

Programmation des systèmes

Système de fichiers et entrées/sorties

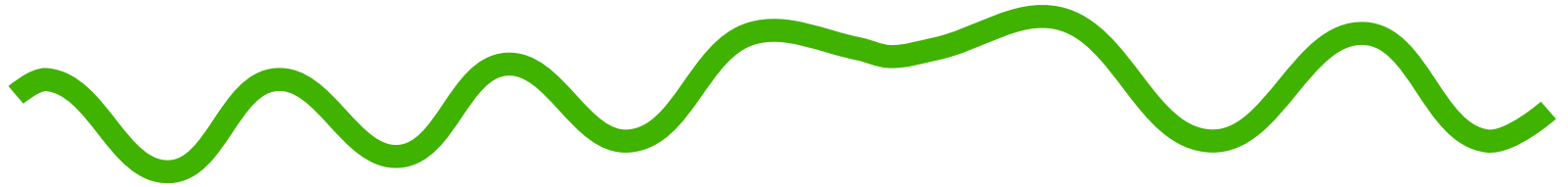
Philippe MARQUET

`Philippe.Marquet@lifl.fr`

Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille
Université des sciences et technologies de Lille

Licence d'informatique de Lille
décembre 2004
révision de janvier 2007





~ Ce cours est diffusé selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution – Pas d’Utilisation Commerciale – Partage dans les Mêmes Conditions, 3.0 France

`creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/fr/`

~ La dernière version de ce cours est accessible à

`www.lifl.fr/~marquet/cnl/pds/`

~ \$Id: fs.tex,v 1.37 2012/11/27 23:17:54 marquet Exp \$

Références



~ *Unix, programmation et communication*

Jean-Marie Rifflet et Jean-Baptiste Yunès

Dunod, 2003

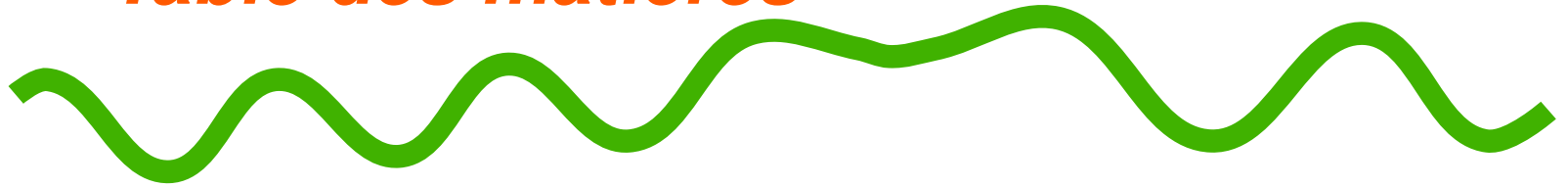
~ *The Single Unix Specification*

The Open Group

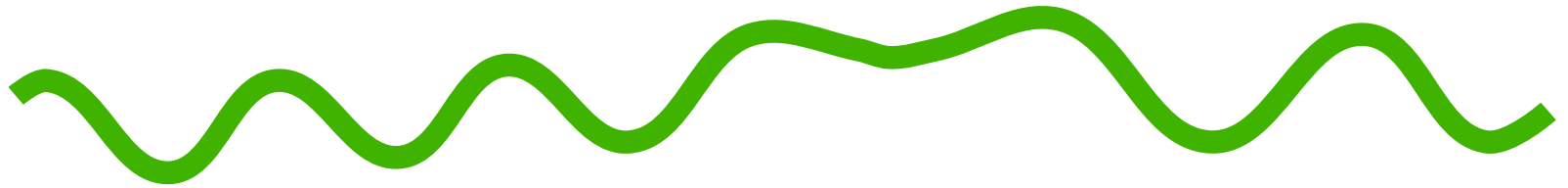
`www.unix.org/single_unix_specification/`

~ man **section 2**

Table des matières

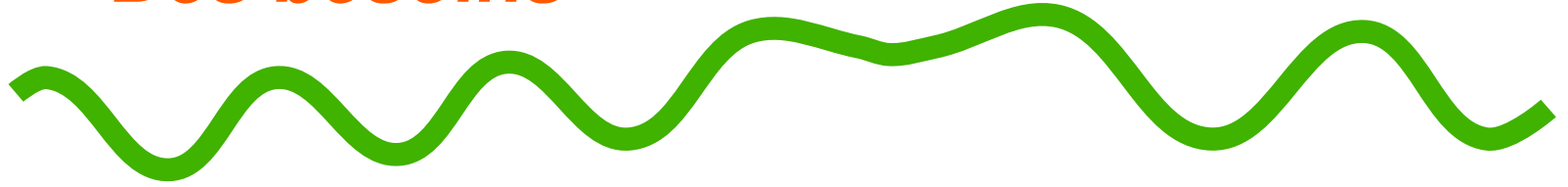


- ❧ Mémoire persistante
- ❧ Organisation d'un système de fichiers
- ❧ Interface POSIX de manipulation d'un système de fichiers
- ❧ Interface POSIX de lecture/écriture dans un fichier
- ❧ Interface POSIX : opérations avancées
- ❧ Bibliothèque C d'entrées/sorties
- ❧ Quelques éléments d'implantation d'un système de fichiers
- ❧ Gestion des terminaux



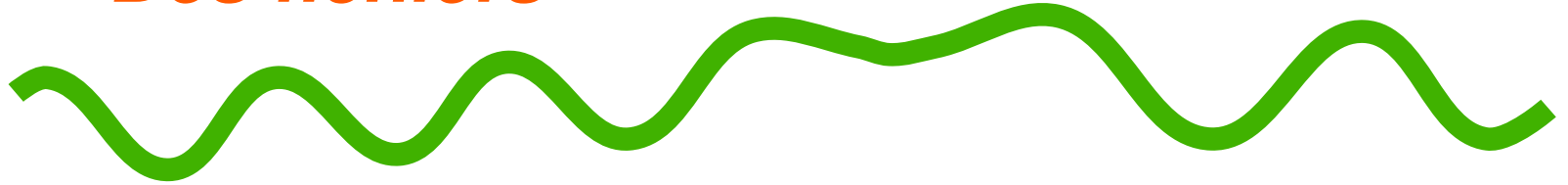
Mémoire persistante

Des besoins



- Processus manipule des données
 - conserve en mémoire
 - tout au long de son exécution
- Besoins de mémoriser de grandes quantités de données
 - taille supérieure à la mémoire (virtuelle)
- Besoins de conservation des données
 - au delà de la fin du processus
- Besoins de partage des données
 - données accessibles (simultanément) par plusieurs processus

Des fichiers



~ Fichiers

- ~ mémoriser des données
- ~ sur disques (ou autres supports « externes »)
- ~ de manière persistante

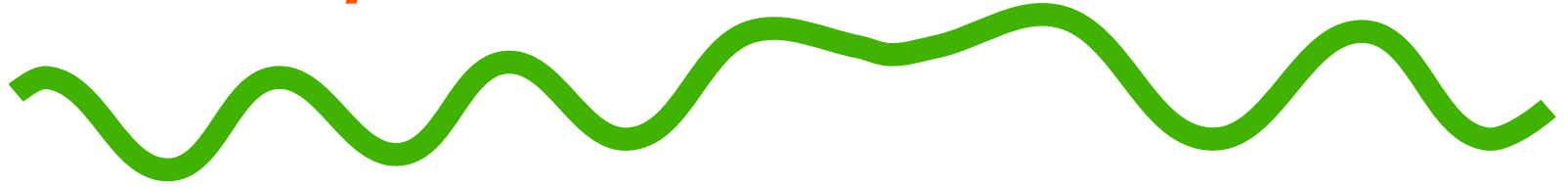
~ Fichier = entité gérée par le système d'exploitation

- ~ structuration, nommage, accès, protection, implantation...
- ~ système de fichiers = partie du système d'exploitation

~ Fichier = mécanisme d'abstraction

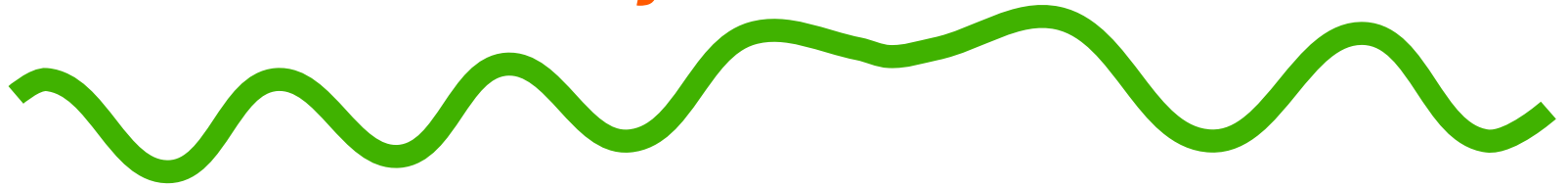
- ~ présentation à l'utilisateur
- ~ implantation des systèmes de fichiers

Des répertoires



- ~ Répertoire = fichier particulier
 - ~ mémorise la structure du système de fichiers
 - ~ opérations contrôlées par le système d'exploitation
- ~ Fichier ordinaire
 - ~ contient les données « utilisateur »

Pluralité des systèmes de fichiers



~ Différents types de systèmes de fichiers

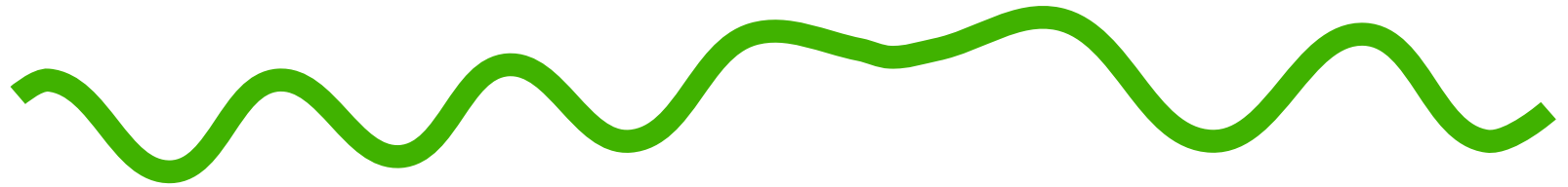
- ~ à l'origine fourni par un système d'exploitation
- ~ exemple : MS-DOS, ufs (Unix), ext2/ext3 (Linux), NTFS (Windows NT), HFS (Mac OS X)...
- ~ fournissent une même abstraction (à première vue...)

~ Découplage système d'exploitation / système de fichiers

- ~ un système Linux peut « monter » un système de fichiers MS-DOS

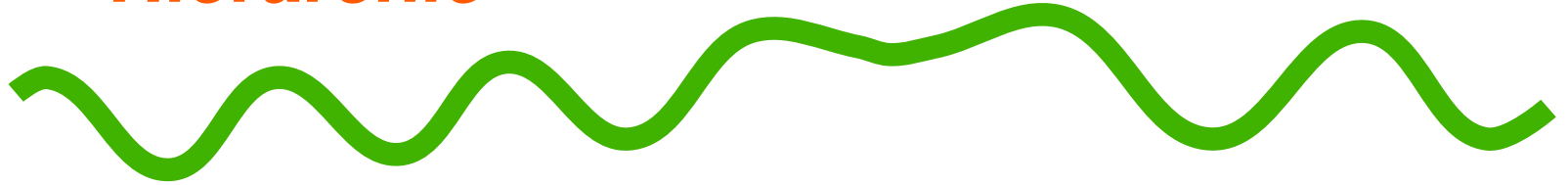
~ Système de fichiers = abstraction d'un disque

- ~ plusieurs disques
- ~ plusieurs systèmes de fichiers !
- ~ éventuellement de types différents !
- ~ vue unifiée des systèmes de fichiers présents = une unique hiérarchie



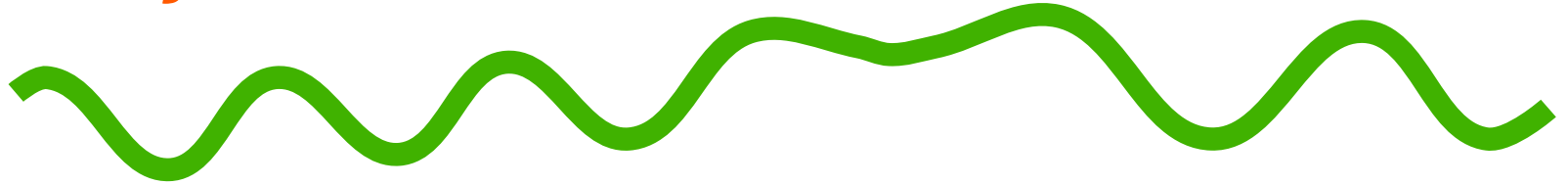
Organisation d'un système de fichiers

Hiérarchie



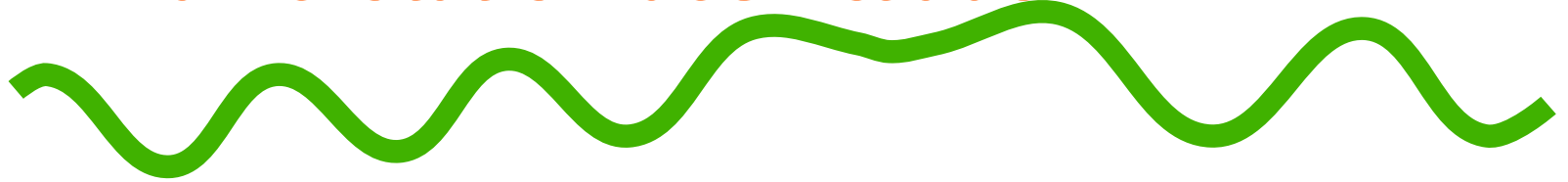
- ~ Système de fichiers présente une hiérarchie
 - ~ répertoire « contient » des fichiers
 - ~ racine du système de fichiers
 - ~ position courante dans la hiérarchie
- ~ Système de fichiers n'est pas une hiérarchie
 - ~ implantation sur la machine est un ensemble de nœuds
 - ~ un nœud = un ensemble de blocs de données
 - ~ détails d'implémentation cachés
- ~ Le programmeur doit savoir que le système de fichiers n'est pas une hiérarchie
 - ~ répertoire contient une liste de noms d'entrées
 - ~ manipulation des liens symboliques
 - ~ manipulation des liens physiques

Systeme de fichiers arborescent



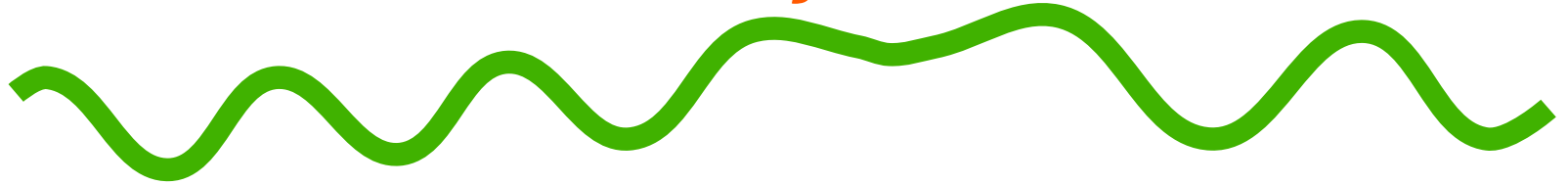
- ~ Le système de fichier est un arbre
 - ~ vue simplificatrice (... sur laquelle on reviendra)
 - ~ arbre = racine + nœuds à un parent unique + arcs
- ~ Racine
 - ~ notée /
 - ~ est son propre parent
- ~ Arcs ou entrées
 - ~ nommés, tous caractères sauf ' \0 ' et ' / '
 - ~ éviter les espaces, les non imprimables, et non ASCII
- ~ Nœuds non terminaux
 - ~ répertoires
 - ~ toujours deux fils : . et . .
 - ~ . désigne le nœud lui-même, . . désigne son père
- ~ Nœud terminaux
 - ~ fichiers standard
 - ~ contiennent des données

Numérotation des nœuds



- ~ Désignation d'un fichier sur le support matériel
 - ~ numéro de périphérique (*device*)
 - ~ numéro d'inœud (*inode*)
- ~ Association d'une numérotation à un nœud
 - ~ lien entre le nommage et le contenu
- ~ Nommages multiples d'un nœud
 - ~ de part les arcs `.` et `..`
 - ~ (entre autres... à suivre)
 - ~ accès au même contenu
 - ~ partage des modifications du contenu

Chemins dans le système de fichiers



~ Système de fichiers arborescent

- ~ nommage non ambigu d'un fichier depuis la racine
- ~ /(racine) nom de l'ascendant / ... / nom du parent / nom du fichier
- ~ caractère / de construction de nom de chemin

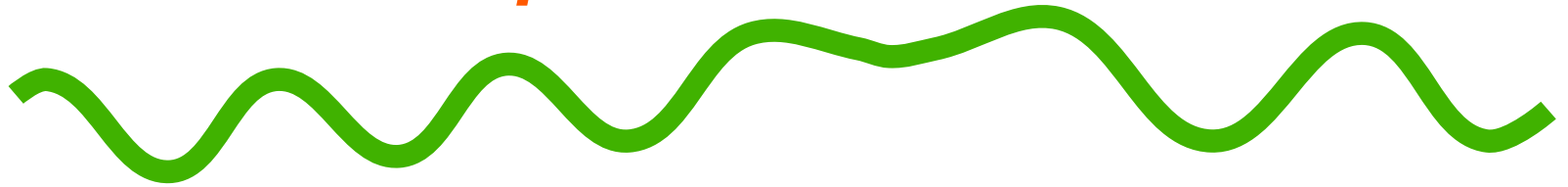
~ Chemin absolu

- ~ interprété depuis la racine
- ~ précédé de / qui désigne la racine
- ~ /home/licence/duchmol/pds/tp1/sc.c

~ Chemin relatif

- ~ position courante dans le système de fichier
- ~ interprété par rapport à cette position
- ~ tp1/sc.c ou ../pdc/projet/Makefile

Liens multiples



Entrées multiples pour un nœud

- ~ plusieurs entrées (arcs)
- ~ d'un même répertoire ou de répertoires différents
- ~ désignent le même nœud

Lien physique

- ~ ensemble des liens désignant un même nœud
- ~ ensemble des chemins désignant un même nœud

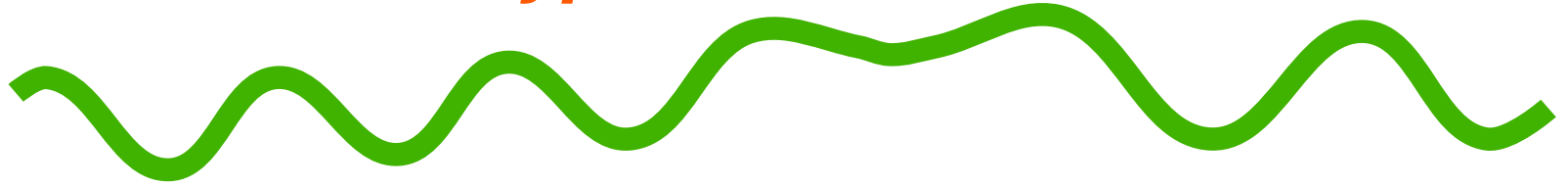
Non autorisé pour les répertoires

- ~ assurer la cohérence de la hiérarchie

Nœud associé à un périphérique

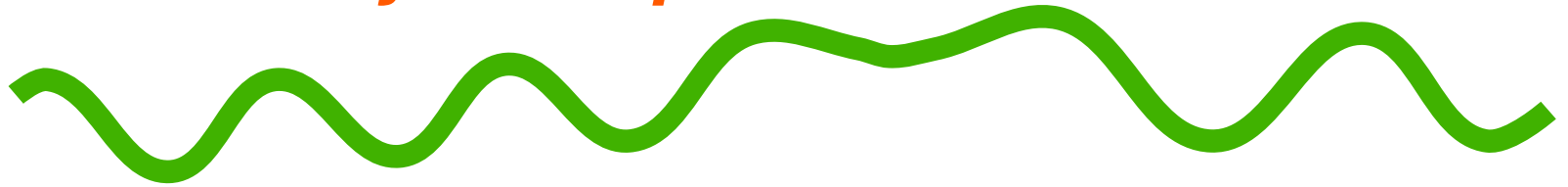
- ~ couple (numéro de périphérique, numéro d'inœud)
- ~ pas de lien physique entre nœuds de périphériques différents

Différents types de fichiers



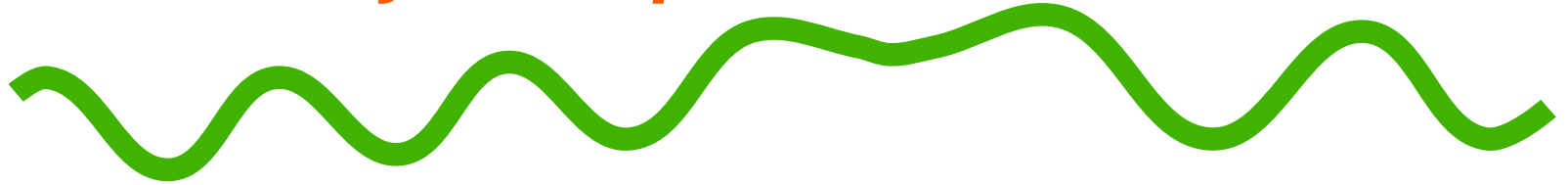
- ~ Fichiers ordinaires
- ~ Répertoires
- ~ Liens symboliques
 - ~ contient un nom de chemin
 - ~ qui désigne un autre nœud
 - ~ (à suivre...)
- ~ Approche Unix = « tout » est fichier
 - ~ tubes nommés, sockets : communications entre processus (à suivre...)
 - ~ fichiers spéciaux associés aux périphériques
 - ~ terminaux, cdrom, imprimantes...
 - ~ une opération sur le fichier = une opération sur le périphérique
 - ~ mode bloc ou caractère
 - ~ utilisation des mêmes primitives

Liens symboliques



- ~ Contient des données = chemin
 - ~ chemin absolu, ou
 - ~ chemin relatif
- ~ Chemin désigné = chemin
 - ~ chemin d'un répertoire, ou
 - ~ chemin d'un fichier ordinaire
- ~ Interprétation du nom
 - ~ le lien symbolique lui-même, ou
 - ~ le fichier qu'il désigne
 - ~ peut dépendre du contexte d'utilisation
 - % `rm symlink`
 - % `cat symlink`

Liens symboliques (cont'd)



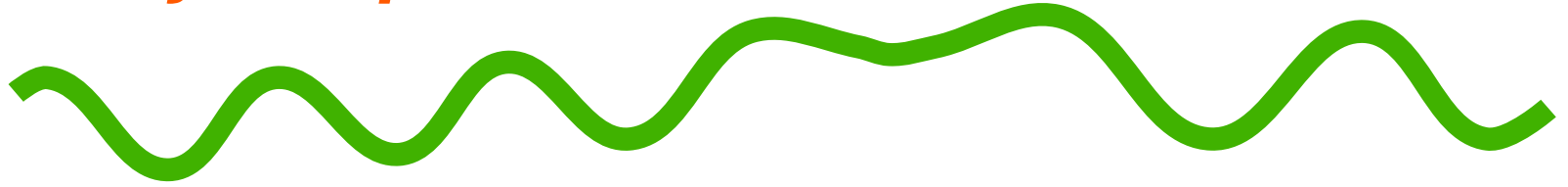
Création par `ln -s`

```
% ls
foo.txt
% cat foo.txt
f000000oooo.....
% ln -s foo.txt bar.txt
% ls
bar.txt  foo.txt
% ls -l
total 16
lrwxr-xr-x  1 phm  phm   7 28 Dec 23:33 bar.txt -> foo.txt
-rw-r--r--  1 phm  phm  17 28 Dec 23:33 foo.txt
% cat bar.txt
f000000oooo.....
```

Lien symbolique pas toujours valide

```
% rm foo.txt
% cat bar.txt
cat: bar.txt: No such file or directory
```

Cycles possibles dans la hiérarchie



~ Structuration des répertoires

~ entrées . et ..

~ Liens symboliques

~ raccourcis

~ mais aussi des cycles

```
% cd /tmp
```

```
% ln -s /tmp foo
```

```
% cd foo/foo/foo
```

```
% pwd
```

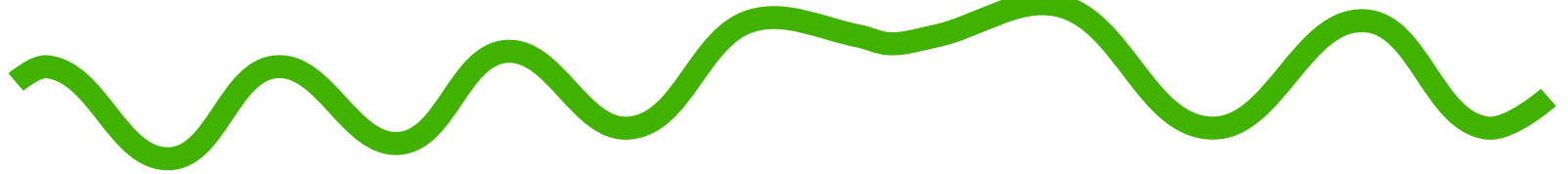
```
/tmp
```

```
% ln -s bar bar
```

```
% cd bar
```

```
bar: Too many levels of symbolic links.
```

Parcours d'une hiérarchie



- ~ Traitement récursif
 - ~ commandes `find`, `du`, etc.
- ~ Type de fichier ?
 - ~ ordinaire \Rightarrow traitement standard
 - ~ répertoire \Rightarrow itérer sur toutes les entrées
 - ~ sauf `.` et `..`
 - ~ lien symbolique \Rightarrow suivre ou pas ?
- ~ Suivre les liens symboliques
 - ~ choix de la commande, ou option
 - ~ mémoriser les nœuds visités, et/ou
 - ~ limiter le nombre maximal de liens symboliques traversés

Montage de systèmes de fichiers



~ Partition

- ~ disque logique
- ~ division d'un disque physique
- ~ périphérique
- ~ disque distant (serveur via réseau)

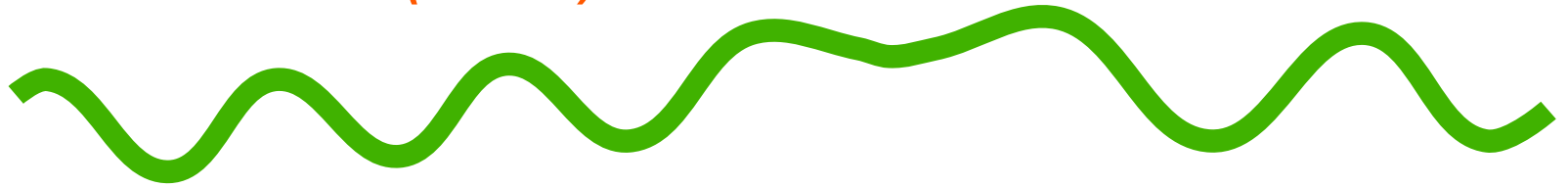
~ Point de montage

- ~ arborescence unique
- ~ ensemble des partitions positionnées dans l'arborescence

~ Commandes `mount` et `df`

```
% mount -t ext3  
/dev/hda1 on / type ext3 (rw,noatime)  
/dev/hda8 on /tmp type ext3 (rw,noatime)  
/dev/hda5 on /usr type ext3 (rw,noatime)  
/dev/hda6 on /var type ext3 (rw,noatime)
```

Montage de systèmes de fichiers (cont'd)

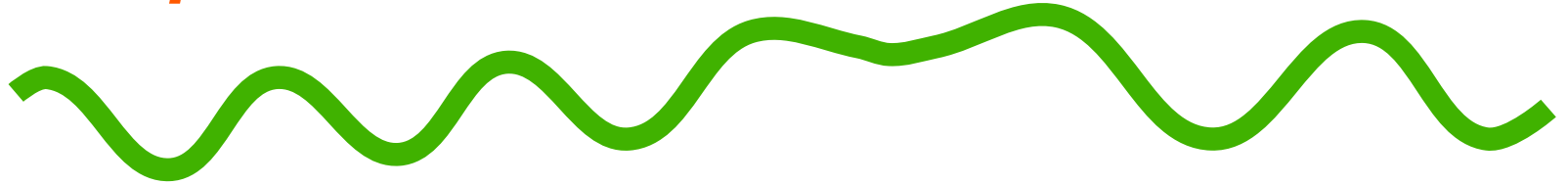


~ Commandes mount et df (suite)

```
% mount -t vfat
/dev/sda1 on /mnt/removable type vfat (rw)
%
% mount -t nfs
molson:/usr/export on /usr1 type nfs (rw,addr=172.16.12.1)
molson:/home/enseign on /home/enseign type nfs (rw,addr=172.16.12.1)
molson:/home/admin on /home/admin type nfs (rw,addr=172.16.12.1)
%
% df -h
```

Filesystem	Size	Used	Avail	Use%	Mounted on
/dev/hda1	291M	97M	180M	35%	/
/dev/hda8	7.1G	80M	6.7G	2%	/tmp
/dev/hda5	8.1G	3.1G	4.6G	41%	/usr
/dev/hda6	2.0G	146M	1.7G	8%	/var
molson:/usr/export	4.5G	2.3G	2.0G	54%	/usr1
molson:/home/enseign	51G	23G	26G	47%	/home/enseign
molson:/home/admin	51G	23G	26G	47%	/home/admin
/dev/sda1	499M	496M	3.2M	99%	/mnt/removable

Opérations sur les fichiers



~ Informations

- ~ numéro périphérique, numéro inœud
- ~ type du fichier, taille...
- ~ dates...
- ~ propriétaire et groupe propriétaire
- ~ droits

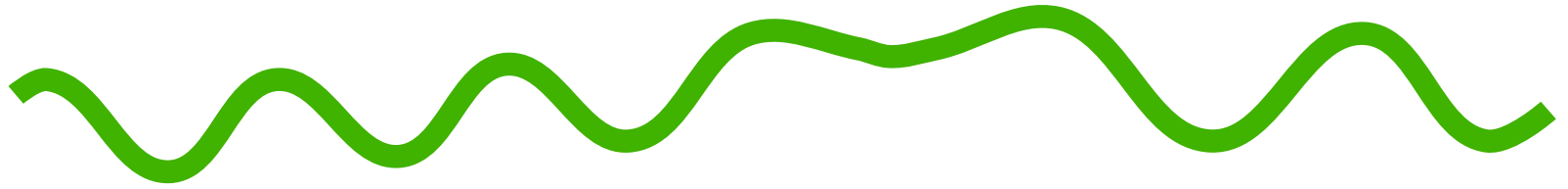
~ Parcours de la hiérarchie

- ~ listage
- ~ déplacement dans la hiérarchie

~ Modification de la hiérarchie

- ~ création, destruction de nœuds
- ~ liens physiques et symboliques

~ Écriture et lecture des données des fichiers ordinaires



Interface POSIX de manipulation d'un système de fichiers

Informations d'un fichier



~ Structure `struct stat`

~ retournée par

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
```

```
int stat(const char *path, struct stat *sb);
int lstat(const char *path, struct stat *sb);
```

~ `stat()` → fichier désigné par un lien symbolique

`lstat()` → le lien lui-même

~ Identification du nœud dans le système

~ partition et inœud

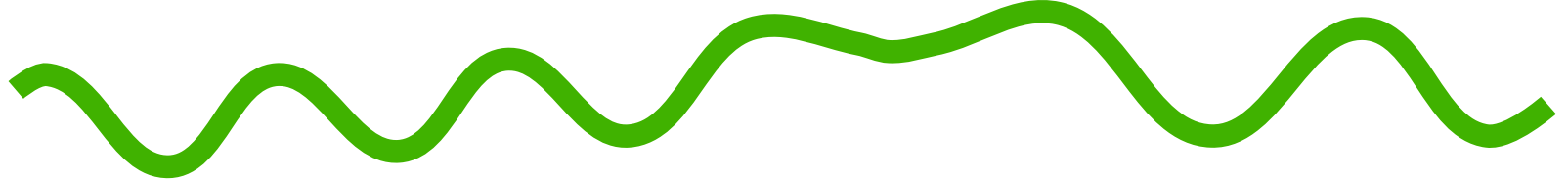
```
struct stat {
    dev_t      st_dev;
    ino_t      st_ino;
```

...

~ nombre de liens physiques sur le fichier

```
struct stat {
    ..
    nlink_t    st_nlink;
    ..
```

Informations d'un fichier (cont'd)



~ Type et droits

- ~ propriétaire, groupe propriétaire, mode

```
struct stat {  
    ...  
    mode_t      st_mode;  
    uid_t       st_uid;  
    gid_t       st_gid;  
    ...
```

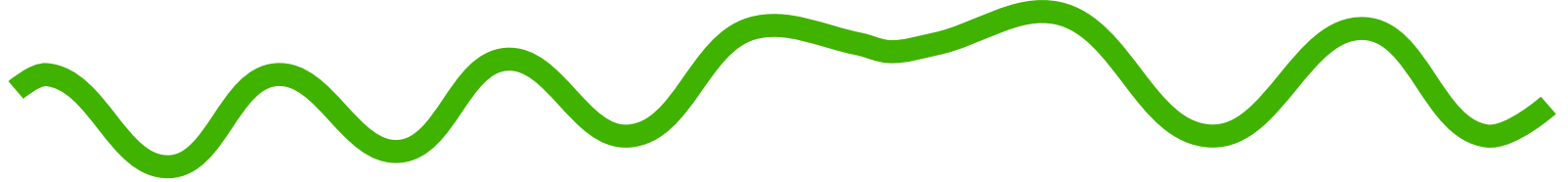
- ~ informations propriétaire

```
#include <pwd.h>
```

```
struct passwd *getpwuid(uid_t uid);
```

```
struct passwd {  
    char    *pw_name;      /* User's login name. */  
    uid_t   pw_uid;       /* Numerical user ID. */  
    gid_t   pw_gid;       /* Numerical group ID. */  
    char    *pw_dir;      /* Initial working directory. */  
    char    *pw_shell;    /* Program to use as shell. */  
}
```

Informations d'un fichier (cont'd)



~ Type et droits (suite)

- ~ type du fichier = utilisation de macros sur la champ `st_mode`
 - S_ISREG (m)** Fichier ordinaire
 - S_ISDIR (m)** Répertoire
 - S_ISLNK (m)** Lien symbolique
 - S_ISFIFO (m)**, **S_ISBLK (m)**, **S_ISCHR (m)**, **S_ISSOCK (m)** etc.
- ~ droits du propriétaire = positions binaires `S_IRWXU`
 - S_IRUSR** lecture
 - S_IWUSR** écriture
 - S_IXUSR** exécution
- ~ droits du groupe et des autres

Informations d'un fichier (cont'd)

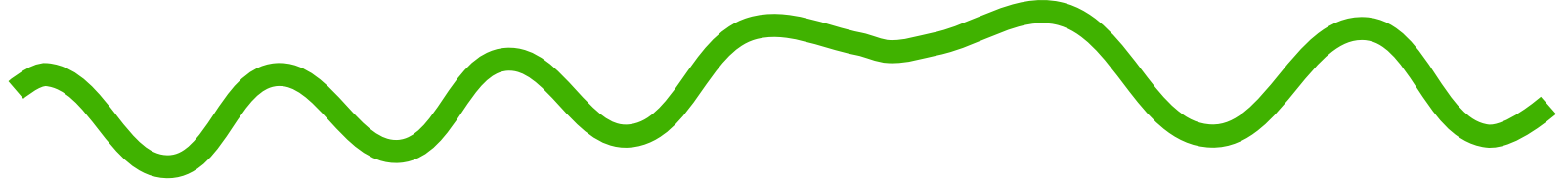


```
struct stat sb;
int status;

status = stat(pathname, &sb);
if (status) {
    perror("appel de stat");
    return;
}
if (S_ISREG(sb.st_mode)) {
    printf("Fichier ordinaire");
    if (sb.st_mode & S_IXUSR)
        printf(", executable par son proprietaire");
}
}
```

```
% ls -l foo.txt bar
drwxr-xr-x  2 root  wheel  4 29 Dec 00:04 bar
-rw-r--r--  1 root  wheel  4 29 Dec 00:04 foo.txt
```

Informations d'un fichier (cont'd)



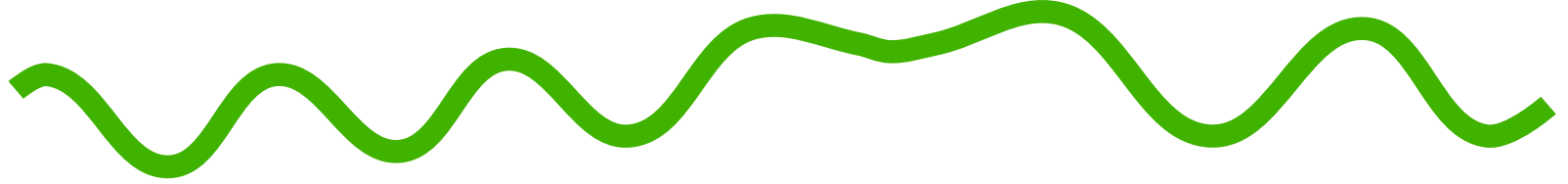
~ Taille

- ~ longueur en octets et place occupée sur le disque

```
struct stat {  
    ...  
    off_t      st_size;  
    blkcnt_t   st_blocks;  
    ...  
}
```

- ~ peuvent ne pas correspondre
 - ~ allocation unitaire de blocs
 - ~ non allocation de blocs non utilisés (fichiers creux, à suivre...)
- ~ lien symbolique : longueur du chemin pointé par le lien

Informations d'un fichier (cont'd)



~ Dates de modifications

- ~ dernier accès (a)
- ~ dernière modification du contenu (m)
- ~ dernière modification du contenu ou des méta-données (propriétaire...) (c)

```
struct stat {  
    ...  
    time_t      st_atime;  
    time_t      st_mtime;  
    time_t      st_ctime  
    ...  
};
```

- ~ en secondes depuis l'« Epoch », 1er janvier 1970
- ~ conversion en une chaîne de caractères pour affichage par

```
#include <time.h>
```

```
char *ctime(const time_t *time);
```

Droits d'accès



~ Vérification du droit d'accès à un fichier

~ #include <unistd.h>

```
int access(const char *path, int amode);
```

~ droit défini par une combinaison « ou » des macros R_OK, W_OK, X_OK, et F_OK

~ exemple:

```
if (! access(pathname, X_OK))  
    printf("Fichier exécutable\n");
```

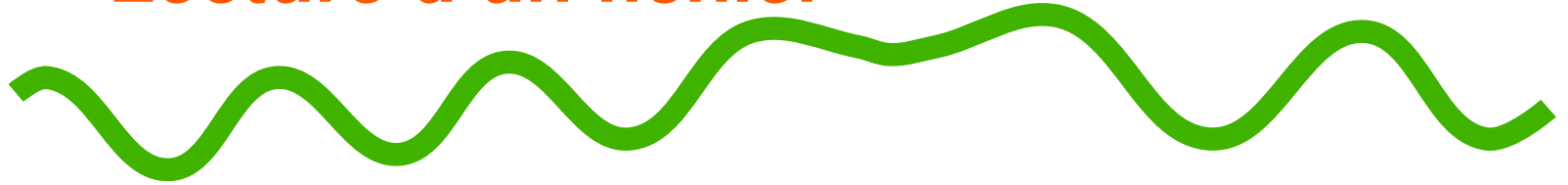
~ Positionner les droits d'un fichier

~ #include <sys/stat.h>

```
int chmod(const char *path, mode_t mode);
```

~ spécification de mode sous forme d'un masque binaire (S_IRUSR, S_IWUSR, S_IXUSR, etc.)

Lecture d'un fichier



~ Lire un fichier ?

- ~ type du fichier

~ Fichier ordinaire

- ~ accéder aux données

~ Répertoire

- ~ accéder à la liste des entrées

~ Lien symbolique

- ~ pointe sur un fichier ordinaire : accéder aux données
- ~ pointe sur un répertoire : accéder à la liste des entrées
- ~ accéder au nom du fichier pointé

~ Fichier spécial

- ~ accéder aux données d'un périphérique
- ~ identique à l'accès à un fichier ordinaire
- ~ des limitations possibles
- ~ des opérations spécifiques possibles

Parcours des répertoires



~ Contenu d'un répertoire = liste de liens

~ itération de la liste

~ Descripteur de répertoire

~ ouverture et fermeture

```
#include <dirent.h>
```

```
DIR *opendir(const char *dirname);  
int closedir(DIR *dirp);
```

~ Itération sur les entrées du répertoire

~ obtenir les informations d'une entrée :

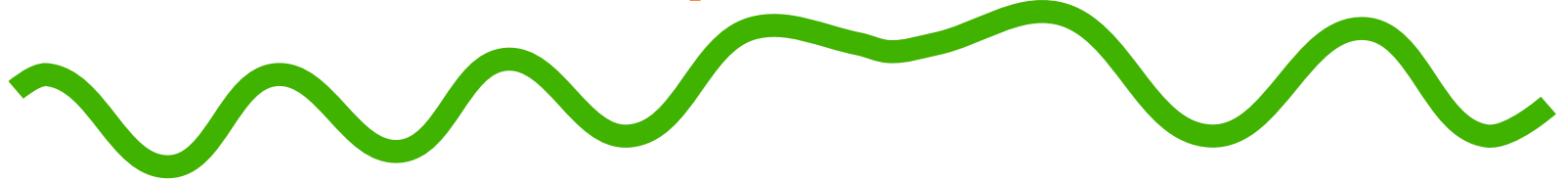
```
#include <dirent.h>
```

```
struct dirent *readdir(DIR *dirp);
```

~ numéro d'inœud et nom :

```
struct dirent {  
    ino_t d_ino;  
    char d_name[];
```

Parcours des répertoires (cont'd)



~ Exemple : recherche dans le répertoire courant

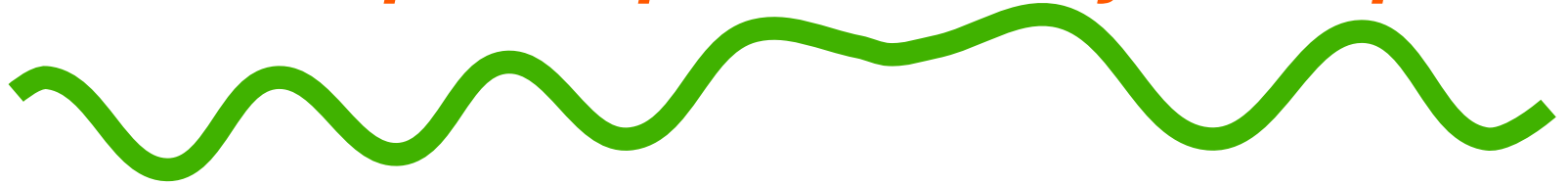
```
static int
lookup(const char *name)
{
    DIR *dirp;
    struct dirent *dp;

    if ((dirp = opendir(".")) == NULL) {
        perror("couldn't open '.'");
        return 0;
    }

    while ((dp = readdir(dirp))) {
        if (! strcmp(dp->d_name, name)) {
            printf("found %s\n", name);
            closedir(dirp);
            return 1;
        }
    }

    if (errno != 0)
        perror("error reading directory");
    else
        printf("failed to find %s\n", name);
    closedir(dirp);
    return 0;
}
```

Fichier pointé par un lien symbolique



~ Lire le contenu d'un lien

- ~ le chemin du fichier pointée

```
#include <unistd.h>
```

```
ssize_t readlink(const char *path, char *buf, size_t bufsize);
```

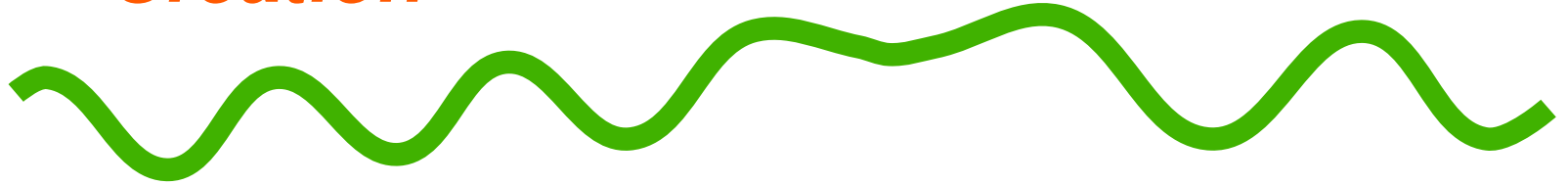
- ~ retourne le nombre de caractères du chemin
-1 en cas d'erreur

~ Utilisation typique

```
char buf[PATH_MAX+1];  
ssize_t len;
```

```
if ((len = readlink(path, buf, PATH_MAX)) != -1)  
    buf[len] = '\0';  
else  
    perror("error reading symlink");
```

Création

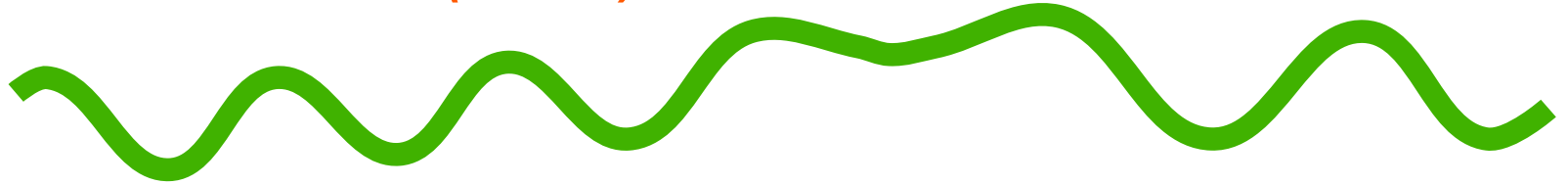


- ~ Créer une entrée dans un répertoire
 - ~ répertoire existant
 - ~ sinon le créer préalablement → itération
 - ~ nécessite le droit d'écriture sur le répertoire
- ~ Masque des droits
 - ~ variable système `umask` du processus
 - ~ modifiée par

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

```
mode_t umask(mode_t cmask);
```
 - ~ qui retourne l'ancien masque
 - ~ paramètre `mode` d'une primitive de création
 - ~ droits de l'entrée créée = `mode & ~umask`

Création (cont'd)



Créer un répertoire

primitive

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

```
int mkdir(const char *path, mode_t mode);
```

exemple

```
int status;
```

```
status = mkdir("/tmp/dir", S_IRWXU | S_IRWXG | S_IROTH | S_IXOTH)
```

résultat

```
% mmkdir
```

```
% ls -ld /tmp/dir
```

```
drwxr-xr-x  1 phm  phm  4 29 Dec 00:32 /tmp/dir
```

```
% umask
```

```
022
```

```
% umask 002
```

```
% rmdir /tmp/dir
```

```
% mmkdir
```

```
% ls -ld /tmp/dir
```

```
drwxrwxr-x  1 phm  phm  4 29 Dec 00:34 /tmp/dir
```

Création (cont'd)



~ Créer un lien physique (dur)

~ `#include <unistd.h>`

```
int link(const char *old, const char *new);
```

~ `old` doit exister, ne pas être un répertoire

~ `new` ne doit pas exister

~ Créer un lien symbolique

~ `#include <unistd.h>`

```
int symlink(const char *name, const char *new);
```

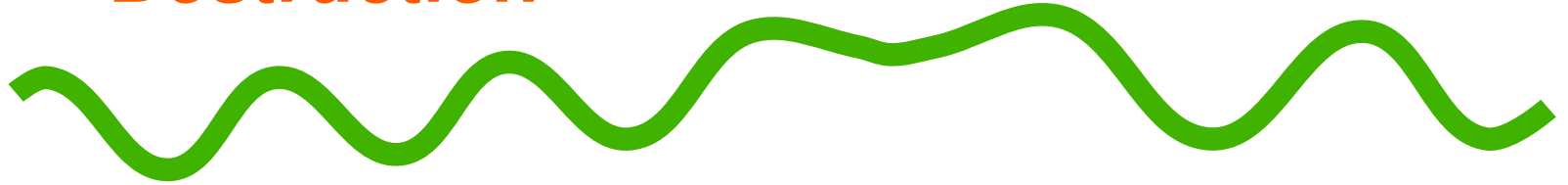
~ `name` peut exister ou non

~ `new` ne doit pas exister

~ Créer un fichier

~ à suivre...

Destruction



~ Destruction d'un nœud

- ~ supprimer une entrée dans la hiérarchie
- ~ supprimer l'inœud si dernière entrée
- ~ implémentation : compteur de références sur un inœud

~ Détruire un répertoire

- ~ `#include <unistd.h>`

```
int rmdir(const char *path);
```

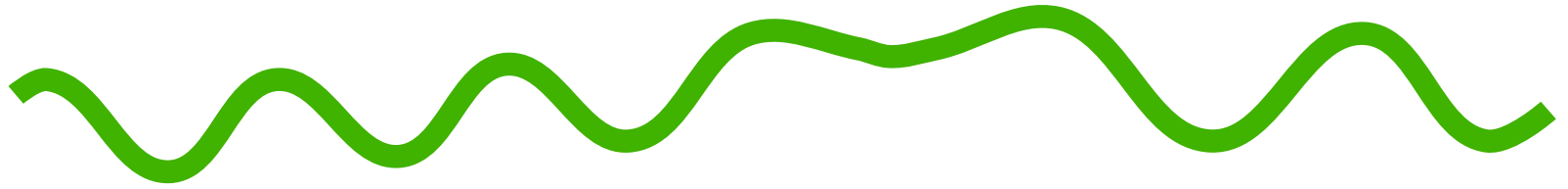
- ~ doit être vide

~ Détruire un fichier

- ~ `#include <unistd.h>`

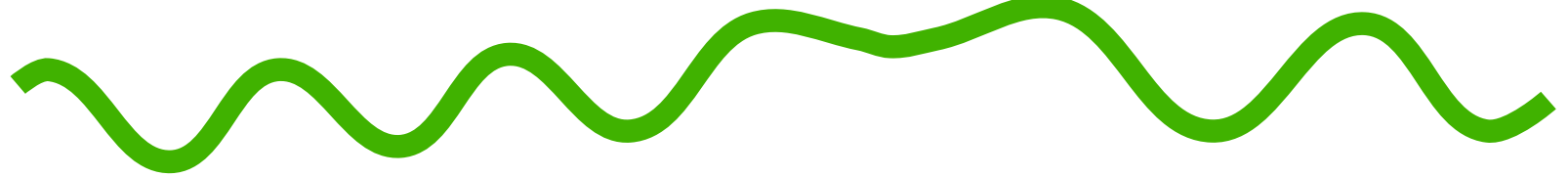
```
int unlink(const char *path);
```

- ~ fichier ordinaire, ou lien symbolique...



Interface POSIX de lecture/écriture dans un fichier

Lire / écrire dans un fichier



~ Fichiers ordinaires

- ~ suite d'octets (caractères)
- ~ taille quelconque
- ~ accès par

```
ouverture ;  
while () {  
    lectures/écritures ;  
}  
fermeture ;
```

- ~ curseur : position courante

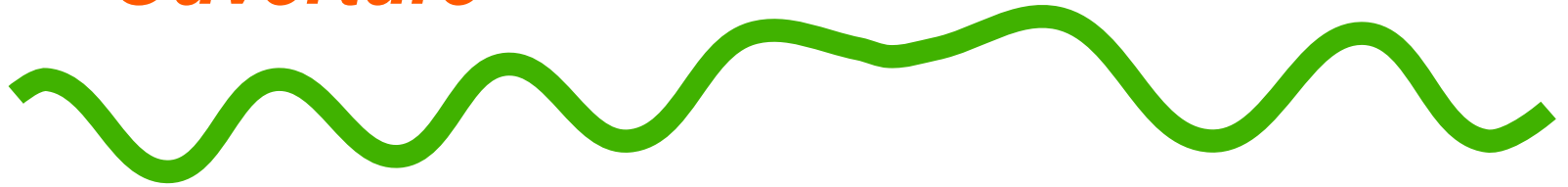
~ Descripteur de fichier

- ~ référence sur un fichier ouvert

~ Bonne pratique

- ~ la fonction qui ouvre un fichier le referme
- ~ ou couple : ouverture/fermeture
- ~ toujours refermer

Ouverture



~ Ouvrir un fichier

- ~ obtenir un descripteur de fichier

```
#include <fcntl.h>
```

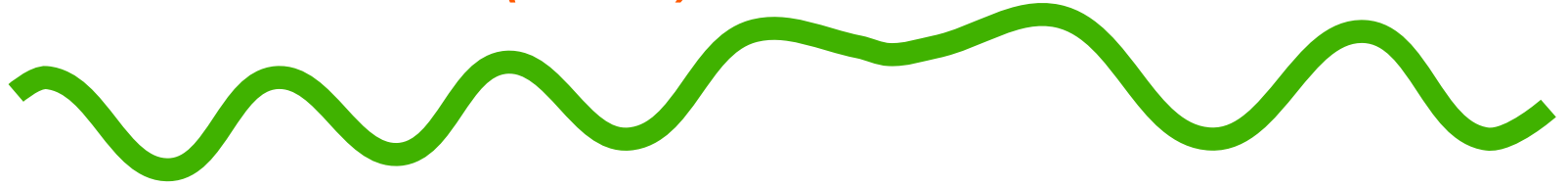
```
int open(const char *path, int oflag, ... );
```

- ~ position au début du fichier
- ~ différents mode d'accès et options précisés par `oflag`

~ Mode d'accès

- ~ exactement un parmi les suivants
- ~ lecture seule : `O_RDONLY`
- ~ écriture seule : `O_WRONLY`, ou
- ~ lecture/écriture : `O_RDWR`

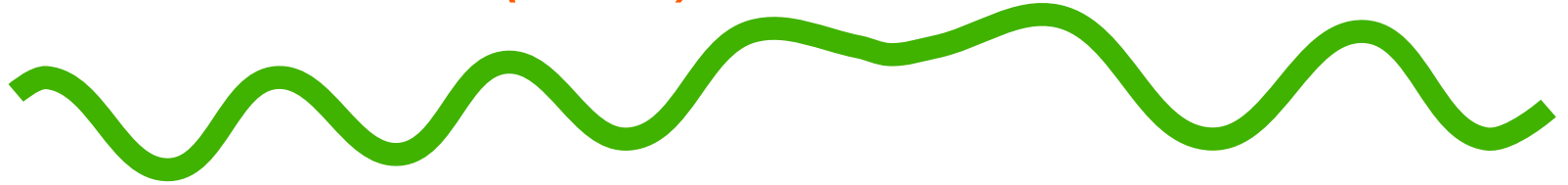
Ouverture (cont'd)



Options d'accès

- ~ aucun, un ou plusieurs parmi les suivants
- ~ `O_APPEND` : mode ajout
- ~ `O_CREAT` création du fichier s'il n'existe pas
 - ~ 3e paramètre de type `mode_t`
- ~ `O_EXCL` et `O_CREAT` : échec si le fichier existe déjà
- ~ `O_TRUNC` (et `O_WRONLY` ou `O_RDWR`) si le fichier existe, le tronquer à zéro
- ~ `O_NONBLOCK`, `O_DSYNC`, `O_RSYNC`, `O_SYNC` à suivre...

Ouverture (cont'd)



Utilisations typiques

- lecture d'un fichier (que l'on veut) existant

```
int fd = open(path, O_RDONLY);
if (fd == -1) {
    perror("ouverture du fichier");
}
```

- création d'un fichier (et troncature si existant)

```
open(path, O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC,
      S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IWGRP | S_IROTH | S_IWOTH);
```

ou

```
open(path, O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC, 0666);
```

- pour un fichier exécutable

```
open(path, O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC,
      S_IRWXU | S_IRWXG | S_IRWXO);
```

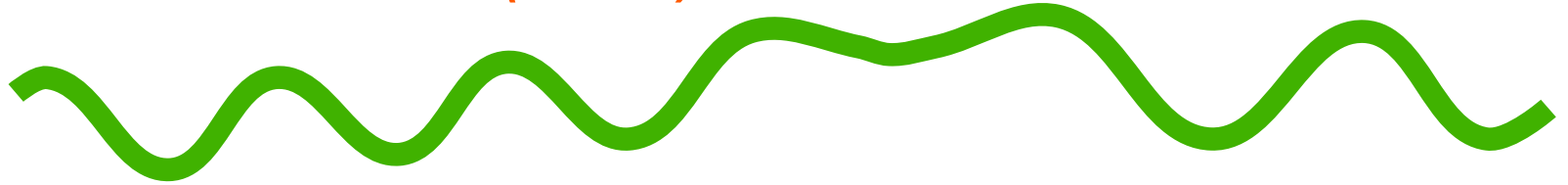
ou

```
open(path, O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC, 0777);
```

- ajout à un fichier existant

```
open(path, O_WRONLY | O_APPEND | O_CREAT,
      S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IWGRP | S_IROTH | S_IWOTH);
```

Ouverture (cont'd)



Utilisations concurrentes

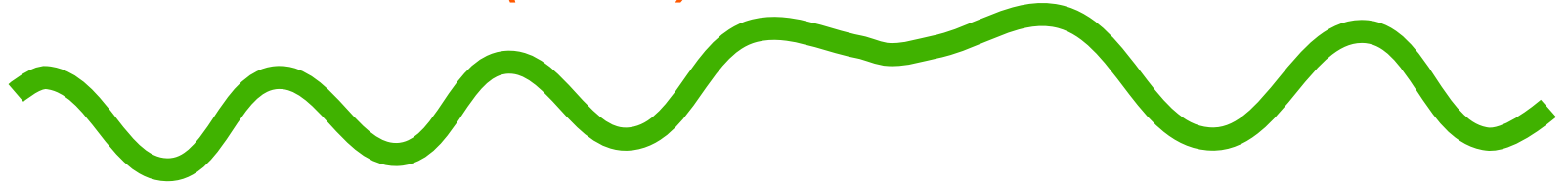
- ~ accès exclusif par un processus à un fichier
→ assurer cette exclusivité
- ~ accès partagés
→ assurer une cohérence des écritures

Accès exclusif

- ~ accès exclusif en écriture

```
open(path, O_WRONLY | O_EXCL | O_CREAT,  
      S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IWGRP | S_IROTH | S_IWOTH);
```
- ~ échec si le fichier existe déjà
- ~ succès pour unique processus
- ~ le fichier peut servir de verrou
 - ~ le processus propriétaire du verrou réalise une commande de manière exclusive et atomique
 - ~ il rend le verrou en détruisant le fichier par `unlink()`
- ~ exemple : accès quelconque à un autre fichier...

Ouverture (cont'd)



~ Accès exclusif quelconque à un fichier

~ accès gardé par un fichier verrou

```
char *filename = "...";
char lockfile[PATH_MAX+1];
int lock, fd;

sprintf(lockfile, "%s.lock", filename);

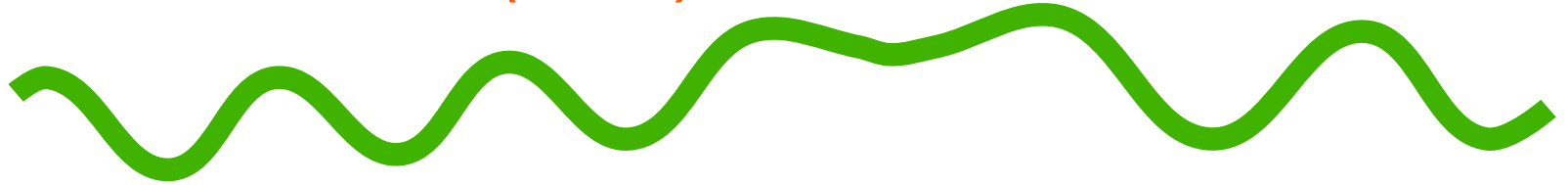
/* acquisition du verrou */
lock = open(lockfile, O_WRONLY | O_EXCL | O_CREAT,
            S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IWGRP | S_IROTH | S_IWOTH);
if (lock == -1) {
    printf("occupe, essayez plus tard\n");
    return;
}

/* ouverture non concurrente de filename */
fd = open(filename, O_RDWR | O_CREAT,
          S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IWGRP | S_IROTH | S_IWOTH);

/* utilisation de fd */
...

/* fermeture du fichier et destruction du verrou */
close(fd);
unlink(lockfile);
```

Ouverture (cont'd)



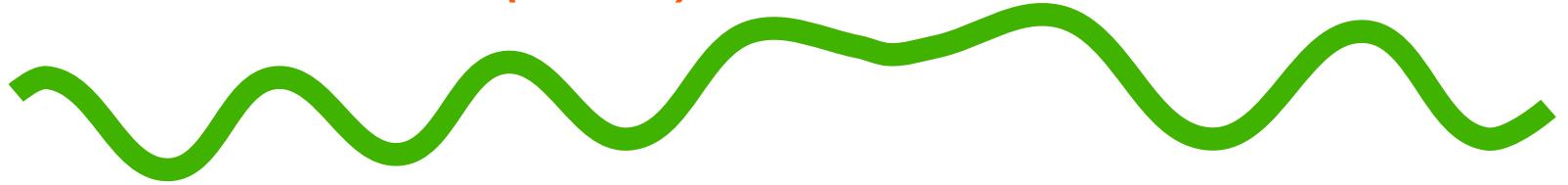
~ Accès multiples en écriture

- ~ ouverture simultanée, en ajout par plusieurs processus

```
open(path, O_WRONLY | O_APPEND | O_CREAT,  
       S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IWGRP | S_IROTH | S_IWOTH);
```

- ~ multiples écritures par de multiples processus
- ~ les écritures se font toujours en fin de fichier
- ~ pas de perte de données

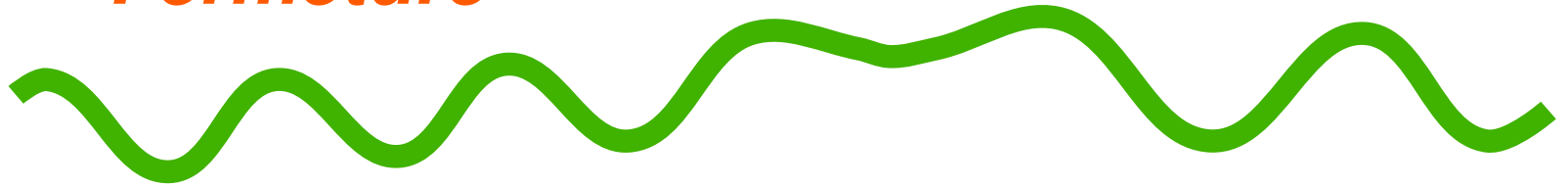
Ouverture (cont'd)



~ Ouverture à la création du processus

- ~ réalisée automatiquement par le système
- ~ entrées/sorties standard
- ~ descripteur `STDIN_FILENO` (0) : entrée standard
- ~ descripteur `STDOUT_FILENO` (1) : sortie standard
- ~ descripteur `STDERR_FILENO` (2) : sortie d'erreur

Fermeture

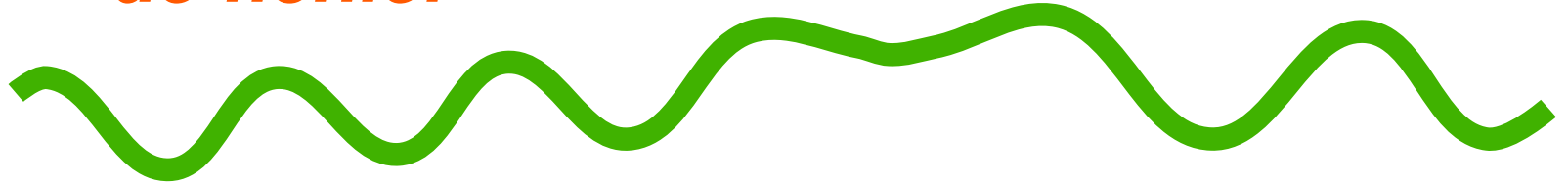


~ Nécessité de fermer un descripteur après utilisation

- ~ libération de ressources
- ~ nombre maximal de fichiers ouverts
- ~ `#include <unistd.h>`

```
int close(int fd);
```

Opérations à partir d'un descripteur de fichier



~ Lecture/écriture

~ à suivre...

~ Quelques « f fonctions »

~ informations

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
```

```
int stat(const char *path, struct stat sb);
int lstat(const char *path, struct stat sb);
int fstat(int fd, struct stat sb);
```

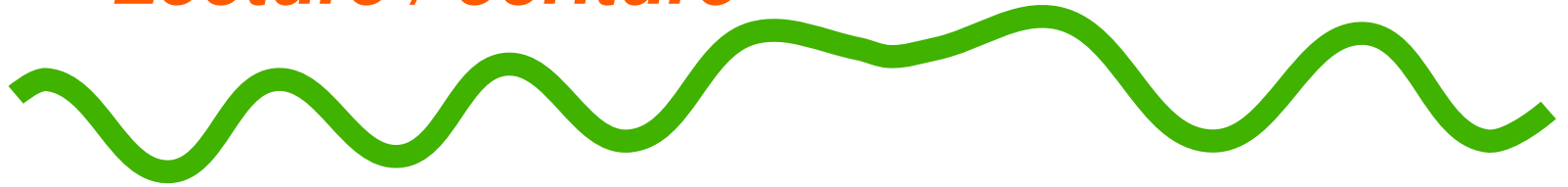
~ changement des droits

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

```
int chmod(const char *path, mode_t mode);
int fchmod(int fd, mode_t mode);
```

~ etc.

Lecture / écriture



Transfert de/vers le fichier d'une zone mémoire

- ~ #include <unistd.h>

```
ssize_t read(int fd, void *buf, size_t nbyte);  
ssize_t write(int fd, const void *buf, size_t nbyte);
```

- ~ fichier : descripteur ouvert `fd`
- ~ taille transfert : `nbyte`
- ~ zone mémoire : `buf`, assez grande !

Retourne nombre d'octets lus/écrits

- ~ normalement `nbyte`
- ~ inférieur à `nbyte` en lecture à l'approche de la fin de fichier
- ~ 0 en cas de lecture en fin de fichier
- ~ (-1 en cas d'erreur)

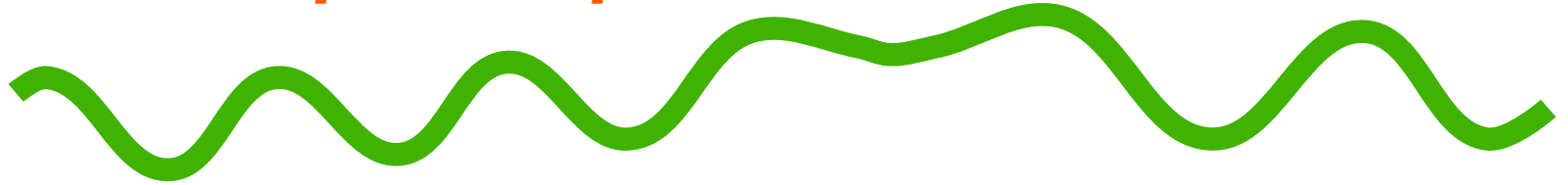
Déplace la position courante

- ~ du nombre d'octets effectivement lus/écrits

Fichier de taille arbitraire

- ~ fichier grandit si écriture au delà de la fin de fichier

Exemple : copie de fichier



mcp1.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/stat.h>

#define BUFSIZE 4096

static void
copy_file(const char *src, const char *dst)
{
    int fdsrc, fddst;
    char buffer[BUFSIZE];
    int nchar;

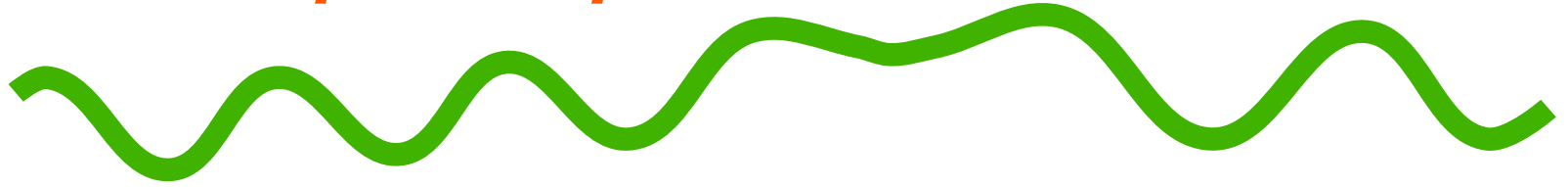
    fdsrc = open(src, O_RDONLY);
    fddst = open(dst, O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC,
                S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IWGRP | S_IROTH | S_IWOTH);

    while ((nchar = read(fdsrc, buffer, BUFSIZE))) {
        write(fddst, buffer, nchar);
    }

    close(fdsrc);
    close(fddst);
}
```

 problème ?

Exemple : copie de fichier (cont'd)

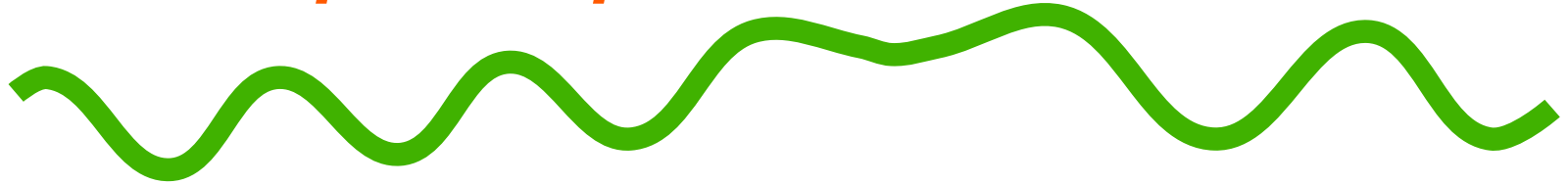


```
% ./mcpl foo gee
% diff foo gee
% ls -li foo gee
 807930 -rw-r--r--    2 phm    phm    38 29 Dec 01:09 foo
 807933 -rw-r--r--    2 phm    phm    38 29 Dec 01:10 gee

% ln foo bar
% ls -li foo bar
 807930 -rw-r--r--    2 phm    phm    38 29 Dec 01:09 bar
 807930 -rw-r--r--    2 phm    phm    38 29 Dec 01:09 foo

% ./mcpl foo bar
% diff foo bar
% ls -li foo bar
 807930 -rw-r--r--    2 phm    phm     0 29 Dec 01:11 bar
 807930 -rw-r--r--    2 phm    phm     0 29 Dec 01:11 foo
```

Exemple : copie de fichier (cont'd)



mcp2.c

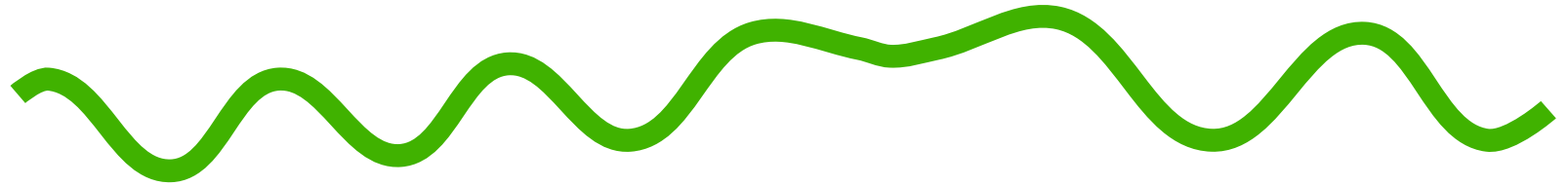
```
static void
copy_file(const char *src, const char *dst)
{
    struct stat stsrc, stdst;
    int fdsrc, fddst;
    char buffer[BUFSIZE];
    int nchar;

    lstat(src, &stsrc);
    lstat(dst, &stdst);

    if (stsrc.st_ino == stdst.st_ino && stsrc.st_dev == stdst.st_dev) {
        fprintf(stderr, "%s et %s sont le meme fichier\n", src, dst);
        return;
    }

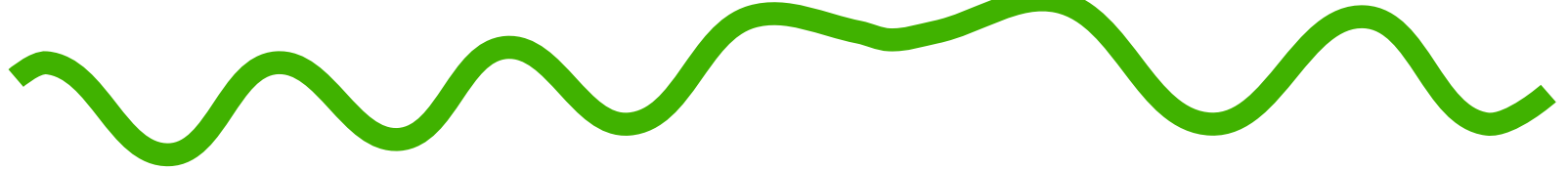
    fdsrc = open(src, O_RDONLY);
    fddst = open(dst, O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC,
                S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IWGRP | S_IROTH | S_IWOTH);
    ...
}
```

exercice : ajouter les traitements des erreurs...



Interface POSIX : opérations avancées

Lecture / écriture indirecte



~ Lecture/écriture de zones mémoire non contiguës

- ~ notion de vecteur d'entrées/sorties (*I/O vector*)
- ~ peut éviter une copie mémoire
- ~ peut factoriser des appels systèmes
- ~ `#include <sys/uio.h>`

```
struct iovec {
    void    *iov_base; /* Base address of a memory region for
                       input or output. */
    size_t  iov_len;  /* The size of the memory pointed to
                       by iov_base. */
};
```

```
ssize_t readv(int fd, const struct iovec *iov, int iovcnt);
ssize_t writev(int fd, const struct iovec *iov, int iovcnt);
```


Lecture / écriture indirecte (cont'd)



printenv-iov.c

```
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <assert.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/uio.h>

int
main (int argc, char *argv[], char **arge)
{
    struct iovec *iov;
    int argl, i;

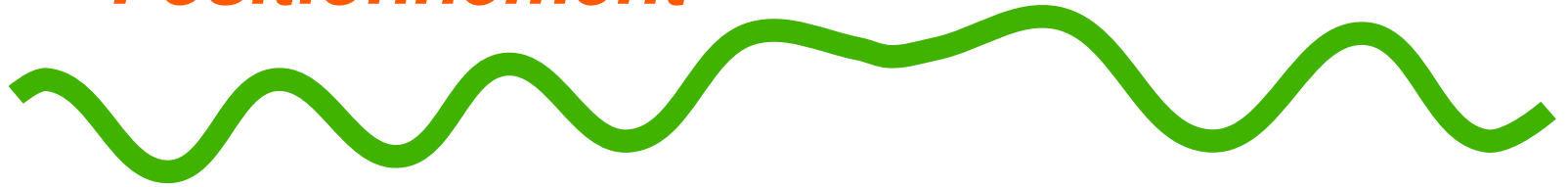
    /* number of strings in arge */
    for (argl=0; arge[argl]; argl++)
        ;

    /* iovec creation */
    iov = malloc(argl * sizeof(struct iovec));
    assert(iov);

    for (i=0; i<argl; i++) {
        iov[i].iov_base = arge[i];
        iov[i].iov_len = strlen(arge[i]);
    }

    writev(STDOUT_FILENO, iov, argl);
    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Positionnement



~ Déplacer la position courante

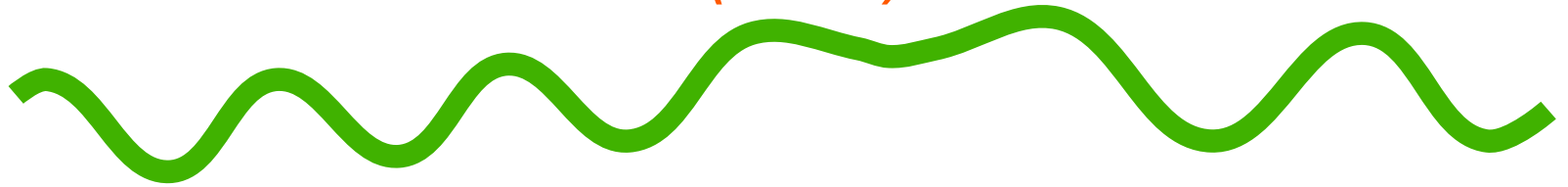
- ~ écritures/lectures se font à la position courante
- ~ écritures/lectures modifient la position courante
- ~ modification « explicite » de cette position courante

```
#include <unistd.h>
```

```
off_t lseek(int fd, off_t offset, int whence);
```

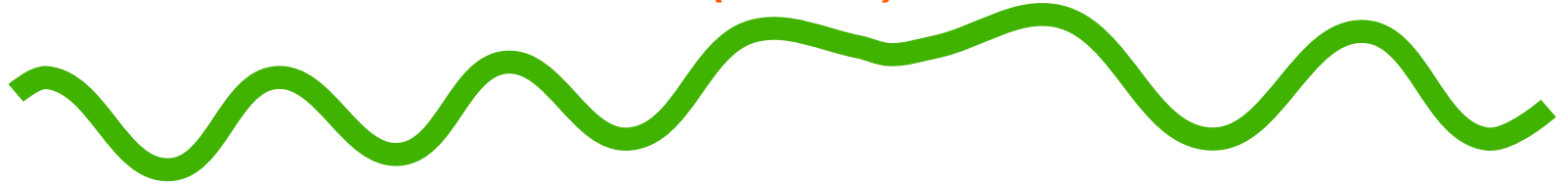
- ~ déplacement de `offset` octets
- ~ `offset` peut être négatif
- ~ suivant `whence`, à partir de
 - ~ la position courante `SEEK_CUR`
 - ~ le début de fichier (a/c 0) `SEEK_SET`
 - ~ la fin de fichier `SEEK_END`
- ~ retourne la nouvelle position absolue

Positionnement (cont'd)



- ~ Positionnement parfois impossible / interdit
 - ~ fichiers/périphériques sans capacité de positionnement
 - ~ tubes, terminaux...
 - ~ retourne erreur (-1) ; positionne `errno` (ESPIPE)

Positionnement (cont'd)



skable.c

```
int
main (int argc, char *argv[])
{
    int status;

    status = lseek(STDIN_FILENO, 0, SEEK_SET);

    if (status == -1) {
        fprintf(stderr, "Non seekable file\n");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

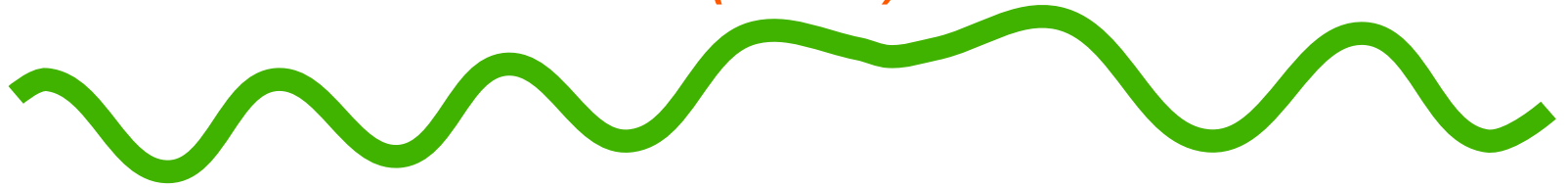
    fprintf(stderr, "Seekable file \n");
    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
% ./skable
Seekable file
```

```
% ./skable < /etc/passwd
Seekable file
```

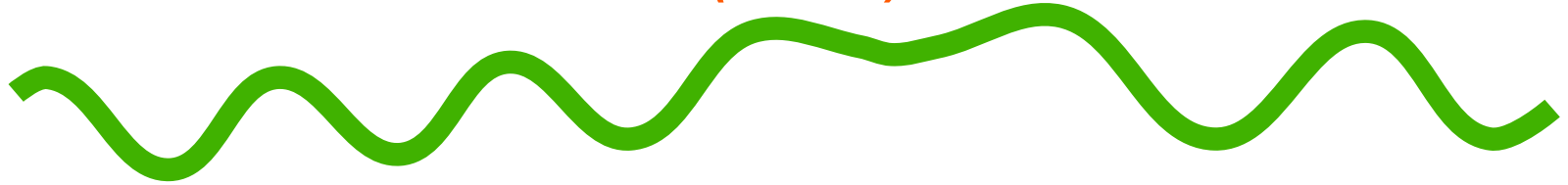
```
% cat /etc/passwd | ./skable
Non seekable file
```

Positionnement (cont'd)



- ~ Positionnement possible au delà de la fin de fichier
 - ~ ne change pas la taille
 - ~ écriture à cette position changera la taille
 - ~ trou laissé entre l'ancienne fin de fichier et cette position : plein de zéro
 - ~ fichier « creux »

Positionnement (cont'd)



```
#define NZ      32768 hole.c

static char bufa[] = "abcdef";
static char bufb[] = "xyz";

static void
create_file(const char *pathname)
{
    int fd, i;
    const int zero = 0;

    fd = open(pathname, O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC,
              S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IWGRP | S_IROTH | S_IWOTH);

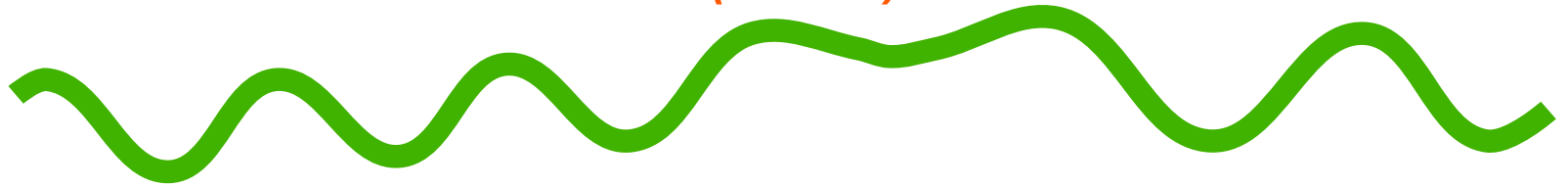
    write(fd, bufa, sizeof(bufa));

    switch (option) {
        case OPT_SEEK:
            lseek(fd, NZ, SEEK_SET); break;
        case OPT_WRITE_ZEROES:
            for (i=sizeof(bufa); i<NZ; i++)
                write(fd, &zero, 1);
            break;
    }

    write(fd, bufb, sizeof(bufb));

    close(fd);
}
```

Positionnement (cont'd)



```
% ./hole -w foo-w
% ./hole -s foo-s
% od -c foo-s
0000000  a  b  c  d  e  f  \0  \0  \0  \0  \0  \0  \0  \0  \0  \0
0000020  \0 \0 \0 \0 \0 \0 \0 \0 \0 \0 \0 \0 \0 \0 \0 \0
*
0100000  x  y  z  \0
0100004
% diff foo-w foo-s
% ls -l foo-*
-rw-r--r--  1 phm      phm      32772 Dec 30 02:36 foo-s
-rw-r--r--  1 phm      phm      32772 Dec 30 02:36 foo-w
% du -b foo-*
32772      foo-s
32772      foo-w
% du foo-*
8          foo-s
36         foo-w
```

Lecture / écriture indexée



~ Pas d'utilisation de la notion de position courante

~ lecture/écriture à une position donnée

~ ne modifie pas la position courante

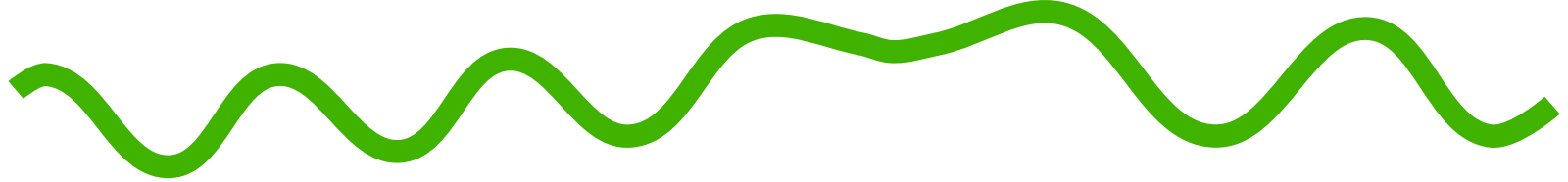
~ prototypes et sémantiques équivalents à `write()` et `read()`

```
ssize_t pwrite(int fildes, const void *buf, size_t nbyte,  
               off_t offset);
```

```
ssize_t pread(int fildes, void *buf, size_t nbyte,  
              off_t offset);
```

paramètre `offset` supplémentaire : position absolue / début du fichier

Lecture / écriture indexée (cont'd)



```
#define SIZEOF_PNGINT 4

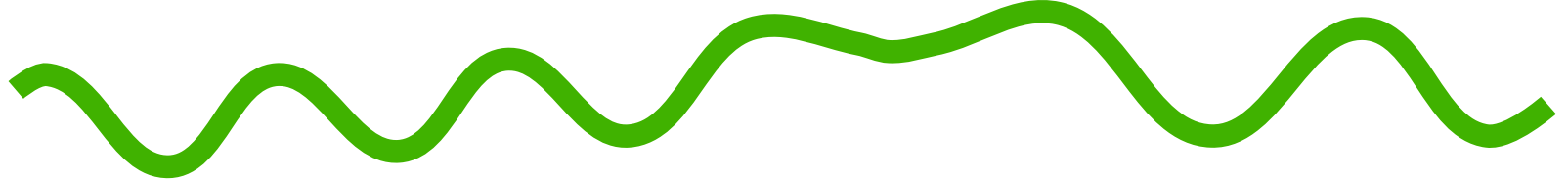
static int
png_write_sizes(int fd, png_int x, png_int y)
{
    ssize_t lx, ly;

    lx = pwrite(fd, &x, SIZEOF_PNGINT, 16);
    ly = pwrite(fd, &y, SIZEOF_PNGINT, 20);

    return (lx == SIZEOF_PNGINT) && (ly == SIZEOF_PNGINT);
}
```

```
% cat /usr/share/file/magic
[...]
# PNG [Portable Network Graphics, or "PNG's Not GIF"] images
# 137 P N G \r \n ^Z \n [4-byte length] H E A D [HEAD data] [HEAD crc] ...
0      string          \x89PNG          PNG image data,
>4     belong          0x0d0a1a0a
>>16   belong          x              %ld x
>>20   belong          x              %ld,
>>24   byte            x              %d-bit
>>25   byte            0              grayscale,
>>25   byte            2              \b/color RGB,
>>25   byte            3              colormap,
>>25   byte            4              gray+alpha,
```

Lecture / écriture indexée (cont'd)

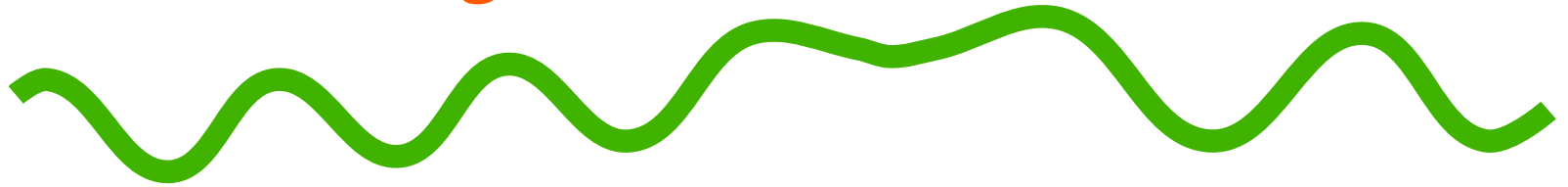


```
% file world*
world1.png: PNG image data, 20 x 22, 2-bit colormap, non-interlaced
world2.png: PNG image data, 20 x 22, 4-bit colormap, non-interlaced

% od -xa world1.png | head -4
0000000  8950  4e47  0d0a  1a0a  0000  000d  4948  4452
          89  P   N   G  cr  nl  sub  nl  nul  nul  nul  cr  I   H   D   R
0000020  0000  0014  0000  0016  0203  0000  00bd  2f54
          nul  nul  nul  dc4  nul  nul  nul  syn  stx  etx  nul  nul  nul  bd  /   T

% od -xa world2.png | head -4
0000000  8950  4e47  0d0a  1a0a  0000  000d  4948  4452
          89  P   N   G  cr  nl  sub  nl  nul  nul  nul  cr  I   H   D   R
0000020  0000  0014  0000  0016  0403  0000  0032  6fa1
          nul  nul  nul  dc4  nul  nul  nul  syn  eot  etx  nul  nul  nul  2   o  a1
```

Verrouillage



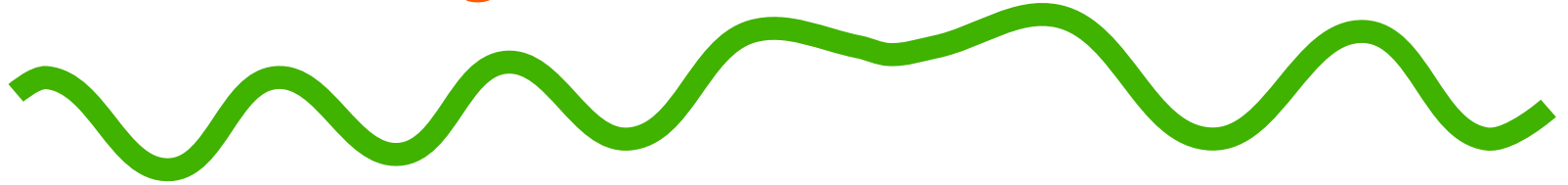
~ Nécessité de contrôler les accès concurrents aux données

- ~ cohérence des données
- ~ écritures multiples en fin de fichier : cohérence assurée par le système si `O_APPEND`
- ~ écritures multiples quelconques ?
- ~ écriture et lecture simultanées ?
- ~ lectures multiples simultanées possibles

~ Verrou (*lock*)

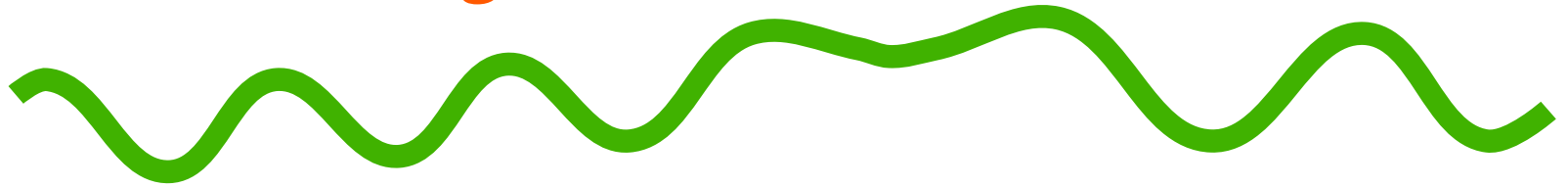
- ~ mécanisme général de contrôle d'accès
 - ~ cas particulier des accès aux données d'un fichier
- ~ notion de propriétaire d'un verrou
 - ~ opérations autorisées au seul propriétaire du verrou
- ~ prise et relâche d'un verrou
 - ~ devient propriétaire
- ~ portée d'un verrou
 - ~ ensemble des positions d'un fichier contrôlées par un verrou

Verrouillage (cont'd)



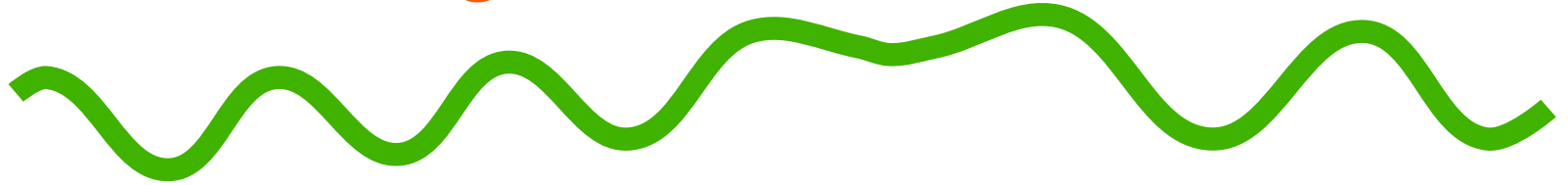
- ~ Accès exclusif en écriture lors de la création d'un fichier
 - ~ options `O_CREATE` | `O_EXCL` de `open()` (voir *supra*)
 - ~ restrictif : création exclusive et non accès exclusif
 - ~ granularité fixe : le fichier
- ~ Portées des verrous POSIX
 - ~ ensemble de positions d'un fichier
 - ~ intervalle : $[\text{offset}_i.. \text{offset}_f]$
 - ~ intervalle infini : $[\text{offset}_i.. \infty]$
- ~ Deux types de verrous POSIX
 - ~ verrous partagés ou verrous de lecture
 - ~ verrous exclusifs ou verrous d'écriture

Verrouillage (cont'd)



- ~ Deux comportements possibles vis-à-vis des verrous
 - ~ mode consultatif (ou coopératif)
 - ~ les opérations `read()/write()` sont toujours possibles
 - ~ la pose d'un verrou empêche la pose de verrous incompatibles
 - ~ le programme doit, de lui-même, consulter les verrous
 - ~ mode impératif
 - ~ le système contrôle les accès via `read()/write()` en fonction des verrous posés
 - ~ verrou partagé : interdit les accès en écriture
 - ~ verrou exclusif : interdit tout accès
- ~ pas de spécification POSIX du choix du mode (!)
 - ~ habituellement mode coopératif

Verrouillage (cont'd)



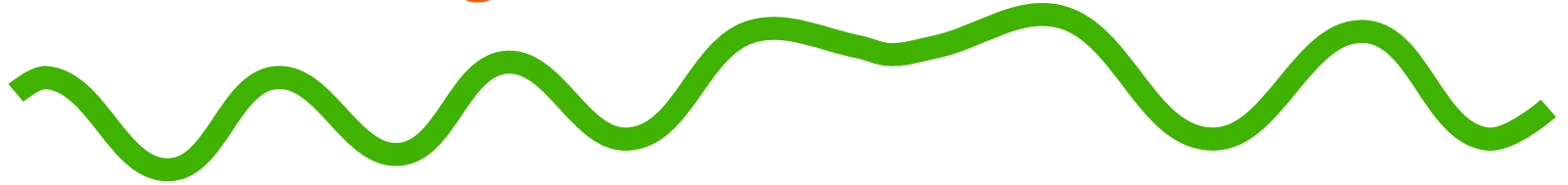
~ Type struct flock de description d'un verrou

```
~ #include <sys/types.h>
  #include <unistd.h>
  #include <fcntl.h>
```

```
struct flock {
    short l_type;      /* Type of lock; F_RDLCK, F_WRLCK, F_UNLCK */
    short l_whence;   /* Flag for starting offset */
    off_t l_start;    /* Relative offset in bytes */
    off_t l_len;      /* Size; if 0 then until EOF */
    pid_t l_pid;      /* Process ID */
}
```

- ~ verrou partagé (F_RDLCK), verrou exclusif (F_WRLCK), ou déverrouillage (F_UNLCK)
- ~ whence parmi SEEK_CUR, SEEK_SET, et SEEK_END
- ~ portée [l_start .. l_start+l_len]
- ~ identification du processus détenant le verrou (consultation verrouillage)

Verrouillage (cont'd)



~ Opérations de verrouillage

~ appel système

```
#include <fcntl.h>
```

```
int fcntl(int fildes, int cmd, struct flock *plock);
```

(plus général que le verrouillage)

~ cmd parmi F_SETLK, F_SETLKW, F_GETLK

~ F_SETLK : demande non bloquante de prise du verrou

~ erreur -1 en cas de verrou incompatible : EACCESS ou EAGAIN

~ erreur -1 en cas d'interblocage (*deadlock*) : EDEADLK

~ F_SETLKW : demande bloquante de prise de verrou

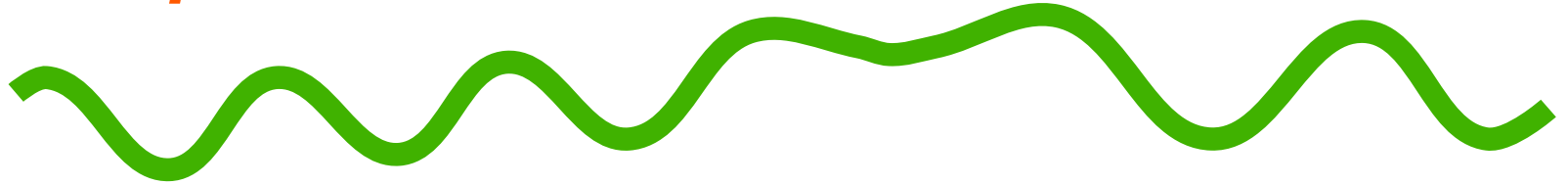
~ attente que le verrou puisse être posé

~ erreur -1 en cas d'interblocage (*deadlock*) : EDEADLK

~ F_GETLK : test d'existence d'un verrou incompatible avec le verrou donné

~ verrou incompatible retourné dans `plock`

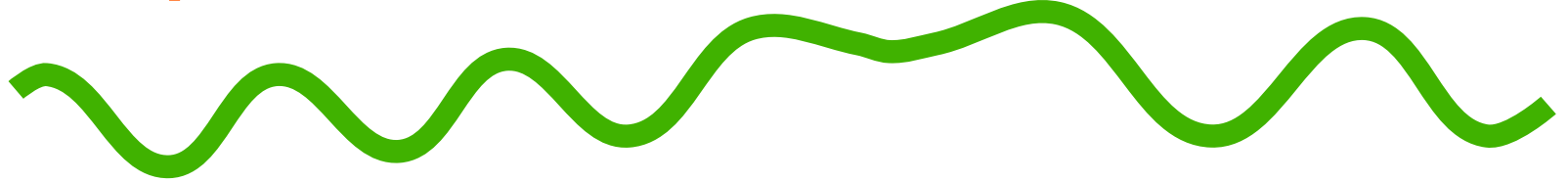
Options d'ouverture



- ~ Différents modes de lecture/écriture
 - ~ mode bloquant / non bloquant ; bloquant par défaut
 - ~ mode synchronisé / non synchronisé ; non synchronisé par défaut
- ~ Spécification du mode à l'ouverture du fichier (`open()`)
 - ~ paramètre `oflag` : mode d'accès + options
- ~ Spécification du mode postérieur à l'ouverture
 - ~ fonction `fcntl()`, commandes `F_GETFL/F_SETFL` (*get/set flag*)
 - ~ exemple : ajout d'un mode

```
fcntl(fd, F_SETFL,  
      fcntl(fd, F_GETFL) | O_FLAG);
```

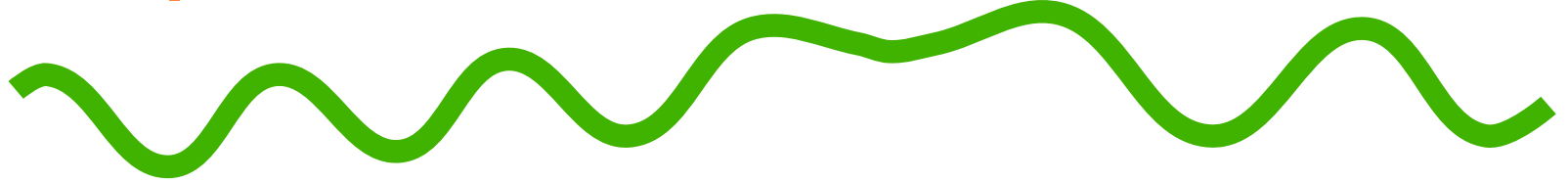

Options d'ouverture (cont'd)



~ Mode bloquant / non bloquant

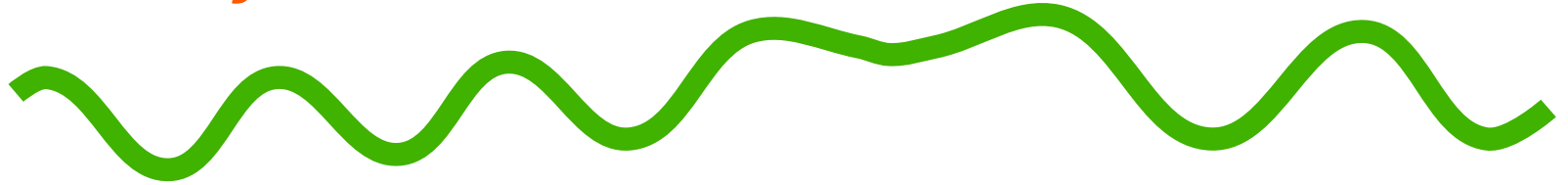
- ~ par défaut un appel `read()` est bloquant
 - ~ lecture depuis un terminal, depuis un tube...
- ~ un appel `write` peut être bloquant
 - ~ à cause d'un verrou impératif...
- ~ option `O_NONBLOCK` du mode d'ouverture : mode non bloquant
 - ~ `fcntl(fd, F_SETFL, fcntl(fd, F_GETFL) | O_NONBLOCK);`
- ~ les appels à `read()/write()` ne sont jamais bloquants
- ~ situation de blocage : `read()/write()` retourne une erreur (-1) ; positionne `errno` (EAGAIN)

Options d'ouverture (cont'd)



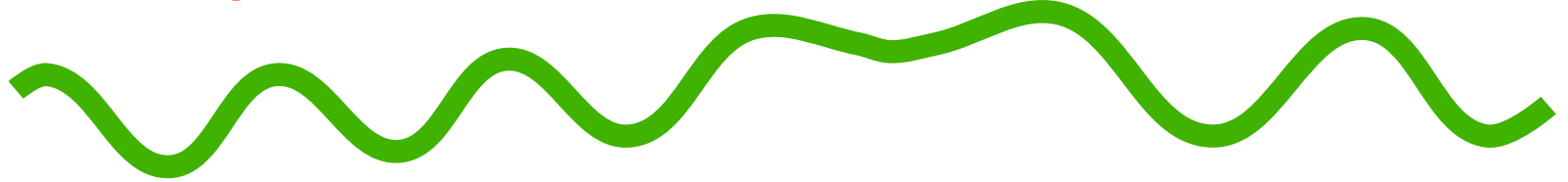
- ~ Mode synchronisé / non synchronisé
 - ~ par défaut les écritures se font en mode non synchronisé
 - ~ les données à écrire sont mémorisées dans des caches du système d'exploitation
 - ~ de manière asynchrone, le système réalise les écritures des caches sur les disques
 - ~ évite aux processus d'attendre les écritures disques
 - ~ pas de garantie que l'écriture disque ait été réalisée...
 - ~ option `O_SYNC` du mode d'ouverture : écritures en mode synchronisé
 - ~ appel à `write` retourne quand les données sont écrites sur le disque

Projection mémoire



- ~ Charger un fichier dans l'espace d'adressage du processus
 - ~ ensemble ou partie du fichier
 - ~ manipulation du fichier via l'adressage mémoire
- ~ Évite de multiples copies vers/depuis les caches systèmes
 - ~ lors de multiples écritures/lectures successives de mêmes positions
- ~ Implantation
 - ~ le fichier n'est pas lu dans son intégralité lors de la projection !
- ~ Appel système `mmap ()`

Projection mémoire (cont'd)



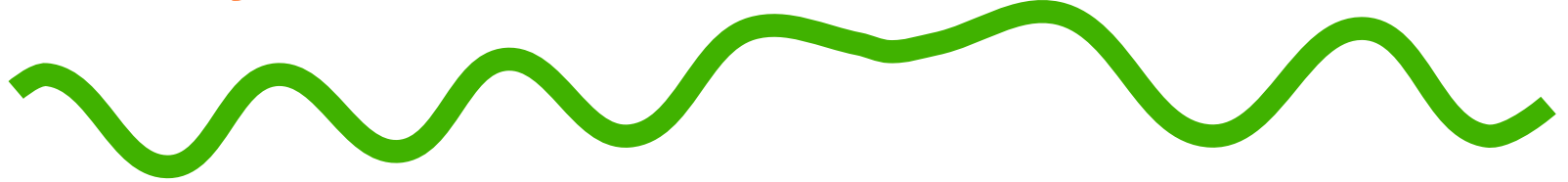
~ Appel système `mmap()`

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

```
void *mmap(void *addr, size_t len, int prot, int flags,  
           int fildes, off_t off);
```

- ~ considère les données `[off..off+len[` du fichier `fildes`
- ~ `addr` est une adresse de projection choisie ; la positionner à `NULL`
- ~ `prot` définit les accès possibles à la zone mémoire
 - ~ `PROT_NONE`, aucun accès, ou
 - ~ combinaison binaire de `PROT_READ`, `PROT_WRITE`, `PROT_EXEC`
- ~ `flags` précise des options
 - ~ répercutions des modifications sur toutes les projections du fichier ou non
- ~ retourne l'adresse de la projection
- ~ Appel
 - `int munmap(void *addr, size_t len);`
 - libère la zone mémoire de projection

Projection mémoire (cont'd)



mcp-mmap.c

```
static void
copy_file(const char *src, const char *dst)
{
    struct stat stsrc, stdst;
    int fdsrc, fddst;
    char *psrc;
    int size;

    lstat(src, &stsrc);
    lstat(dst, &stdst);

    if (stsrc.st_ino == stdst.st_ino && stsrc.st_dev == stdst.st_dev) {
        fprintf(stderr, "%s et %s sont le meme fichier\n", src, dst);
        return;
    }

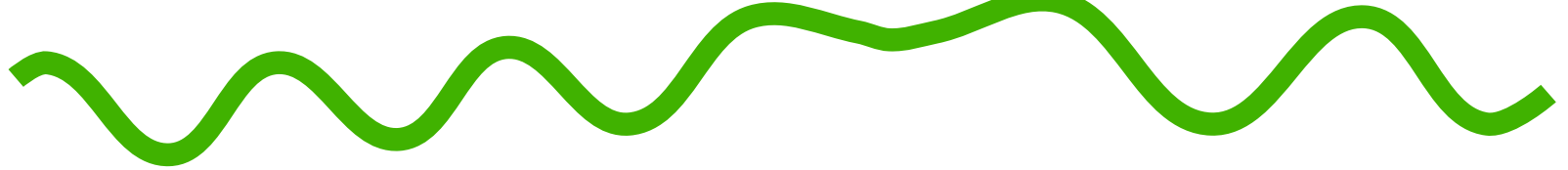
    fdsrc = open(src, O_RDONLY);
    fddst = open(dst, O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC,
                S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IWGRP | S_IROTH | S_IWOTH);

    size = stsrc.st_size;
    psrc = mmap(NULL, size, PROT_READ, MAP_PRIVATE, fdsrc, 0);

    write(fddst, psrc, size);

    munmap(psrc, size);
    close(fdsrc);
    close(fddst);
}
```

Accès aux fichiers distants



~ Accès aux fichiers distants

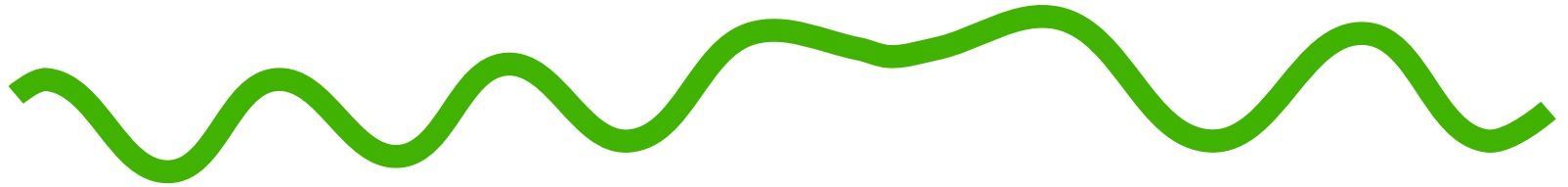
- ~ reposants sur un serveur
- ~ accessibles via le réseau
- ~ accès « identiques » aux accès locaux : `open()`, `read()`, etc.
- ~ montage NFS (*network file system*)

~ Protocole NFS

- ~ émission de requêtes vers le serveur
 - ~ recherche d'un fichier dans un répertoire, création, renommage de liens, accès/modification des attributs d'un fichier, lecture/écriture dans un fichier...
- ~ serveur sans état

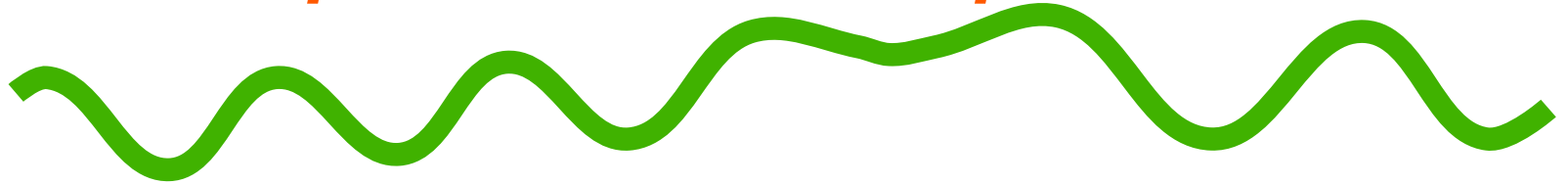
~ Conséquences

- ~ non respect de la sémantique POSIX
 - ~ POSIX : droits à l'ouverture / NFS : ouverture à chaque lecture
- ~ serveurs sans état \Rightarrow verrouillage impossible
- ~ gestion des droits/sécurité...



Bibliothèque C d'entrées/sorties

Pourquoi une bibliothèque



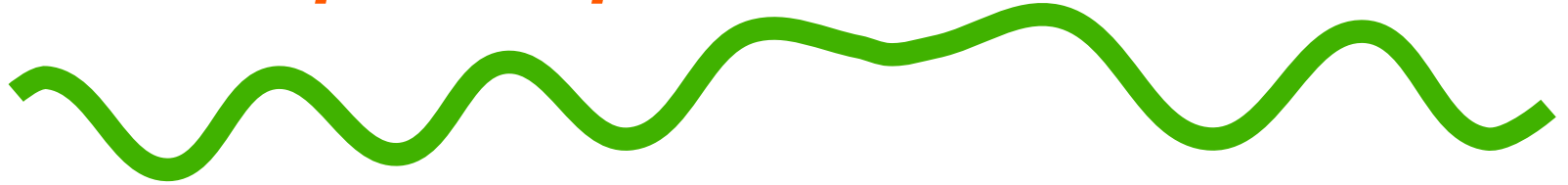
~ Abstraction de plus haut niveau

- ~ entrées/sorties formatées
- ~ `fprintf()`, `fscanf()`, etc.

~ Performances

- ~ entrées/sorties tamponnées (*bufferisées*)
- ~ réduire le nombre des coûteux appels système
- ~ coût d'un appel système ≈ 1000 instructions
- ~ écriture (/lecture) dans un tampon utilisateur
- ~ quand le tampon est plein (/vide), appel système `write()` (/read())

Exemple : copie de fichier



mcp-bib.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/stat.h>

static void
copy_file(const char *src, const char *dst)
{
    struct stat stsrc, stdst;
    FILE *fsrc, *fdst;
    int c;

    lstat(src, &stsrc);
    lstat(dst, &stdst);

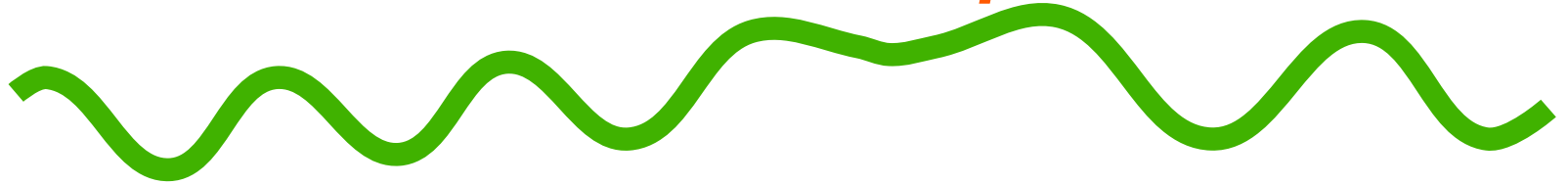
    if (stsrc.st_ino == stdst.st_ino && stsrc.st_dev == stdst.st_dev) {
        fprintf(stderr, "%s et %s sont le meme fichier\n", src, dst);
        return;
    }

    fsrc = fopen(src, "r");
    fdst = fopen(dst, "w");

    while ((c = fgetc(fsrc)) != EOF)
        fputc(c, fdst);

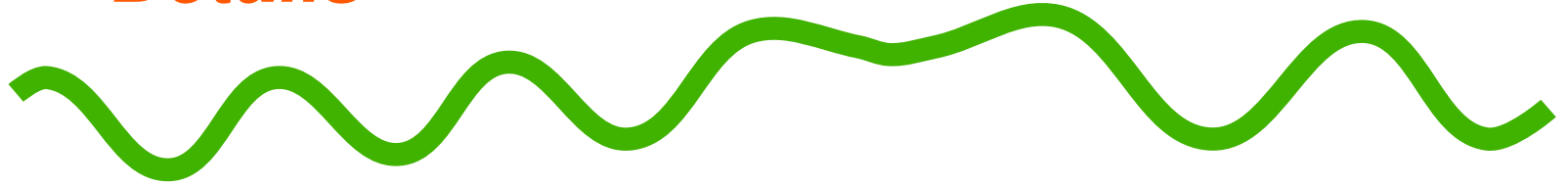
    fclose(fsrc);
    fclose(fdst);
}
```

Attention une bibliothèque

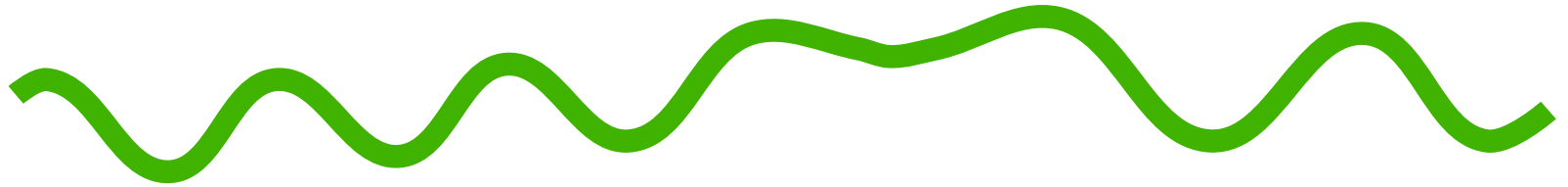


- ~ Ne pas mixer les fonctions bibliothèques et appels système
 - ~ la bibliothèque utilise des appels système !
- ~ Bibliothèque tamponnée
 - ~ attente que le tampon soit plein (/vide)
- ~ Possible surcoût ?
 - ~ copie supplémentaire
 - ~ regagné par la factorisation des appels systèmes

Détails

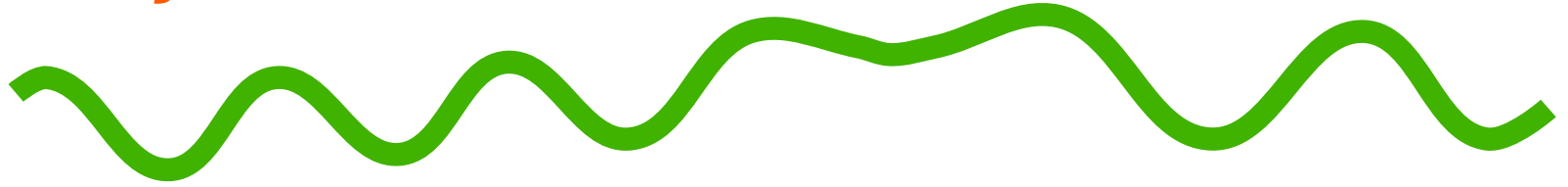


- ~ Voir un manuel / le manuel en ligne
- ~ Voir votre/un cours de C
- ~ Voir les exercices de TD/TP



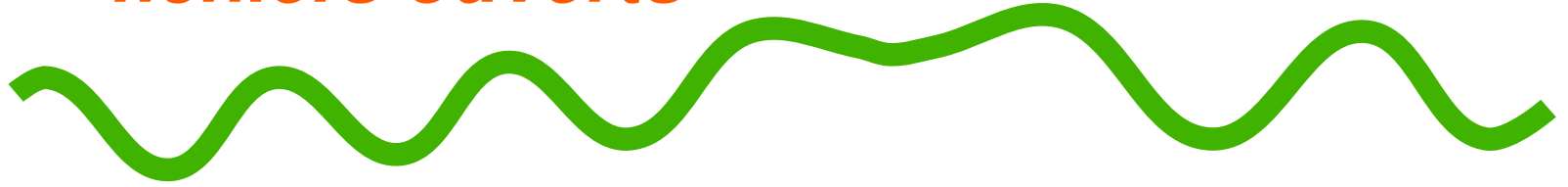
Quelques éléments d'implantation d'un système de fichiers

Éléments d'implantation d'un système de fichiers

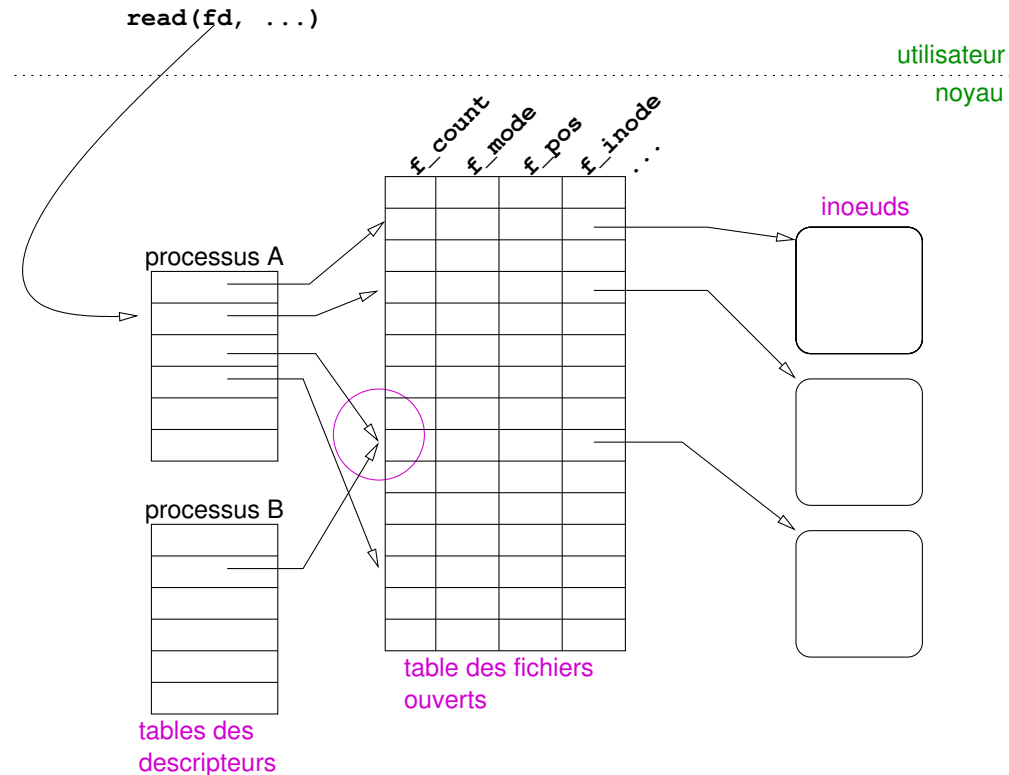


- ~ Implantation relève du cours master ASE
 - ~ architecture et conception des systèmes d'exploitation
- ~ Quelques éléments d'implantation « visibles » du monde utilisateur
 - ~ partage des fichiers entre processus
 - ~ messages d'erreur du système (commande `fsck`)
- ~ Quelques éléments pour les « curieux »...

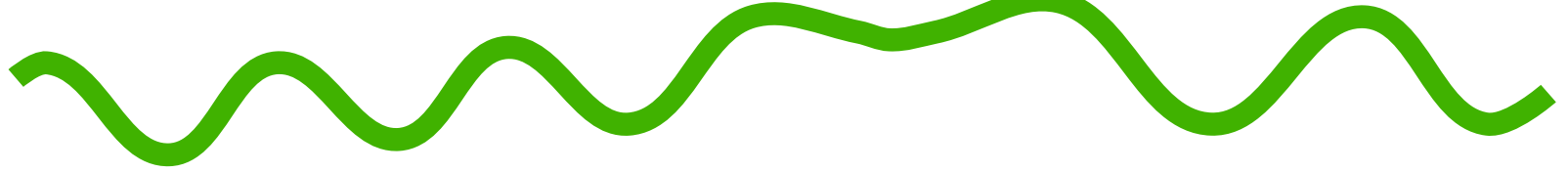
Tables des descripteurs / table des fichiers ouverts



- ~ Descripteur de fichier
 - ~ index dans la table des descripteurs **du processus**
 - ~ une table des descripteurs par processus
- ~ Table des fichiers ouverts
 - ~ une table **unique** pour tous les processus
 - ~ entrées **partagées** par tous les processus
 - ~ `f_count` nombre de références
 - ~ `f_mode` mode ouverture (lecture/écriture...)
 - ~ `f_pos` position courante
 - ~ `f_inode` inœud



Structure de données inœud



- ~ Inœud = données associées à un fichier
 - ~ propriétaire, droits, date, taille fichier...
 - ~ identification des blocs disques
- ~ Inœud = informations pérennes
 - ~ les inœuds sont stockés sur les disques !
 - ~ copies en mémoire (cache)
- ~ Organisation des données sur le disque
 - ~ données regroupées en blocs
 - ~ bloc \pm \equiv secteur disque

Classique triple indirection

Identification des blocs de données d'un fichier

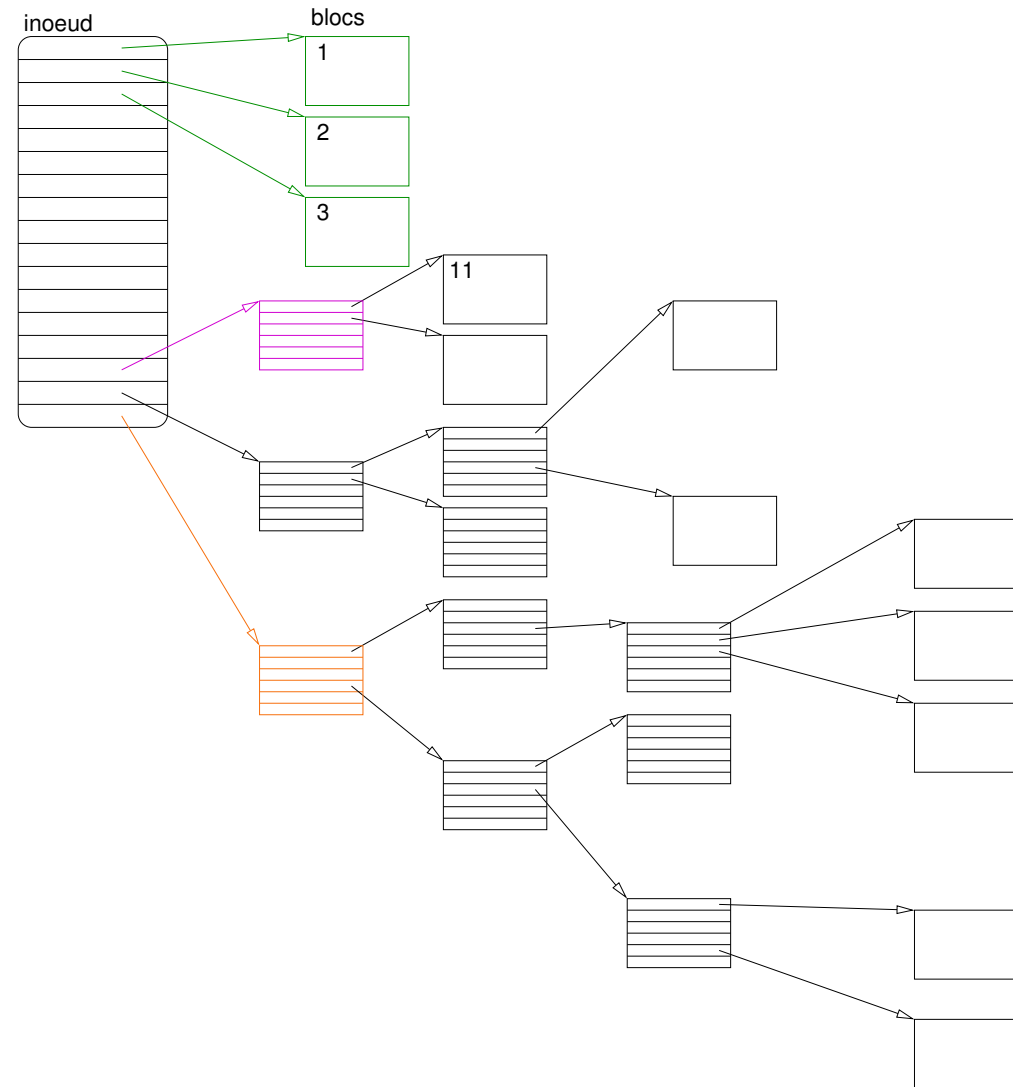
- inoeud contient une liste de numéros de blocs
- fichiers de taille variable

Numéros de blocs

- numéros des 10 premiers blocs de données
- numéro d'un bloc contenant les numéros des blocs suivants...

Tout est bloc !

- blocs de données
- blocs d'indirection, de double/triple indirection...
- blocs contenant les inœuds



Performance = cache



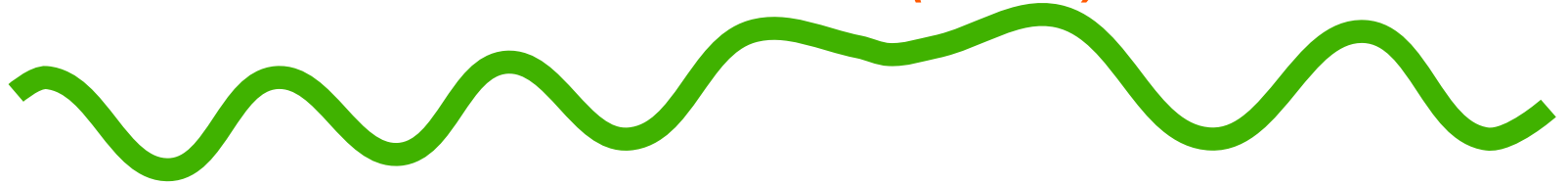
~ Accès disques lents

- ~ temps d'accès à la mémoire \ll temps d'accès disque
- ~ débit & latence

~ Mémoire cache (*buffer cache*)

- ~ garder en mémoire des données devant être écrites sur le disque, par exemple pour les blocs
- ~ dispositif logiciel (\neq mémoire cache matérielle)
- ~ pas d'écriture systématique sur le disque à chaque modification
- ~ algorithme de recherche de la copie du « bloc » en mémoire (hachage)
- ~ algorithme d'éviction d'un bloc du cache plein (LRU, FIFO...)
- ~ vidage sur le disque \Rightarrow données sauvegardées
- ~ non vidage sur le disque \Rightarrow données non sauvegardées !
- ~ asynchronisme
- ~ vidage « prioritaire » de blocs sensibles : *master boot record*, inœud, blocs d'indirection...

Performance = cache (cont'd)



Cache à tous les niveaux

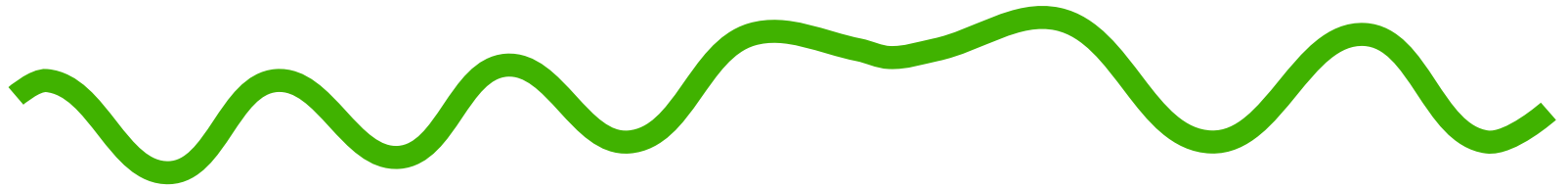
- ~ bibliothèque d'entrées/sorties tamponnées
- ~ cache d'inœuds
- ~ cache de blocs (*buffer cache*)

Vidage explicite du cache

- ~ appel système `sync()`
- ~ commande `sync`
- ~ démontage de périphériques amovibles (disquette, clé USB...)

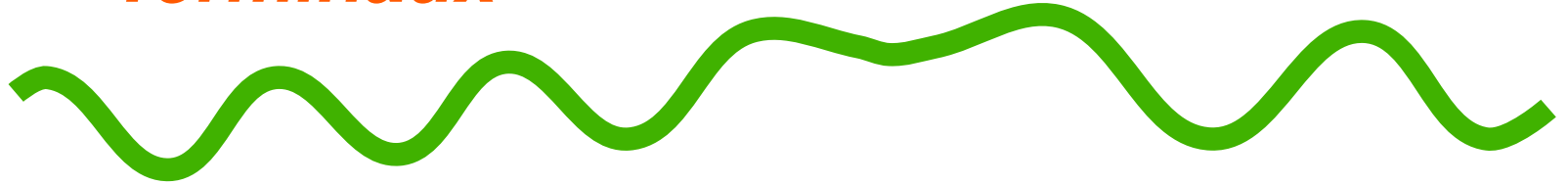
Anticipation des lectures

- ~ cache en lecture
- ~ lectures séquentielles de fichiers
- ~ heuristique : observer si les lectures d'un fichier se font bien séquentiellement



Gestion des terminaux

Terminaux



Terminal

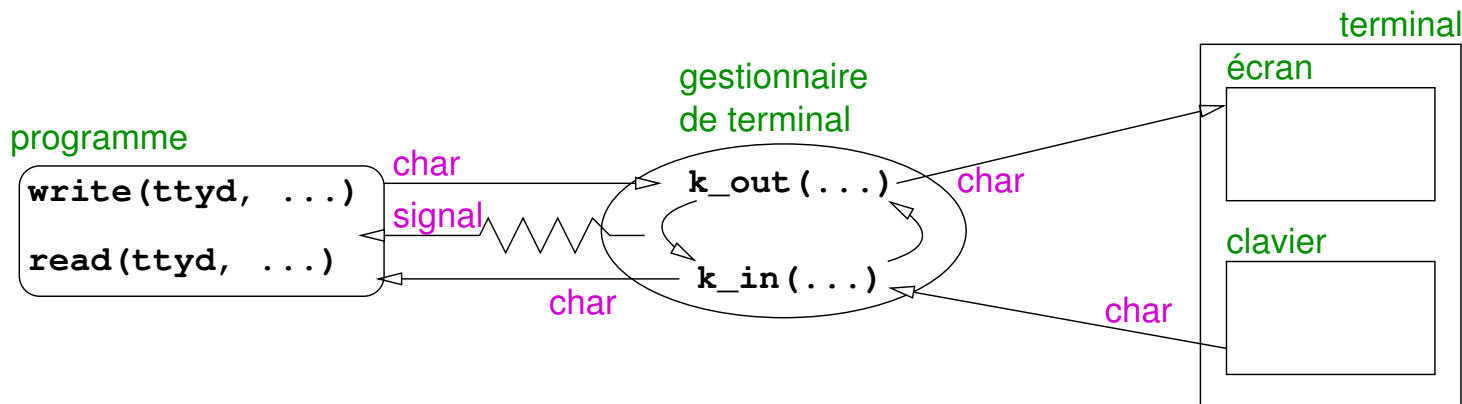
- ~ élément d'interaction entre l'utilisateur et une application
- ~ terminal physique : clavier + écran
- ~ pseudo-terminal : une application jouant le rôle de terminal

Utilisations du terminal

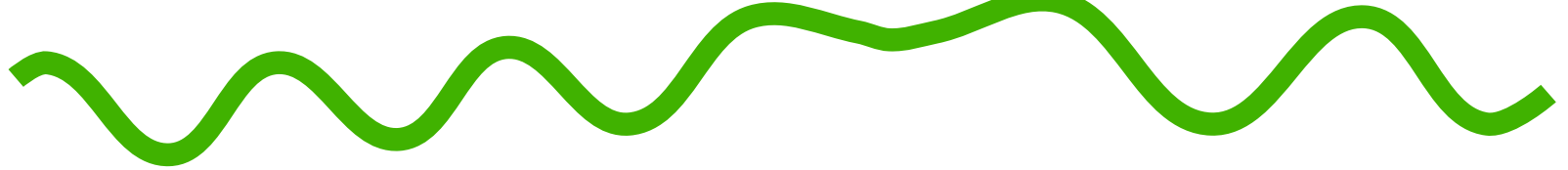
- ~ « fichier » entrées et sorties
- ~ particulièrement les entrées et sorties standard
- ~ contrôle de la saisie (par exemple sans écho...) et de l'affichage

Interaction avec un terminal

- ~ Un « programme » écrit...
- ~ La chaîne de caractères est traitée par le « gestionnaire de terminal »
 - ~ code du noyau
 - ~ modification possible, p. e. fins de lignes...
- ~ La chaîne de caractères est reçue par le terminal
 - ~ matériel
 - ~ interprétation comme une séquence de contrôle, ou
 - ~ affichage
- ~ Idem du clavier au programme
 - ~ interruption / signal



Transmission des données & Écho



~ Terminaux en « full duplex »

- ~ entrée et sortie simultanées
- ~ gestionnaire de terminal gère des tampons mémoires
 - ~ un tampon d'entrée
 - ~ un tampon de sortie

~ Transmission des données, entrée

- ~ système fournit les caractères à la demande du programme
- ~ tampon plein \Rightarrow caractères perdus

~ Transmission des données, sortie

- ~ tampon plein \Rightarrow écriture bloquante

~ Gestion de l'écho

- ~ le gestionnaire de terminal est responsable de l'écho
- ~ tout caractère reçu dans le tampon d'entrée est placé dans le tampon de sortie
- ~ sauf mode sans écho...

Terminaux = fichiers



~ Référence aux terminaux

- ~ fichiers spéciaux

- ~ /dev/tty*

- ~ terminal de contrôle du processus : /dev/tty

~ Récupération du descripteur de fichier associé au terminal

- ~ ouvrir le fichier /dev/tty !

```
int                                     wrtty.c
main (int argc, char *argv[])
{
    int ttyd;
    int i, len;

    ttyd = open("/dev/tty", O_RDWR);
    assert(ttyd != 0);

    for (i=1; i<argc; i++) {
        len = strlen(argv[i]);
        argv[i][len] = '\n';
        write(ttyd, argv[i], len+1);
    }

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
% ./wrtty foo bar gee
foo
bar
gee
```

```
% cat /dev/null | ./wrtty foo bar > /dev/nul
foo
bar
```

Fichier = terminal ?



Un (descripteur de) fichier donné est-il associé à un terminal ?

```
#include <unistd.h>
```

```
isatty(int fd);
```

Nom de ce terminal ?

```
#include <unistd.h>
```

```
char *ttyname(int fd);
```

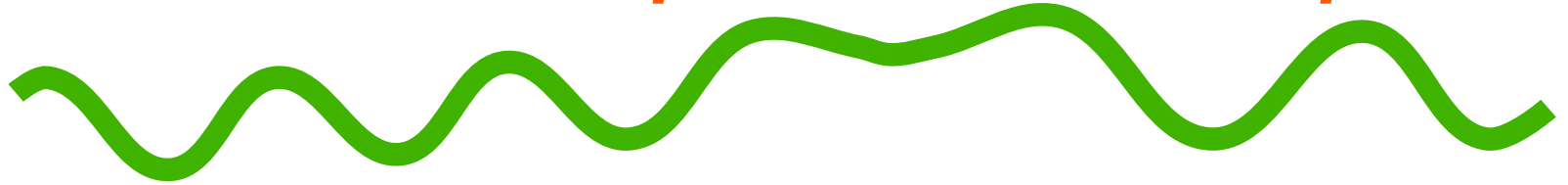
```
static void  
tty_info(int fd, const char *name) aretty.c
```

```
{  
    if (isatty(fd))  
        fprintf(stderr, "%s: %s\n", name, ttyname(fd));  
    else  
        fprintf(stderr, "%s: n'est pas un terminal\n", name);  
}
```

```
int  
main (void)  
{  
    tty_info(STDIN_FILENO, "entree std");  
    tty_info(STDOUT_FILENO, "sortie std");  
    exit(EXIT_SUCCESS);  
}
```

```
% ./aretty  
entree std: /dev/ttyp5  
sortie std: /dev/ttyp5  
% ./aretty > /dev/null  
entree std: /dev/ttyp5  
sortie std: n'est pas un terminal  
% true | ./aretty  
entree std: n'est pas un terminal  
sortie std: /dev/ttyp5
```


Modes canonique et non-canonique



~ Différentes configurations du gestionnaire de terminaux

- ~ mode canonique
- ~ mode non-canonique

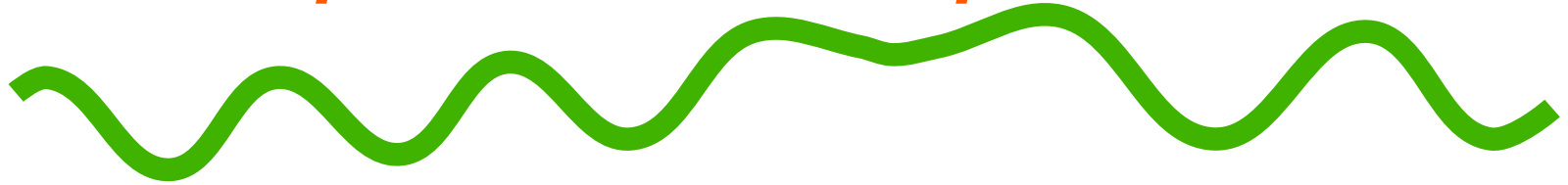
~ Mode canonique

- ~ caractère `<eol>` ou `<eof>` rend le tampon d'entrée disponible au programme
- ~ caractères de contrôle `<erase>`, `<kill>`... modifient le tampon d'entrée
- ~ lecture par le programme à l'intérieur d'une seule ligne (taille bornée)

~ Mode non-canonique

- ~ plus d'usage de la notion de ligne
- ~ caractères disponibles quand
 - ~ `MIN` caractères tapés, ou
 - ~ `TIME` dixièmes de secondes écoulés depuis la dernière frappe
- ~ `MIN` et `TIME` paramètres de configuration du gestionnaire de terminal

Exemple mode canonique



rdtty.c

```
#define BSIZE 10

int
main (int argc, char *argv[])
{
    char buf[BSIZE+1];
    ssize_t nread;

    while ((nread = read(STDIN_FILENO, buf, BSIZE)) > 0) {
        buf[nread] = '\0';
        printf("(%d) %s\n", nread, buf);
    }

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

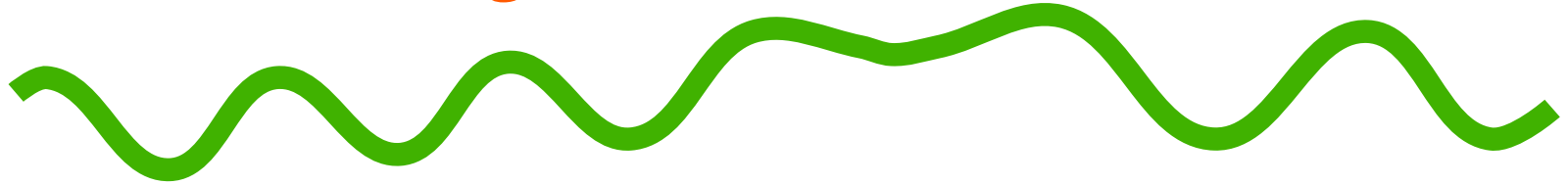
```
% ./rdtty
123
(4) 123

123456789_123456789_123
(10) 123456789_
(10) 123456789_
(4) 123

^D
%
```

- ~ lecture par ligne, `read()` moins de caractères que demandés
- ~ y compris le caractère de fin de ligne
- ~ fin de fichier (CTRL-D, ^D)
⇒ `read()` → 0
- ~ saisie d'une très longue entrée
⇒ plus d'écho ; caractères perdus

Paramétrage d'un terminal



Attributs d'un terminal

```
~ structure struct termios  
#include <termios.h>
```

```
struct termios {  
    tcflag_t    c_iflag;        /* Input modes. */  
    tcflag_t    c_oflag;        /* Output modes. */  
    tcflag_t    c_cflag;        /* Control modes. */  
    tcflag_t    c_lflag;        /* Local modes. */  
    cc_t        c_cc[NCCS];     /* Control characters. */
```

~ champs de type `tcflags_t` : champs de bits pour les quatre spécifications de modes

~ champ de type `cc_t` : caractères de contrôle du terminal

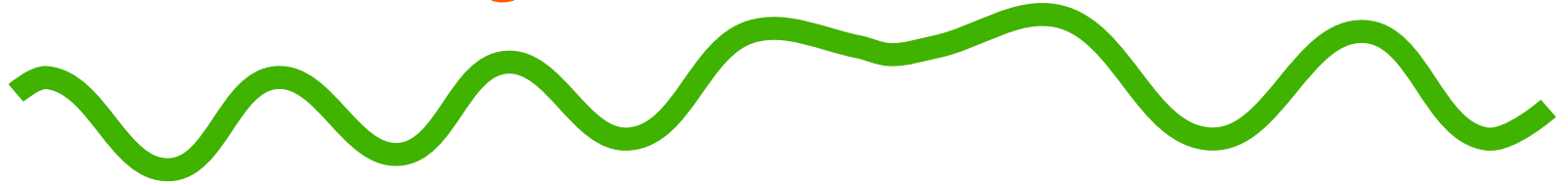
~ Modes d'entrée, `c_iflag` (mineur)

~ traitements à appliquer aux caractères venant du terminal

~ exemple : `ISTRIP`, les caractères valides sont tronqués à 7 bits

~ exemple : `INLCR`, les caractères `<NL>` sont transformés en `<CR>`

Paramétrage d'un terminal (cont'd)



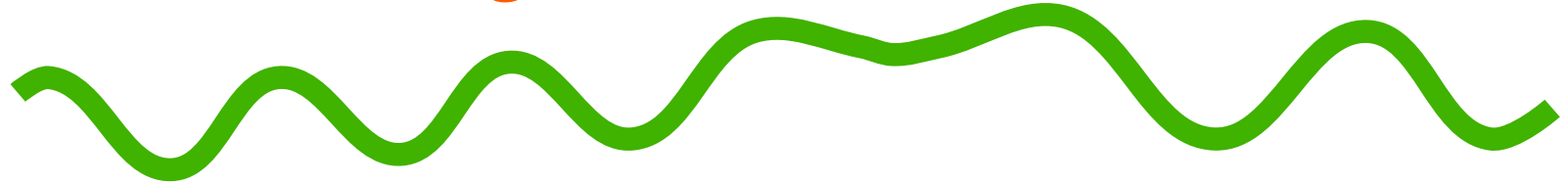
~ Modes de sortie, `c_oflag` (mineur)

- ~ traitements à appliquer aux caractères envoyés au terminal
- ~ exemple : `OLCUC`, les lettres minuscules sont transformées en majuscules
- ~ exemple : `OCRNL`, les `<CR>` sont transformés en `<NL>`

~ Modes de contrôle, `o_cflag` (mineur)

- ~ contrôle de la transmission au niveau matériel
- ~ exemple : `CS7`, ou `CS8` les caractères sont codés sur 7 ou 8 bits
- ~ exemple : `PARENB`, mécanisme de contrôle de parité activé (un bit de parité est ajouté à chaque caractère)

Paramétrage d'un terminal (cont'd)



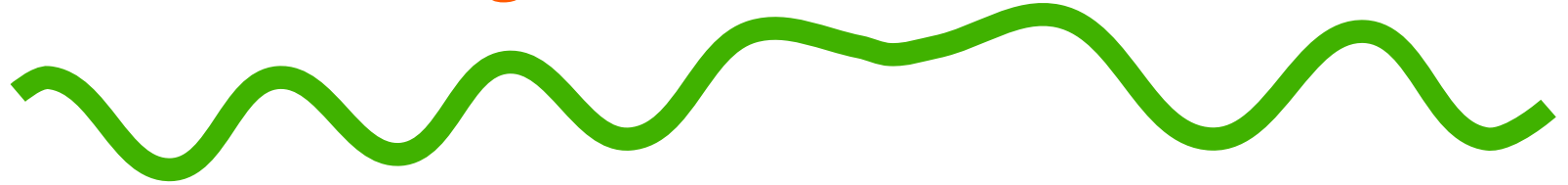
~ Modes locaux

- ~ les plus importants
- ~ définissent le traitement des caractères de contrôle
- ~ ECHO : les caractères en provenance du terminal sont remis sur le terminal
désactivation pour la saisie des mots de passe...
- ~ ICANON : utilisation du terminal en mode canonique
- ~ ISIG : les caractères de contrôle provoquent l'envoi de signaux au processus

caractère symbolique	(habituellement)	signal	action
<intr>	(CTRL-C)	SIGINT	interruption
<quit>	(CTRL-\)	SIGQUIT	terminaison
<susp>	(CTRL-Z)	SIGTSTP	suspension

~ etc.

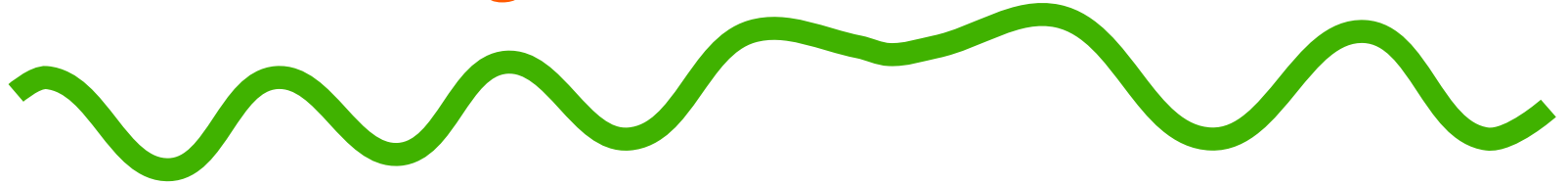
Paramétrage d'un terminal (cont'd)



- ~ **Caractères de contrôle, `c_cc`**
 - ~ association d'un caractère à un caractère symbolique
 - ~ exemple associer le caractère `CTRL-H` au caractère symbolique `<erase>` d'effacement d'un caractère
 - ~ caractères symboliques :
 - ~ `<erase>` effacement un caractère
 - ~ `<kill>` effacement de la ligne en cours
 - ~ `<eof>` fin de fichier
 - ~ `<eol>` fin de ligne
 - ~ `<intr>` interruption
 - ~ `<susp>` suspension, etc.
 - ~ position dans le tableau `c_cc[]`
`V<nom_du_caractere>`
 - ~ **exemple**

```
struct termios tio;
tio.c_cc[VERASE] = 8; /* 8: code ascii de BS, backspace */
```

Paramétrage d'un terminal (cont'd)



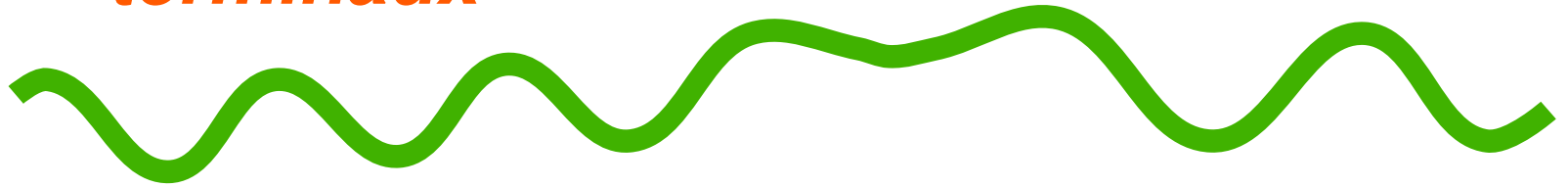
~ Caractères de contrôle, `c_cc`, (suite)

- ~ paramétrage du mode non canonique
- ~ caractères disponibles quand
 - ~ MIN caractères tapés, ou
 - ~ TIME dixièmes de secondes écoulés depuis la dernière frappe

~ exemple :

```
tio.c_cc[VMIN] = 10;    /* 10 caractères */  
tio.c_cc[VTIME] = 10;  /* 1 seconde */
```

Gestion du paramétrage de terminaux



~ Commande shell `stty`

```
~  
% stty  
speed 9600 baud;  
lflags: echoe echoke echoctl pendin  
oflags: -octabs  
cflags: cs8 -parenb
```

~ Fonctions POSIX

```
~ #include <termios.h>
```

```
int tcgetattr(int ttyd, struct termios *ptio);  
int tcsetattr(int ttyd, int option, const struct termios *ptio);
```

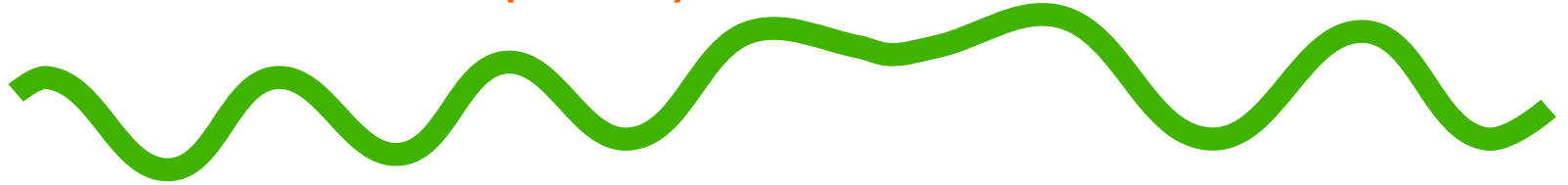
~ valeurs possibles du paramètre `option`

TCSANOW immédiatement

TCSADRAIN après le vidage du tampon de sortie

TCSAFLUSH TCSADRAIN + les caractères reçus sont oubliés

Gestion du paramétrage de terminaux (cont'd)



Utilisation typique

- ✓ récupérer les valeurs courantes
- ✓ modifier quelques champs
- ✓ installer ces nouvelles valeurs
- ✓ exemple : positionner le mode sans écho, non canonique, rendre les caractères disponibles immédiatement

```
struct termios tio;

if (tcgetattr(STDIN_FILENO, &tio) == -1) {
    perror("tcgetattr");
    ...
}

tio.c_lflag &= ~(ICAN|ECHO);
tio.c_cc[VMIN] = 1;

if (tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &tio) == -1) {
    perror("tcsetattr");
    ...
}
```