériques sont représentés par des fichiers dans `/dev`
- Tout processus est créé avec des flots d'entrée/sortie standard :
 - `stdin` : entrée standard (connecté au terminal)
 - `stdout` : sortie standard (connecté à l'écran)
 - `stderr` : sortie d'erreur (connecté à l'écran)
- Ces flots sont associés aux descripteurs 0, 1 et 2
- Ils peuvent être fermés ou redirigés vers des «vrais» fichiers



(97/217)

Flots et interface de commande

Rediriger les flots en langage de commande : < et >

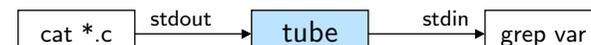
```
cat fich # écrit le contenu de fich sur la sortie standard (l'affiche à l'écran)
cat fich > fich1 # copie fich dans fich1 (qui est créé s'il n'existe pas)
./prog1 < entrée # exécute prog en écrivant le contenu de entrée sur son entrée standard
```

Tubes (pipes) : moyen de communication inter-processus

- Branche la sortie standard d'un processus sur l'entrée standard d'un autre

Exemple : `cat *.c | grep var`

- crée deux processus : `cat *.c` et `grep var`
- connecte la sortie du premier à l'entrée du second à travers un tube



Exercice : que fait la commande suivante ?

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

(98/217)

Interface de programmation des tubes

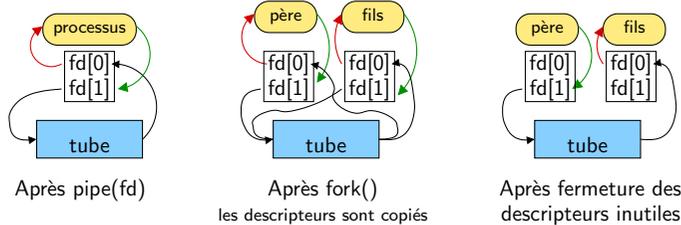
Appel système `pipe()`

- ▶ Crée un tube : deux descripteurs (l'entrée et la sortie du tube)

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

- ▶ Ce qui est écrit sur l'entrée (`fd[1]`) est disponible sur la sortie (`fd[0]`) par défaut, cela permet de se parler à soi-même
Mnémotechnique : On lit sur 0 (`stdin`), et on écrit sur 1 (`stdout`)

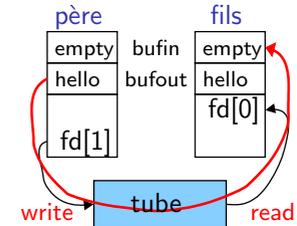
- ▶ Application classique : communication père-fils



(99/217)

Programmation d'un tube père/fils

```
#define BUFSIZE 10
int main(void) {
    char bufin[BUFSIZE] = "empty";
    char bufout[ ] = "hello";
    pid_t childpid;
    int fd[2];
    pipe(fd);
    if (fork() > 0) { /* père */
        close(fd[0]);
        write(fd[1], bufout, strlen(bufout)+1);
    } else { /* fils */
        close(fd[1]);
        read(fd[0], bufin, BUFSIZE);
    }
    printf("[%d]: bufin = %.*s, bufout = %s\n",
           getpid(), BUFSIZE, bufin, bufout);
    return 0;
}
```



```
$. ./parentwritepipe
[29196]: bufin=empty, bufout=hello
[29197]: bufin=hello, bufout=hello
$
```

Exercice : modifier le programme pour tenir compte des lectures/écritures tronquées

```
int todo = strlen(bufout)+1, done;
char *p=bufout;
while (todo) {
    done = write(fd[1],p,todo);
    todo -= done; p += done; }

int done=0; bufin[0]='a';
while (bufin[done]) {
    done += read(fd[0],
                 bufin+done,
                 BUFSIZE-done); }
```

(100/217)

Capacité d'un tube

`write(fd, &BUFF, TAILLE)` : écriture d'au plus `TAILLE` caractères

- ▶ S'il n'y a plus de lecteur :
 - ▶ Écriture inutile : on ne peut pas ajouter de lecteurs après la création du tube
 - ▶ Signal `SIGPIPE` envoyé à l'écrivain (mortel par défaut)
- ▶ Sinon si le tube n'est pas plein : Écriture atomique
- ▶ Sinon : Écrivain bloqué tant que tous les caractères n'ont pas été écrits (tant qu'un lecteur n'a pas consommé certains caractères)

`read(fd, &BUFF, TAILLE)` : lecture d'au plus `TAILLE` caractères

- ▶ Si le tube contient `n` caractères : Lecture de $\min(n, TAILLE)$ caractères.
- ▶ Sinon s'il n'il a plus d'écrivains : Fin de fichier ; `read` renvoie 0.
- ▶ Sinon : Lecteur bloqué jusqu'à ce que le tube ne soit plus vide (jusqu'à ce qu'un écrivain ait produit suffisamment de caractères)

Parenthèse : opérations non-bloquantes

- ▶ Drapeau `O_NONBLOCK` \Rightarrow `read/write` ne bloquent plus jamais :
- ▶ Retourne -1 (et `errno=EAGAIN`) si elles auraient dû bloquer
- ▶ `fcntl(fd, F_SETFL, fcntl(fd[1], F_GETFL) | O_NONBLOCK);`

(101/217)

Tubes nommés (FIFOs)

- ▶ Problème des tubes : seulement entre descendants car passage par clonage
- ▶ Solution : tubes nommés (même principe, mais nom de fichier symbolique)

```
#include <sys.types.h>
#include <sys/stat.h>
int mkfifo(char *nom, mode_t mode);
```

- ▶ renvoie 0 si OK, -1 si erreur
- ▶ `mode` est numérique (on y revient)

- ▶ Après création, un processus l'ouvre en lecture, l'autre en écriture
- ▶ Il faut connecter les deux extrémités avant usage (bloquant sinon)

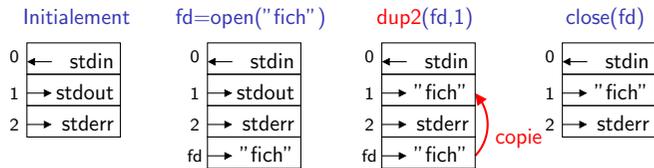
- ▶ la commande `mkfifo(1)` existe aussi

(102/217)

Copie de descripteurs : dup() et dup2()

ls > fich

- ▶ Cette commande inscrit dans fich ce que ls aurait écrit.
- ▶ Comment ça marche ?
On utilise les appels systèmes `dup()` et `dup2()` pour copier un descripteur :

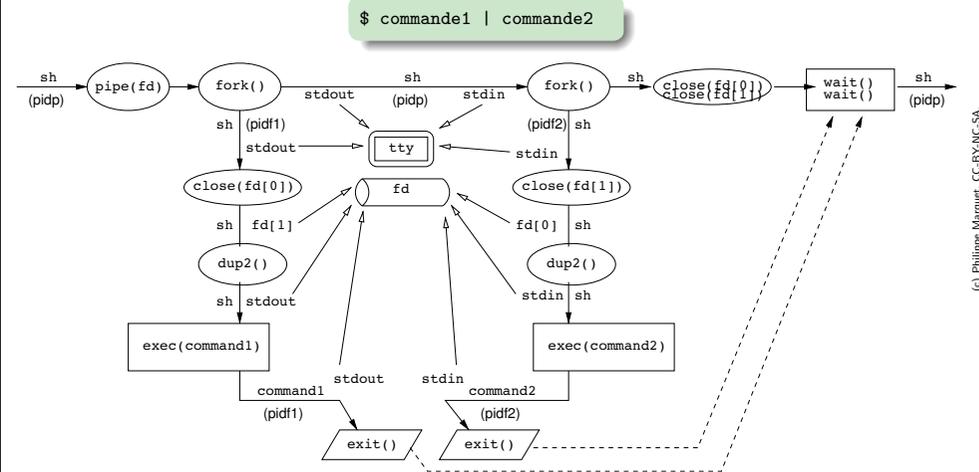


- ▶ Appel système `dup(fd)` duplique `fd` dans le premier descripteur disponible
- ▶ Appel système `dup2(fd1, fd2)` recopie le descripteur `fd1` dans `fd2` on dit "dup to", duplicate to somewhere

(103/217)

L'exemple du shell

Création d'un tube entre deux commandes



- ▶ (Un peu touffu, mais pas si compliqué à la réflexion :)
- ▶ Si on oublie des `close()`, les lecteurs ne s'arrêtent pas (reste des écrivains)

(c) Philippe Marquet, CC-BY-NC-SA.

(104/217)

Projection mémoire

Motivation

- ▶ Adresser le fichier dans l'espace d'adressage virtuel
Pratique pour sérialiser des données complexes de mémoire vers disque
- ▶ Le fichier n'est pas lu/écrit au chargement, mais à la demande

Réalisation

```
#include <sys/mman.h>

void *mmap(void *addr, size_t length, int prot, int flags, int fd, off_t offset);
int munmap(void *addr, size_t length);
```

- ▶ `addr` : où le mettre, quand on sait. NULL très souvent
- ▶ `prot` : protection (`PROT_EXEC`, `PROT_READ`, `PROT_WRITE`, `PROT_NONE`)
- ▶ `flags` : visibilité (`MAP_SHARED` entre processus; `MAP_PRIVATE` copy-on-write, etc)
- ▶ `fd`, `offset` : Quel fichier, quelle partie projeter.
- ▶ Retourne l'adresse (virtuelle) du début du block

(105/217)

Troisième chapitre

Fichiers et entrées/sorties

- Fichiers et systèmes de fichiers
 - Introduction
 - Désignation des fichiers
- Interface d'utilisation des fichiers
 - Interface en langage de commande
 - Interface de programmation
 - Flots d'entrée/sortie et tubes
- Réalisation des fichiers
 - Implantation des fichiers
 - Manipulation des répertoires
 - Protection des fichiers
- Conclusion

Représentation physique et logique d'un fichier

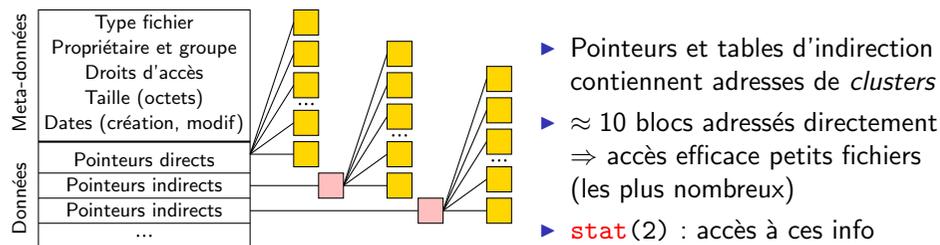
Représentation physique d'un fichier

- ▶ Le disque est découpé en *clusters* (taille classique : 4ko)
- ▶ Les fichiers sont écrits dans un ou plusieurs *clusters*
- ▶ Un seul fichier par *cluster*

Structure de données pour la gestion interne des fichiers

- ▶ Chaque fichier sur disque est décrit par un **inode**

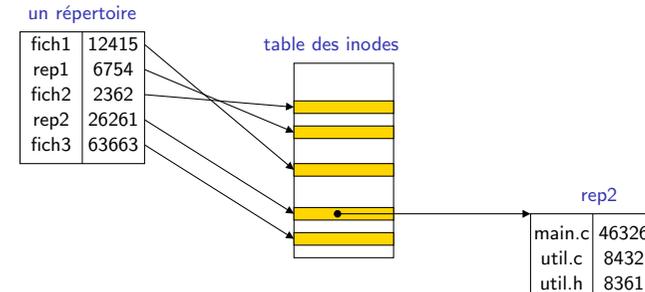
Structure d'un inode :



(107/217)

Noms symboliques et inodes

- ▶ Les inodes sont rangés dans une table au début de la partition
 - ▶ On peut accéder aux fichiers en donnant leur inode (cf. `ls -i` pour le trouver)
 - ▶ Les humains préfèrent les noms symboliques aux numéros d'identification
- ⇒ notion de répertoire, sous forme d'arborescence (chainage avec racine)
- ▶ Les répertoires sont stockés sous forme de fichiers «normaux»
 - ▶ Chaque entrée d'un répertoire associe nom symbolique ↔ numéro d'inode



(108/217)

Manipulation de répertoires

Appels systèmes `opendir`, `readdir` et `closedir`

- ▶ Équivalent de `open`, `read` et `close` pour les répertoires

```
EXEMPLE : Implémentation de ls -i .

#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <dirent.h>

int main() {
    DIR *dirp;
    struct dirent *dp;

    dirp = opendir(".");
    while ((dp = readdir(dirp)) != NULL) {
        printf ("%s\t%d\n", dp->d_name, dp->d_ino);
    }
    closedir(dirp);
}
```

- ▶ On pourrait compléter cette implémentation avec `stat(2)`

(109/217)

Protection des fichiers : généralités

Définition (générale) de la sécurité

- ▶ **confidentialité** : informations accessibles aux seuls usagers autorisés
- ▶ **intégrité** : pas de modifications indésirées
- ▶ **contrôle d'accès** : qui a le droit de faire quoi
- ▶ **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 de protection** pour faire respecter ces règles

Règles d'éthique

- ▶ Protéger ses informations confidentielles (comme les projets et TP notés!)
- ▶ Ne pas tenter de contourner les mécanismes de protection (c'est la loi)
- ▶ Règles de bon usage avant tout :
La possibilité technique de lire un fichier ne donne pas le droit de le faire

(110/217)

Protection des fichiers sous Unix

Sécurité des fichiers dans Unix

- ▶ Trois types d'opérations sur les fichiers : lire (r), écrire (w), exécuter (x)
- ▶ Trois classes d'utilisateurs vis à vis d'un fichier : propriétaire du fichier ; membres de son groupe ; les autres

rwx	rwx	rwx
propriétaire	groupe	autres

Granularité plus fine avec les Access Control List (cf `getfacl(1)`)

- ▶ Liste d'utilisateurs
- ▶ Pour les répertoires, `r = ls`, `w = créer des éléments` et `x = cd`.
- ▶ `ls -l` pour consulter les droits ; `chmod` pour les modifier

(111/217)

Mécanisme de délégation : setuid, setgid

- ▶ **Problème** : programme dont l'exécution nécessite des droits que n'ont pas les usagers potentiels (**exemple** : gestionnaire d'impression, d'affichage, ping)
- ▶ **Solution** (**setuid** ou **setgid**) : ce programme s'exécute toujours sous l'identité du propriétaire du fichier ; identité utilisateur *effective* momentanément modifiée
 - ▶ Granularité plus fine : *capabilities* (`getcap(1)`)
- ▶ Source de nombreux problèmes de sécurité
 - CVE-2005-2748* : *The malloc function in the libSystem library in Apple Mac OS X 10.3.9 and 10.4.2 allows local users to overwrite arbitrary files by setting the MallocLogFile environment variable to the target file before running a setuid application.*
 - CVE-2001-1015* : *Buffer overflow in Snes9x 1.37, when installed setuid root, allows local users to gain root privileges via a long command line argument.*
- ▶ Ou souvent utilisé pour escalader à partir d'une faille existante
 - CVE-2004-2768* : *dpkg 1.9.21 does not properly reset the metadata of a file during replacement of the file in a package upgrade, which might allow local users to gain privileges by creating a hard link to a vulnerable (1) setuid file, (2) setgid file, or (3) device*

(112/217)

Résumé du troisième chapitre

- ▶ Désignation des fichiers
 - ▶ Chemin relatif vs. chemin absolu
 - ▶ \$PATH
- ▶ Utilisation des fichiers
 - ▶ Interface de bas niveau : `open`, `read`, `write`, `close`
Problèmes : I/O tronquée, perfs par manque de tampon
 - ▶ Interface standard : `fopen`, `fprintf`, `fscanf`, `fclose`
 - ▶ Trois descripteurs par défaut : `stdin` (0), `stdout` (1), `stderr` (2)
 - ▶ Rediriger les flots en shell : `<`, `>` et `|`
 - ▶ Tubes, tubes nommés et redirection en C : `pipe()`, `mkfifo()`, `dup()` et `dup2()`
- ▶ Réalisation et manipulation des fichiers et répertoires
 - ▶ Notion d'inode
 - ▶ Manipulation des répertoires : `opendir`, `readdir`, `closedir`
- ▶ Quelques notions et rappels de protection des fichiers

(113/217)