Ecole Nationale
Supérieure
de l'Electronique
ENSEA et de ses Applications

Linux Embarqué

Séance 2 : Processus et IPC

Laurent Fiack
Bureau D212 – laurent.fiack@ensea.fr

Menu du jour

Les processus

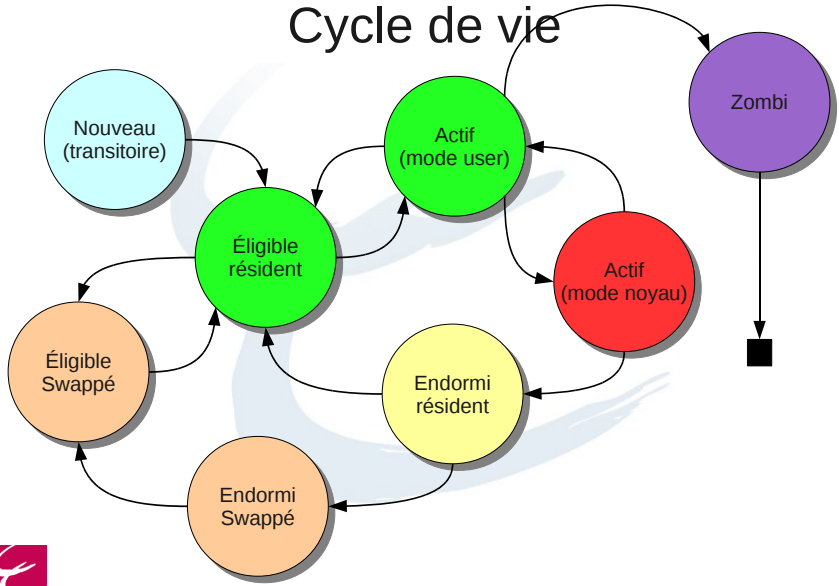
Introduction

- Un processus est lancé par un autre processus (sauf init).
- Les processus sont identifiés par un PID (Process ID)
- Chaque processus possède un parent (sauf init).
- Le PID du parent est le PPID (Parent PID)
- Lister les processus en cours :
  - `ps`
  - `ps -ef`
  - `ps -ef |grep truc`
  - `pstree`
  - `pstree -p`
  - `top`

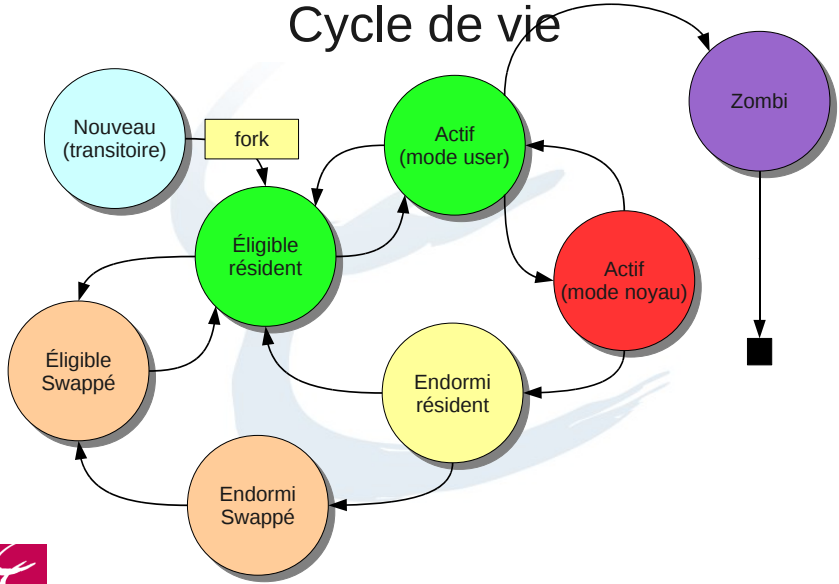
États d'un processus

- `TASK_RUNNING` : en cours d'exécution ou en attende d'être exécuté
- `TASK_INTERRUPTIBLE` : suspendu en attente d'une condition (interruption matérielle, signal, ...)
- `TASK_ZOMBIE` : exécution terminée, mais le processus parent n'a pas réclamé les informations sur son fils
- `TASK_DEAD` : état final, en cours de suppression par le système

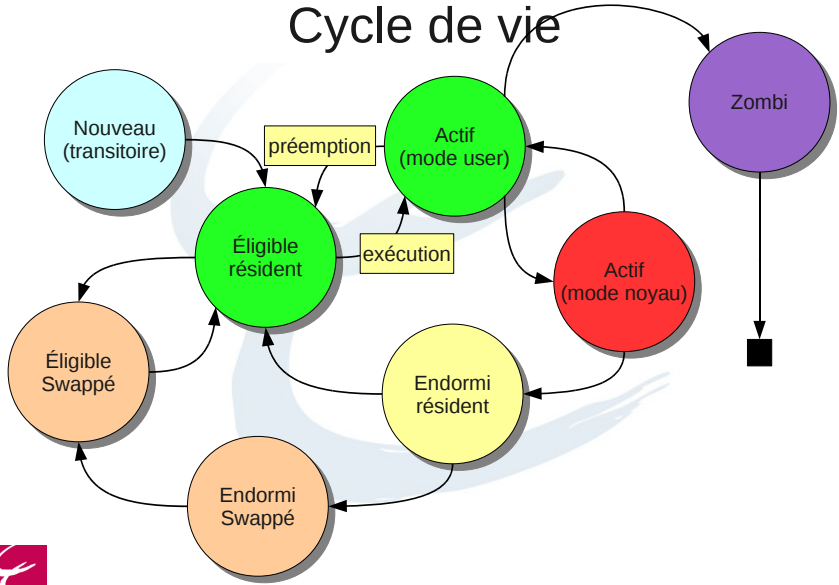
Cycle de vie


Nouveau
(transitoire)
Actif
(mode user)
Zombi
Éligible
résident
Actif
(mode noyau)
Éligible
Swappé
Endormi
résident
Endormi
Swappé

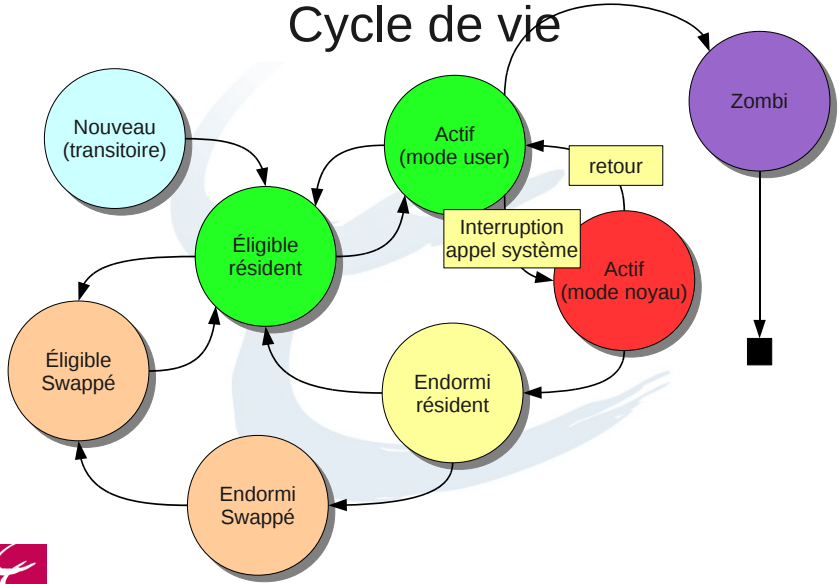
Cycle de vie


Nouveau
(transitoire)
fork
Actif
(mode user)
Zombi
Éligible
résident
Actif
(mode noyau)
Éligible
Swappé
Endormi
résident
Endormi
Swappé

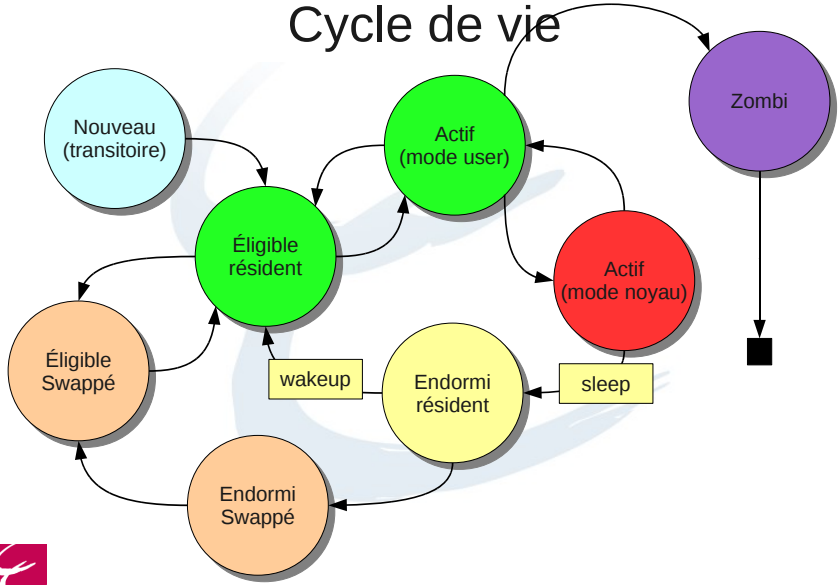
Cycle de vie


Nouveau
(transitoire)
préemption
Actif
(mode user)
Zombi
Éligible
résident
exécution
Actif
(mode noyau)
Éligible
Swappé
Endormi
résident
Endormi
Swappé

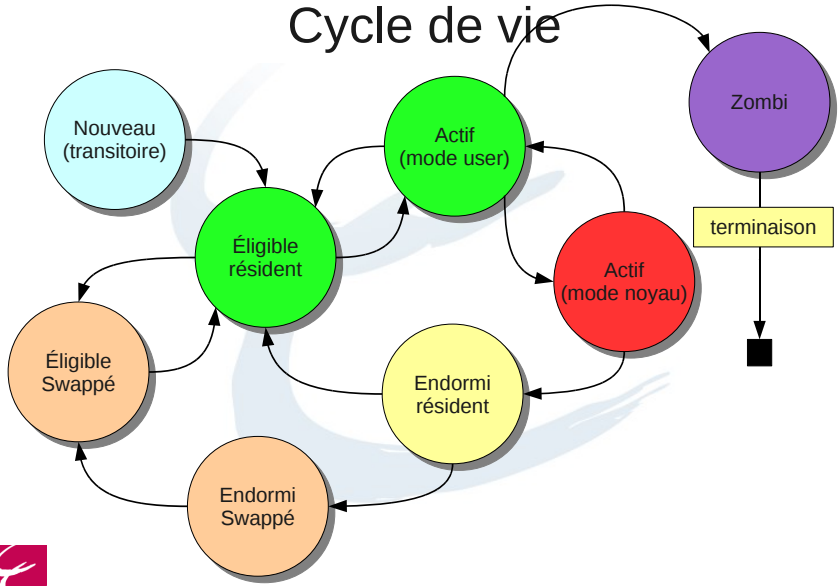
Cycle de vie


Nouveau
(transitoire)
Actif
(mode user)
Zombi
retour
Éligible
résident
Interruption
appel système
Actif
(mode noyau)
Éligible
Swappé
Endormi
résident
Endormi
Swappé

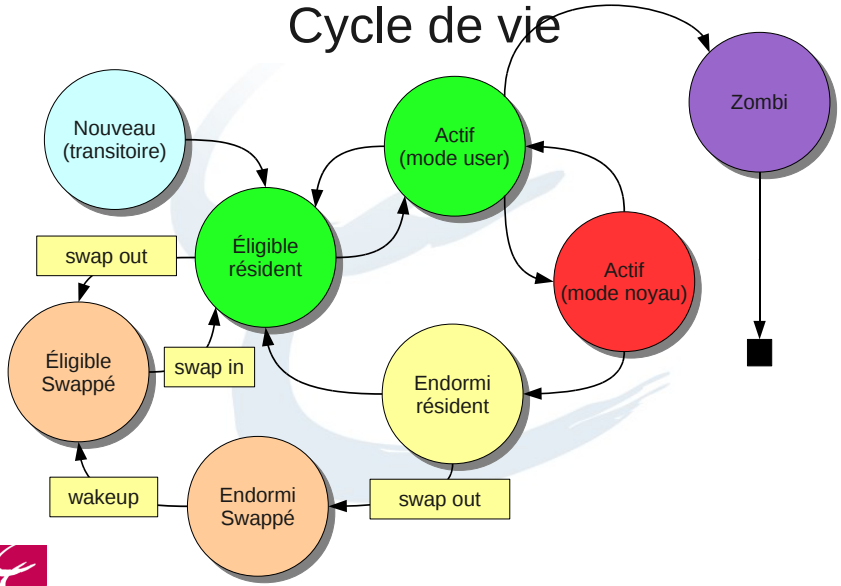
Cycle de vie


Nouveau
(transitoire)
Actif
(mode user)
Zombi
Éligible
résident
Actif
(mode noyau)
Éligible
Swappé
wakeup
Endormi
résident
sleep
Endormi
Swappé

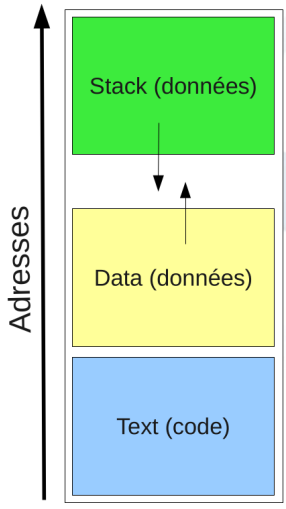
Cycle de vie


Nouveau
(transitoire)
Actif
(mode user)
Zombi
Éligible
résident
terminaison
Actif
(mode noyau)
Éligible
Swappé
Endormi
résident
Endormi
Swappé

Cycle de vie


Nouveau
(transitoire)
Actif
(mode user)
Zombi
swap out
Éligible
résident
Actif
(mode noyau)
Éligible
Swappé
swap in
Endormi
résident
wakeup
Endormi
Swappé
swap out

Création de processus : fork()

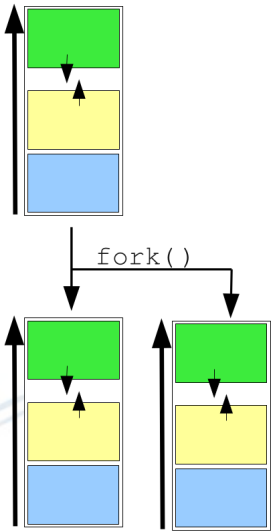



```c
int main (int argc, char ** argv) {
    int pid, status;

    pid = fork();

    if (pid != 0) {
        printf("Je suis le père %d et mon fils est %d\n",
                getpid(), pid);
        wait(&status);
    }
    else {
        printf("Je suis le fils %d et mon père est %d\n",
                getpid(), getppid());
    }

    return 0;
}
```

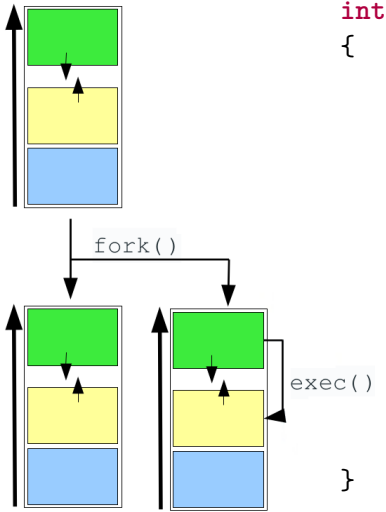
Appel système `fork()`

Copie le processus courant

- Sont hérités :
  - les variables initialisées
  - l'environnement
  - les fichiers ouverts
  - le traitement des signaux
  - le GID (Group IDentifier)
- Ne sont pas hérités :
  - Le PID (un nouveau est attribué)
  - Le PPID (Parent PID)



Remplacement de code : exec()



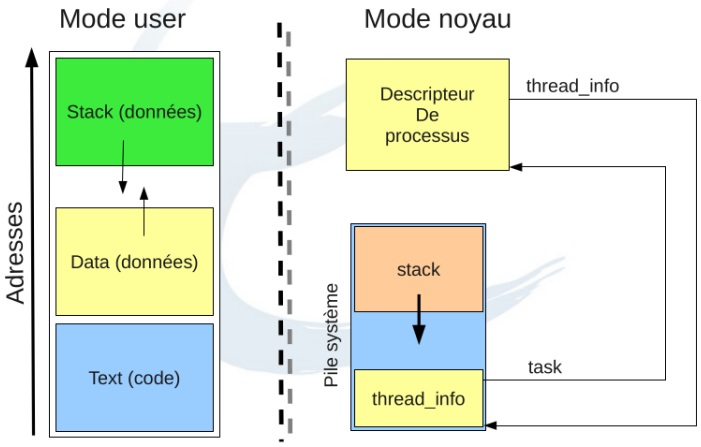

```c
int main(int argc, char **argv)
{
    int pid, status;
    pid = fork();
    if(pid != 0) {
        wait(&status);
    }
    else {
        printf("je suis le fils %d\n", getpid());
        execlp("/usr/bin/ls", "ls", NULL);
        printf("ceci ne sera jamais affiché");
    }
    return 0;
}
```

Structures associées

À chaque processus est associé :

- Un contexte utilisateur : le processus tel que vu par l'utilisateur
- Un contexte Système : le processus tel que vu par le noyau, décomposé en deux parties
  - Un descripteur de processus
  - Une pile système

Structures associées



Pile système

- Sert à stocker le contexte matériel du processus
  - Ensemble des données contenues dans les registres necéssaires à l'exécution du processus
  - Les processus ne peuvent pas partager les registres, lorsqu'un changement de processus survient, le contexte matériel est sauvegardé dans la pile système.
  - Lorsque le processus est de nouveau actif, le contexte matériel est restauré depuis la pile
  - Le descripteur de processus contient un pointeur vers la pile système

Ordonnancement

- Le système est multi-tâches : plusieurs processus s'exécutent en même temps
- La simultanéité est simulé par un partage du temps de calcul
  - On stoppe l'exécution d'un processus pour en exécuter un autre
  - Le temps est découpé en quantas
  - Les quantas sont attribués aux processus en cours d'exécution

Ordonnancement

- Le passage d'un processus à un autre est appelé commutation de processus
  - Dans le cas du multitâches coopératif, la commutation est initiée par les programmes eux-mêmes
  - Dans le multitâches préemptif (cas de Linux), des évènements externes forcent la commutation
- La commutation est déclenchée par l'interruption d'un timer, générée par l'horloge, généralement toutes les 10ms
  - Cette interruption appelle la fonction schedule()

Commutation de processus

- Certains processus sont plus prioritaires que d'autres lors de l'ordonnancement
  - 0 (plus prioritaire) à 20 (moins prioritaire)
  - Jusqu'à -20 en root
  - En fonction de la valeur de priorité dans la task_struct
  - `ps -eo "%p %c %n"`
  - `nice` et `renice` pour changer la priorité
- Un processus est associé à un contexte matériel particulier, nécessaire au bon déroulement de son exécution
- Lors d'une commutation de processus, le noyau doit sauvegarder le contexte du processus sortant
- Puis il doit restaurer le contexte du processus entrant

Communication entre processus

- Entre un père et son fils
  - Zone de data après fork() (mais à sens unique)
  - Paramètres dans exec()
  - Pipe
- Entre deux processus sans lien
  - Signaux
  - Pipe nommé
  - Fichiers
- **Problème** : solutions très lentes

Les signaux

Signaux

- Moyen simple de communication entre processus
- Générés soit
  - Exception au cours de l'exécution du processus
  - D'origine matérielle : erreur d'adressage, virgule flottante
  - D'origine logicielle : CTRL-C, SIGCHLD, sur commande
- Lorsqu'un processus reçoit un signal
  - Il est détruit (par défaut)
  - Une routine spéciale est exécutée

Type de signaux

```
#define SIGHUP          1       /* Hangup (POSIX).  */
#define SIGINT          2       /* Interrupt (ANSI).  */
#define SIGQUIT         3       /* Quit (POSIX).  */
#define SIGILL          4       /* Illegal instruction (ANSI).  */
#define SIGTRAP         5       /* Trace trap (POSIX).  */
#define SIGABRT         6       /* Abort (ANSI).  */
#define SIGIOT          6       /* IOT trap (4.2 BSD).  */
#define SIGBUS          7       /* BUS error (4.2 BSD).  */
#define SIGFPE          8       /* Floating-point exception (ANSI).  */
#define SIGKILL         9       /* Kill, unblockable (POSIX).  */
#define SIGUSR1         10      /* User-defined signal 1 (POSIX).  */
#define SIGSEGV         11      /* Segmentation violation (ANSI).  */
#define SIGUSR2         12      /* User-defined signal 2 (POSIX).  */
#define SIGPIPE         13      /* Broken pipe (POSIX).  */
#define SIGALRM         14      /* Alarm clock (POSIX).  */
#define SIGTERM         15      /* Termination (ANSI).  */
#define SIGSTKFLT       16      /* Stack fault.  */
#define SIGCLD          SIGCHLD /* Same as SIGCHLD (System V).  */
#define SIGCHLD         17      /* Child status has changed (POSIX).  */
#define SIGCONT         18      /* Continue (POSIX).  */
#define SIGSTOP         19      /* Stop, unblockable (POSIX).  */
#define SIGTSTP         20      /* Keyboard stop (POSIX).  */
#define SIGTTIN         21      /* Background read from tty (POSIX).  */
#define SIGTTOU         22      /* Background write to tty (POSIX).  */
#define SIGURG          23      /* Urgent condition on socket (4.2 BSD).  */
#define SIGXCPU         24      /* CPU limit exceeded (4.2 BSD).  */
#define SIGXFSZ         25      /* File size limit exceeded (4.2 BSD).  */
#define SIGVTALRM       26      /* Virtual alarm clock (4.2 BSD).  */
#define SIGPROF         27      /* Profiling alarm clock (4.2 BSD).  */
#define SIGWINCH        28      /* Window size change (4.3 BSD, Sun).  */
#define SIGPOLL         SIGIO   /* Pollable event occurred (System V).  */
#define SIGIO           29      /* I/O now possible (4.2 BSD).  */
#define SIGPWR          30      /* Power failure restart (System V).  */
#define SIGSYS          31      /* Bad system call.  */
```

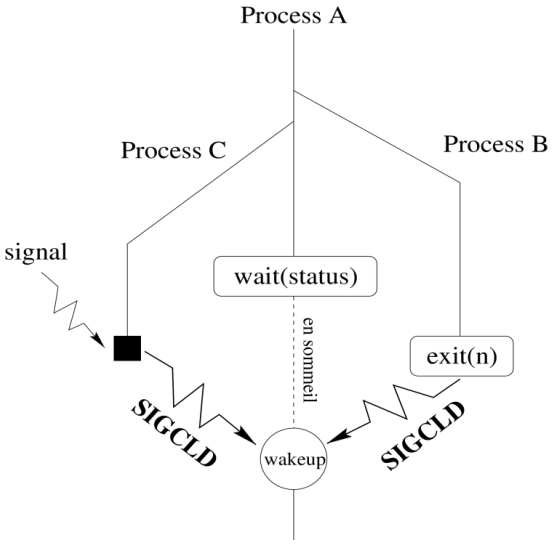
Signal vs Interruption

Attention

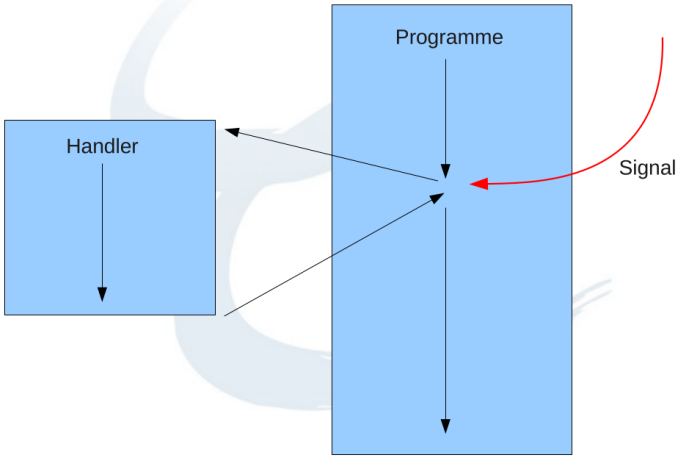
Les signaux ne sont pas des interruptions !

- Lors d'une interruption, la routine associée est exécutée immédiatement
- Lors de la réception d'un signal, le code associé sera exécuté lorsque le processus aura du temps d'exécution disponible sur un CPU
- Les signaux ne sont **pas temps réels !**

Exemple


Process A
Process C
Process B
signal
wait(status)
en sommeil
exit(n)
SIGCLD
wakeup
SIGCLD

Mise en place d'un handler



signal()

```c
#include <signal.h>

void signal_handler(int sig)
{
    printf("Recu signal d'interruption %d\n",sig);
}

int main()
{
    signal(SIGINT,signal_handler);
    pause();

    exit(0);
}
```

kill()

```c
#include <stdio.h>
void signal_handler(int sig) {
    printf("Signal %d recu\n",sig);
}

int main() {
    int idfils, status;
    if (idfils=fork()) {    /* pere */
        sleep(5);
        kill(idfils,SIGUSR1);
        wait(&status);
        exit(0);
    }
    else {                        /* fils */
        signal(SIGUSR1,signal_handler);
        pause();
        exit(1);
    }
}
```

Signaux temps-réel

- La norme posix 1.b impose au moins 8 signaux dits "temps-réels"
- Linux en supporte 32 numérotés de 32 (SIGRTMIN) à 63 (SIGRTMAX)
- Les signaux temps-réel n'ont pas de signification prédéfinie
- L'action par défaut est de terminer le processus
- Si des signaux standards et des signaux temps-réel sont simultanément en attente pour un processus Linux donne la priorité aux signaux temps-réel

Mensonges !

- Le qualificatif "temps-réel" est trompeur !
- **Aucune contrainte temporelle** n'est imposée au niveau de l'ordonnanceur
- Comme pour les signaux standards le signal sera délivré à un processus **uniquement quand celui-ci sera ordonnancé**

Propriétés

- Un signal temps-réel peut être envoyé par `sigqueue()` et accompagné d'un paramètre.
- Un gestionnaire utilisant l'appel `sigaction()` peut accéder à cette valeur
- Si plusieurs signaux temps-réel sont envoyés ils sont délivrés en commençant par le signal de numéro le moins élevé (le signal de plus fort numéro est celui de priorité la plus faible).
- Les signaux temps-réel du même type sont délivrés dans l'ordre où ils ont été émis.

Handler

```
void handler(int sig, siginfo_t *info, void *inutile) {
    char *origine;
    printf("Reception du signal n %d ", sig);
    switch (info->si_code) {
        case SI_USER:
            printf("envoye au moyen de kill() ou raise() par le processus %ld\n", info->si_pid);
            break;
        case SI_QUEUE:
            printf("envoyé au moyen de sigqueue() par le processus %ld avec la valeur %d\n",
                                    (long)info->si_pid, info->si_value.sival_int);
            break;
        default:
            printf("\n");
            break;
    }
}
```

Handler

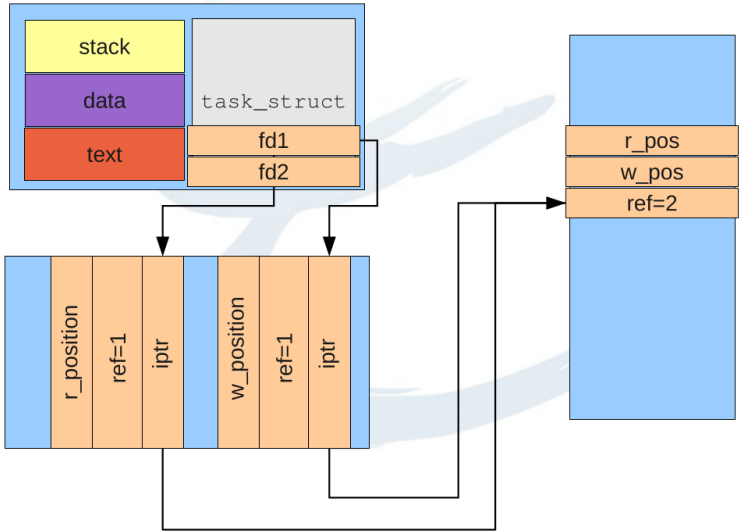
```
int main()
{
  pid_t pid_fils;
  switch (pid_fils = (long)fork()) {
    case -1:
      perror("Erreur lors de fork");
      return EXIT_FAILURE;
    case 0:         // Fils
      sigset_t masque; struct sigaction action;
      sigemptyset(&masque);
      sigaddset(&masque, SIGUSR1);
      sigprocmask(SIG_BLOCK, &masque, NULL);
      action.sa_sigaction = handler;
      action.sa_mask = masque;
      action.sa_flags = SA_SIGINFO;
      sigaction(SIGUSR1, &action, NULL);
      sigprocmask(SIG_UNBLOCK, &masque, NULL);
      while(1);
    default:        // Père
      union sigval val;
      val.sival_int = 123;
      sigqueue(pid_fils, SIGUSR1, val);
      wait(NULL);
  }
  return EXIT_SUCCESS;
}
```

Les pipes

Pipes

- Un pipe est un fichier virtuel (pas stocké sur un disque)
- Il possède deux descripteurs : un en lecture et un en écriture
- Les descripteurs de fichiers étant partagés par un processus père et son fils, le pipe permet la communication de données entre processus
- Il fonctionne avec un buffer circulaire

pipe()


stack
data
text
task_struct
fd1
fd2
r_pos
w_pos
ref=2
r_position
ref=1
iptr
w_position
ref=1
iptr

pipe()

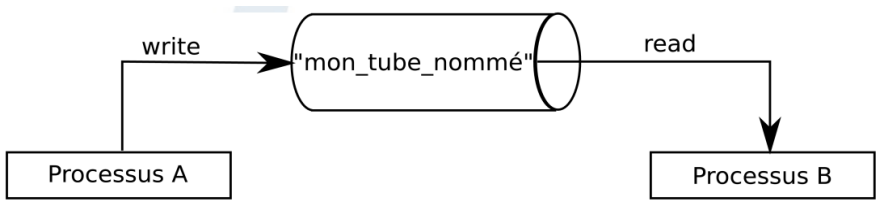
- Le père écrit dans le pipe
- Le fils lit depuis le pipe
- Ou l'inverse...

Exemple de code

```c
int main()
{
    int status,pipedes[2];
    char buf[100];
    int len;
    char msg[]="Salut Fred !";
    if (pipe(pipedes))
        exit(1);
    if (fork()) { /* Code du pere */
        printf("père\n");
        write(pipedes[1],msg,strlen(msg));
        printf("ok, envoyé\n");
        wait(&status);
        return 0;
    }
    else {        /* Code du fils */
        printf("fils\n");
        read(pipedes[0],buf,100);
        printf("Mon pere adore l'art de decaler les sons : %s\n",buf);
        return 0;
    }
}
```

Pipes nommés

- Un fichier spécial est créé (p)
- Un inode est réservé
- N'est pas utilisé comme un fichier mais comme un pipe



Exemple

```c
#define NAME_PIPE "./my_pipe"

int main(int ac, char **av)
{
    char DATA[32];
    int fd;
    int pid;
    mkfifo(NAME_PIPE, 0666);
    fd = open(NAME_PIPE, O_WRONLY);
    if (fd == -1)
        exit(1);
    pid = getpid();
    sprintf(DATA, "%i dit hello", pid);
    write(fd, DATA, strlen(DATA) + 1);
    sleep(5);
    return 0;
}
```

```c
#define NAME_PIPE "./my_pipe"
#define BUFFSIZE 1024

int main(int ac, char **av)
{
    char sbBuf[BUFFSIZE];
    int fd;
    int pid;
    fd = open(NAME_PIPE, O_RDONLY);
    pid = getpid();
    read(fd, sbBuf, BUFFSIZE);
    printf("[%i] %s\n", pid, sbBuf);
    return 0;
}
```

Le reste

Autres types d'IPC

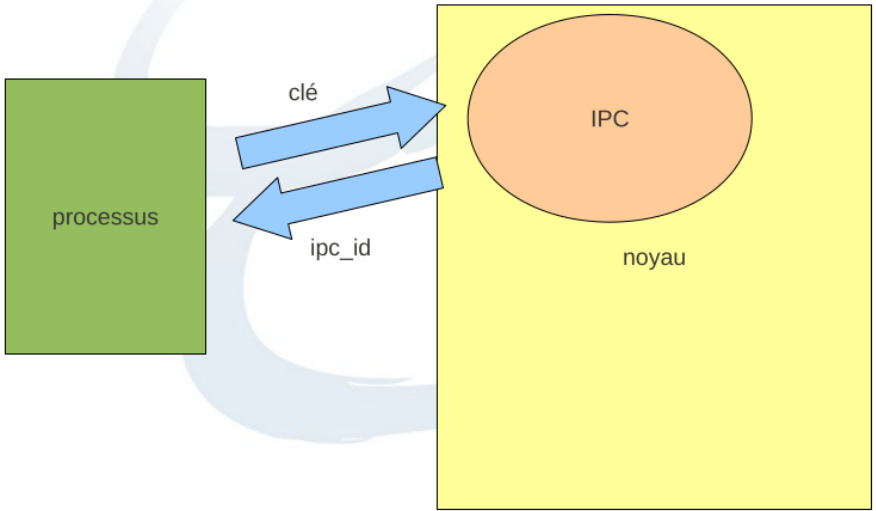
3 types de communication inter processus :

- Message queue
  - Boîtes aux lettres où les processus peuvent déposer ou récupérer des messages
- Mémoire partagée
  - Zone de mémoire dans laquelle les processus peuvent lire et écrire des données
- Sémaphores
  - Structures de données utilisées par les processus pour gérer l'accès aux ressources partagées

Principe général

- Une clé publique permet d'accéder à un IPC
- Le processus qui créé l'IPC définit son mode d'accès
- La gestion des IPC est un mécanisme du noyau indépendant, ce qui permet d'accéder ou de modifier de manière externe les caractéristiques de l'IPC
- La gestion des IPC est l'un des rôles importants du noyau (présent même dans les micro-noyaux)

Principe général



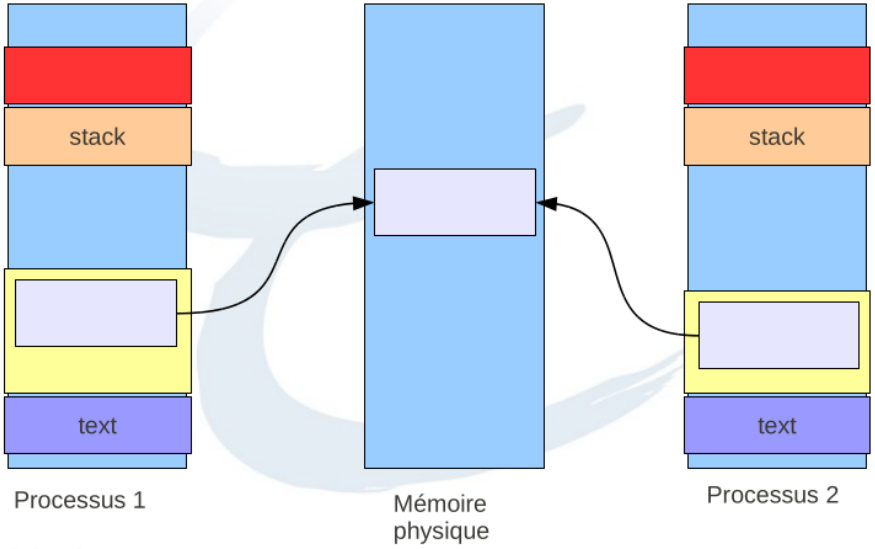
Mémoire partagée

- Permet d'attacher un bloc de mémoire à un ou plusieurs processus
- Une fois le bloc attaché, il s'utilise comme n'importe quel bloc de mémoire alloué

L'attachement s'effectue en deux temps :

- Création de la mémoire partagée à partir de l'identifiant
  - `shmget()`
- Récupération de l'adresse de la mémoire
  - `shmat()`

Mémoire partagée



Création d'une shared memory

```c
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int main(int argc, char * argv[])
{
    int shmid;
    if ((shmid=shmget((key_t)1,100,IPC_CREAT+0666))==-1)
    {
        perror("shmget");
        exit(1);
    }
    printf("%s%d\n","L'identifiant memoire est ",shmid);
}
```

Écriture dans une shared memory

```
int main(int argc, char * argv[])
{
    int shmid;
    char *buf;
    char *msg="Message mémoire commune";
    if ((shmid=shmget((key_t)1,0,0))==-1) {
        perror("shmget");
        exit(1);
    }
    if ((buf=shmat(shmid,0,0))== (char *)-1) {
        perror("shmat");
        exit(1);
    }
    *buf=0;              /* segment libre */
    strcpy(buf+1,msg);   /* transmission msg */
    *buf=1;              /* message disponible */
    while(*buf);         /* attend liberation segment */
    shmdt(buf);          /* detachement */
}
```

Lecture dans une shared memory

```
int main(int argc, char * argv[])
{
    int shmid;
    char *buf;
    char msg[100];
    if ((shmid=shmget((key_t)1,0,0))==-1) {
        perror("shmget");
        exit(1);
    }
    if ((buf=shmat(shmid,0,0))== (char *)-1) {
        perror("shmat");
        exit(1);
    }
    while(*buf!=1);        /* attente msg disponible */
    strcpy(msg,buf+1);     /* lecture message */
    *buf=0;                /* segment libre */
    printf("%s\n",msg);    /* affichage message */
    shmdt(buf);            /* detachement */
}
```