

Fichiers et entrées-sorties

Olivier Dalle
 Université de Nice - Sophia Antipolis
<http://deptinfo.unice.fr/>
 D'après le cours original de
 Sacha Krakowiak

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

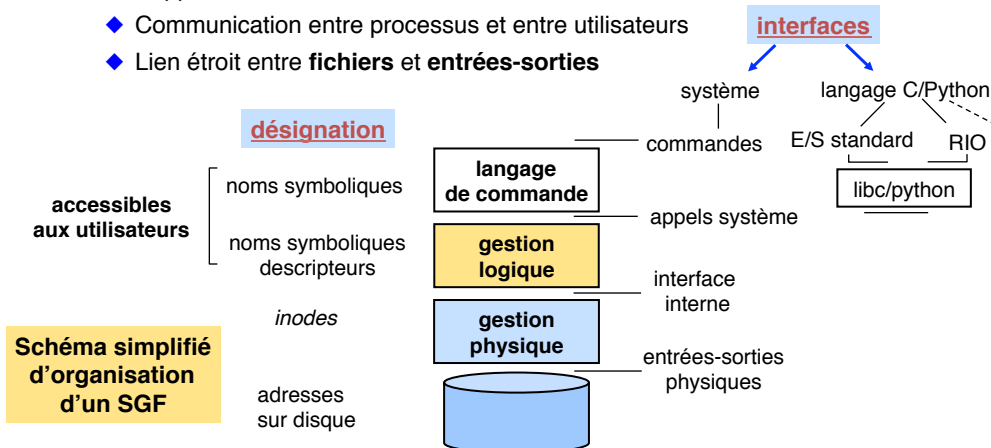
■ Plan d'étude (illustré par le SGF d'Unix)

- ◆ 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**



O. Dalle (cours original de S. Krakowiak)

L2-Système: Fichiers et entrées-sorties

4-3

Désignation des fichiers (1)

■ Principe de la désignation symbolique : organisation hiérarchique

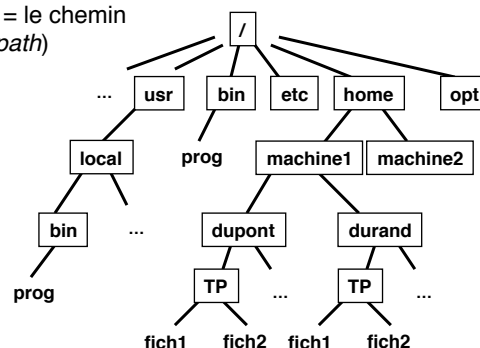
- ◆ Les noms forment une arborescence
- ◆ Nœuds intermédiaires = catalogues, ou répertoires - en anglais *directory* (ce sont aussi des fichiers)
- ◆ Nœuds terminaux = fichiers simples
- ◆ Nom (universel ou absolu) d'un fichier = le chemin d'accès depuis la racine (en anglais : *path*)

Exemples de noms universels :

```

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

```



O. Dalle (cours original de S. Krakowiak)

L2-Système: Fichiers et entrées-sorties

4-4

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

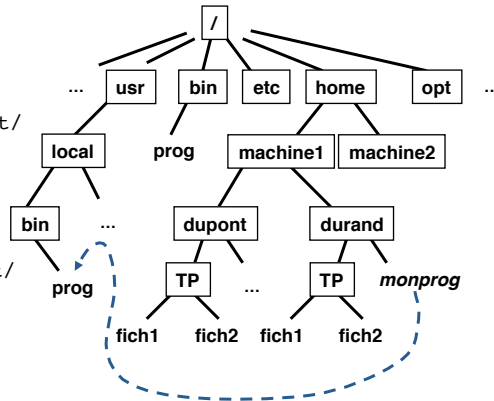
◆ désignation du père

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**

- ◆ variable d'environnement (PATH)
- ◆ donne la **suite** de catalogues qui seront **successivement** explorés

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

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 python, 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 fin

```
<unix> export PATH= $PATH:./
<unix> prog.py args...
```

2. plus simplement, exécuter

```
<unix> python ./prog.py
args...
```

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 = os.open("/home/machine/toto/fich", os.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 `os.O_RDWR` et `os.O_WRONLY`. Le mode d'ouverture peut être combiné avec **d'autres drapeaux** ...

Voir **détails dans man**.

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

```
os.close (fd)
```

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

Modes d'Ouverture des Fichiers

man 2 open

```
...
O_RDONLY      open for reading only
O_WRONLY      open for writing only
O_RDWR        open for reading and writing
O_NONBLOCK    do not block on open or for data to become available
O_APPEND      append on each write
O_CREAT       create file if it does not exist
O_TRUNC       truncate size to 0
O_EXCL        error if O_CREAT and the file exists
O_SHLOCK      atomically obtain a shared lock
O_EXLOCK      atomically obtain an exclusive lock
O_NOFOLLOW    do not follow symlinks
O_SYMLINK     allow open of symlinks
O_EVTONLY     descriptor requested for event notifications only
O_CLOEXEC     mark as close-on-exec
...
```

Exemples d'Ouvertures de Fichiers

- Ecrire en fin de fichier **déjà existant** (par exemple logs)

```
os.open("/tmp/logs", os.O_APPEND, 0)
```

- Ecrire en fin de fichier en écrasant le contenu à l'ouverture, et en créant si besoin

```
os.open("/tmp/logs", os.O_APPEND|os.O_CREAT|os.O_TRUNC, 0)
```

- Ouvrir en écriture seule, en effaçant le contenu, mais erreur s'il existe déjà

```
os.open("/tmp/logs", os.O_WRONLY|os.O_CREAT|os.O_TRUNC|
os.O_EXCL, 0)
```

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 (`os.read`) et d'écriture (`os.write`). (cf détails plus loin)
- directement, par l'opération `os.lseek` (ci-dessous)

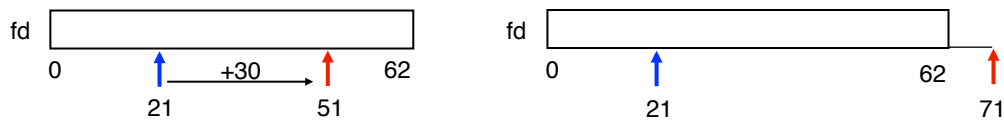
`lseek()` déplace le pointeur courant. Exemples :

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.

O. Dalle (cours original de S. Krakowiak)

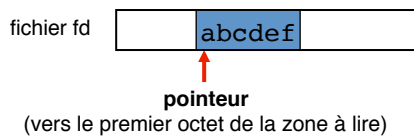
L2-Système: Fichiers et entrées-sorties

4-13

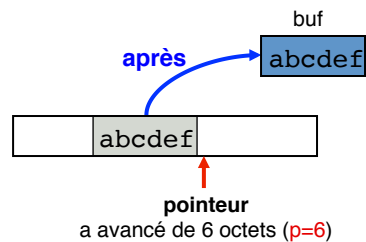
Interface système pour l'utilisation des fichier : `os.read()`

`buf=os.read(fd, 6)`

avant

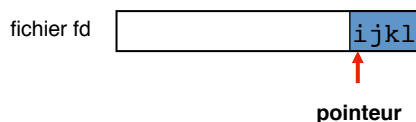


après

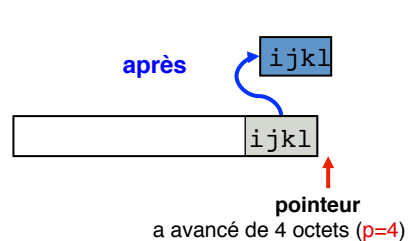


`buf=os.read(fd, 6)`

avant



après

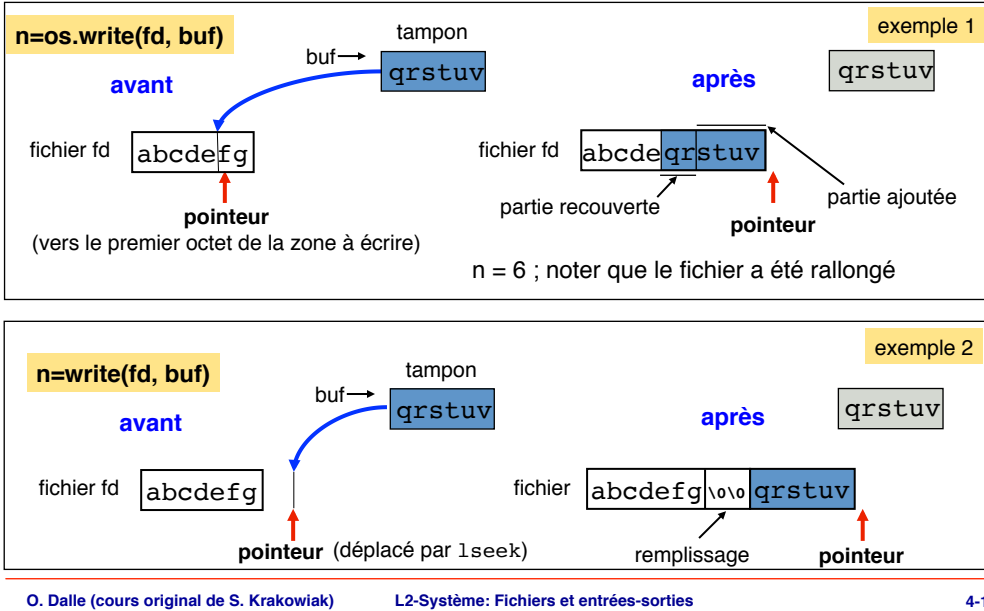


O. Dalle (cours original de S. Krakowiak)

L2-Système: Fichiers et entrées-sorties

4-14

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



Interfaces des fichiers

Les primitives fournies par le module `os` (`os.open`, `os.close`, `os.lseek`, `os.read`, `os.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

- construites à partir de la bibliothèque C : `fopen`, `fread`, `fwrite`, `fscanf`, `fprintf`, `fflush`, `fseek`, `fclose`... Voir man (section 3).

- Programmation objet avec python:

- `F = open(name, mode, buffering)` → objet fichier
- `F.read()`, `F.read(n)`, `F.readline()`, `F.readlines()`...
- `F.write(buf)`, `print >>F, "trois x deux = %d" % (3x2)`
- `F.tell()`, `F.seek(offset)`, `F.truncate()`
- `F.close()`
- ...

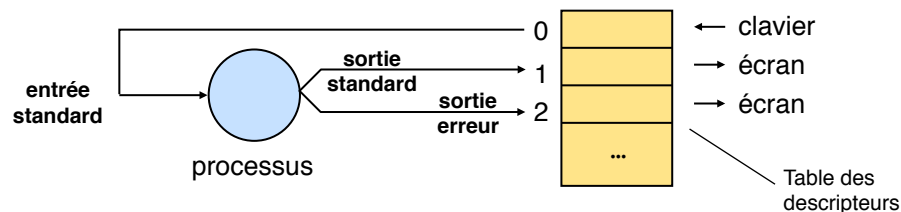
Fichiers et flots d'entrée-sortie

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
```

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
```

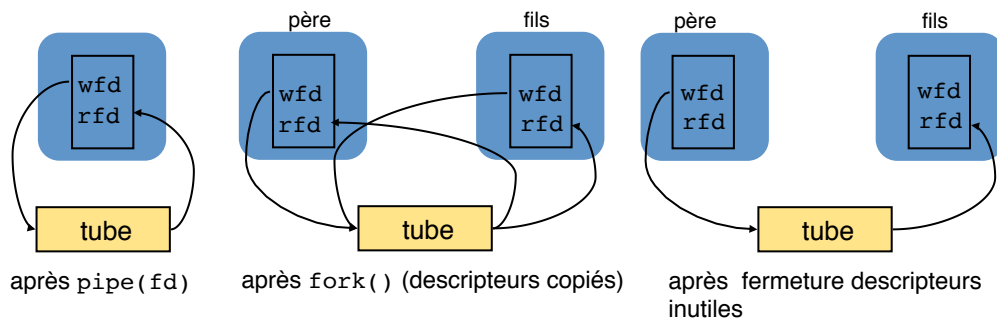
Manipuler les flots d'entrée-sortie (primitives)

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

```
(read_fd, write_fd) = os.pipe()
```

Par exemple, un père peut communiquer avec un fils à travers un tube.



O. Dalle (cours original de S. Krakowiak)

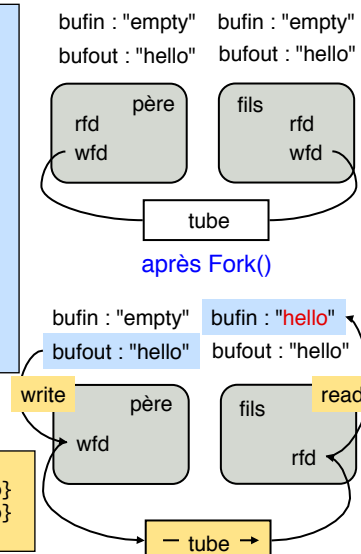
L2-Système: Fichiers et entrées-sorties

4-19

Programmation d'un tube père -> fils

```
import sys, os
bufout = "hello"
BUFSIZE = 10
bufin = "empty"
(rfd, wfd) = os.pipe()
childpid = os.fork()
if childpid != 0:           /* père */
    os.close(rfd)
    n = os.write(wfd, bufout)
else:                       /* fils */
    os.close(wfd)
    bufin = os.read(rfd, BUFSIZE)
    n = len(bufin)
print "[%d]:%d bytes, my bufin is {%s}, my bufout is {%s}"
      \n" % (os.getpid(), n, bufin, bufout)
sys.exit(0)
```

```
<unix> ./parentwritepipe.py
[29196]:5 bytes, my bufin is {empty}, my bufout is {hello}
[29197]:5 bytes, my bufin is {hello}, my bufout is {hello}
<unix>
```



O. Dalle (cours original de S. Krakowiak)

L2-Système: Fichiers et entrées-sorties

4-20

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`

```
os.mkfifo(nom, mode)
```

crée 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.

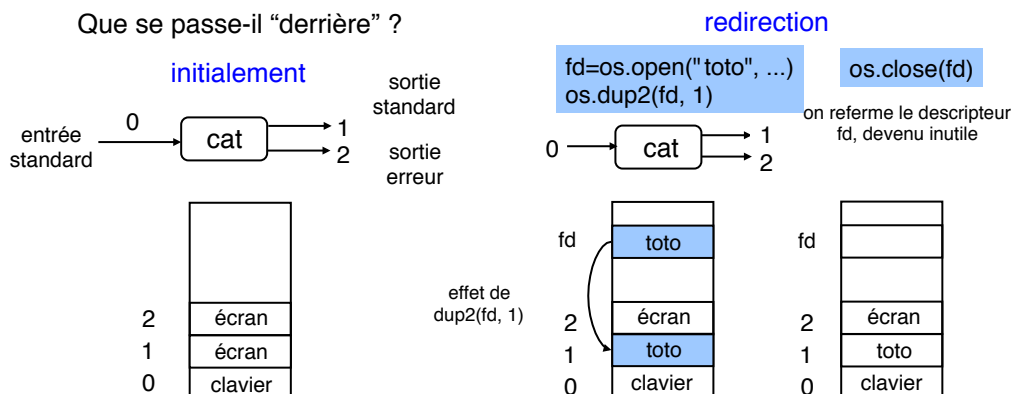
Copie de descripteurs : `dup ()`

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

La primitive `os.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.**

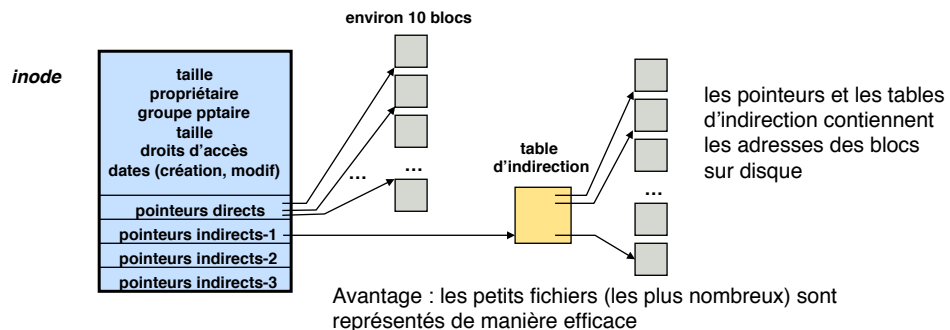
Réalisation des fichiers dans Unix

■ Représentation physique d'un fichier

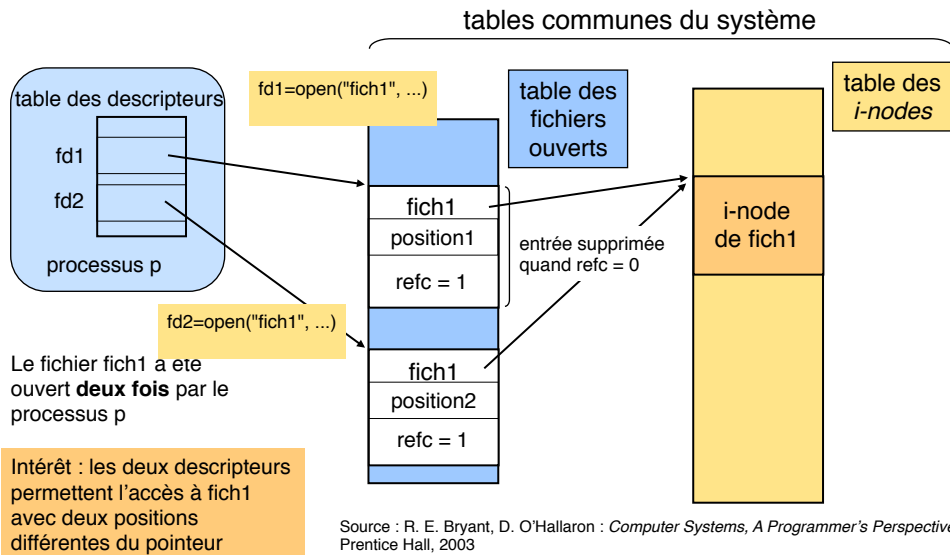
- ◆ Un fichier est représenté physiquement par un ensemble de blocs (suite d'octets de taille fixe) sur disque. Les blocs ne sont pas nécessairement contigus.
- ◆ Typiquement, la taille d'un bloc est 8 Koctets (peut varier selon réalisations)

■ 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



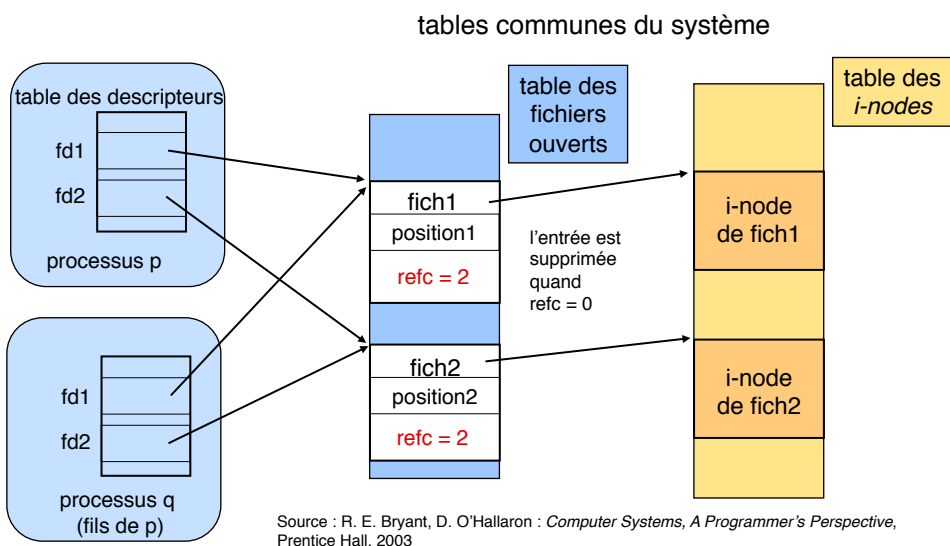
Relation entre descripteurs et *i-nodes*



L3-Intro. Systèmes-Réseaux

6-23

Partage de fichiers entre père et fils



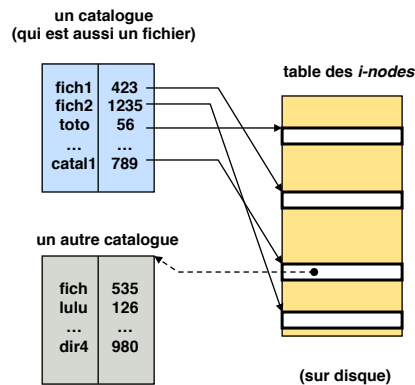
L3-Intro. Systèmes-Réseaux

6-24

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 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'usagers
 - ▲ usager propriétaire du fichier
 - ▲ groupe propriétaire
 - ▲ tous les autres

Protection des fichiers (2)

Fichiers ordinaires

r w x	r w x	r w x	
propriétaire (u)	groupe (g)	autres (o)	setuid setgid

exemple (fichier fich) : rwx r-- r-- : tout accès pour le propriétaire, lecture seule pour tous les autres

chmod go+w fich : donne le droit w au groupe et aux autres
chmod o-w fich : retire le droit w aux autres

- ◆ 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'utilisateur ou du groupe propriétaire si le bit correspondant est à 1

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 4

■ 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