

# Systèmes d'exploitation

Fichiers et entrées-sorties

Thomas Ropars

`thomas.ropars@univ-grenoble-alpes.fr`

`http://tropars.github.io/`

2025

# Références

Beaucoup des slides de ce cours ont été produites par d'autres personnes:

- E. Brunet et G. Thomas – Système de Fichiers
- V. Marangozova – Fichiers et entrées-sorties

# Contenu de ce cours

- La notion de système de fichiers
- Manipuler des fichiers
  - ▶ A la ligne de commande
  - ▶ Les appels systèmes
  - ▶ Les redirections
- Les droits d'accès

# Agenda

Les systèmes de fichiers

Manipuler des fichiers

Les droits d'accès

# Système de Fichiers

## ■ Besoin de mémoriser des informations

- Photos, PDF, données brutes, exécutables d'applications, le système d'exploitation lui-même, etc.

## ■ Organisation du stockage sur mémoire de masse

- Localisation abstraite grâce à un chemin dans une arborescence
- Unité de base = fichier

## ■ Exemples de types de systèmes de fichiers

- NTFS pour Windows, ext2, ext3, ext4 pour Linux, HFSX pour Mac-OS
- FAT pour les clés USB, ISO pour les CD
- ... et des myriades d'autres types de systèmes de fichiers

# Qu'est-ce qu'un fichier

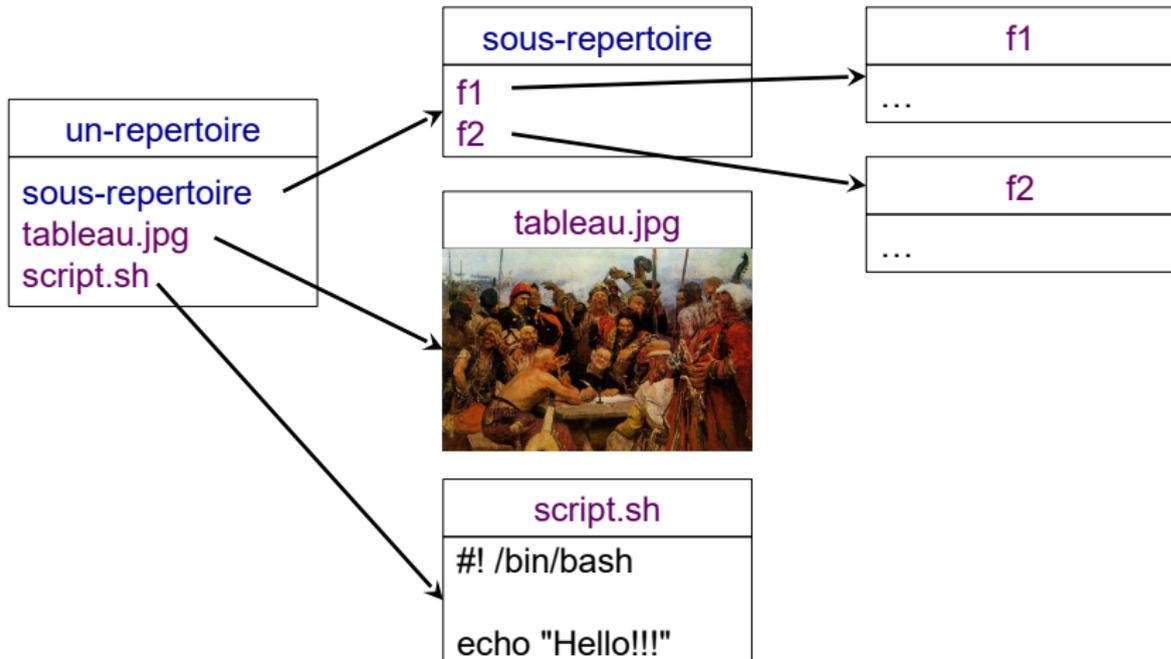
- Un fichier est la réunion de
  - Un contenu, c'est-à-dire un ensemble ordonné d'octets
  - Un propriétaire
  - Des horloges scalaires (création, dernier accès, dernière modif)
  - Des droits d'accès (en lecture, en écriture, en exécution)
- Attention : c'est inattendu, mais un fichier est indépendant de son nom (c.-à-d., le nom ne fait pas parti du fichier et un fichier peut avoir plusieurs noms)

# On stocke de nombreux fichiers

- Facilement plusieurs centaines de milliers de fichiers dans un ordinateur
  - Plusieurs milliers gérés/utilisés directement par l'utilisateur
  - Plusieurs centaines de milliers pour le système et les applications
- Problème : comment retrouver facilement un fichier parmi des centaines de milliers ?
- Solution : en rangeant les fichiers dans des répertoires (aussi appelés dossiers)

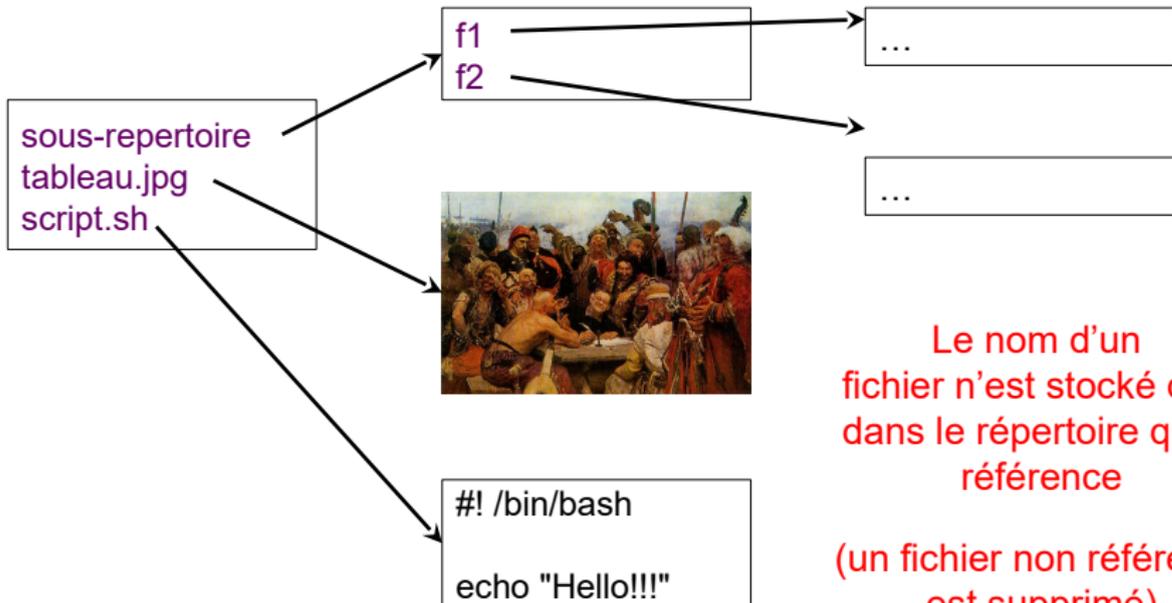
# Organisation en répertoires

- Répertoire = fichier spécial qui associe des noms à des fichiers



# Organisation en répertoires

- Répertoire = fichier spécial qui associe des noms à des fichiers

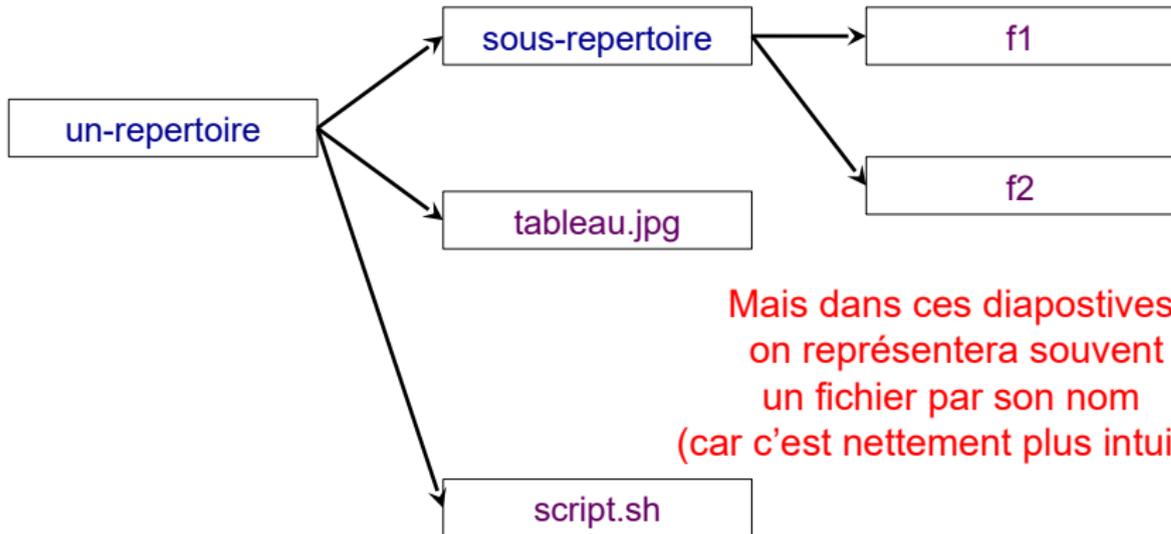


Le nom d'un  
fichier n'est stocké que  
dans le répertoire qui le  
référence

(un fichier non référencé  
est supprimé)

# Organisation en répertoires

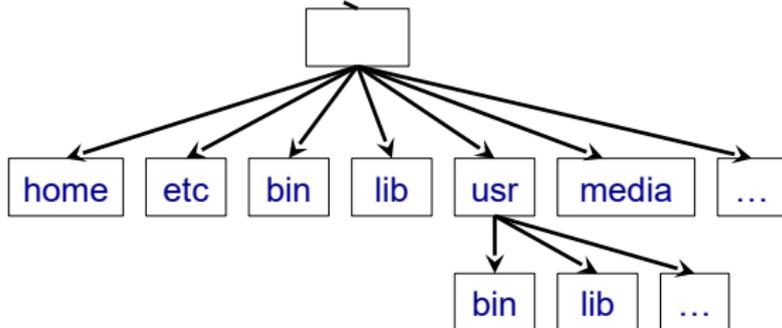
- Répertoire = fichier spécial qui associe des noms à des fichiers



Mais dans ces diapositives,  
on représentera souvent  
un fichier par son nom  
(car c'est nettement plus intuitif !)

# Arborescence standard des systèmes d'exploitation UNIX

La racine est référencée  
par le nom vide

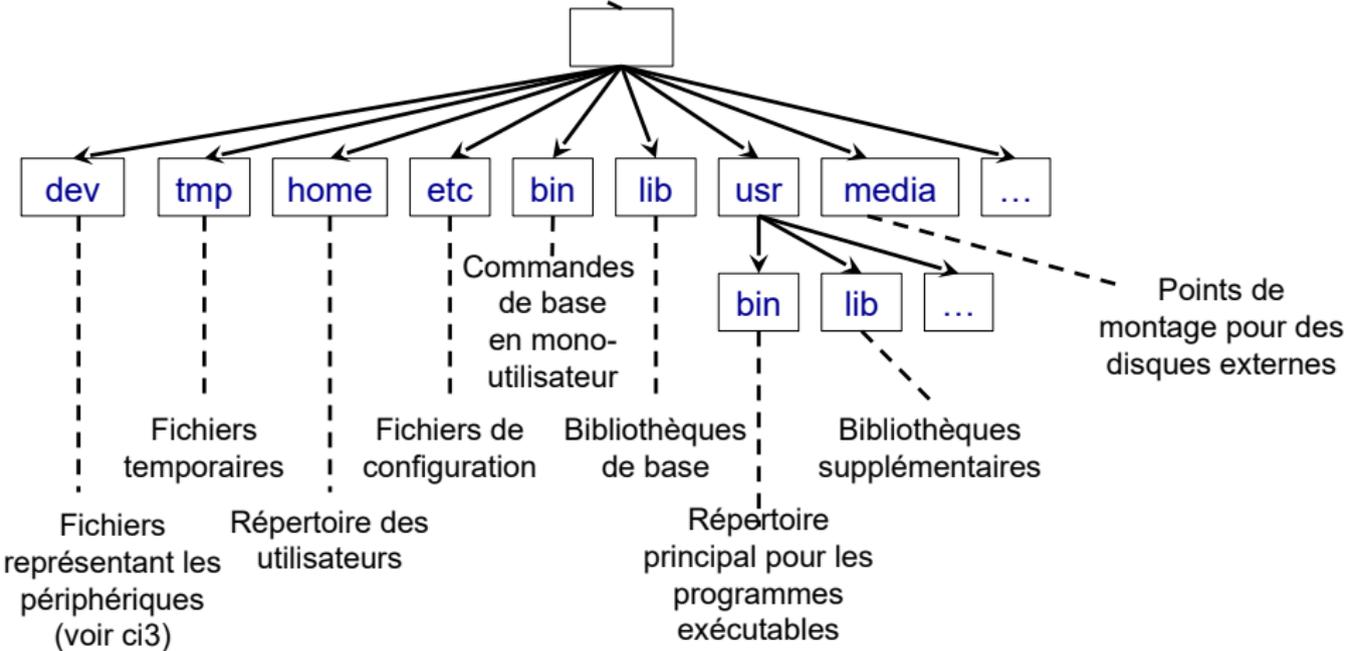


La plupart des systèmes d'exploitation Unix  
(GNU/Linux, BSD, MacOS...) utilisent une arborescence  
de base standardisée  
(seul Windows utilise une arborescence réellement différente)

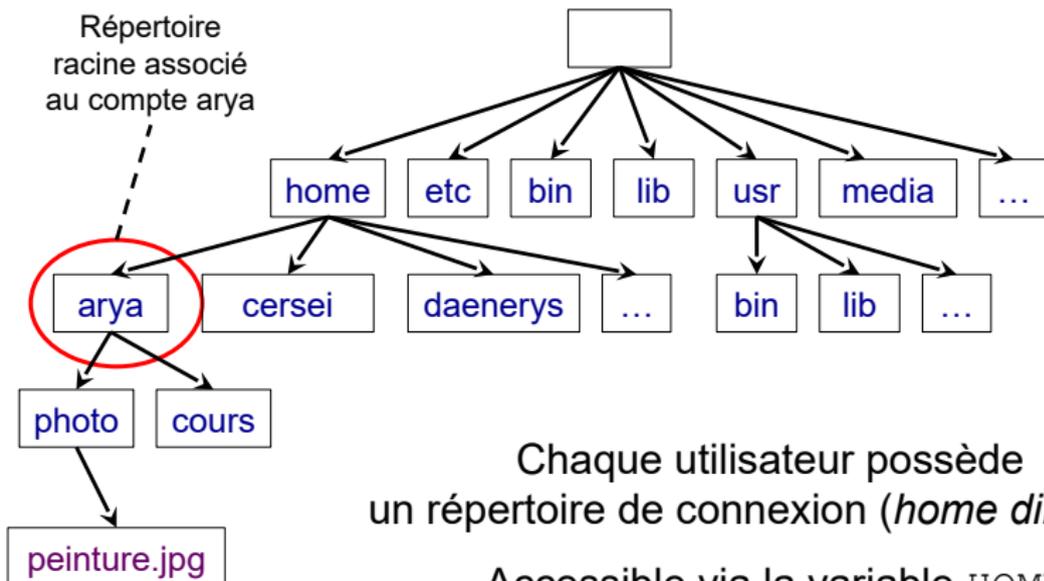
Vous pouvez la consulter en faisant : `man hier` (pour hierarchy)

# Arborescence standard des systèmes d'exploitation UNIX

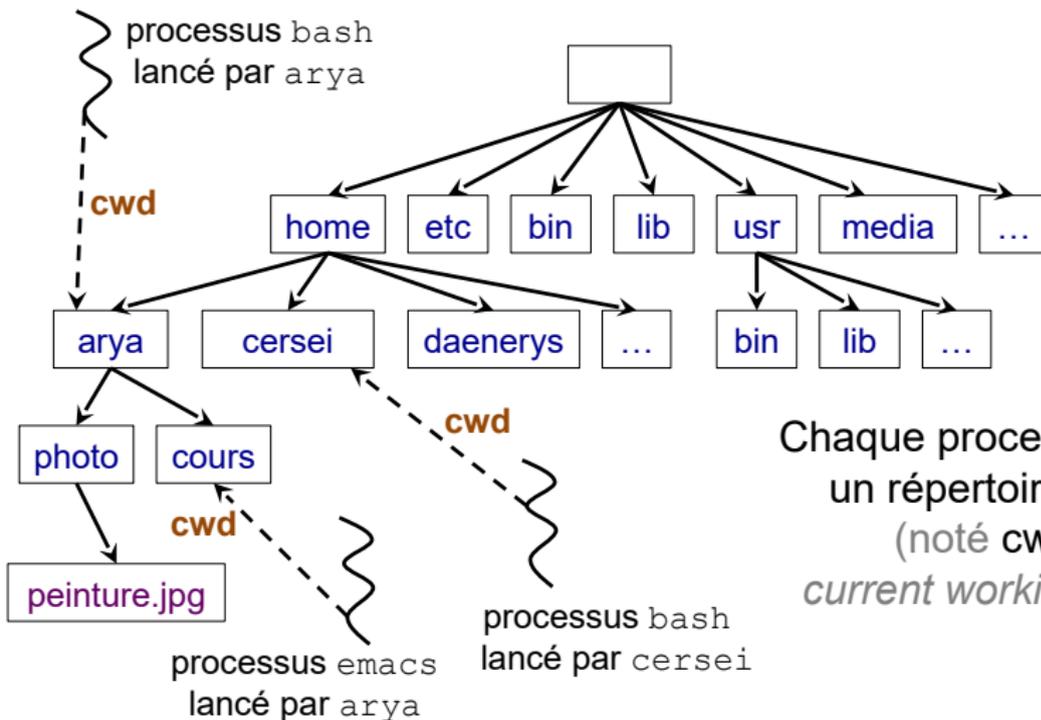
La racine est référencée par le nom vide



# Arborescence standard des systèmes d'exploitation UNIX



# Notion de répertoire de travail

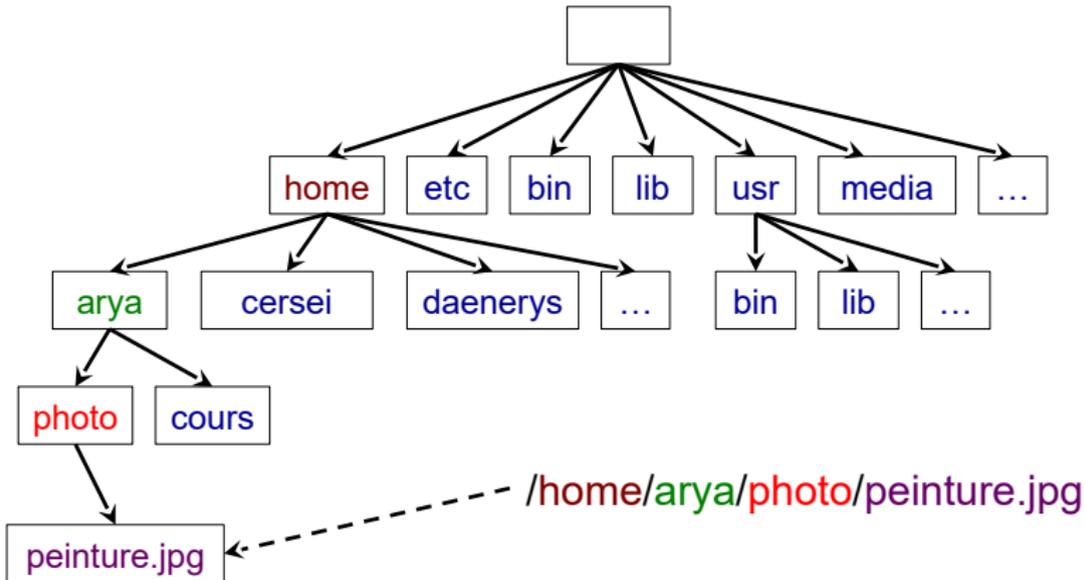


Chaque processus possède un répertoire de travail (noté `cwd` pour *current working directory*)

# Notion de chemin

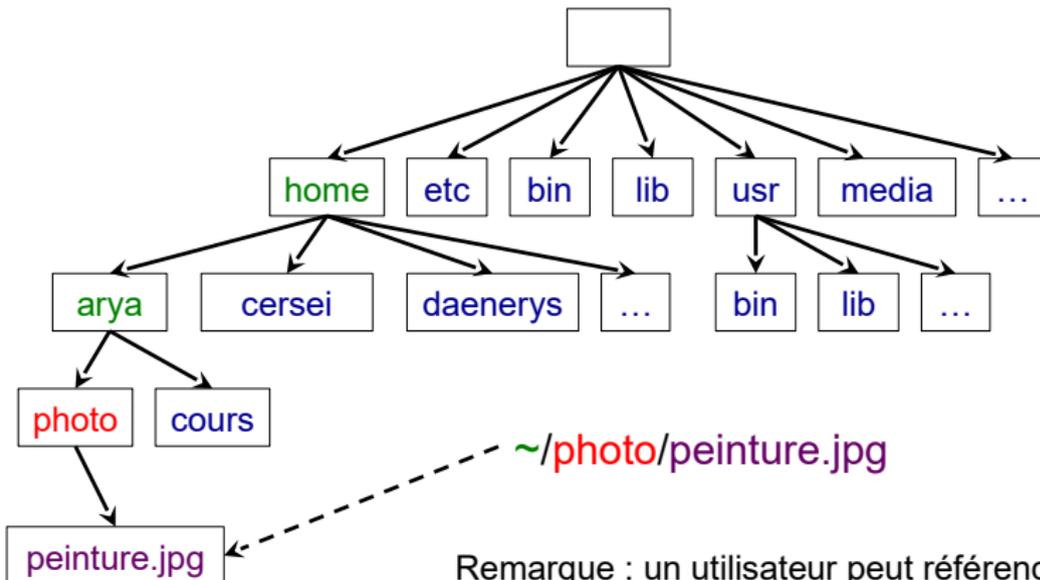
- En `bash`, le séparateur de répertoires est le caractère `/`
- Un chemin s'écrit sous la forme `a/b/c` qui référence
  - le fichier `c`
  - se trouvant dans le répertoire `b`
  - se trouvant lui même dans le répertoire `a`
- Un **chemin absolu** part de la racine du système de fichiers  
Commence par le nom vide (racine), par exemple `/a/b/c`
- Un **chemin relatif** part du répertoire de travail du processus  
Commence par un nom non vide, par exemple `a/b/c`

# Exemple de chemin absolu (1/2)



# Exemple de chemin absolu (2/2)

Un utilisateur peut utiliser ~ comme raccourci pour son répertoire de connexion



Remarque : un utilisateur peut référencer le répertoire de connexion d'un autre utilisateur avec ~name (par exemple ~/arya/photo/peinture.jpg)

## Désignation des fichiers (2)

### ► Divers raccourcis simplifient la désignation

- **noms relatifs** au répertoire courant

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

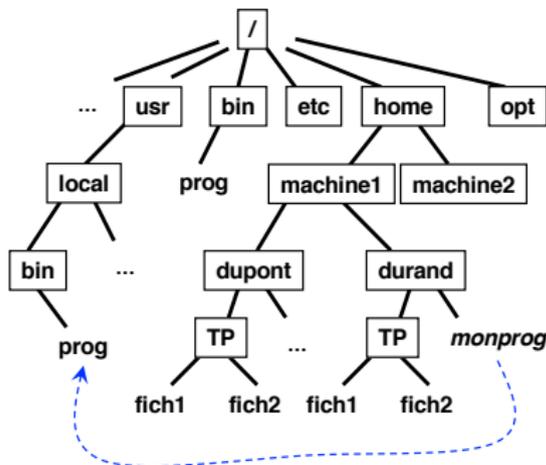
- désignation du **père**

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

- **liens symboliques**

Si répertoire courant = /home/machine1/durand/

- création du lien : `ln -s /usr/local/bin/prog monprog`
- dans le répertoire 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)

### ► Répertoire courant

- par défaut, tout usager a un répertoire courant de base
  - *home directory*
  - par exemple **/home/machine/dupont**
  - un raccourci est **~dupont**
- on peut changer de répertoire courant au moyen de la commande
 

```
cd <nom du répertoire destination>
```

  - cd sans paramètres ramène au répertoire de base
- le nom . désigne le répertoire courant
- **pwd** : connaître le nom absolu du répertoire courant
- **ls** : connaître le contenu du répertoire courant par (`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 ?**

- ▶ Règle de recherche

- ▶ le système explore dans l'ordre une suite de répertoires
- ▶ cette suite est enregistrée dans une variable d'environnement **PATH**

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

- ▶ La commande `which` indique le nom absolu du fichier qui sera exécuté par défaut

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

## Règle de recherche : exemple d'application

---

- ▶ **Vous avez créé votre propre exécutable, dans le répertoire courant**

```
<unix> ls -l  
-rwxr-xr-x 1 vania staff 55872 6 fév 07:32 alarm
```

- ▶ **Pour l'exécuter**

- ▶ soit changer le PATH

```
[unix] alarm  
-bash: alarm: command not found  
[unix] export PATH=./$PATH  
[unix] alarm  
bip  
bip  
bip  
bip  
^C
```

- ▶ soit plus simplement `<unix> ./alarm`

# Il existe de nombreux types de fichiers

- Fichier ordinaire
- Répertoire
- Lien symbolique
- Device : un fichier qui représente un périphérique (disque dur, carte son, carte réseau, ...)
  - Par exemple `/dev/sda1`
- Tube nommé : fichier spécial étudié en CI6
- Socket : fichier spécial proche des tubes (non étudié dans ce cours)

# Agenda

Les systèmes de fichiers

Manipuler des fichiers

Les droits d'accès

# 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
  - `touch toto`

## ▶ Créer un répertoire

- ▶ `mkdir <nom du répertoire>` le répertoire est initialement vide

## ▶ Détruire un fichier

- ▶ `rm <nom du fichier>`
- ▶ `rm -i` va demander une confirmation

## ▶ Détruire un répertoire

- ▶ `rmdir <nom du répertoire>` le répertoire 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`

# Copier

```
cp src dest
```

- Deux fonctionnements différents
  - ▶ Si `dest` est un répertoire, copie `src` dans le répertoire `dest`.
    - Dans ce cas, multiples copies possibles avec:  
`cp file1 file2 ... rep`
  - ▶ Sinon, copie `src` sous le nom `dest`
- L'option `-r` permet de copier récursivement un répertoire
  - ▶ sans `-r`, si `src` est un répertoire, erreur

# Déplacer

```
mv src dest
```

## déplace ou renomme

- src : fichier de type quelconque
- Si dest est un répertoire, déplace src dans le répertoire dest
  - ▶ Dans ce cas, multiples déplacements possibles avec:  
`mv file1 file2 ... rep`
- Sinon, déplace src sous le nom dest
  - ▶ Si dest est dans le même répertoire : renommage

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

---

- ▶ Dans l'interface des appels système, un fichier est représenté par un **descripteur**. Les descripteurs sont numérotés par des (petits) entiers.
- ▶ Pour utiliser un fichier, il faut l'ouvrir pour allouer un descripteur

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

- ▶ Fichier 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

```
fd = open("/path/to/file", O_CREAT | O_RDWR, S_IRUSR | S_IWUSR);
```

- ▶ Quand on a fini d'utiliser un fichier, il faut le fermer `close (fd)`

# Ouvrir un fichier

## Exemple

```
int fd; /* file descriptor */
if ((fd = open("/etc/hosts", O_RDONLY)) < 0) {
    perror("open");
    exit(1);
}
```

## Commentaires

- L'OS maintient un tableau de fichiers ouverts par processus
  - ▶ Le numéro de descripteur de fichiers correspond à un indice dans ce tableau
- Chaque processus créé par un shell UNIX commence sa vie avec 3 fichiers ouverts associés au terminal:
  - ▶ 0: l'entrée standard
  - ▶ 1: la sortie standard
  - ▶ 2: la sortie d'erreur

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

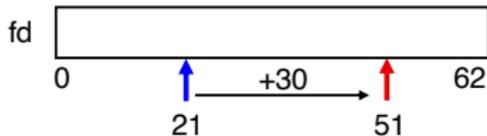
L'ouverture crée un **pointeur courant** (position dans le fichier), initialisé à 0. Ce pointeur (invisible directement) est déplacé

- 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 :

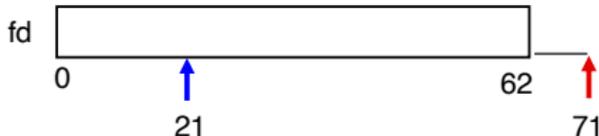
**dépl. relatif**

```
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.

# Lire un fichier

```
char buf[512];
int fd; /* file descriptor */
int nbytes; /* number of bytes read */

/* Open file fd ... */
/* Then read up to 512 bytes from file fd */
if ((nbytes = read(fd, buf, 512)) < 0) {
    perror(" read");
    exit(1);
}
```

- `read()` copie les données du fichier depuis la position courante dans la mémoire, et met à jour la position courante.
- `read()` retourne le nombre d'octets lus (`nbytes`)
  - ▶ `nbytes < 0` indique qu'une erreur s'est produite
  - ▶ `nbytes < 512` est possible et n'est pas une erreur

# Écrire un fichier

```
char buf[512];
int fd; /* file descriptor */
int nbytes; /* number of bytes read */

/* Open the file fd ... */
/* Then write up to 512 bytes from buf to file fd */
if ((nbytes = write(fd, buf, 512) < 0) {
    perror("write");
    exit(1);
}
```

- `write()` copie les données de la mémoire vers le fichier à la position courante, et met à jour la position courante.
- `write()` retourne le nombre d'octets écrits (`nbytes`)
  - ▶ `nbytes < 0` indique qu'une erreur s'est produite
  - ▶ `nbytes < 512` est possible et n'est pas une erreur

# Un exemple simple de lecture/écriture

Copier les données de l'entrée standard vers la sortie standard  
octet par octet

```
int main(void)
{
    char c;
    int len;

    while ((len = read(0 /*stdin*/, &c, 1)) == 1) {
        if (write(1 /*stdout*/, &c, 1) != 1) {
            exit(20);
        }
    }

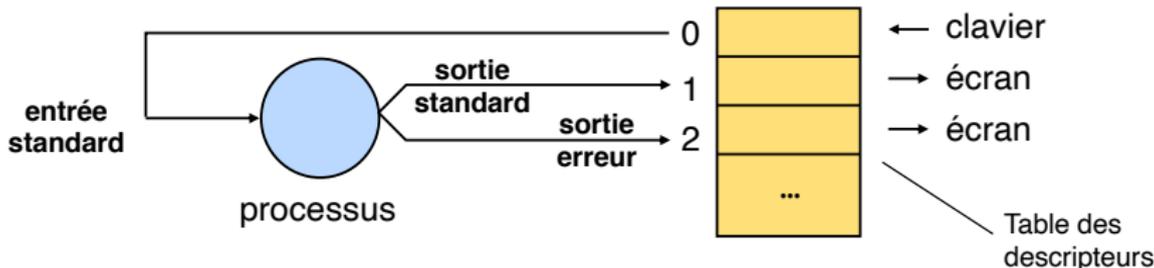
    if (len < 0) {
        printf (" read-from-stdin-failed");
        exit (10);
    }
    exit(0);
}
```

# Interface 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:
  - ▶ Par exemple, la bibliothèque dite standard, ensemble de fonctions d'accès de plus haut niveau inclus dans la bibliothèque C : `fopen`, `fread`, `fwrite`, `fscanf`, `fprintf`, `fflush`, `fseek`, `fclose` (et fonctions analogues pour les chaînes : `sprintf`, `sscanf`). Voir `man`.

## 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 répertoire /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.

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

a) crée un tube et deux processus : p1 qui exécute `cat *.c`, p2 qui exécute `grep var`

b) 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
```

# Agenda

Les systèmes de fichiers

Manipuler des fichiers

Les droits d'accès

# 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 autorisé 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'utilisateurs
    - usager propriétaire du fichier
    - groupe propriétaire
    - tous les autres

# Droits d'accès

- Toute opération sur un fichier est soumise à droits d'accès
  - Message d'erreur « *Permission non accordée* »
- 3 types d'accès
  - `r` : droit de lecture
    - Si répertoire, consultation de ses entrées (c.-à-d., `ls` autorisé)
    - Sinon, consultation du contenu du fichier
  - `w` : droit d'écriture
    - Si répertoire, droit de création, de renommage et de suppression d'une entrée dans le répertoire
    - Sinon, droit de modification du contenu du fichier
  - `x` :
    - si répertoire, droit de traverser (c.-à-d., `cd` autorisé)
    - sinon, droit d'exécution

# Droits d'accès

## ■ 3 catégories d'utilisateurs :

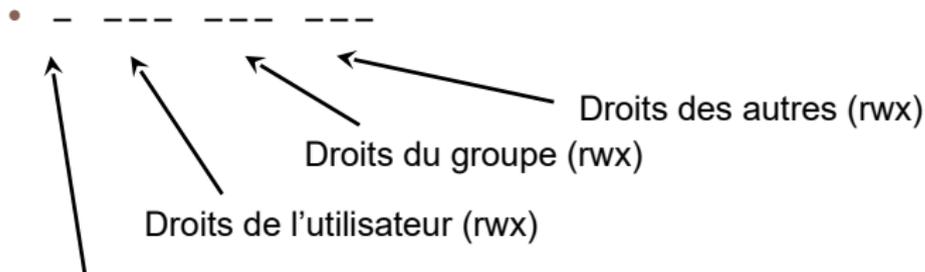
- Propriétaire (u)
- Groupe propriétaire (g)
- Tous les autres (o)

## ■ Chaque catégorie possède ses types d'accès $r$ $w$ $x$

# Droits d'accès – consultation

■ `ls -ld` ⇒ donne les droits des fichiers

■ Format de sortie de `ls -l`



Type du fichier :

d : répertoire

l : lien symbolique

- : fichier ordinaire

```
$ ls -l fichier  
- rwx r-- --- fichier  
$
```

# Droits d'accès – modification

## ■ Modification sur un fichier existant

`chmod droit fichier : change mode`

## ■ Droits à **appliquer!** au fichier

- Catégories : u, g, o ou a (= all c.-à-d., ugo)
- Opérations : Ajout (+), retrait (-), affectation (=)

```
$ ls -ld fichier
-rwx r-- --- fichier
$ chmod u-x fichier
$ ls -ld fichier
-rw- r-- --- fichier
$ chmod u+x fichier
$ ls -ld fichier
-rwx r-- --- fichier
```

# Démonstration

```
$ cp /etc/passwd .
$ ls -l
total 4
-rw-r--r-- 1 gthomas users 1120 19 juil. 2016 passwd
$ chmod u-r passwd
$ cat passwd
cat: passwd: Permission non accordée
$ mkdir rep
$ ls -l
total 8
--w-r--r-- 1 gthomas users 1120 19 juil. 2016 passwd
drwxr-xr-x 2 gthomas users 68 19 juil. 2016 rep
$ cd rep/
$ cd ..
$ chmod u-x rep
$ cd rep
-bash: cd: rep: Permission non accordée
```

# Droits d'accès initiaux

## ■ Masque de droits d'accès **!retirés!** à la création de tout fichier

- Commande `umask` (*user mask*)
- Le masque est donné en octal (base 8) avec 3 chiffres (u, g, o)
- En standard, masque par défaut = 022
  - $r = 100$  en binaire = 4 en octal,  $w = 010 = 2$
  - Si droits retirés `--- -w- -w-`, alors droits appliqués `rw- r-- r--`
  - Le droit `x` est déjà retiré par défaut en général
- Modification du masque grâce à la commande `umask`
  - **Attention** : `umask` sans effet rétroactif sur les fichiers préexistants
  - **Attention** : `umask` n'a d'effet que sur le `bash` courant

# Démonstration

```
$ touch fichier_umask_default
$ ls -lh
-rw-rw-r-- 1 amina amina 0 oct. 2 10:49 fichier_umask_default
$ mkdir repertoire_umask_default
$ ls -lh
-rw-rw-r-- 1 amina amina 0 oct. 2 10:49 fichier_umask_default
drwxrwxr-x 2 amina amina 4,0K oct. 2 10:50 repertoire_umask_default
$ umask 007
$ touch fichier_umask_nouveau
$ ls -lh
-rw-rw-r-- 1 amina amina 0 oct. 2 10:49 fichier_umask_default
-rw-rw---- 1 amina amina 0 oct. 2 10:52 fichier_umask_nouveau
drwxrwxr-x 2 amina amina 4,0K oct. 2 10:50 repertoire_umask_default
$ mkdir repertoire_umask_nouveau
$ ls -lh
-rw-rw-r-- 1 amina amina 0 oct. 2 10:49 fichier_umask_default
-rw-rw---- 1 amina amina 0 oct. 2 10:52 fichier_umask_nouveau
drwxrwxr-x 2 amina amina 4,0K oct. 2 10:50 repertoire_umask_default
drwxrwx--- 2 amina amina 4,0K oct. 2 10:53 repertoire_umask_nouveau
```

# Les groupes

Dans un système UNIX, les utilisateurs sont catégorisés en groupes

- Un utilisateur peut appartenir à plusieurs groupes

## Groupes primaires et secondaires

- Chaque utilisateur appartient au moins à un groupe: son groupe primaire
  - ▶ Par défaut, le GID (*group identifier*) du groupe primaire est égal à l'UID (*user identifier*) de l'utilisateur
  - ▶ Groupe associé aux fichiers créés par l'utilisateur
- Un utilisateur peut aussi être intégré à d'autres groupes: des groupes secondaires

# Les groupes – Quelques commandes

- Créer un groupe:
  - ▶ `groupadd <groupe>`
- Obtenir la liste des groupes d'un utilisateurs:
  - ▶ `groups user`
- Ajouter un utilisateur à un/des groupes:
  - ▶ `usermod -aG groupe1,groupe2,groupeN user`
- Changer le groupe primaire d'un utilisateur:
  - ▶ `usermod -g groupe user`

# Propriétaire d'un fichier

Sous UNIX, un fichier appartient à un utilisateur et à un groupe.

- Par défaut, un fichier appartient à son créateur et à son groupe primaire

## Quelques commandes

- Changer le propriétaire d'un fichier:
  - ▶ `chown user fichier`
- Changer le propriétaire et le groupe d'un fichier:
  - ▶ `chown user:group fichier`
- Changer seulement le groupe d'un fichier
  - ▶ `chgrp groupe fichier`

# Mécanismes de délégation

## Problème

Permettre d'exécuter un programme dont l'exécution nécessite des droits d'accès que n'ont pas les usagers potentiels

- Exemple: `/bin/passwd` pour changer son mot de passe = modifier un fichier dont le propriétaire est `root`

## Setuid (et Setgid)

- Autre *permission* pour un fichier.
- Pour l'exécution de ce programme (et uniquement pour ce programme), un usager quelconque reçoit temporairement les droits de l'utilisateur ou du groupe propriétaire du programme si le bit correspondant est à 1
  - ▶ Le droit 'x' est remplacé par 's' si le bit est à 1
  - ▶ Commande: `chmod u+s <filename>`

# Sticky bit

## Commande

```
chmod o+t repertoire
```

## Principe

- Spécifie que pour les fichiers contenus dans le répertoire avec le sticky bit, seul le propriétaire du fichier peut le supprimer
  - ▶ Exemple d'utilisation: /tmp
- Par défaut, tout utilisateur ayant les droits d'écriture et d'exécution sur un répertoire peut en modifier le contenu