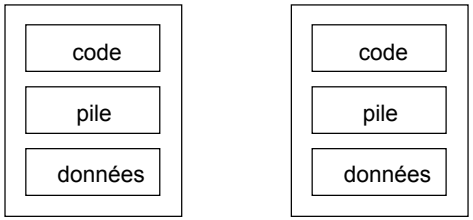
Les IPC
Inter process communication

I –IPC : Outils et principes
II – Les IPC System V
III – Les IPC POSIX

Communication entre processus

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

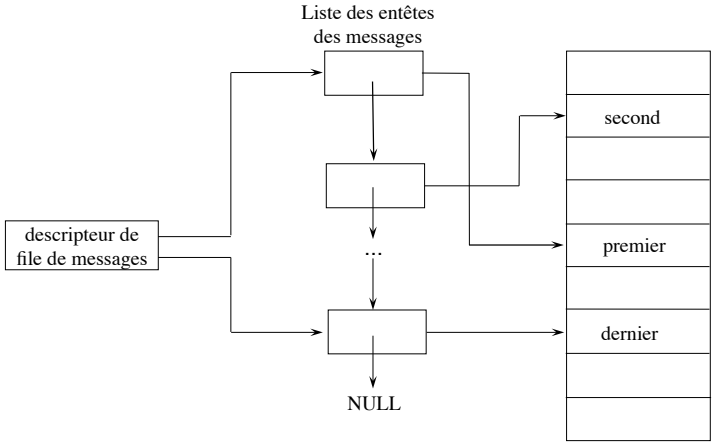


Processus ne partagent pas leur segments de données

I - IPC : Outils et principes

- **Inter-Process Communication (IPC)**
  - Modèle processus : moyen d'isoler les exécutions
    - Distinction des ressources, états, ...
    - Canaux de communication basiques : `wait/exit`, `kill`, ...
  - Pb : Nécessité de communication/synchronisation étroite entre processus
    - Canaux basiques pas toujours suffisants
    - Solutions par fichiers (*eg. tubes*) peu efficaces et pas forcément adaptées (*eg. priorités*)
  - Trois mécanismes de comm/synchro entre pcs locaux via la mémoire
    - Les files de messages
    - La mémoire partagée
    - Les sémaphores

Les files de messages



Les files de messages

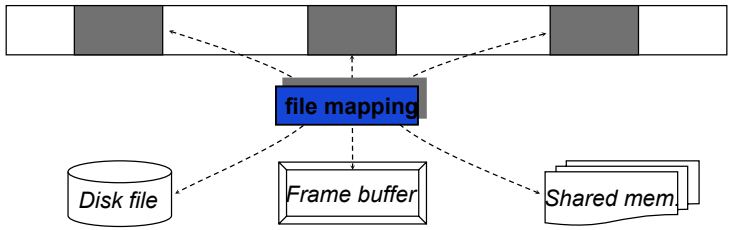
- **Principe**
  - Liste chaînée de messages
    - Conservée en mémoire
    - Accessible par plusieurs processus
  - Message
    - Structure complexe définie par l'utilisateur
    - Doit comporter un indicateur du type (~ *priorité*) de message
  - Fonctionnement
    - accès FIFO (par défaut) + accès par type
    - limites : nb de msgs (`MSGMAX`), taille totale en nb de bytes (`MSBMNB`)
    - limite atteinte ⇒ écriture bloquante (par défaut)
    - file vide ⇒ lecture bloquante (par défaut)

Les files de messages

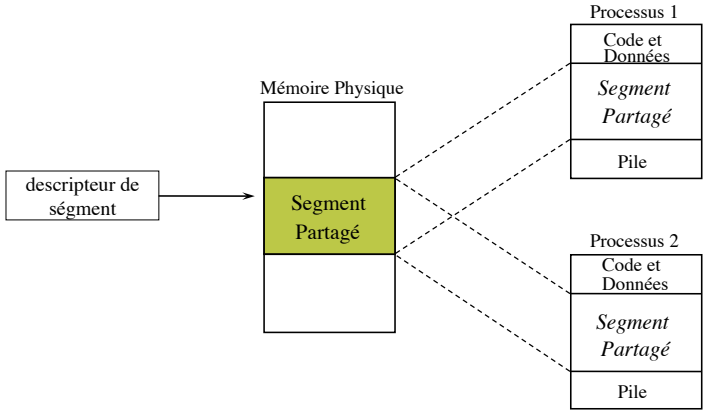
- **Avantages**
  - Amélioration par rapport au concept de tube
    - organisée en message
    - contrôle sur l'organisation (priorités)
  - Simplicité
    - Proche du fonctionnement naturel d'une application
- **Désavantages**
  - Reste basée sur du FIFO
    - Impossible d'organiser les accès différemment (*eg. pile)*
    - Pas d'accès concurrents à une même donnée
  - Performances limitées
    - 2 recopies **complètes** par msg : expéditeur → cache système → destinataire

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



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

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

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

- **Dysfonctionnements**
  - Liés à leur utilisation franchement pas intuitive
- **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

Effets des appels système

Appel à :

- **`fork()`**
  - Héritage de tous les objets IPC par le fils
- **`exec()` ou `exit()`**
  - Tous les accès à des objets IPC sont perdus

    ATTENTION : les objets ne sont pas détruits
  - Dans le cas de la mémoire partagée, le segment est détaché

II - IPC System V

- **Éléments communs à tous les mécanismes IPC System V**
- **Files de messages**
- **Segments de mémoire partagée**
- **Sémaphores**

IPC SysV : Caractéristiques

- **Ils sont extérieurs aux système de gestion de fichiers**
  - Pas désignés localement par de descripteurs
- **Gestion est faite par le système avec un table spécifique au type de l'objet**
- **Chaque objet dispose d'une identification interne**
  - Du point de vue externe, les objets sont identifiés par un clé.

IPC SysV : Caractéristiques communes

- **Une table par mécanisme**
  - une entrée → une instance
  - Une clé numérique par entrée
- **Un appel système *`xxx`*`get` par mécanisme**

  `xxx` **→ `shm` (mémoire partagée), `msg` (files de messages) ou `sem` (sémaphores)**
  - crée une nouvelle entrée ou retrouve une déjà existante
  - retourne un descripteur

  Cas de création :
  - `cle = IPC_PRIVATE`
  - `IPC_CREAT` → `flags`
  - `IPC_CREAT | IPC_EXCL` → `flags`

Les commandes `shell` associées

Deux commandes `shell`

- **`ipcs`**
  - liste des ressources actives ainsi que leurs caractéristiques

```
$ipcs
IPC          ID       KEY              MODE             OWNER
     GROUP
Messages Queues:
q            0        0x00000000       --rw-------      root
     root
Shared Memory:
m            3        0x41442041       --rw-rw-rw       root
     root
Semaphores:
s            1        0x4144314d       --ra-ra-ra-      root
     root
```

- **`ipcrm`**
  - suppression des ressources

```
$ipcrm -q 0 -m 3 -S 0x4144314d
```


Structure commune aux IPC SysV

- **Une structure commune**

```
struct  ipc_perm  {
    ushort  uid;    /* owner's user id */
    ushort  gid;    /* owner's group id */
    ushort  cuid;   /* creator's user id */
    ushort  cgid;   /* creator's group id */
    ushort  mode;   /* access modes */
    ushort  seq;    /* slot usage sequence number */
    key_t   key;    /* key */
};
```


Définitions communes aux IPC SysV

- **Définitions communes**

```
#define   IPC_CREAT    0001000   /* create entry if key
                                    doesn't exist */
#define   IPC_EXCL     0002000   /* fail if key exists */
#define   IPC_NOWAIT   0004000   /* error if request must wait */
#define   IPC_PRIVATE  (key_t)0  /* private key */
#define   IPC_RMID     0         /* remove identifier */
#define   IPC_SET      1         /* set options */
#define   IPC_STAT     2         /* get options */
```


Définitions communes aux IPC SysV : Composition d'une clé

- **Soumission d'une clé pour obtenir un descripteur d'IPC**
- **Composition d'une clé**
  - Fixée par l'utilisateur
  - Déterminée par le système

```
key_t ftok(path, code);
char *path;
char code;
```

Définitions communes aux IPC SysV : Composition d'une clé

- **Example :**

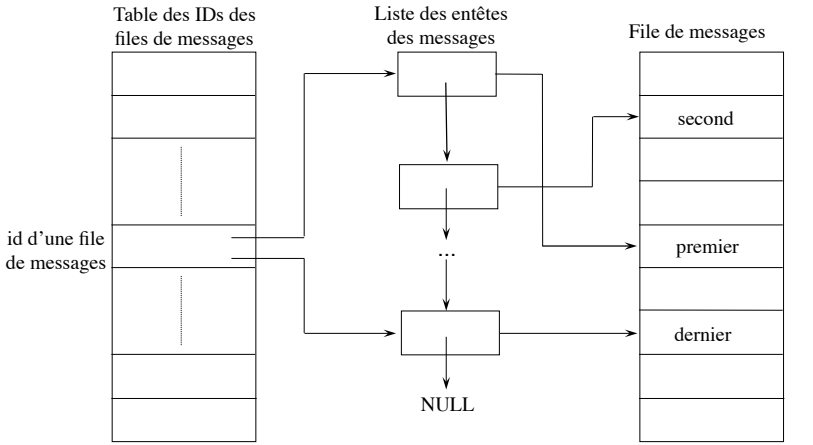
```
#include <sys/ipc.h>
... key_t key;
char *path = "/tmp";
key = ftok(path, 0);
```

  - `path` doit exister tant que des clés y sont associées.
    - Si un fichier est déplacer entre deux appels à la fonction, la clé fournie sera différente.

IPC SysV : Caractéristiques communes

- **`xxxget (key_t cle, int flag)`**
  - Si clé = IPC_PRIVATE
    - Un nouveau objet est crée dans la table correspondante. Utilisé au sein du même processus
  - Sinon
    - Si objet n'existe pas
      - Si (flag & IPC_CREAT)
        - Un nouveau objet est crée dans la table correspondante
      - Sinon
        - Erreur
    - Sinon ((flag & IPC_CREAT) && (flag_IPC_EXCL)
      - Erreur
    - Sinon
      - l'identification de l'objet est renvoyé

Les files de messages System V



Caractéristiques des files de messages

- **Paquets identifiables et indivisibles et non pas un flou de caractères**
- **Spécification de l'id. de file et non pas du processus lors d'une émission/réception**
- **Politique FIFO**
- **Connaissance + droits d'accès**
  - droits d'émission/réception
- **Un message :**
  - `Type` (entier dont l'interprétation est laissée à l'utilisateur) + `Donnée` (chaîne de caractères de longueur quelconque)
    - Un processus peut extraire un message en utilisant le type comme critère de sélection

Message

- **Message – composé par :**
  - Type : nombre entier (long) strictement positif
  - Donnée : Suite d'octets contigus en mémoire

```
struct msgbuf {                 /* définie dans sys/msg.h */
        long mtype;             /* type du message */
        char mtext[1];          /* texte du message */
};
```

- **Possibilité de redéfinir en fonction de ses besoins**
- **Exemple:**

```
struct  msg_buf {
   long type;
    struct msg {
    ....
  } corps;
};
```

```
struct  msg_buf {
   long type;
    ....
};
```


Création d'une file de messages

- **Création d'une nouvelle file de messages**

  ***ou* recherche de l'identifiant d'une file déjà existante**

```
#include<sys/ipc.h>
#include<sys/msg.h>
    int msgid = msgget(key_t cle, int flags);
```

  - retourne un entier positif (id. de la file de msgs ds la table) en cas de succès; -1 sinon.
  - Création si `cle = IPC_PRIVATE`
    `IPC_CREAT → flags`
    `IPC_CREAT | IPC_EXCL → flags`

Structure associée

Format d'une entrée dans la table de files de message

```
struct  msqid_ds {
   struct        ipc_perm   msg_perm;   /* operation permission struct */
   struct        msg      *msg_first;     /* ptr to first message on q */
   struct        msg      *msg_last;      /* ptr to last message on q */
   ushort        msg_cbytes;              /* current # of bytes on q */
   ushort        msg_qnum;                /* # of messages on q */
   ushort        msg_qbytes;              /* max # of bytes on q */
   ushort        msg_lspid;               /* pid of last msgsnd */
   ushort        msg_lrpid;               /* pid of last msgrcv */
   time_t        msg_stime;               /* last msgsnd time */
   time_t        msg_rtime;               /* last msgrcv time */
   time_t        msg_ctime;               /* last change time */
};
```

Peut être accédée par l'intermédiaire de la fonction msgctl

Initialisations associées à une création

- **Initialisations lors de la création d'une nouvelle entrée :**

`msg_perm.cuid` et `msg_perm.uid` ← `uid` effectif du processus appelant
`msg_perm.cgid` et `msg_perm.gid` ← `gid` effectif du processus appelant
`msg_perm.mode` ← 9 bits de poids faible de l'entier `flags`
`msg_qnum`, `msg_lspid`, `msg_lrpid`, `msg_stime`, `msg_rtime` ← 0
`msg_qbytes` ← taille maximale permise par le système
`msg_ctime` ← heure courante

Emission d'un message

```
#include<sys/msg.h>
int msgsnd(int msgid, struct msgbuf *msg,
           int taille, int flags);
```

- Demande d'envoi dans la file `msgid` du message pointé par msg.
- `taille` = longueur du texte du message
  - Octets occupés par le ***type*** ne sont pas comptabilisés
- retourne 0 en cas de succès et -1 sinon.
- Flags
  - nul
  - IPC_NOWAIT
    - Si la file est pleine l'appel à la primitive n'est pas bloquante

Propriétés d'une émission

- **Emission bloquante (défaut)**
  - Si file pleine, le processus est suspendu jusqu'à :
    - extraction de messages de la file,
    - suppression du système de la file (retourne `-1` et `errno = EIDRM`),
    - réception d'un signal.
  - Sinon,
    - insertion du message et de son type dans la file,
    - incrémentation du nombre de messages de la file,
    - mise à jour de l'identificateur du dernier écrivain,
    - mise à jour de la date de dernière écriture.
- **Emission non bloquante**
  - Si file pleine et `IPC_NOWAIT` → `flags`,
    - le message n'est pas envoyé et
    - le processus reprend immédiatement la main.

Extraction d'un message d'une file

```
#include<sys/msg.h>
  int msgrcv(int msgid, struct msgbuf *msg, int taille,
             long type, int flags);
```

- Extraction quelconque ou sélective,
  `type = 0` → le 1er msg de la file, quel que soit son type,
  `type > 0` → le 1er msg du type désigné,
  `type < 0` → le 1er msg dont le type est > à la val absolue du type désigné
- bloquante par défaut,
- si `taille` < taille du message
  - Si `MSG_NOERROR` → `flags`
    - le système tronque le message sans générer d'erreur
    - le reste du texte est perdu.
  - Sinon, le système retourne une erreur (`errno = E2BIG`) et le msg reste dans la file.
- retourne le nb de caractères dont est composé le txt du msg en cas de succès -1 sinon.

Propriétés d'une extraction

- **Si aucun message ne répond aux conditions demandées**
  - `IPC_NOWAIT` ⊄ `flags`, alors le processus est suspendu jusqu'à :
    - arrivée d'un message satisfaisant les conditions demandées,
    - destruction de la file (retourne -1 et errno = EIDRM),
    - réception d'un signal.
  - `IPC_NOWAIT` ⊂ `flags`, alors :
    - le processus reprend immédiatement la main,
    - retourne -1 et errno = ENOMSG.
- **Sinon**
  - extraction effective du message de la file,
  - décrémentation du nombre de messages de la file,
  - mise à jour de l'identificateur du dernier lecteur,
  - mise à jour de la date de dernière lecture.

Contrôle de l'état d'une file

```
#include<sys/msg.h>
   int msgctl(int msgid, int cmd, msqid_ds *buf);
```

- consultation, modification des caractéristiques et suppression d'une file

cmd → IPC_STAT
→ IPC_SET
  msg_perm.uid
  msg_perm.gid
  msg_perm.mode
  msg_qbytes
→ IPC_RMID

Opérations permises uniquement si `uid` effectif = super utilisateur
shm_perm.cuid
shm_perm.uid

Modification `msg_qbytes` → root

- retourne 0 en cas de succès et -1 sinon

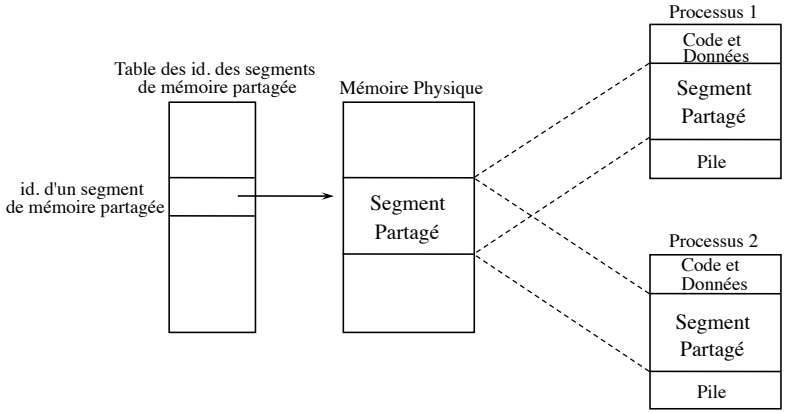
Exemple

```
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/msg.h>
#define MSG_SIZE 128
….
int msg_id; struct msqid_ds *buf; key_t cle;
struct message {long type;
                char texte[MSG_SIZE]; } msg;
char path[14]= "file_msg"; char code=' Q ';
…
cle = ftok(path, code);
msg_id = msgget (cle, 0666 | IPC_CREAT);
…
msg.type = 1;
for ( ; ; ) {
   printf ( "Entrer le texte a emettre \n");
   scanf("%s",msg.texte);
   msgsnd(msg_id , &msg , MSG_SIZE, 0);
   …
}
…
```


Exemple (suite)

```
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/msg.h>
#define MSG_SIZE 128
…
int msg_id; struct msqid_ds *buf; key_t cle;
struct message {    long type;
                    char texte[MSG_SIZE]; } msg;
char path[14]= "file_msg"; char code=' Q ';
…
cle = ftok(path, code);
msg_id = msgget (cle, 0);
…
msg.type = 1;
for ( ; ; ) {
       msgrcv(msg_id , &msg , MSG_SIZE, 1L,0);
        printf
        …
}
…
```


Segments de mémoire partagée



Segments de mémoire partagée

- **Processus partagent des pages physique par l'intermédiaire de leur espace d'adressage**
  - Pas de recopie d'information
  - Pages partagées deviennent de ressources critiques
  - Existence indépendantes des processus
    - Continue a exister jusqu'à une demande de suppression

Création d'un segment de mémoire partagée

- **Création d'un nouveau segment**
  ***ou* recherche de l'identifiant d'un segment existant**

```
#include<sys/ipc.h>
#include<sys/shm.h>
int shmid = shmget(key_t cle, int taille, int flags);
```

- retourne -1 en cas d'échec
  un entier positif (identificateur de segment dans la table) , sinon

- Création si `cle = IPC_PRIVATE`
  `IPC_CREAT → flags`
  `IPC_CREAT | IPC_EXCL → flags`

Structure associée

Format d'une entrée dans la table de segments de mémoire partagée

```
struct  shmid_ds {
   struct      ipc_perm   shm_perm;   /* operation permission struct */
   uint shm_segsz;                    /* size of segment in bytes */
   ushort      shm_lpid;              /* pid of last shmop */
   ushort      shm_cpid;              /* pid of creator */
   ushort      shm_nattch;            /* number of current attaches */
   time_t      shm_atime;             /* last shmat time */
   time_t      shm_dtime;             /* last shmdt time */
   time_t      shm_ctime;             /* last change time */
};
```

Peut être accédée par l'intermédiaire de la fonction shmctl

Initialisations associées à une création

- **Création d'une nouvelle entrée**
  - Initialisations

    `shm_perm.cuid` et `shm_perm.uid` ← `uid` effectif du processus appelant
    `shm_perm.cgid` et `shm_perm.gid` ← `gid` effectif du processus appelant
    `shm_perm.mode` ← 9 bits de poids faible de l'entier `flags`
    `shm_segsz` ← `taille`
    `shm_lpid`, `shm_nattch`, `shm_atime` et `shm_dtime` ← 0
    `shm_ctime` ← heure courante

  - Création effective au premier attachement

Attachement et détachement d'un segment de mémoire partagée

- **Attachement d'un segment**

```
char *shmat(int shmid, void *adr, int flags);
```

  - rend l'adresse à laquelle le segment a été attaché
  - si 1er attachement, alors allocation effective de l'espace mémoire correspondant
  - si `adr = NULL` → le système choisit l'adresse d'attachement
  - possibilité d'attacher plus d'une fois un même segment par un processus
  - `SHM_RDONLY` ∈ `flags` → `SIGSEGV` en cas de tentative d'écriture
  - Accéder directement au travers de l'adresse renvoyé.

- **Détachement d'un segment**

```
int shmdt(void *virtadr);
```

  - spécifier l'adresse et non pas l'identifiant
  - rend 0 en cas de succès et -1 sinon

Opérations de contrôle sur les segments de mémoire partagée

```
#include<sys/shm.h>
int shmctl(int shmid, int cmd, shmid_ds *buf);
```

cmd → `IPC_STAT`

→ `IPC_SET`

- `shm_perm.uid`
- `shm_perm.gid`
- `shm_perm.mode`

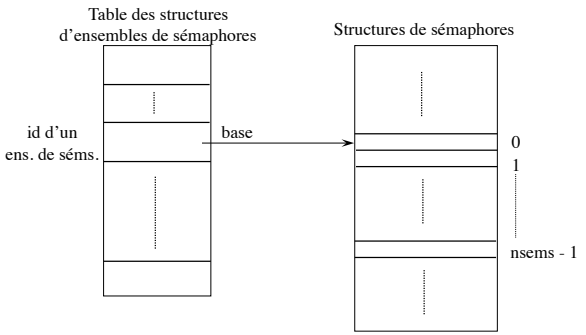
→ `IPC_RMID`

Opérations permises uniquement si `uid` effectif = super utilisateur, shm_perm.cuid ou shm_perm.uid

Exemple

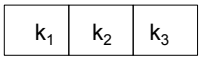
```
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>
...
int shm_id; struct shmid_ds *buf; key_t cle;
char *p_int, *adr_att;
int taille = 1024;
...
cle = ftok("mem_par", ' M ');
shm_id = shmget(cle, taille, 0666 | IPC_CREAT);
adr_att = shmat(shm_id, 0, 0600);
...
p_int = (int *)adr_att;
for (i=0; i<128; i++) *p_int++ = i;
...
shmdt(adr_att);
shmctl(shm_id, IPC_RMID, buf);
...
```


Les sémaphores



Ensemble de sémaphore

- **Gestion par ensembles de sémaphores, identifiés par des entiers**
  - Acquisition simultanée d'exemplaires multiples de plusieurs ressources différentes



Ensemble de sémaphores

op_1 op_2 op_3 Ensemble d'opérations

$op_i = P_n, V_n$ ou Z

Création d'un ensemble de sémaphores

- **Création d'un nouvel ens. de sémaphores**
  ***ou* recherche de l'identifiant d'un ens. de sémaphores**

```
#include<sys/ipc.h>
#include<sys/sem.h>
    int sem_id = semget(key_t cle, int nsems, int flags);
```

- Retourne l'id. de l'ens. des sémaphores ds la table en cas de succès (> 0)
  -1 sinon.
- Création si `cle == IPC_PRIVATE && IPC_CREAT ⊂ flags`
  (possibilité : `IPC_EXCL → flags`)
  - Création d'un *ensemble* de sémaphores qui auront tous les mêmes droits

Structures associées

- **Ensemble de sémaphores**

```
struct semid_ds {
   struct ipc_perm   sem_perm;     /* operation permission struct */
   struct sem       *sem_base;     /* ptr to first semaphore in set */
   ushort            sem_nsems;    /* # of semaphores in set */
   time_t            sem_otime;    /* last semop time */
   time_t            sem_ctime;    /* last change time */
    [...]
};
```

- **Sémaphore individuel**

```
struct sem {
    ushort semval;                 /* semaphore counter value */
    short  sempid;                 /* pid of last operation */
    ushort semncnt;                /* # awaiting semval > cval */
    ushort semzcnt;                /* # awaiting semval = 0 */
};
```


Initialisations associées à une création

- **Initialisations lors de la création d'une nouvelle entrée**
  - `sem_perm.cuid` et `sem_perm.uid` ← `uid` effectif du processus appelant
  - `sem_perm.cgid` et `sem_perm.gid` ← `gid` effectif du processus appelant
  - `sem_perm.mode` ← 9 bits de poids faible de l'entier `flags`
  - `sem_nsems` ← `nsems`
  - `sem_otime` ← 0
  - `sem_ctime` ← heure courante

Opérations sur les sémaphores

```
#include<sys/ipc.h>
#include<sys/sem.h>
   int semop(int semid, struct sembuf *sops, unsigned nsops);

   struct sembuf {
        ushort sem_num;              /* semaphore # */
        short          sem_op;       /* semaphore operation */
        short          sem_flag;     /* operation flags : SEM_UNDO,
   IPC_NOWAIT */
   };
```

- retourne 0 en cas de succès et -1 sinon

Opérations sur les sémaphores (suite)

```
int semop(int semid, struct sembuf *sops, unsigned nsops);
```

- chaque op `sem_op` est exécutée sur le sémaphore correspondant à `semid` et `sem_num`
- Les `nsops` opérations sont réalisés atomiquement
  - traitées soit **toutes** à la fois, soit pas du tout
- Chaque opération peut être rendu individuellement non bloquante avec IPC_NOWAIT dans `sem_flags.`
- Opérations réalisées en séquence des `nsops` opérations
  - Aspect bloquant ou non dépend de celui da la première opération qui n'est pas réalisable.

Opérations sur les sémaphores (cont)

- **Si sem_op > 0 : V_{sem_op}**
  - La valeur du sémaphore est augmenté de `sem_op`.
  - Tous les processus en attente sont réveillés
- **Si sem_op = 0 : Z**
  - Le processus est bloqué tant que le sémaphore n'est pas nul
- **Si sem_op <0 : $P_{|sem\_op|}$**
  - Si l'opération n'est pas réalisable le processus est bloqué (si sem_flag != IPC_NOWAIT)
    - Si l'opération possible, la valeur du sémaphore est décrémenté de | `sem_op` |
      - Si valeur devient nul, tous les processus en attente de la nullité du sémaphore sont réveillés

SEM_UNDO et IPC_NOWAIT

- **Options de `sem_flag`**
  - SEM_UNDO
    - Valeur d'ajustement sera automatiquement ajoutée au sémaphore à la terminaison du processus.
    - La valeur de n est ajoutée pour une opération P_n et `-n` pour une opération V_n
  - IPC_NOWAIT
    - Chaque opération peut être rendu individuellement non bloquante

Opérations de contrôle sur les sémaphores

```
#include<sys/ipc.h>
#include<sys/sem.h>
int semctl(int semid, int semnum, int cmd, union semun arg);

   union semun {
        int    val;
        struct semid_ds *buf;
        u_short *array;
   };
```

Exemple - semctl

```
union semun {
    int val;                    // value  for SETVAL
    struct semid_ds *buf;       // buffer for IPC_STAT, IPC_SET
    unsigned short int *array;  // array  for GETALL, SETALL
    struct seminfo *__buf;      // buffer for IPC_INFO
  };
 #define NS 3

  int main(int argc, char* argv ){
    int          sem_id, sem_value, i;   key_t  ipc_key;
    unsigned short int  sem_array[NS] = {3, 1, 2};
    union semun     arg;
    ipc_key = ftok(".", 'S');

    if ((sem_id = semget(ipc_key, NS, IPC_CREAT | 0660)) == -1) {
      perror("semget: IPC_CREAT | 0660");  return 1;
    }
```


Exemple – semctl (suite)

```
 // set the semaphore value
     arg.array = sem_array;
     if (semctl(sem_id, 0, SETALL, arg) == -1) {
       perror("semctl: SETALL");  return 1;
     }
    // get the semaphore values
     for (i = 0; i < NS; ++i) {
        if ((sem_value = semctl(sem_id, i, GETVAL, 0)) == -1) {
         perror("semctl: GETVAL");  return 1;
       }
         printf ("Semaphore  %d : value %d \n »,  i ,sem_value );
     }
  //destruction des sémaphores
 if (semctl(sem_id, 0, IPC_RMID, 0) == -1) {
       perror("semctl: IPC_RMID"); return 1;
     }
   }
```


Exemple P et V

```
void P (int sem)                          /* Primitive P() sur sémaphores */
{                                         /* sem = Identifiant du sémaphore */
   operation.sem_num = sem;               /* Identification du sémaphore impliqué  */
   operation.sem_op = -1;                 /* Définition de l'opération à réaliser  */
   operation.sem_flg = SEM_UNDO;          /* Positionnement du bit SEM_UNDO */
   semop (sem_id, &operation, 1);         /* Exécution de l'opération définie */
};

void V(int sem)                           /* Primitive V() sur sémaphores */
{
   operation.sem_num = sem;
   operation.sem_op = 1;
   operation.sem_flg = SEM_UNDO;
   semop (sem_id, &operation, 1);
};
```

Exemple P et V(suite)

```
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>

#define SEM_EXCL_MUT          0
#define NB_SEM                1
char sem_path[14] = "ens_sem";        char sem_code = 'S';
int FLAGS = 0666 | IPC_CREAT; key_t   sem_cle; int  sem_id;
struct  sembuf  operation;

main ( ) {
sem_cle = ftok(sem_path, sem_code);
sem_id = semget (sem_cle , NB_SEM, FLAGS );
semctl(sem_id, SEM_EXCL_MUT, SETVAL, 1);
...
   P(SEM_EXCL_MUT);
        /* Section Critique */
   V(SEM_EXCL_MUT);
...
semctl(sem_id, SEM_EXCL_MUT, IPC_RMID, 0);
```


Exemple – ensemble sémaphore

```
union semun {
    int val;
    struct semid_ds *buf;
    unsigned short int *array;
    struct seminfo *__buf;
  } arg;

int   sem_id;
struct sembuf  operations[3];
unsigned short sem_table [3] ={3,5,2};

main (int argc, char*argv);
  if (identSem=semget(IPC_PRIVATE,3,
      IPC_CREAT | IPC_EXCL | 0660))
   {   perror("semctl: SETALL"); exit (3);
   }
arg.array = sem_table;
if (semctl(sem_id, 0, SETALL, arg == -1)
   { perror("semctl: SETALL"); exit (3);
}
```

```
/* P(2) sur premier semaphore */
operations[0].sem_num=0;
operations[0].sem_op=-2;
operations[0].sem_flg=0;

/* Z sur second semaphore */
operations[2].sem_num=1;
operations[2].sem_op=0;
operations[2].sem_flg=0;

/* V(1) sur troisieme semaphore */
operations[1].sem_num=2;
operations[1].sem_op=1;
operations[1].sem_flg=0;

semop(identSem,operations,3);
 ….
}
```


Exemple – opération Z

```
int main(int argc, char **argv)
{
   key_t clef;
   int semid;
   struct sembuf op;

   clef = ftok("\tmp", 0);
   semid = semget(clef, 1,
            IPC_CREAT | IPC_EXCL | 0666);
   semctl(semid, 0, SETVAL, 1);

   op.sem_num = 0;
   op.sem_flg = 0;
```

```
if (fork () != 0 )
   { op.sem_op = -1;  //P
     semop(semid, &op, 1);

      wait (NULL);
    //Destruction du sémaphore
    semctl(semid, 0, IPC_RMID, 0);

   }
   else {
    // attendre le sémaphore devenir nul
    op.sem_op = 0;
    semop(semid, &op, 1);
    printf ("compteur semaphore=zero \n");
   }

   return 0;
}
```


Résumé

	Files de msgs	Mémoire partagée	sémaphores
includes	sys/types.h sys/ipc.h sys/msg.h	sys/types.h sys/ipc.h sys/shm.h	sys/types.h sys/ipc.h sys/sem.h
Création/ouverture	msgget()	shmget()	semget()
contrôle	msgctl ()	shmctl ()	semctl ()
opérations	msgsnd () msgrcv ()	shmat () shmdt ( )	semop ()
Structure associé	msqid_ds	shmid_ds	semqid_ds

IPC POSIX

- **System V vs. POSIX**
- **Files de messages**
- **Segments de mémoire partagée**
- **Sémaphores**

System V vs. POSIX

- **IPC System V ≠ IPC POSIX !**
  - POSIX est un standard portable
  - Une implémentation POSIX se doit d'être "thread-safe«
  - IPC POSIX sont globalement + simples d'utilisation, et + fonctionnelles
  - API System V requiert un appel système par fonction
- **Pourquoi présenter les IPC System V dans un cours POSIX ?**
  - Beaucoup de distribs n'implémentent que partiellement POSIX
    - *eg. files de msgs absentes de Darwin et de certains Linux*

Files de messages POSIX

Fichier <mqueue.h>

- **Fonctions contenues dans la bibliothèque librt (real-time)**

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

- **Accès**
  - mq_open ⇒ créer / ouvrir une file en mémoire
  - mq_close ⇒ fermer l'accès à une file
  - mq_unlink ⇒ détruire une file
  - mq_getattr ⇒ obtenir les attributs de la file (taille, mode d'accès, ...)
  - mq_setattr ⇒ modifier le mode d'accès (O_NONBLOCK)
- **Opérations sur une file**
  - mq_send ⇒ déposer un message
  - mq_receive ⇒ retirer un message
  - mq_notify ⇒ demander à être prévenu de l'arrivée d'un message

Attributs d'une file de messages

```
struct mq_attr {
  [...]
  long mq_maxmsg;     //max nb of msgs in queue
  long mq_msgsize;    //max size of a single msg
  long mq_flags;      //behaviour of the queue
  long mq_curmsgs;    //nb of msgs currently in
  queue
  [...]
};
```

`mq_flags = O_NONBLOCK` ou `0`

Ouverture d'une file de messages

```
#include<mqueue.h>
mqd_t mq_open(char* name, int flags, struct mq_attr* attrs);
```

- Crée une nouvelle file ou recherche le descr. d'une file déjà existante
- Retourne un descripteur (castable en int) positif en cas de succès, -1 sinon
- *flags* idem open
- *attrs* peut être rempli avant pour définir des valeurs (sauf `mq_flags`)
  `mq_flags` consultable/modifiable avec :

```
mq_getattr(mqd_t mq_descr, struct mq_attr* attrs);
mq_setattr(mqd_t mq_descr, struct mq_attr* new_attrs
           struct mq_attr* old_attrs);
```


Fermeture d'une file de messages

- `int mq_close(mqd_t mqdescr);`
  - retourne 0 en cas de succès, -1 sinon.
  - Automatiquement appelé lors de la terminaison du pcs
  - Pas d'effet sur l'existence ou le contenu de la file
- `int mq_unlink(char* mqname);`
  - 0 en cas de succès, -1 sinon.
  - Détruit la file associée à *mqname* ainsi que son contenu
    - Après l'appel, plus aucun processus ne peut ouvrir la file
    - Destruction effective une fois que tous les processus qui ont accès ont appelé **mq_close**

Ajout de message

- `int mq_send(mqd_t mqdescr, const char* msg_data,size_t msg_length, unsigned int priority) ;`
  - retourne 0 en cas de succès, -1 sinon.
  - *msg_data :* le contenu du message
  - *msg_length :* la taille du message
  - *priority* : sa priorité, 0 ≤ priority ≤ MQ_PRIOMAX (≥ 32, déf. dans *limits.h*)
    Si priority > MQ_PRIOMAX, l'appel échoue
  - File ordonnée par priorités, en FIFO pour les messages de même priorité
  - Appel bloquant si la file est **pleine** et O_NONBLOCK non spécifié

Retrait de message

```
int mq_receive(mqd_t mqdescr, const char* msg_data,
       size_t msg_length, unsigned int *priority);
```

- retourne le nb de bytes lus en cas de succès, -1 sinon.
- *msg_data :* le contenu du message
- *msg_length :* la taille du message
  - Si msg_length > mq_attr.mqmsgsize, l'appel échoue
- *priority* : sa priorité
- Appel bloquant si la file est **vide** et O_NONBLOCK non spécifié

Exemple file de message

```
#include <mqueue.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <errno.h>

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

  mqd_t mqdes;
  char buf[ 100];
  unsigned int prio;

  if ( (mqdes = mq_open ("/file1", O_RDWR | O_CREAT,
        0666, NULL)) == -1) {
      perror ("mq_open");
      exit (1);
    }
```

```
  if (fork ( ) == 0) {
     if (mq_receive (mqdes, buf, MSG_SIZE,
       &prio) == -1) {
          perror ("mq_rec");
          exit (1);
     }
     printf (« message: %s  prio: %d.\n", buf,
  prio);
   }
  else {
     if (mq_send (mqdes, "abcd", 4, 0) == -1) {
          perror ("mq_send");
          exit (1);
     }
   wait (NULL);
  }
    mq_close (mqdes);
    mq_unlink ("/file1",);
    return (0);

  }
```


Notification d'arrivée de message

`int mq_notify(mqd_t mqdescr, const struct sigevent *notification);`

- retourne 0 en cas de succès, -1 sinon
- Appel non bloquant
- Un seul processus par file peut demander à être notifié
- Notification si aucun processus n'est bloqué en attente de msg
- Après notification, désenregistrement de la demande

```
union sigval {
      int sival_int;  void *sival_ptr;
};
struct sigevent {
     int sigev_notify;         // SIGEV_NONE, SIGEV_SIGNAL, SIGEV_THREAD)
     int sigev_signo;                  //Signal number
     union sigval sigev_value; //Notif. data
     void (*)(union sigval) sigev_notify_function   //Thread function
     void *sigev_notify_attributes; /* Thread function attributes */
};
```


Exemple mq_notify

```
#include <pthread.h>
#include <mqueue.h>
…
char buf[100]

static void                  /* Thread start function */
tfunc(union sigval sv) {
   char buf [100];
   mqd_t mqdes = *((mqd_t *) sv.sival_ptr);

  if ((nr=mq_receive(mqdes, buf, 100, NULL) )== -1) {
      perreur(" mq_receive" );
      exit (1)
}

  printf(« lu %ld , (long) nr);
   exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
int main(int argc, char *argv[])
{
   mqd_t  mqdes;
   struct sigevent  not;

  mqdes = mq_open(argv[1], O_RDONLY);
   if (mqdes == (mqd_t) -1) {
        perror("mq_open ");
        exit(1);
   }
  not.sigev_notify = SIGEV_THREAD;
   not.sigev_notify_function = tfunc;
   not.sigev_notify_attributes = NULL;
   not.sigev_value.sival_ptr = &mqdes;
   if (mq_notify(mqdes, &not) == -1) {
       perror("mq_notfy");
        exit(1);
   }
  pause();   /
}
```


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

Mémoire partagée POSIX

Savoir si un système implémente la mémoire partagée POSIX

Fichier <unistd.h>

mmap	_POSIX_MAPPED_FILES ou _POSIX_SHARED_MEMORY_OBJECTS
munmap	_POSIX_MAPPED_FILES ou _POSIX_SHARED_MEMORY_OBJECTS
shm_open	_POSIX_SHARED_MEMORY_OBJECTS
shm_unlink	_POSIX_SHARED_MEMORY_OBJECTS
ftruncate	_POSIX_MAPPED_FILES ou _POSIX_SHARED_MEMORY_OBJECTS
mprotect	_POSIX_MEMORY_PROTECTION
msync	_POSIX_MAPPED_FILES et _POSIX_SYNCHRONIZED_IO

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

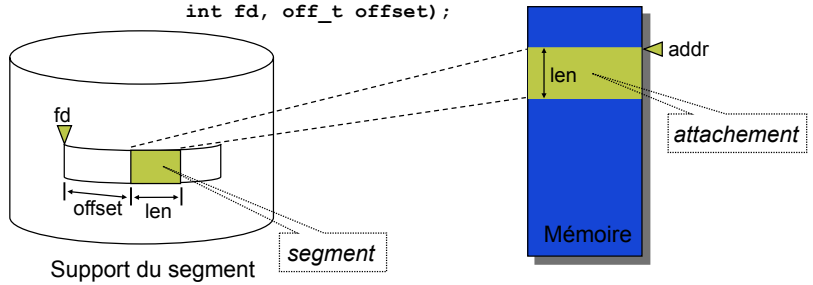
```
int shm_unlink(const char *name);
```

- Idem mq_unlink

Projection de données

- **Permet de projeter le segment [*offset, ofsett+len*] du fichier associé à *fd* dans l'espace d'adressage du processus.**

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



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*

```
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

Exemple mmap

```
int main (int argc, char* argv []) {
   int fd1, fd2;    int *adr1;

 fd1 = open (argv[1], O_RDWR);
 fd2 = open (argv[1], O_RDWR);

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

adr1=(char *) mmap (NULL,1024,PROT_READ|
PROT_WRITE,MAP_SHARED, fd1,0);

adr2=(char *) mmap (NULL,1024,PROT_READ|
PROT_WRITE,MAP_SHARED, fd2,0);
```

```
   prinft ("2- ème caractère  adr1:%c \n",  adr1[1]  );
   adr[1]++;
   prinft ("2- ème caractère  adr1:%c \n",  adr2[1]  );
}
```

mmap_teste.c

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 1

```
 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 = 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;
```


Exemple2 – sans mmap

- **Lire et écrire comme dans un fichier**

shm_ex2.c

```
char buf [20];
int main( int argc, char** argv )
{
   int fd;

if  (argc > 3) {
      shm_unlink( "/monshm" );
      return EXIT_FAILURE;
   }

   fd = shm_open( "/monshm", O_RDWR | O_CREAT, 0666 );
   if( fd == -1 ) {
      fprintf( stderr, "Open failed:%s\n",
         strerror( errno ) );
      return EXIT_FAILURE;
   }
```

```
   if (fork() ==0) {
       write (fd,"ABCDEF",6);
       lseek (fd,SEEK_SET,0);
       read (fd,buf,3);
       printf ("fils: %s\n", buf);
   }
   else {
     wait (NULL);
     read (fd, buf, 10);
     printf ("pere: %s\n", buf);
   }

   close( fd );
shm_unlink( "/bolts" );
   return EXIT_SUCCESS;

}
```

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
- **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
- *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);

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

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

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