SCIENCES SORBONNE UNIVERSITÉ

Programmation Répartie
Master 1 Informatique – 4I400

Cours 6 : IPC
Mémoire Partagée, Sémaphores, Fichiers, Tubes

Yann Thierry-Mieg
Yann.Thierry-Mieg@lip6.fr

Plan

On a vu au cours précédent

- Création de processus, wait, signaux

Aujourd'hui : IPC POSIX pour la communication

- Mémoire partagée
- Sémaphore
- Tubes et Tubes nommés
- Files de messages

Références :

Cours de P.Sens, L.Arantes (PR <= 2017)

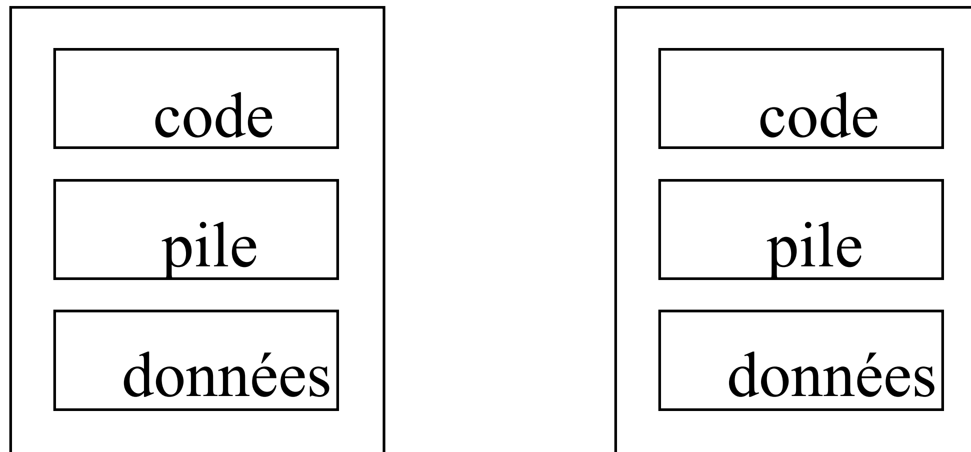
Cppreference

Le man, section 2 et 3

Inter Process Communication

Communication entre processus

Comment les processus peuvent communiquer, synchroniser ou partager des données?



Processus ne partagent pas leur segments de données

Communiquer *entre* processus

- Plus difficile qu'en thread :
  - Pas d'espace d'adressage commun
- Différents mécanismes utilisés (POSIX) :
  - Fichiers
  - Signaux
  - Tubes et tubes nommés (pipe)
  - Segment de mémoire partagée ou mmap
  - Files de messages
  - Sockets
- Et aussi des primitives de synchronisation inter process
  - Semaphore

Entrées Sorties POSIX
inode et fichier

Entrée Sorties

Primitives d'entrées-sorties POSIX

unistd.h, sys/stat.h, sys/types.h, fcntl.h

- ✓ Constituent l'interface avec le noyau Unix (**appels systèmes**) donc permettent l'utilisation complète des services offerts par le noyau.
- ✓ Portabilité des programmes sur Unix (Posix).

Notion d'inode

- Un objet apte à être partagé entre plusieurs processus
- Qui dispose d'une adresse unique
  - /usr/bin/gcc /myshm
- Qui supporte des opérations simples pour lire et écrire par blocs

Inode

Un nœud d'index ou inode (contraction de l'anglais *index* et *node*) est une structure de données contenant des informations à propos d'un fichier ou répertoire.

- ✓Chaque fichier a un seul inode, même s'il peut avoir plusieurs noms (lien physique).
- ✓Sauvegarder dans le disque : mettre à jour la table des inodes
- ✓Les inodes peuvent désigner d’autres objets (tubes nommés, sockets,…)

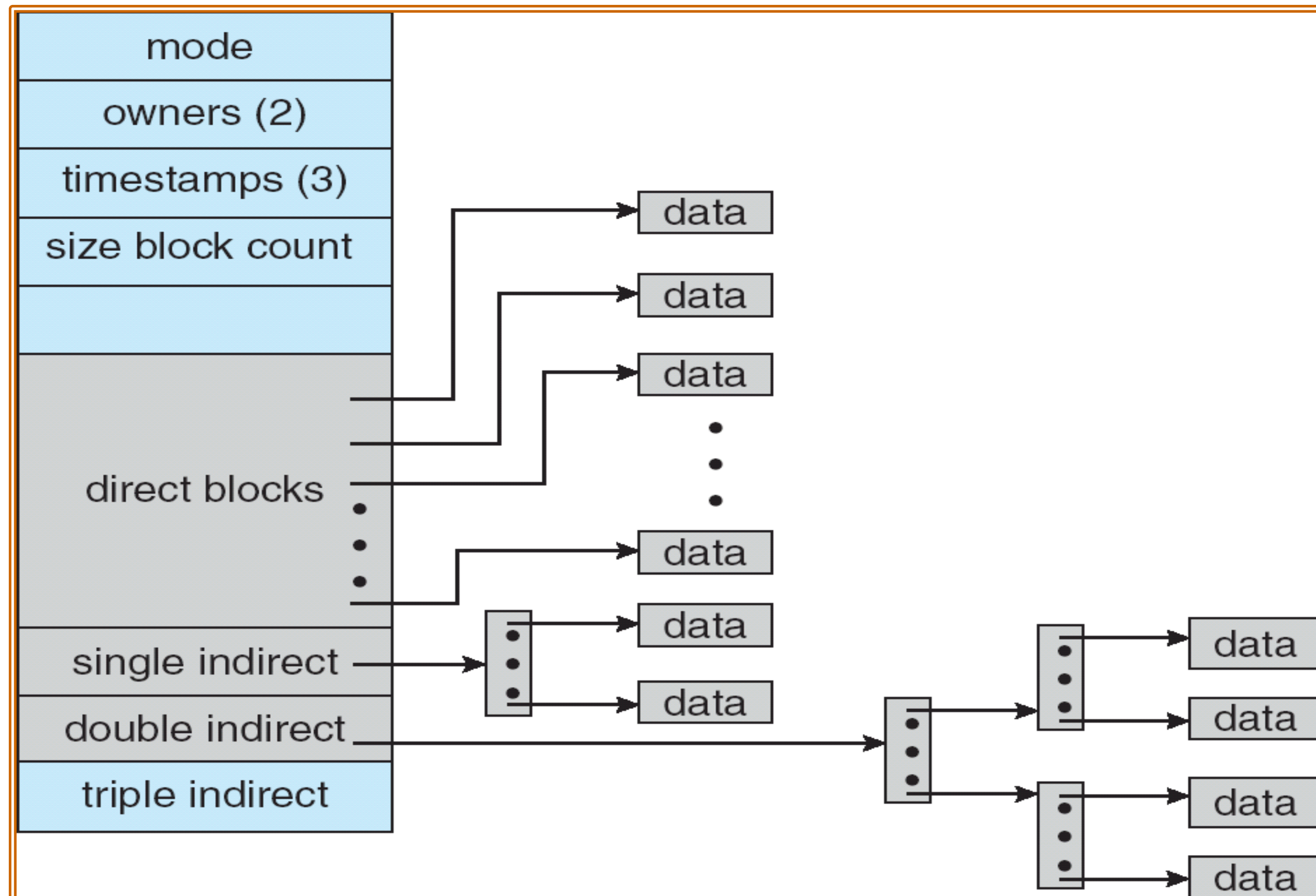
Inode

Les informations stockées dans un inode disque :

- utilisateur propriétaire,
- groupe propriétaire,
- type de fichier,
- droits d'accès,
- date de dernier accès,
- date de dernière modification,
- date de dernière modification de l'inode,
- nombre de liens,
- taille du fichier,
- adresses des blocs-disque contenant le fichier (13).

Inode

NB : la structure interne précise de l'inode est à la charge du filesystem



Consultation de l'i-node (stat)

Standard POSIX :Structure stat <sys/stat.h>

man 7 inode

```
struct stat {
        dev_t           st_dev;         /* device file resides on */
        ino_t           st_ino;         /* the file serial number */
        mode_t          st_mode;        /* file mode */
        nlink_t         st_nlink;       /* number of hard links to the file*/
        uid_t           st_uid;         /* user ID of owner */
        gid_t           st_gid;         /* group ID of owner */
        dev_t           st_rdev;        /* the device identifier*/
        off_t           st_size;        /* total size of file, in bytes */
        unsigned long   st_blksize;     /* blocksize - file system I/O*/
        unsigned long   st_blocks;      /* number of blocks allocated */
        time_t          st_atime;       /* file last access time */
        time_t          st_mtime;       /* file last modify time */
        time_t          st_ctime;       /* file last status change time */
}
```

Le couple st_dev+st_ino est unique

Type de fichier

Champ *st_mode* de *struct stat* contient deux infos :

- Les bits de droits d'accès
- Le type de l'inode : dossier, fichiers, pipe…

Type : on teste avec des macros

Fichiers réguliers de données : S_ISREG (t)

Répertoires : S_ISDIR (t)

Tubes FIFO : S_ISFIFO (t)

Fichiers spéciaux : périphériques bloc S_ ISBLK (t) et caractère S_ ISCHR (t)

Liens symboliques : S_ISLNK (t)

Sockets : S_ISSOCK (t)

Tous ces objets se comportent de la même manière.

Droits d'accès

Propriétaire, groupe et autres (Champ *st_mode* de *struct stat*)

✓ lecture, écriture et exécution

	Propriétaire	**Groupe**	**Autres**
Lecture	S_IRUSR	S_IRGRP	S_IROTH
Ecriture	S_IWUSR	S_IWGRP	S_IWOTH
Exécution	S_IXUSR	S_IXGRP	S_IXOTH
Les trois	S_IRWXU	S_IRWXG	S_IRWXO

> ls - l **rwxr-xr--**

S_IRWXU| *S_IRGRP* | *S_IXGRP*| *S_IROTH*

Fonctions de consultation de l'i-node

Obtention des caractéristiques d'un fichier

- ✓ **int stat(const char *file_name, struct stat *buf);**
- ✓ **int fstat(int fdes, struct stat *buf);**
  - Résultats récupérés dans une *struct stat*

Test des droits d'accès d'un processus sur un fichier

- ✓ **int access (const char* pathname, int mode);**
  - mode : **R_OK**, **W_OK**, **X_OK**, **F_OK**

    (droit de lecture, écriture, exécution, existence).

Exemple - stat

```
#define _POSIX_SOURCE 1
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <stdlib.h>

int main (int argc, char* argv []) {
  struct stat stat_info;

  if ( stat (argv[1], &stat_info) == -1)
    { perror ("erreur stat");
     return EXIT_FAILURE;
    }

  if (S_ISDIR (stat_info.st_mode) )
     printf ("fichier répertoire\n");

  printf ("Taille fichier : %ld\n", (long)stat_info.st_size);

  if (stat_info.st_mode & S_IRGRP)
   printf ("les usagers du même goupe peuvent lire le fichier\n");

  return EXIT_SUCCESS;
}
```

Création et Manipulation d'inodes du système de fichiers

Manipulation de liens physiques

Création d'un lien physique sur un répertoire

- ✓ **int link (const char *origine, const char *cible)**
  - permet de créer un nouveau lien physique
  - contraintes
    - *origine* ne peut pas être un répertoire
    - *cible* ne doit pas exister

```
> ln Fic1 Fic2
> ls -ia
24      .
43      ..
78      Fic1
78      Fic2
```

Suppression d'un lien physique

- ✓ **int unlink (const char *ref)**
  - supprime le lien associé à *ref*
  - fichier supprimé si:
    - nombre de liens physiques sur le fichier est nul
    - nombre d'ouvertures du fichier est nul

Changement de nom de lien physique

- ✓ **int rename (const char *ancien, const char *nouveau)**
  - *nouveau* ne doit pas exister
  - impossible de renommer . et ..

code renvoi : 0 (succès) ; -1 (erreur)

Liens symboliques

int symlink (const char* reference, const char* lien);

- ✓ créer un lien symbolique sur le fichier *reference*

int lstat (const char* reference, struct stat* pStat);

ssize_t readlink (const char* ref, char* tampon, size_t taille);

- ✓ récupère à l'adresse *tampon* la valeur du lien symbolique (son contenu)

lchmod (const char* reference, mode_t mode);

lchown (const char* reference, uid_t uid, gid_t gid);

Changement d'attributs d'un i-node

Droits d'accès

- ✓ **int chmod (const char* reference, mode_t mode);**
- ✓ **int fchmod (int descripteur, mode_t mode);**

  attribution des droits d'accès *mode* au fichier :

  - de nom *reference*
  - associé à *descripteur*

Propriétaire

- ✓ **int chown (const char* reference, uid_t uid, gid_t gid);**
- ✓ **int fchown (int descripteur, uid_t uid, gid_t gid);**

  modification du propriétaire *uid* et du groupe *gid* d'un fichier

code renvoi : 0 (succès) ; -1 (erreur) + utiliser perror pour interroger errno

Exemple - chmod

test-chmod.c

```
#define _POSIX_SOURCE 1
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <stdlib.h>

int main (int argc, char* argv []) {
    if (chmod (argv[1],
            S_IRUSR | S_IWUSR|
            S_IRGRP | S_IWGRP |
            S_IROTH | S_IWOTH) == 0)
        printf ("fichier %s en lecture-ecriture pour tous les usagers \n ",
                    argv[1]);
    else { perror ("chmod");    return EXIT_FAILURE;  }
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

```
>ls –l fich1
  -rw------- ….
>test-chmod fich1
  -rw-rw-rw- …..
```

Primitives de base (1)

Ouverture d'un fichier : open

- ✓ **int open (const char* reference, int flags);**
- ✓ **int open (const char* reference, int flags, mode_t droits);**
  - renvoie un numéro de descripteur
  - **flags**:
    - **O_RDONLY** : ouverture en lecture
    - **O_WRONLY** : ouverture en écriture
    - **O_RDWR** : ouverture en lecture-écriture
    - **O_CREAT**: création d'un fichier s'il n'existe pas
    - **O_TRUNC**: vider le fichier s'il existe
    - **O_APPEND** : écriture en fin de fichier
    - **O_SYNC** : écriture immédiate sur disque
    - **O_NONBLOCK** : ouverture non bloquante
  - **droits**: lecture, écriture, exécution

code renvoi :
descripteur int(succès)
-1 (erreur)

Primitives de base (2)

Fermeture de fichier : close

✓**int close (int descripteur);**

- Ferme le descripteur correspondant à un fichier en désallouant son entrée de la table des descripteurs du processus.
- Si nécessaire, mise à jour table des fichiers et table des i-nodes.

Création d'un fichier

✓**int creat (const char* reference, mode_t droits);**

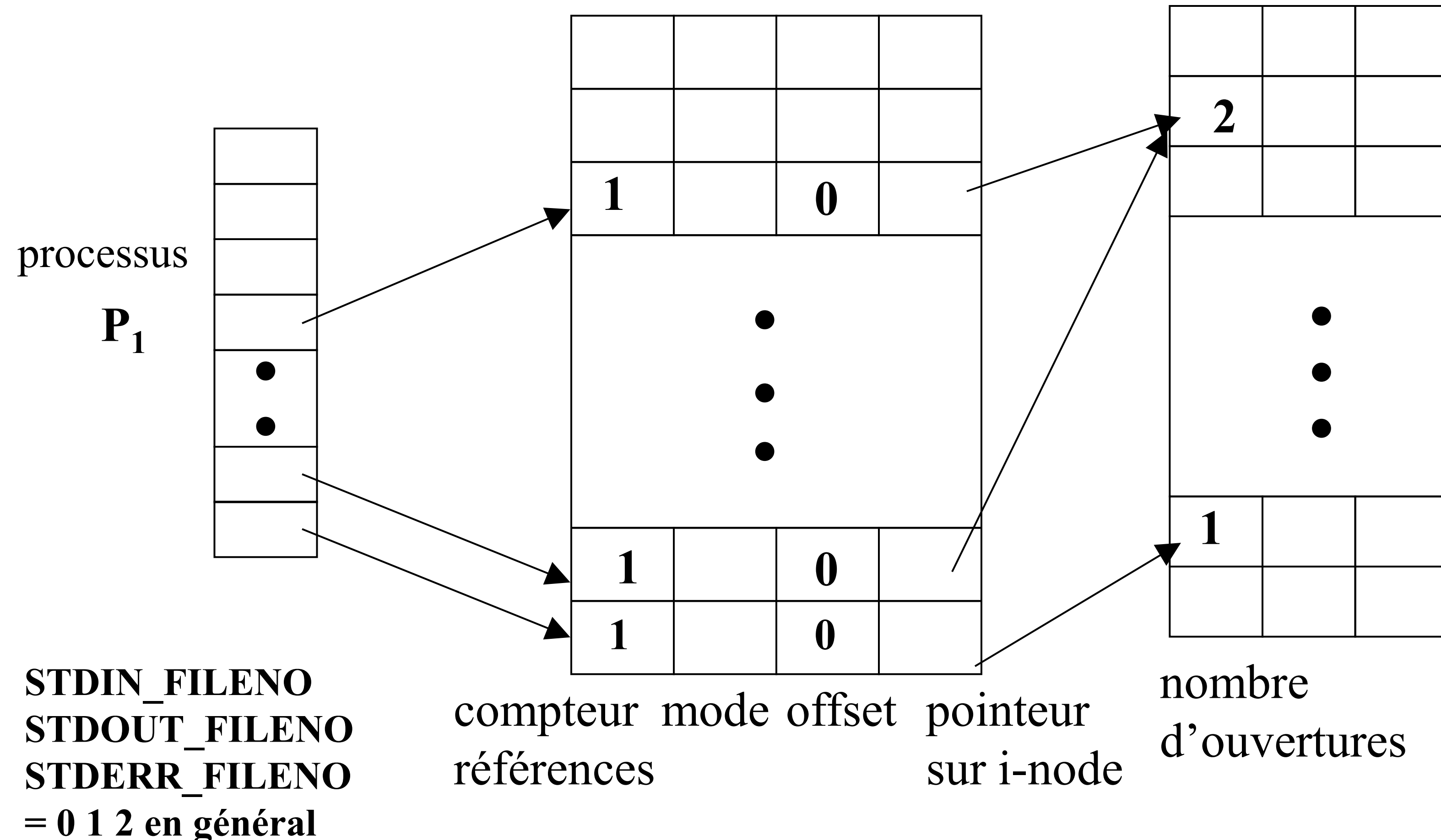
correspond à l'appel suivant:

open (O_WRONLY | O_CREAT O_TRUNC, droits);

Organisation des Tables

Le système maintient une table des descripteurs ouverts :

- File descriptor = index dans cette table



Primitives de base (3)

Lecture dans un file descriptor : read, readv, pread

- ✓ **ssize_t read (int desc, void* tampon, size_t nbr);**
  - Demande de lecture d'au + *nbr* caractères du fichier correspondant à *desc*.
  - Les caractères lus sont écrits dans *tampon.*
  - Renvoie le nombre de caractères lus ou -1 en cas d'erreur.
  - La lecture se fait à partir de la **position courante**

    offset de la *Table des Fichiers Ouverts ;* mise à jour après la lecture.
- ✓ **ssize_t readv (int desc, const struct iovec* vet, int n);**
  - Données récupérées dans une *struct iovec* de taille *n*.

```
struct iovec {
    void *iov_base;
    size_t iov_len; }
```

- ✓ **ssize_t pread (int desc, void* tampon, size_t nbr, off_t pos);**
  - Lecture à partir de la position *pos* ; *offset* n'est pas modifié.

Attention aux lectures partielles

- Read rend le nombre d'octets lus

```
int fullread (char *buff, size_t len, int fd) {
        size_t lu=0, alire=len;
        while (alire !=0) {
                int n = read (fd, buff+lu,alire);
                if (n < 0) return -1;
                alire -= n;
                lu +=n;
        }
        return 0;
}
```

Primitives de base (4)

Ecriture dans un fichier : write, writev, pwrite

- ✓ **ssize_t write (int desc, void* tampon, size_t nbr);**
  - Demande d'écriture de *nbr* caractères contenus à partir de l'adresse *tampon* dans le fichier correspondant à *desc*.
  - Renvoie le nombre de caractères écrits ou -1 en cas d'erreur.
  - L'écriture se fait à partir de la fin du fichier (O_APPEND) ou de la position courante.
  - Modifie le champ *offset* de la *Table des Fichiers Ouverts.*
- ✓ **ssize_t writev (int desc, const struct iovec* vet, int n);**
- ✓ **ssize_t pwrite (int desc, void* tampon, size_t nbr, off_t pos);**

Exemple – open, read et write

test-rw.c

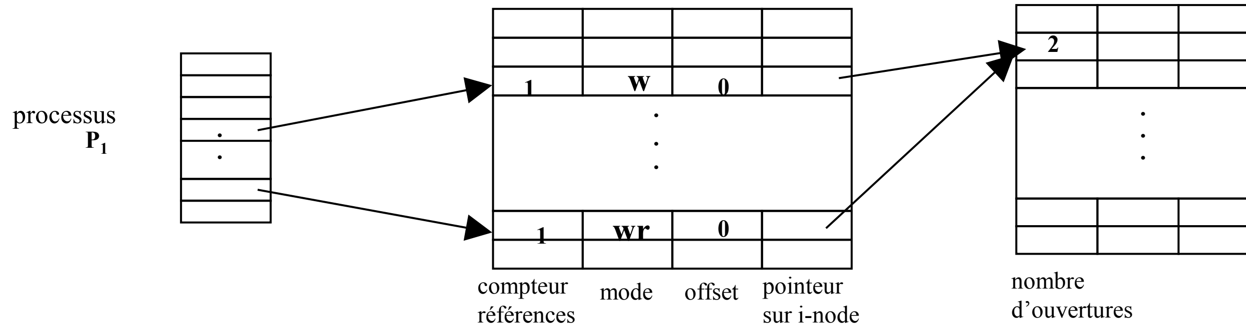
```
#define _POSIX_SOURCE 1
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <string.h>

#define SIZE_TAMPON 100
char tampon [SIZE_TAMPON];
int main (int argc, char* argv [])  {
  int fd1, fd2;     int n,i;

  fd1 = open (argv[1],
          O_WRONLY|O_CREAT|O_SYNC,0600);
  fd2 = open (argv[1], O_RDWR);
  if ( (fd1== -1) || (fd2 == -1)) {
     perror("open");
    return EXIT_FAILURE;
}
  if (write (fd1,"abcdef", strlen ("abcdef"))
== -1) { /* error */ }
  if (write (fd2,"123", strlen ("123") ) == -1)
{ /*error*/}
  if ((n= read (fd2,tampon, SIZE_TAMPON))
<=0) {  /*error*/ }

  for (i=0 ; i<n; i++)
    printf ("%c",tampon [i]);

  return EXIT_SUCCESS;
}
```

```
>test-rw fich2
  def
>cat fich2
 123def
```

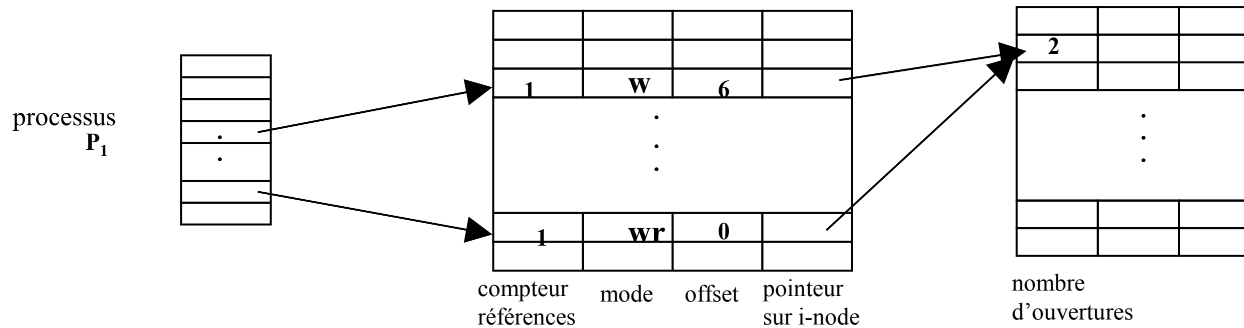
Organisation des Tables

Table de descripteurs **Table de fichiers ouverts** **Table d'i-nodes**

Après les 2 « opens »



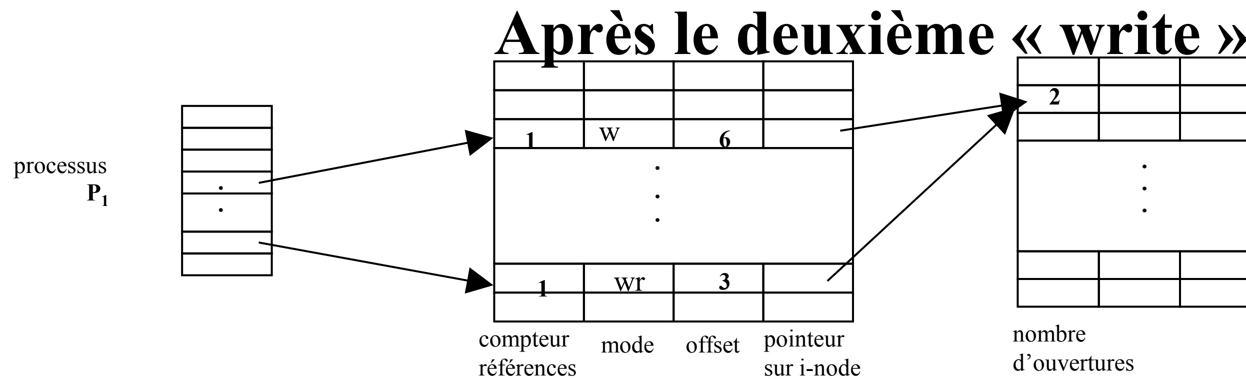
Après le premier « write »



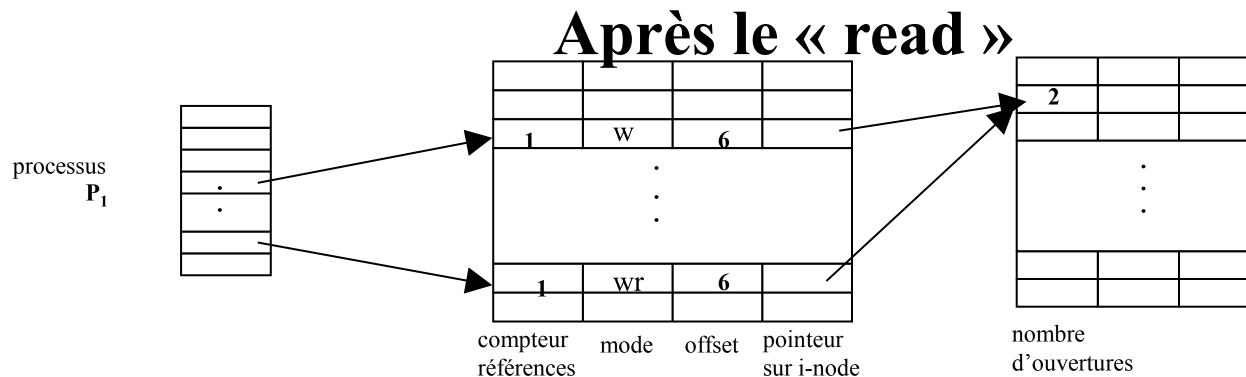
Organisation des Tables

Table de descripteurs | **Table de fichiers ouverts** | **Table d'i-nodes**

Après le deuxième « write »



Après le « read »



Primitives de base (5)

Manipulation de l'offset: lseek

- ✓ **off_t lseek (int desc, off_t position, int origine);**
  - Permet de modifier la position courante *(offset*) de l'entrée de la *Table de Fichiers Ouverts* associée à *desc*.
  - La position courante prend comme nouvelle valeur : *position* + *origine*.
  - **origine**:
    - **SEEK_SET**: 0 (début du fichier)
    - **SEEK_CUR** : Position courante
    - **SEEK_END** : Taille du fichier
  - Renvoie la nouvelle position courante ou -1 en cas d'erreur.

test-lseek.c

Exemple – lseek

```
#define _POSIX_SOURCE 1
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <string.h>

#define SIZE_TAMPON 100
char tampon [SIZE_TAMPON];
int main (int argc, char* argv []) {
  int fd1, fd2;    int n,i;

  fd1 = open (argv[1],
O_WRONLY|O_CREAT|O_SYNC
              ,0600);
  fd2 = open (argv[1], O_RDWR);

  if ( (fd1== -1) || (fd2 == -1)) {
    printf ("open %s" ,argv[1]);
    return EXIT_FAILURE;
}
```

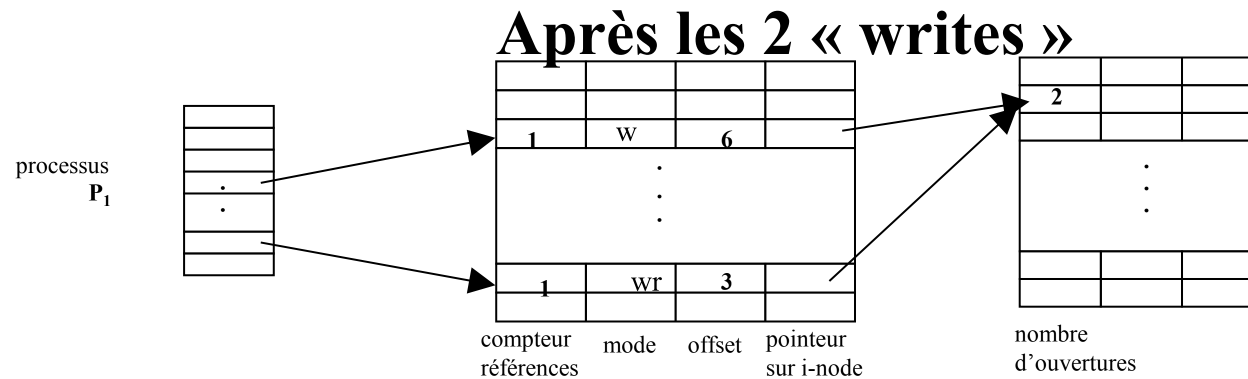
```
 if (write (fd1,"abcdef", strlen ("abcdef"))
            == -1) { /*error*/}
 if (write (fd2,"123", strlen ("123") )
            == -1) { /*error*/ }
/* déplacement au début du fichier */
 if (lseek(fd2,0,SEEK_SET)
            == -1) {/*error*/}
 if ((n= read (fd2,tampon, SIZE_TAMPON))
            <=0) {/*error*/}
  for (i=0 ; i<n; i++)
     printf ("%c",tampon [i]);
 return EXIT_SUCCESS;
}
```

```
>test-lseek fich3
  123def
>cat fich3
  123def
```

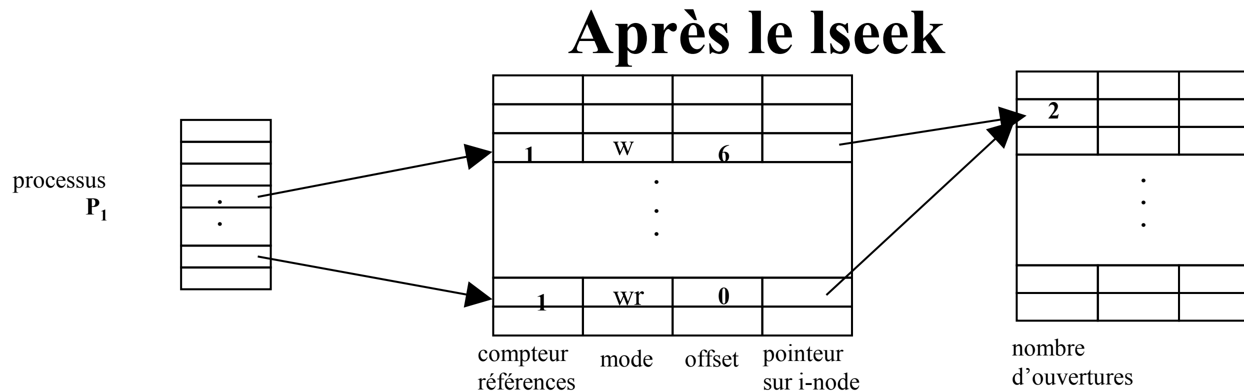
Organisation des Tables

Table de descripteurs **Table de fichiers ouverts** **Table d'i-nodes**

Après les 2 « writes »

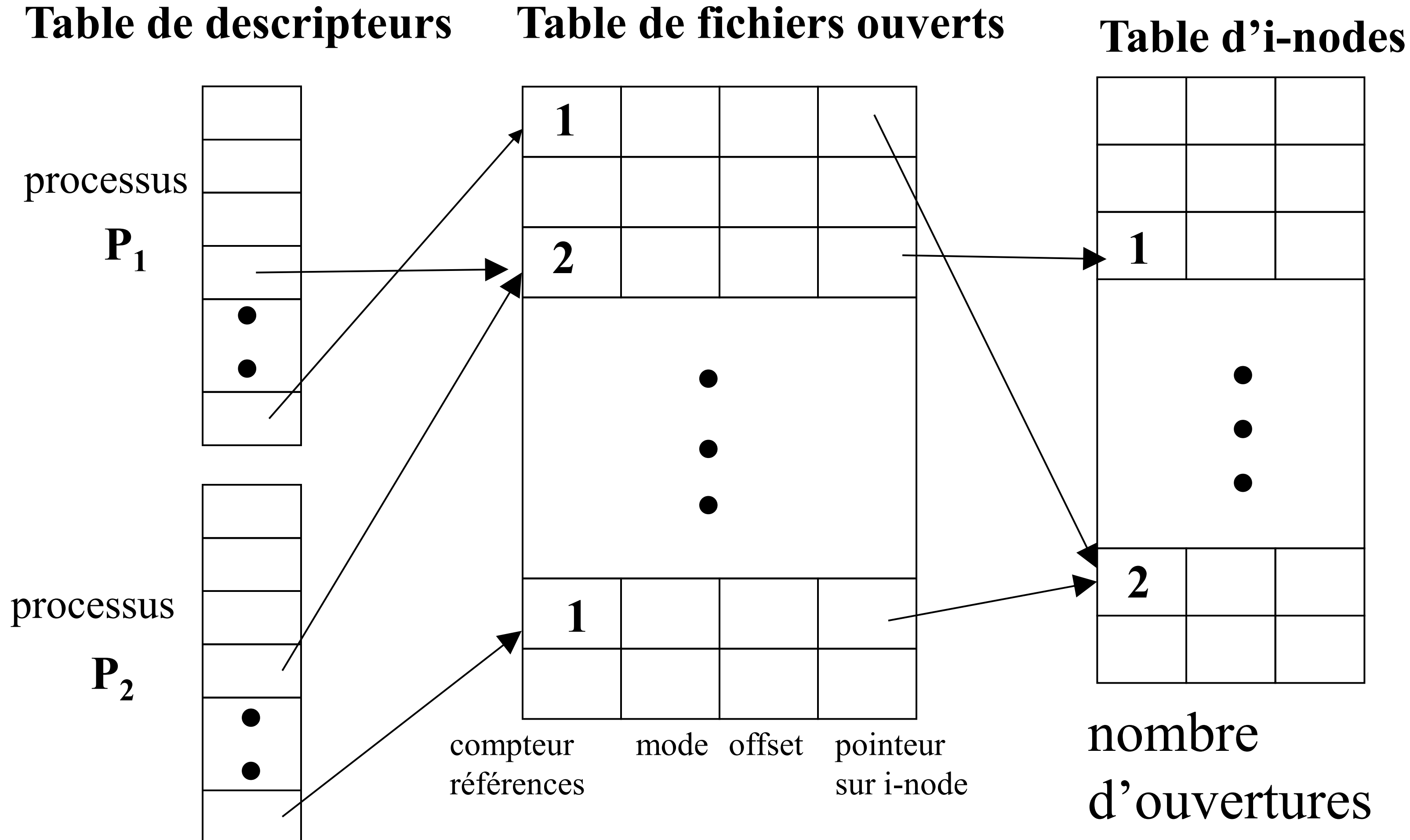


Après le lseek



Fork - organisation des Tables

En particulier, on partage les stdin/out/err et les offsets dedans



Exemple – fork

```
#define _POSIX_SOURCE 1
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <string.h>
#include <sys/wait.h>

#define SIZE_TAMPON 100
 char tampon [SIZE_TAMPON];

 int main (int argc, char* argv []) {
   int fd1, fd2;    int n,i;
  if ((
fd1 = open (argv[1],
                O_RDWR| O_CREAT|O_SYNC
                ,0600)) == -1) {}
if (write (fd1,"abcdef", strlen ("abcdef"))
== -1) {}
```

```
if (fork () == 0) {
     /* fils */
    if ((fd2 = open (argv[1], O_RDWR)) == -1) {}
    if (write (fd1,"123", strlen ("123")) == -1) {}
    if ((n= read (fd2,tampon, SIZE_TAMPON)) <=0)
    for (i=0 ; i<n; i++)
        printf ("%c",tampon [i]);
    exit (0);
 }
  else /* père */
     wait (NULL);
  return EXIT_SUCCESS;
}
```

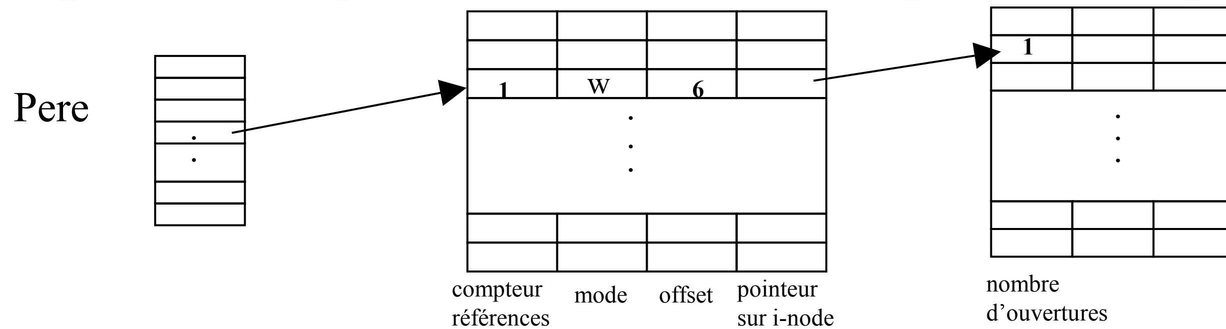
```
>test-fork fich4
  abcdef123
>cat fich4
  abcdef123
```

Blocs vides {} = perror + exit

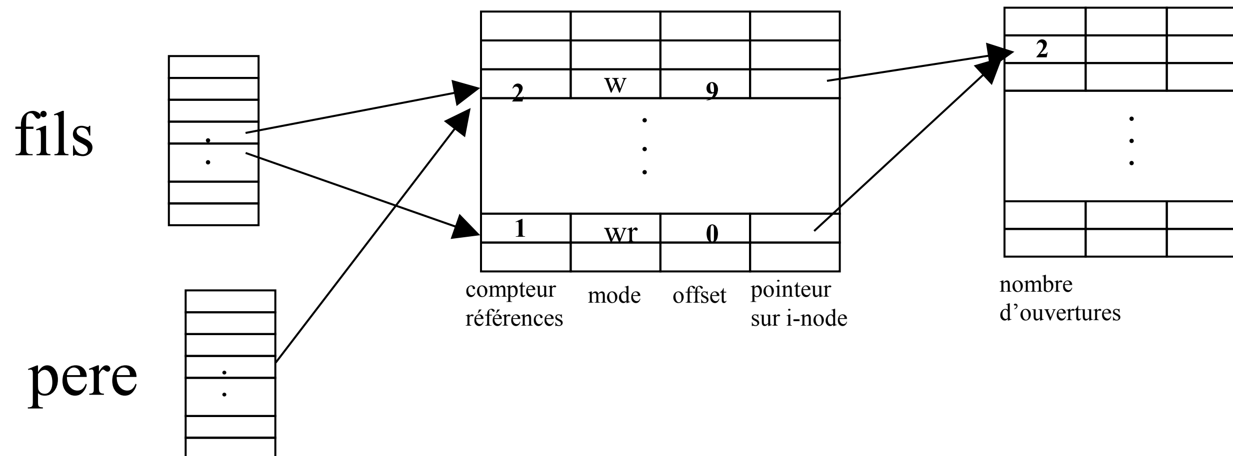
Organisation des Tables

Table de descripteurs **Table de fichiers ouverts** **Table d'i-nodes**

Après le « open » et « write » du processus principal



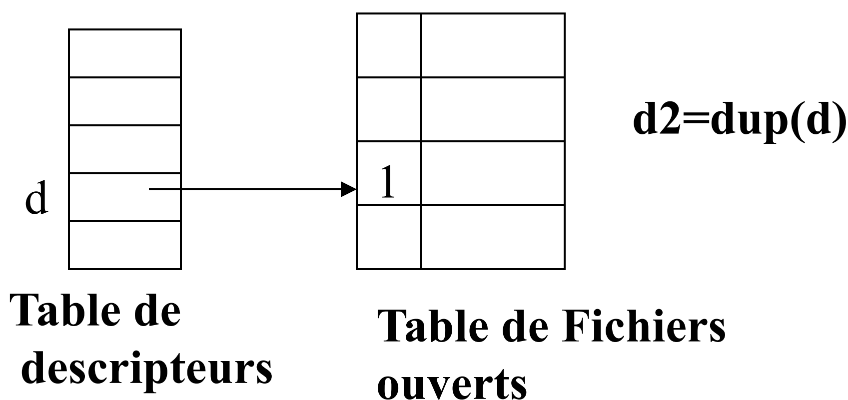
Après le fork , « open » et « write » (fils)



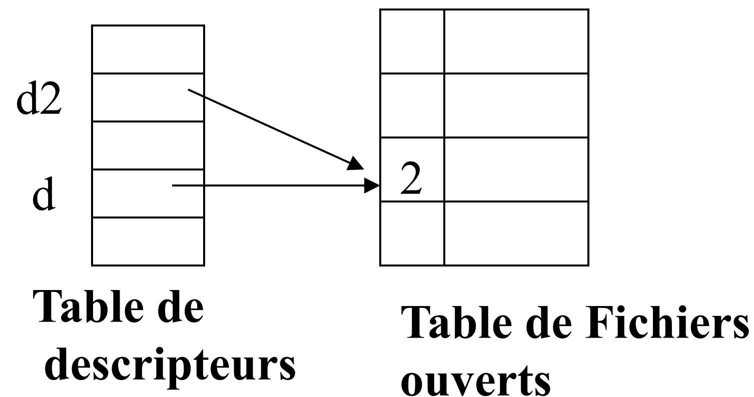
Duplication de descripteur

La primitive dup

- **int dup (int desc);**
  - Recherche le + petit descripteur disponible dans la table des descripteurs du processus et en fait un synonyme de *desc*.
- **int dup2 (int desc, int desc2);**
  - Force le descripteur *desc2* à devenir synonyme de *desc*.
  - Utile en combinaison avec pipe par exemple



d2=dup(d)



Exemple – dup2

```
#define _POSIX_SOURCE 1

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include <fcntl.h>
int fd1;
int main (int argc, char* argv []) {

  if ((fd1 = open (argv[1], O_WRONLY| O_CREAT,
                              0600)) == -1) {}

  printf ("avant le dup2: descripteur %d \n", fd1);
  dup2 (fd1, STDOUT_FILENO);
  printf ("après le dup2 \n");

 return EXIT_SUCCESS;
}
```

Redirection de stdout

```
> test-dup2 fich5
  avant le dup2 : descripteur 3
> cat fich5
  après le dup2
```

Quelques erreurs associées aux E/S

Attention il FAUT tester et rattraper les valeurs -1/négatives

#include <errno.h>

extern int errno;

- **EACCESS** : accès interdit.
- **EBADF**: descripteur de fichier non valide.
- **EEXIST** : fichier déjà existant.
- **EIO**: erreur E/S.
- **EISDIR**: opération impossible sur un répertoire.
- **EMFILE**: trop de fichiers ouverts pour le processus (> OPEN_MAX).
- **EMLINK** : trop de liens physiques sur un fichier (> LINK_MAX).
- **ENAMETOOLONG** : nom fichier trop long (>PATH_MAX)
- **ENOENT** : fichier ou répertoire inexistant.
- **EPERM** : droits d'accès incompatible avec l'opération.

Tubes, Tubes Nommés

Tubes anonymes et nommés

Mécanisme de communications du système de fichiers

- ✓I-node associé.
- ✓Type de fichier: S_IFIFO.
- ✓Accès au travers des primitives ***read*** et ***write***.

Les tubes sont unidirectionnels

- ✓Une extrémité est accessible en ***lecture*** et l'autre l'est en ***écriture***.
- ✓Dans le cas des tubes anonymes, si l'une ou l'autre extrémité devient inaccessible, cela est irréversible.

Tubes anonymes et nommés

Mode FIFO

- ✓Première information écrite sera la première à être consommée en lecture.

Communication d'un flot continu de caractères (stream)

- ✓Possibilité de réaliser des opérations de lecture dans un tube sans relation avec les opérations d'écriture.

Opération de lecture est destructive :

- ✓Une information lue est extraite du tube.

Tubes anonymes et nommés

Capacité limitée

- ✓Notion de tube plein (taille : PIPE_BUF).
- ✓Écriture éventuellement bloquante.

Possibilité de plusieurs lecteurs et écrivains

- ✓Nombre de lecteurs :
  - L'absence de lecteur interdit toute écriture sur le tube.
  - Signal SIGPIPE.
- ✓Nombre d'écrivains :
  - L'absence d'écrivain détermine le comportement du *read:* lorsque le tube est vide, la notion de fin de fichier est considérée.

Primitive de **synchronisation et de communication** simple

Les tubes anonymes

Primitive pipe

Pas de nom

- ✓Impossible pour un processus d'ouvrir un pipe anonyme en utilisant *open*.

Acquisition d'un tube:

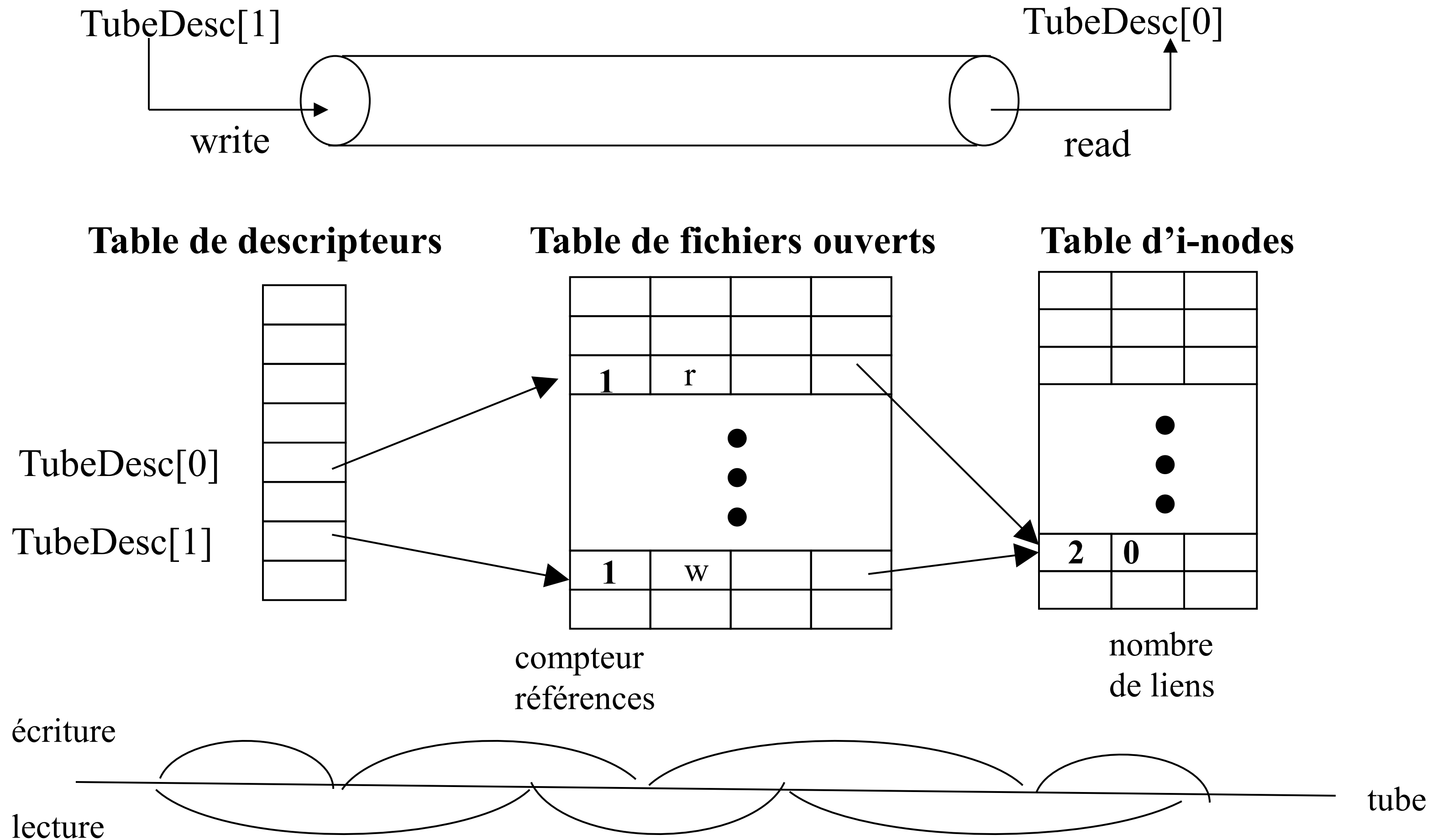
- ✓Création : primitive *pipe*.
- ✓Héritage : *fork*, *dup*
  - Communication entre père et fils.
  - Un processus qui a perdu un accès à un tube n'a plus aucun moyen d'acquérir de nouveau un tel accès.

Les tubes anonymes

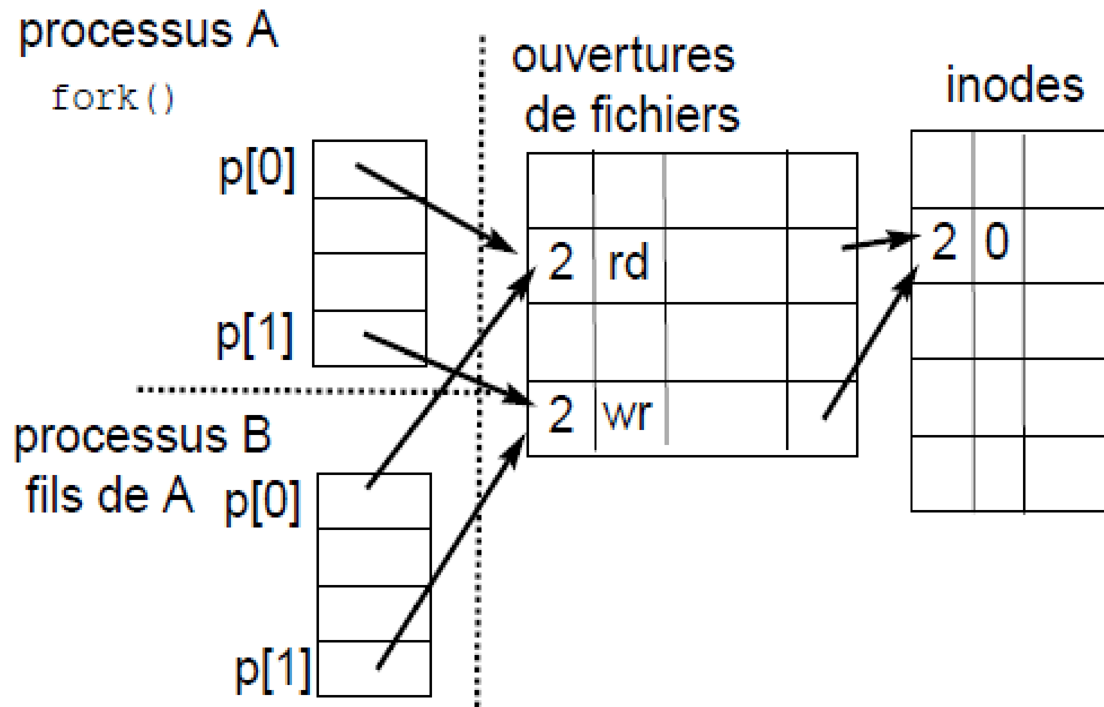
```
#include <unistd.h>
 // declarer int tubeDesc[2];
 int pipe (int *TubeDesc);
```

- ✓ en cas de succès: appel renvoie 0
  - TubeDesc[0] : descripteur de lecture
  - TubeDesc[1] : descripteur d'écriture
- ✓ en cas d'échec : appel renvoie -1
  - errno = EMFILE (table de descripteurs de processus pleine).
  - errno = ENFILE (table de fichiers ouverts du système pleine).

Les tubes anonymes



Les tubes anonymes



Les tubes anonymes

Opérations autorisées

- ✓ ***read***, ***write*** : lecture et écriture
  - Opérations bloquantes par défaut
- ✓ ***close***: fermer des descripteurs qui ne sont pas utilisés
- ✓ ***dup***, ***dup2*** : duplication de description; redirection
- ✓ ***fstat***, ***fcntl***: accès/modification des caractéristiques

Opérations non autorisées

- ✓ *open, stat, access, link, chmod, chown, rename*

Les tubes anonymes (fstat)

Accès aux caractéristiques d'un tube

```
struct stat stat;

int main (int argc, char ** argv) {
   int tubeDesc[2];

  if (pipe (tubeDesc) == -1) {
     perror ("pipe"); exit (1);
}

 if ( fstat (tubeDesc[0],&stat) == -1) {
   perror ("fstat"); exit (2);
 }

if (S_ISFIFO (stat.st_mode)) {
   printf ("il s'agit d'un tube \n");
   printf ("num. inode %d \n", (int)stat.st_ino);
   printf ("nbr. de liens %d \n", (int)stat.st_nlink);
   printf ("Taille : %d \n", (int) stat.st_size);
}

return EXIT_SUCCESS;
}
```

Les tubes anonymes (lecture)

Lecture dans un tube d'au plus TAILLE_BUF caractères

- ✓ **read (tube[0], buff, TAILLE_BUF);**

- **si le tube n'est pas vide** et contient *taille* caractères, lire dans *buff* min (taille, TAILLE_BUF). Ces caractères sont extraits du tube.
- **si le tube est vide**
  - **si le nombre d'écrivains est nul**
    - » fin de fichier; *read* renvoie 0
  - **sinon**
    - » **si la lecture est bloquante** (par défaut),

      le processus est mis en sommeil jusqu'à ce que le tube ne soit plus vide ou qu'il n'y ait plus d'écrivains;
    - » **sinon**

      retour immédiat; renvoie -1 et errno = EAGAIN.

Les tubes anonymes (écriture)

Ecriture de TAILLE_BUFF caractères dans un tube:

- ✓ **write (tube[1], buff, TAILLE_BUF);**
  - Ecriture sera **atomique** si **TAILLE_BUF** < **PIPE_BUF.**

- **si le nombre de lecteurs dans le tube est nul**
  - signal **SIGPIPE** est délivré à l'écrivain (terminaison du processus par défaut); si SIGPIPE capté, fonction *write* renvoie -1 et **errno = EPIPE**.
- **sinon**
  - **si l'écriture est bloquante**
    - » le retour du *write* n'a lieu que lorsque **TAILLE_BUF** caractères ont été écrits**.**
  - **sinon**
    - » **si (TAILLE_BUF <= PIPE_BUF)**

      s'il y a au moins TAILLE_BUFF emplacements libres dans le tube

      écriture atomique est réalisée;

      sinon

      renvoie -1, **errno = EAGAIN.**
    - » **sinon**

      le retour est un nombre inférieur à **TAILLE_BUF**.

Attention à boucler et à l’atomicité si grosse écriture

Les tubes anonymes (exemple fork)

Communication entre processus père et fils

```
#define _POSIX_SOURCE 1
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/wait.h>
#define S_BUF 100

int main (int argc, char ** argv) {
      int tubeDesc[2];
      char buffer[S_BUF];
      int n; pid_t pid_fils;

       if (pipe (tubeDesc) == -1) {
         perror ("pipe"); exit (1);
      }
if ( (pid_fils = fork ( )) == -1 ) {
         perror ("fork"); exit (2);
}
```

```
 if (pid_fils == 0) { /*fils */
    if (( n = read (tubeDesc[0],buffer, S_BUF)) == -1) {
         perror ("read"); exit (3);
  }
  else {
         buffer[n] = '\0'; printf ("%s\n", buffer);
   }
       exit (0);
}
else {/*père */
         if ( write (tubeDesc[1],"Bonjour", 7)== -1) {
              perror (”write"); exit (4);
         }
  wait (NULL);
 }
 return (EXIT_SUCCESS); }
```

Affichage fils:
Bonjour

Les tubes anonymes (exemple 2 fork)

Communication entre père et fils : blocage

```
#define _POSIX_SOURCE 1
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/wait.h>
#define S_BUF 100

int main (int argc, char ** argv) {
        int tubeDesc[2];
        char buffer[S_BUF];
        int n; pid_t pid_fils;

         if (pipe (tubeDesc) == -1) {
           perror ("pipe"); exit (1);
        }
if ( (pid_fils = fork ( )) == -1 ) {
           perror ("fork"); exit (2);
}
```

```
if (pid_fils == 0) { /* fils*/
  for (i=0; i<2; i++)
     if (( n= read (tubeDesc[0], buffer, S_BUF)) == -1){
               perror ("read"); exit (3);
      }
     else { buffer[n] = '\0'; printf ("%s\n",buffer); }
    exit (0);
  }
  else { /* père */
     for (i=0; i<2; i++)
       if ( write (tubeDesc[1],"Bonjour",7) == -1 {
               perror ("write"); exit (4);
        }
     wait (NULL);
  }
 return (EXIT_SUCCESS); }
```

Affichage fils:
BonjourBonjour

- Processus père et fils bloqués

Les tubes anonymes (exemple)

Ecriture dans un tube sans lecteur **test-sigpipe.c**

```
#define _POSIX_SOURCE 1
#include <sys/types.h>
#include <signal.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>

void sig_handler (int sig) {
  if (sig == SIGPIPE)
    printf ("eciture dans un tube sans lecteurs \n");
}

int main (int argc, char ** argv) {
   int tubeDesc[2]; struct sigaction action;
   action.sa_handler= sig_handler;
   sigaction (SIGPIPE, &action, NULL);

if (pipe (tubeDesc) == - 1) {
   perror ("pipe");
   exit (1);
}
 close (tubeDesc[0]); /* sans lecteur */

 if ( write (tubeDesc[1],"x", 1) == -1)
   perror ("write");

 return EXIT_SUCCESS;
}
```

```
> test-sigpipe
    ecriture dans un pipe sans lecteurs
     write: Broken pipe
```

Les tubes anonymes

read et *write* sont des opérations bloquantes par défaut

fonction *fcntl*:

- ✓ permet de les rendre non bloquantes

  int tube[2], attributs;

  ….. pipe (tube); ….

  /* rendre l'écriture non bloquante */

  attributs = **fcntl** (tube[1], F_GETFL);

  attributs |=O_NONBLOCK;

  fcntl (tube[1], F_SETFL,attributs);

  …..

Les tubes anonymes (dup et close)

close

- ✓ Fermeture des descripteurs qui ne sont pas utilisés.

dup, dup2

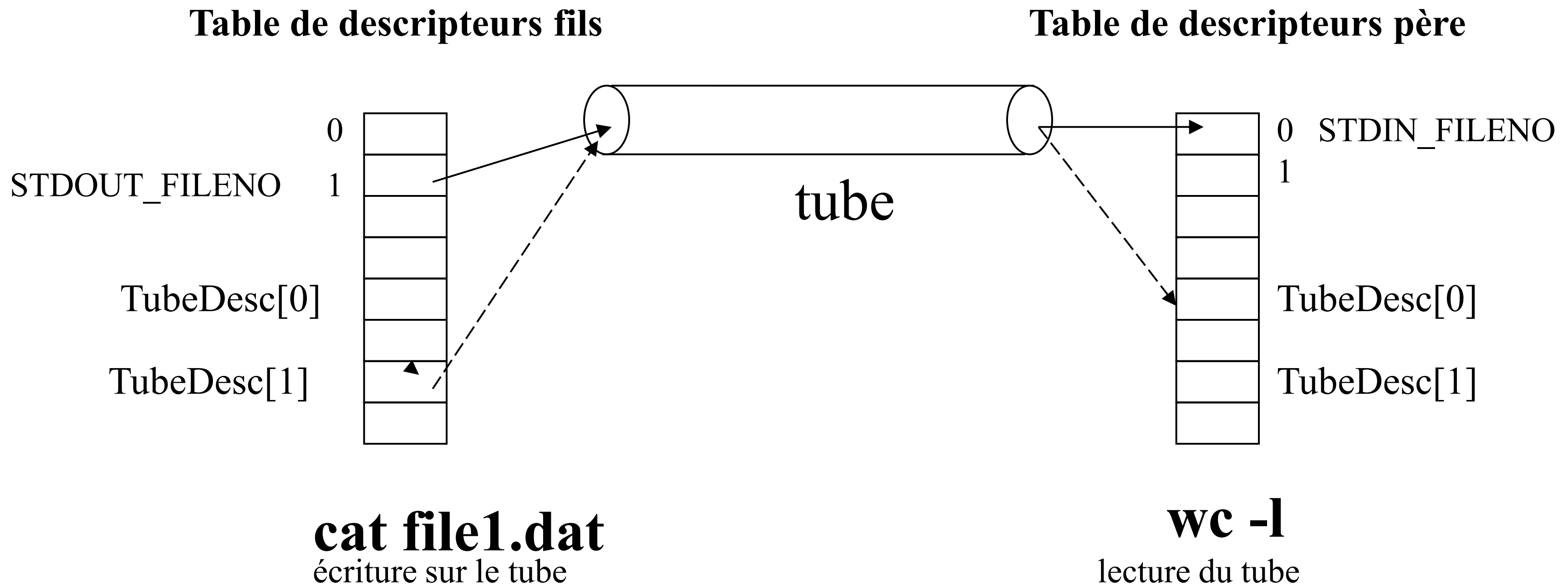
- ✓ Duplication des descripteurs.
- ✓ Rediriger les entrées-sorties standard d'un processus sur un tube.

```
int tube[2], attributs;
 …..
   pipe (tube); ….
  dup2(tube[0], STDIN_FILENO);
  close (tube[0]);
 …
```

Les tubes anonymes (exemple de redirection)

/* nombre de lignes d'un fichier */

✓ cat file1.dat | wc -l



Les tubes anonymes (exemple de redirection)

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

int main (int argc, char ** argv) {
int tubeDesc[2]; pid_t pid_fils;

 if (pipe (tubeDesc) == -1) {
   perror ("pipe");
   exit (1);
}

 if ( (pid_fils = fork ( )) == -1 ){
   perror ("fork");
   exit (2);
}
```

```
if (pid_fils == 0) { /* fils */
    dup2(tubeDesc[1],STDOUT_FILENO);
    close (tubeDesc[1]); close (tubeDesc[0]);
    if (execl ("/bin/cat", "cat", "file1.dat",NULL) == -1) {
        perror ("execl"); exit (3);
    }
 }
 else { /* père */
        dup2(tubeDesc[0],STDIN_FILENO);
        close (tubeDesc[0]);
        close (tubeDesc[1]);
        if (execl ("/bin/wc", "wc", "-l", NULL) == -1) {
            perror ("execl"); exit (3);
        }
  }
  return (EXIT_SUCCESS);
}
```

Tubes Nommés

Tubes nommés

Permettent à des processus sans lien de parenté de communiquer en mode flot (stream).

- ✓ Toutes les caractéristiques des tubes anonymes.
- ✓ Sont référencés dans le système de gestion de fichiers.
- ✓ Utilisation de la fonction *open* pour obtenir un descripteur en lecture ou écriture.
- ✓ ls -l

```
prw-rw-r--   1 arantes  src            0 Nov  9  2004   tube1
```

Tubes nommés (mkfifo)

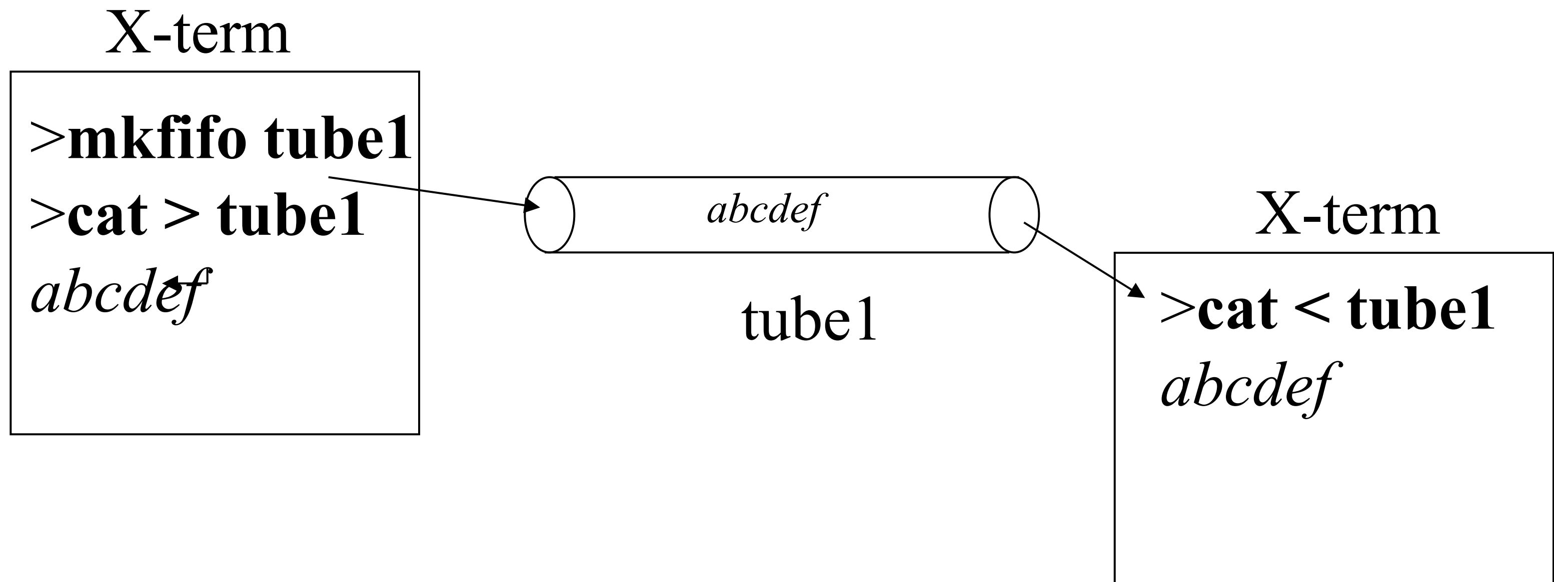
Création d'un tube nommé

- ✓ **mkfifo [-p] [-m mode] *référence***
  - -m mode : droits d'accès (les mêmes qu'avec chmod).
  - -p : création automatique de tous les répertoires intermédiaires dans le chemin *référence*.

Fonction

- ✓ **int mkfifo (const char *ref, mode_t droits);**
  - *ref* définit le chemin d'accès au tube nommé et *droits* spécifie les droits d'accès.
  - Renvoie 0 en cas de succès; -1 en cas d'erreur.
    - errno = EEXIST, si fichier déjà créé.

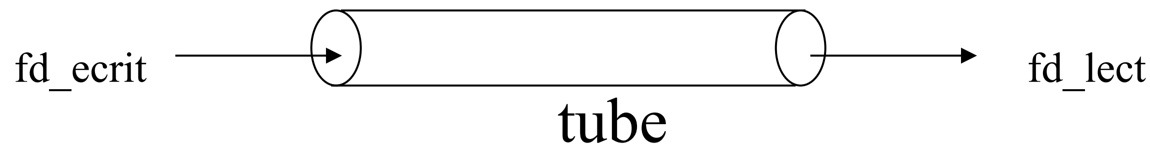
Tubes nommés (mkfifo)



Tubes nommés (open)

Par défaut bloquante (rendez-vous):

- ✓ Une demande d'ouverture en lecture est bloquante s'il n'y a aucun écrivain sur le tube.
- ✓ Une demande d'ouverture en écriture est bloquante s'il n'y a aucun lecteur sur le tube.




```
int fd_lect, fd_ecrit;
fd_lect = open ("tube", O_RDONLY);
fd_ecrit = open ("tube", O_WRONLY);
```

Tubes nommés (open)

Ouverture non bloquante

- ✓ Option O_NONBLOCK lors de l'appel à la fonction *open*
  - **Ouverture en lecture** :
    - Réussit même s'il n'y a aucun écrivain dans le tube.
    - Opérations de lectures qui se suivent sont non bloquantes.
  - **Ouverture en écriture** :
    - Sur un tube sans lecteur, l'ouverture échoue: valeur -1 renvoyée.
    - Si le tube possède des lecteurs, l'ouverture réussit et les écritures dans les tubes sont non bloquantes.

Tube nommé (suppression du nœud)

Un nœud est supprimé quand:

- ✓ Le nombre de liens physiques est nul.
  - Fonction *unlik* ou commande *rm*.
- ✓ Le nombre de liens internes est nul.
  - Nombres de lecteurs et écrivains sont nuls.

Si nombre de liens physiques est nul, mais le nombre de lecteurs et/ou écrivains est non nul

- ✓ Tube nommé devient un tube anonyme.

Tubes nommés (écrivain)

```
#define _POSIX_SOURCE 1
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>

#define S_BUF 100
int n ;
char buffer[S_BUF];
int main (int argc, char ** argv) {
  int fd_write;

   if ( mkfifo(argv[1],
      S_IRUSR|S_IWUSR) == -1) {
        perror ("mkfifo");
        exit (1);
   }
```

```
if (( fd_write = open (argv[1],
     O_WRONLY)) == -1) {
        perror ("open");
        exit (2);
 }

 if (( n= write(fd_write,"Bonjour", 7)) == -1) {
     perror ("write");
     exit (3);
 }

 close (fd_write);
 return EXIT_SUCCESS;

}
```

Tubes nommés (lecteur)

```
#define _POSIX_SOURCE 1
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#define S_BUF 100
int n ; char buffer[S_BUF];

int main (int argc, char ** argv) {
int fd_read;
    if (( fd_read = open (argv[1],
         O_RDONLY)) == -1) {
         perror ("open"); exit (1)
}
```

```
if (( n= read (fd_read, buffer, S_BUF)) == -1){
                perror ("read");
                exit (2);
 }
 else {
         buffer[n] = '\0';
         printf ("%s\n",buffer);
 }
 close (fd_read);
 return EXIT_SUCCESS;
}
```

Tubes nommés: interblocage (ouverture bloquante)

PROCESSUS 1 :

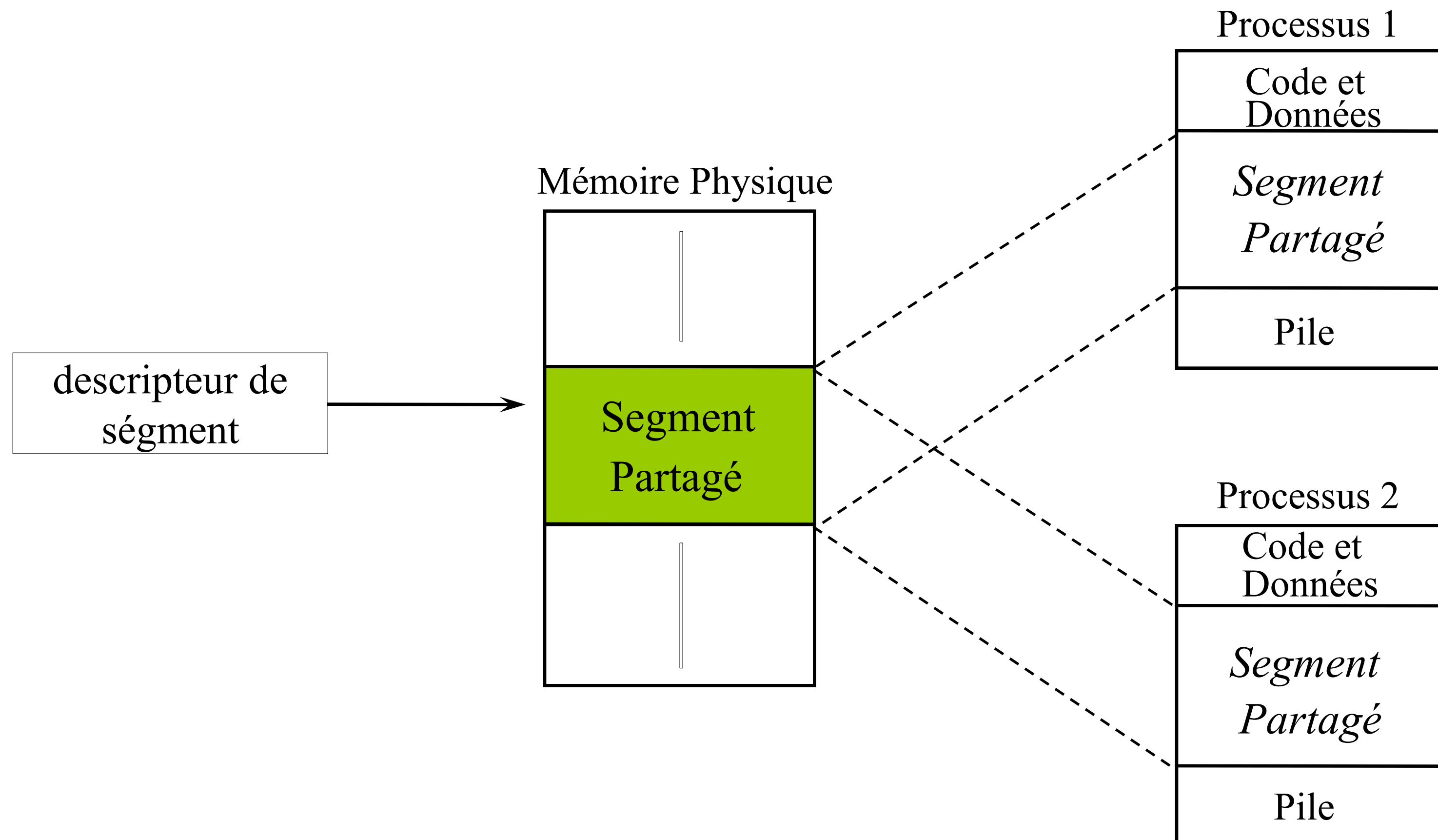
```
int main (int argc, char ** argv) {
  int fd_write, fd_read;

  if ( (mkfifo("tube1",S_IRUSR|S_IWUSR) == -1) ||
  (mkfifo("tube2",S_IRUSR|S_IWUSR) == -1)) {
        perror ("mkfifo"); exit (1);
  }

  if (( fd_write = open ("tube1", O_WRONLY)) == -1) {
        perror ("open"); exit (2);
  }

 if (( fd_read = open ("tube2", O_RDONLY)) == -1) {
        perror ("open"); exit (3);
  }
…..
 return EXIT_SUCCESS;
 }
```

PROCESSUS 2 :

```
int main (int argc, char ** argv) {
   int fd_write, fd_read;

   if (( fd_write = open ("tube2", O_WRONLY))
       == -1) {
              perror ("open"); exit (2);
   }

    if (( fd_read = open ("tube1", O_RDONLY))
      == -1) {
              perror ("open"); exit (3);
   }
   …..
   return EXIT_SUCCESS;
 }
```

Mémoire partagée

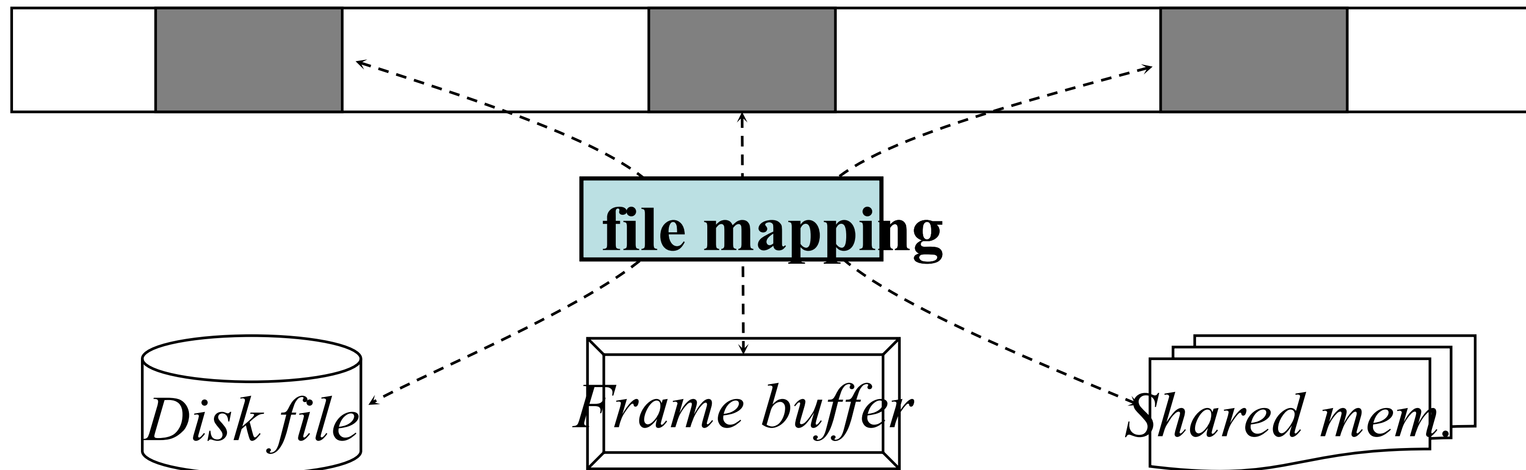
Segments de mémoire partagée



Segments de mémoire partagée

Principe

- ✓ Zone mémoire attachée à un processus mais accessible pour d’autres processus
- ✓ Liée à un autre service : file mapping
  - Etablissement d'une correspondance (attachement) entre :
    - Un fichier (ou un segment de mémoire)
    - Une partie de l'espace d'adressage d'un processus réservée à cet effet



Segments de mémoire partagée

Avantages

- ✓ Accès totalement libre
  - Chaque processus détermine à quelle partie de la structure de données il accède
- ✓ Efficacité
  - Pas de recopie mémoire : tous les processus accèdent **directement** au même segment

Désavantages

- ✓ Accès totalement libre
  - Pas de synchro implicite comme pour les tubes et les files de msgs
  - ⇒ Synchro doit être explicitée (sémaphores ou signaux)
- ✓ Pas de gestion de l'adressage
  - Validité d'un pointeur limitée à son esp. d'adressage
  - ⇒ Impossible de partager des pointeurs entre processus

Mémoire partagée POSIX

Fichier <sys/mman.h>

Fonctions contenues dans la bibliothèque librt (real-time)

```
$ gcc -Wall -o monprog monprog.c -lrt
```

Accès

- ✓ shm_open ⇒ créer / ouvrir un segment en mémoire
- ✓ close ⇒ fermer un segment
- ✓ mmap ⇒ attacher un segment dans l'espace du processus
- ✓ munmap ⇒ détacher un segment de l'espace du processus
- ✓ shm_unlink ⇒ détruire un segment

Opérations sur un segment

- ✓ mprotect ⇒ changer le mode de protection d'un segment
- ✓ ftruncate ⇒ allouer une taille à un segment

Ouverture / Destruction d'un segment de mémoire partagée

```
#include<sys/mman.h>
int shm_open(const char *name, int flags,
              mode_t mode);
```

- ✓ Crée un nouveau segment de taille 0
  ou recherche le descr. d'un segment déjà existant
- ✓ Retourne un descripteur positif en cas de succès, -1 sinon
- ✓ *flags* idem open
- ✓ *mode* idem chmod

```
int shm_unlink(const char *name);
```

- ✓ Idem mq_unlink

Attachement / Détachement d'un segment de mémoire partagée

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

- ✓ Retourne NULL en cas d'échec,

  l'@ d'un attachement de taille *len* à partir *d'offset* ds le segment de descr *fd* sinon
- ✓ *Addr :* addresse où attacher le segment en mémoire ; 0 ⇒ choix du système
- ✓ *prot:* protection associée (PROT_READ, PROT_WRITE, PROT_EXEC, PROT_NONE)
- ✓ *flags:* mode de partage

  MAP_SHARED : modifs visibles par tous les pcs ayant accès (partage)

  MAP_PRIVATE : modifs visibles par le pcs appelant uniquement(shadow copy)

  MAP_FIXED : force l'utilisation d'*addr*

mmap*(*0, sizeof(data) ,PROT_READ|PROT_WRITE,*MAP_ANONYMOUS* | *MAP_SHARED,-1,0)*

: sous linux, MAP_ANONYMOUS + passer -1 comme fd = proche malloc

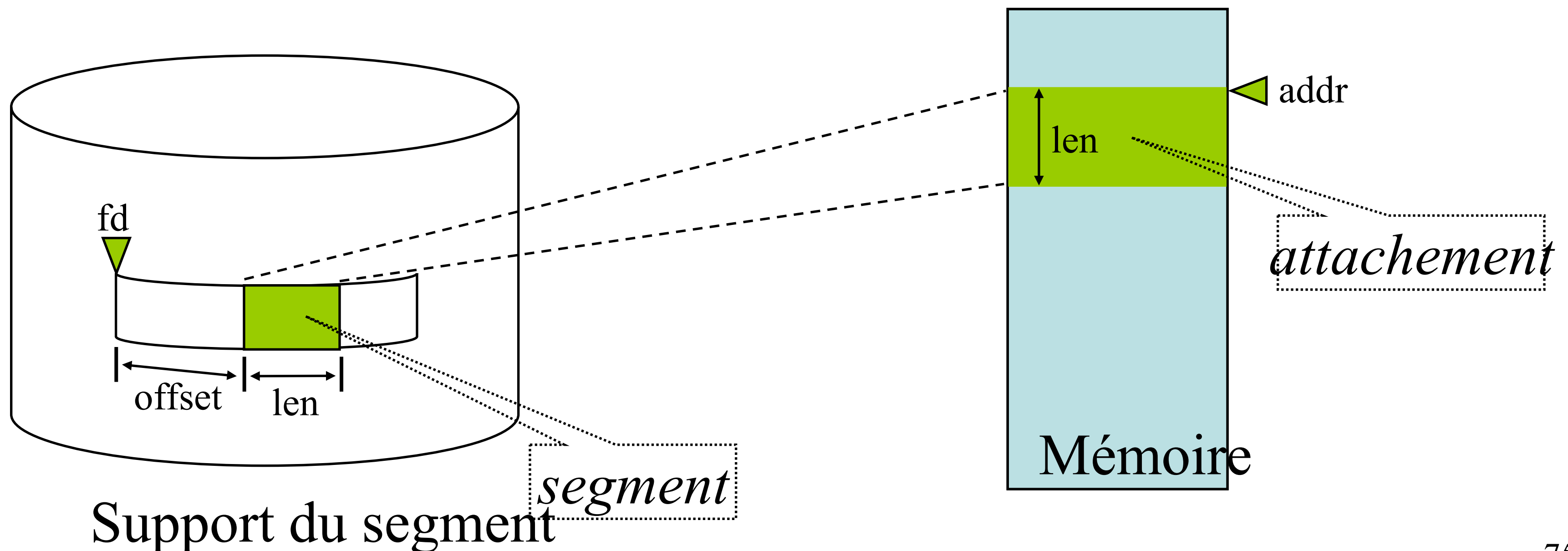
```
int munmap(caddr_t addr, size_t len);
```

- ✓ Détruit l'attachement de taille *len* à l'addresse *addr*
- ✓ Retourne -1 en cas d'échec, 0 sinon

Projection des fichiers

Permet de projeter dans l’espace d’adressage du processus un segment de longuer *len* le segment [*offset, ofsett+len*] du fichier associer à *fd*.

```
#include<sys/mman.h>
#include<sys/types.h>
void * mmap(void *addr, size_t len, int prot, int flags,
                int fd, off_t offset);
```



Opérations sur un segment de mémoire partagée

```
void * mprotect(caddr_t addr, size_t len, int prot);
```

- ✓ Modifie la protection associée au segment : PROT_READ, PROT_WRITE, PROT_EXEC, PROT_NONE
- ✓ Retourne -1 en cas d'échec, 0 sinon

```
int ftruncate(int fd, off_t length);
```

- ✓ Définit la taille du segment de descr. *fd*
  - nouvelle taille = length
  - si (ancienne taille > nouvelle taille), alors les données en excédent sont perdues
- ✓ Retourne -1 en cas d'échec, 0 sinon

Exemple mémoire partagée

```
int *sp;
int main() {
    int fd;
    /* Creer le segment monshm, ouverture en R/W */
    if ((fd = shm_open("monshm", O_RDWR | O_CREAT,
        0600)) == -1) {
            perror("shm_open");
            exit(1);}

    /* Allouer au segment une taille pour stocker un entier */
    if (ftruncate(fd, sizeof(int)) == -1) {
            perror("ftruncate");
            exit(1);}

    /* “mapper” le segment en R/W partagé */
    if ((sp = (int *) mmap(NULL, sizeof(int), PROT_READ |
            PROT_WRITE, MAP_SHARED, fd, 0))
             == MAP_FAILED) {
            perror("mmap");
            exit(1);}

    }
```

```
/* Accès au segment */
        *sp = 10;

/* “detacher” le segment */
    munmap(sp, sizeof(int));

/* detruire le segment */
 shm_unlink(“monshm”);
  return 0;
```

Sémaphores

Les sémaphores

Principe (Dijkstra)

- ✓ Mécanisme de synchronisation
  - accès concurrents à une ressource partagée (*eg. segment de mémoire*)
  - solution au problème de l'exclusion mutuelle

Structure sémaphore

- ✓ un compteur : nb d'accès disponibles avant blocage
- ✓ une file d'attente : processus bloqués en attente d'un accès

Opérations :

- Incrémenter le compteur d'une quantité donnée (débloque)
- Décrémenter le compteur d'une quantité donnée (bloque si non disponible)

Les sémaphores

Fonctionnement

- ✓ Demande d'accès (P - *proberen* ou *"puis-je ?"*)
  - Décrémentation du compteur
  - Si compteur < 0, alors blocage du pcs et insertion ds la file

- ✓ Fin d'accès (V - *verhogen* ou *"vas-y"*)
  - Incrémentation du compteur
  - Si compteur ≤ 0, alors déblocage d'un pcs de la file

Blocage, déblocage et insertion des processus dans la file sont des ops implicites

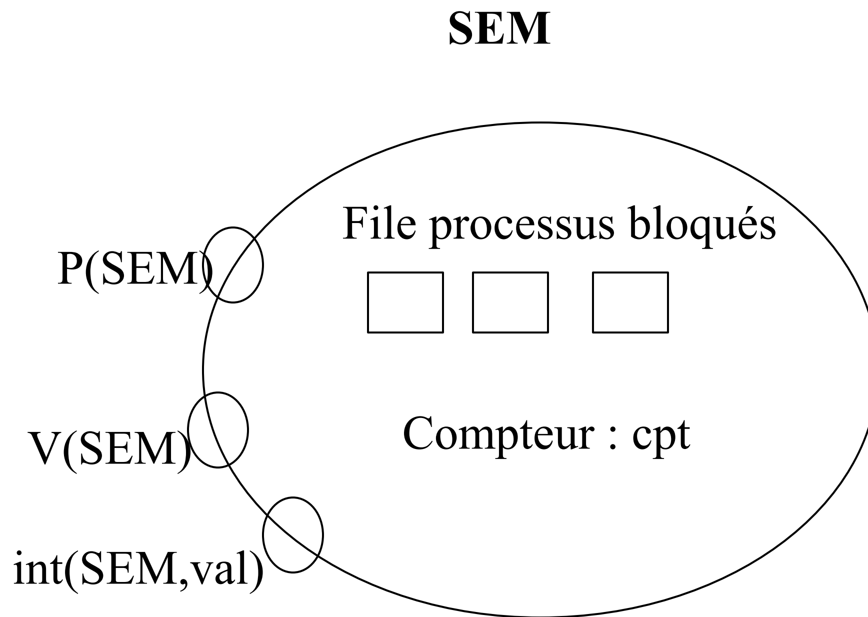
Les sémaphores

Exemple

init (sem, 1) ;

P1 {
….
P(sem)
région critique)
V(sem);
…
}

P2{
….
P(sem)
région critique)
V(sem);
…
}



Les sémaphores

Dysfonctionnements possibles

- ✓ Liés à l’exécution non déterministe

Interblocage

- ✓ 2 processus *P* et *Q* sont bloqués en attente
  - P attend que *Q* signale sa fin d'accès et *Q* attend que *P* signale sa fin d'accès

Famine

Un processus est bloqué en attente d'une fin d'accès qui n'arrivera jamais

Sémaphore POSIX vs PTHREAD

- Le sémaphore joue plusieurs rôles simultanément
  - Il peut servir de mutex, si on l'initialise à 1, et que c'est le même processus qui P(1) et V(1)
  - Il peut servir de condition_variable, si on l'initialise à 0 et que un processus fait P(1) pour attendre, et un **autre** fait V(1) pour le notifier.
    - NB: c'est interdit avec les mutex.
  - Il peut servir de verrou lecteur/ecrivain, si on l'initialise à N le maximum de lecteurs, qu'un lecteur fait P(1)/V(1) et un écrivain fait P(N)/V(N)

Sémaphores POSIX

Deux types de sémaphores :

✓ Sémaphores nommés

- Portée : tous les processus de la machine
- Primitives de base : **sem_open, sem_close**, **sem_unlink**, sem_post, sem_wait

✓ Sémaphores anonymes (*memory-based*)

- Portée : processus avec filiation, uniquement threads dans linux
- Primitives de base : **sem_init, sem_destroy**, sem_post, sem_wait

Opérations

✓ P ( ) = **sem_wait**; V= **sem_post**

Inclus dans la bibliothèque des pthreads

```
$  gcc -Wall -o monprog monprog.c -lpthread
```

Création de sémaphore nommé

```
#include <semaphore.h>
sem_t *sem_open(const char *name, int oflag,
        mode_t mode, int value);
```

- ✓ Crée ou ouvre le sémaphore de nom *name*
- ✓ *oflag, mode* idem open
- ✓ *value* valeur initiale du compteur

Retourne un pointeur sur le sémaphore, NULL en cas d'erreur

Ex : Creation d'un sémaphore initialisé à 10

```
sem_t *s;
s = sem_open(« monsem », O_CREAT | O_RDWR, 0600, 10);
```

Création de sémaphore anonyme

```
int sem_init(sem_t *sem, int pshared, unsigned val);
```

- Crée et initialise le sémaphore *sem*.
  - sem : doit être alloué dans l 'espace d'adressage du processus
- *pshared* != 0
  - partageable entre processus (filiation)
  - Sem: référence à un objet partagé (mémoire partagée)
- *pshared* == 0
  - partageable entre threads
- *val*: valeur initiale du sémaphore

Retourne -1 en cas d'erreur, 0 sinon

Ex : création de sémaphore partagé, initialisé à 10

```
sem_t s;
sem_init(&s, 1, 10);
```

Opérations sur sémaphore

- **Opération P**

  int sem_wait (sem_t *sem);

  - Attendre que le compteur soit supérieur à zéro et le décrémenter avant de revenir.

- **Opération V**

  int sem_post (sem_t *sem);

  - Compteur incrémenté; un processus/thread en attente est libérée.

- **Opération P non bloquant**

  int sem_trywait (sem_t *sem);

  - Fonctionnement égal à *sem_wait* mais non bloquante.

- **Consultation compteur sémaphore**

  int sem_getvalue (sem_t *sem, int *valeur);

  - Renvoie la valeur du compteur du sémaphore *sem*. dans *valeur.

Fermeture / Destruction

Sémaphore nommé :

- ✓ Fermer le sémaphore
- ✓ `int sem_close(sem_t *sem);`

- ✓ Détruire le sémaphore
- ✓ `int sem_unlink(const char *name);`

Sémaphore anonyme :

- ✓ `int sem_destroy(sem_t *sem);`

Exemple : sémaphores nommés

```
...
int main() {

      sem_t *smutex;

    /* creation d’un semaphore mutex initialisé à 1 */
    if ((smutex = sem_open(“/monsem",
            O_CREAT |O_EXCL | O_RDWR , 0666, 1)) ==
             SEM_FAILED) {
                if (errno != EEXIST) {
                  perror(“sem_open"); exit(1);
                 }
       ------------------------------------------------------------------

     /* Semaphore deja créé, ouvrir sans O_CREAT */
       smutex = sem_open((“/monsem", O_RDWR);
    }

        /* P sur smutex */
        sem_wait(smutex);

        region critique

        /* V sur smutex */
        sem_post(smutex);

        /* Fermer le semaphore */
         sem_close(smutex);

        /* Detruire le semaphore */
        sem_unlink("monsem“);
        return 0;
}
```

Exemple : sémaphores anonymes

```
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>
   sem_t  mutex; //

    void *my_thread(void *arg){

     while(1){
      sem_wait (&mutex);   //  P( )
        / /SC
      sem_post(&mutex) //   V ( )
    }
}
```

```
int main(){
    pthread_t thread1_id, thread2_id;

     sem_init(&mutex, 0, 1); // initialize mutex

    pthread_create(&thread1_id, NULL, &my_thread, NULL);
    pthread_create(&thread2_id, NULL, &my_thread, NULL);

    pthread_join(thread1_id, NULL);
    pthread_join(thread2_id, NULL);

     sem_destroy(&mutex);
  }
```

sémaphores anonymes avec des processus

```
struct myshm{
  sem_t sem;
}

int shm_id;
 struct myshm *shm;

/* Créé le segment en lecture écriture */
  if ((shm_id = shm_open(/”shm1”,
O_RDWR |
       O_CREAT, 0666))   == -1) {
         perror("shm_open ");
         exit(EXIT_FAILURE);
  }

  /* Allouer au segment une taille*/
  if(ftruncate(shm_id, sizeof(struct myshm))
== -1) {
    perror("ftruncate shm");
    exit(EXIT_FAILURE);
  }
```

```
/* Mapper  le segment en read-write partagée*/
  if((shm= mmap(NULL, sizeof(struct myshm),
        PROT_READ | PROT_WRITE,
MAP_SHARED,
         shm_id, 0)) == MAP_FAILED){
                    perror("mmap shm_pere");
                    exit(EXIT_FAILURE);
    }

  if (sem_init(&(shm->sem), 1, 1) == -1){
    perror("sem_init ");
    exit(EXIT_FAILURE);
  }

  ….
sem_wait(&(shm->sem));

….

sem_post(&(shm->sem));
```