Interruptions Et signaux

Plan

- **Introduction**
- Interruptions
- Signaux
  - Emission
  - Réception
  - Traitement
  - Exemples
    - `SIGSEGV`
    - `SIGALRM`
    - `SIGCHLD`

Introduction

• Nous présentons ici les moyens qui permettent de gérer les événements qui arrivent **parallèlement** au déroulement d'un processus.

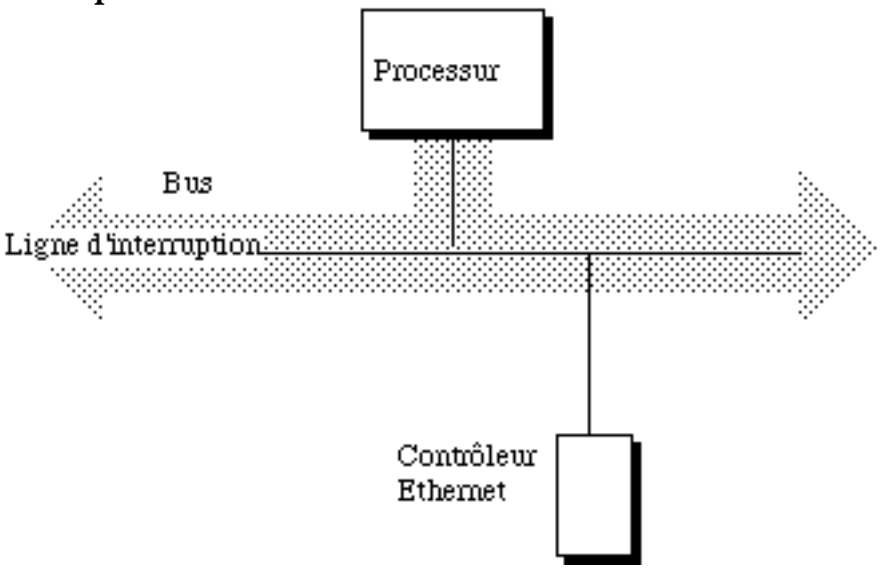
• Ces événements ont différentes origines:
  - matérielles : arrivée d'une trame réseau, saisie clavier, …
  - logicielles : erreur d'adressage, dépassement de capacité de la pile, …

• Ces événements peuvent être destinés au processus lui-même,

• Ces événements peuvent être destinés à un autre processus.

Introduction

• La prise en compte matérielle de ces événements est faite sous forme de variation d'état d'une des lignes du bus, appelée ligne d'interruption :

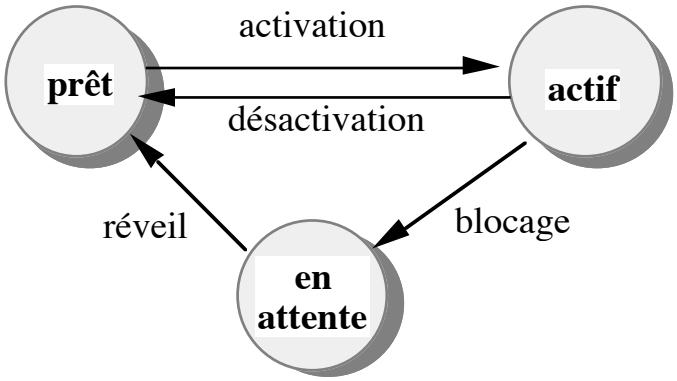


• Le processeur détecte cette variation, le système d'exploitation la prend en charge et la répercute vers le processus concerné,

• Sous Unix l'outil utilisé pour « remonter » les interruptions vers un processus s'appelle *signal.*

Retour sur les transitions entre états

• Rappel : graphe d'état des processus :



• Le processeur exécute le programme associé au processus actif :
  - sur une machine monoprocesseur, cadre de notre étude, un seul programme est exécuté à la fois.

• Question : comment va se faire la transition vers un autre état ?
  - on ne voit pas comment : le processeur exécute un programme, le compteur ordinal va donc rester à l'intérieur de ce programme,
  - il faut donc introduire un mécanisme matériel qui indique au processeur d'arrêter le traitement courant,
  - ce mécanisme s'appelle une **interruption.**

Plan

- Introduction
- **Interruptions**
- Signaux
  - Emission
  - Réception
  - Traitement
  - Exemples
    - `SIGFPE`
    - `SIGALRM`
    - `SIGCHLD`

Interruptions: émission

- **Qui** peut émettre une interruption ?
  - un périphérique, pour indiquer une terminaison d'E/S, qu'elle soit correcte ou non,
  - l'horloge, pour indiquer l'échéance d'une alarme,
  - etc,

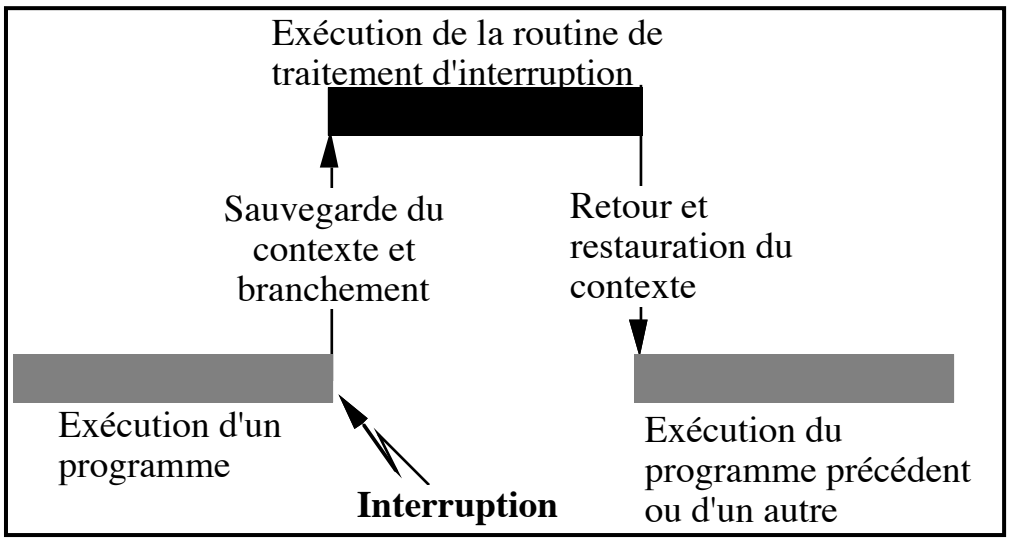
- **Comment** émettre une interruption ?
  pour simplifier: on envoie une interruption sous forme d'un changement d'état sur une des « pattes » du processeur ; ce dernier vérifiera, avant chaque instruction, si cette ligne a changé d'état.

Interruptions : fonctionnement

- Modification **de principe** du cycle de fonctionnement du processeur :
  - avant d'exécuter une instruction, vérifier si une interruption n'est pas arrivée,
  - si oui, la traiter, c'est-à-dire aller au point 2 du paragraphe suivant,
- Si une interruption arrive pendant l'exécution d'une instruction :
  1 - l'instruction en cours se termine (**ATOMICITE** d'une instruction),
  2 - l'adresse de l'instruction suivante et le contenu des registres sont **sauvegardés** dans une pile spécifique : la pile d'interruption (*interrupt stack*),
  3 - les interruptions de niveau inférieur ou égal sont masquées,
  4 - le processeur consulte une table qui contient l'adresse de la **procédure** à exécuter suivant le type d'interruption qu'il a reçu.

Interruptions : traitement

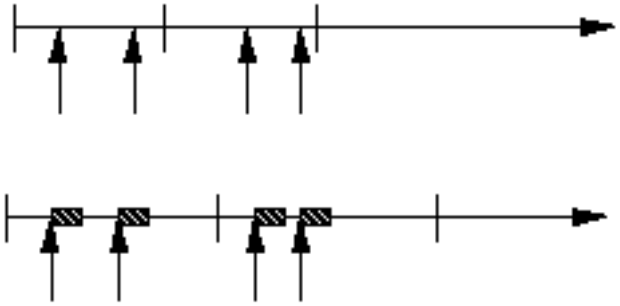
- Le schéma suivant indique comment le processeur traite une interruption.



- Conséquence capitale pour l'ordonnancement :
  - les interruptions sont plus prioritaires que n'importe lequel des processus.

Interruptions et ordonnancement

• Le schéma suivant indique la prise en compte des interruptions dans un scénario d'ordonnancement du type *round robin* :



- le séquencement de l'ordonnancement reste inchangé, mais l'attribution de n quantum de durée q se fera dans une fenêtre de temps de taille **supérieure** à (n*q).
- La taille de la fenêtre sera (n*q) augmenté du temps de traitement de toutes les interruptions reçues,

• Remarques :

- L'exécution du programme traitant l'interruption peut conduire à l'arrêt du travail courant pour exécuter une **autre tâche** (si celle-ci est plus prioritaire que le travail courant),
- La fin du quantum est provoquée par une interruption,
- Le changement de contexte ne se fait pas en temps nul, comme sur les schémas de principe.

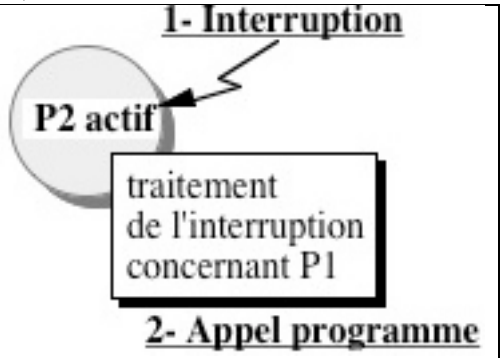
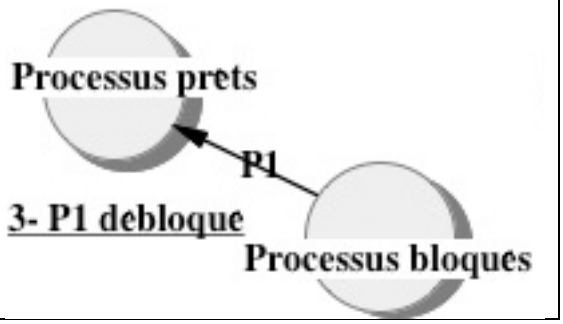
Interruptions : gestion par le système

- Gestion de l'interruption par le système :
  - L'appel du programme traitant l'interruption est géré comme un appel de procédure classique.
  - **Mais** cet appel se fait généralement pendant l'exécution d'un AUTRE processus, par exemple :
    - l'interruption concernant un processus bloqué arrive pendant qu'un autre est actif !

- Les interruptions permettent de traiter plusieurs activités « en même temps »

Interruptions et graphe d'état des processus

Scénario. Etat courant des processus : P1 bloqué, P2 actif.

1. une interruption (fin de lecture disque, par exemple) concernant P1 arrive pendant que P2 est actif (cf. 1 sur le schéma), 2. la fonction de traitement associée à cette interruption est exécutée (cf. 2 sur le schéma),	
3. ce traitement provoque le passage de P1 de l'état bloqué à l'état prêt **(**cf. 3 sur le schéma**).**	

Si P1 est élu par l'ordonnanceur (exemple : ordonnancement préemptif et priorité(P1) > priorité (P2)), alors P2 passe prêt et P1 devient actif.

Plan

- Introduction
- Interruptions
- **Signaux**
  - Emission
  - Réception
  - Traitement
  - Exemples
    - `SIGFPE`
    - `SIGALRM`
    - `SIGCHLD`

Voici un extrait du fichier `/usr/include/sys/signal.h` **obtenu sur une machine Mac**, les numéros peuvent différer d'un système UNIX à un autre:

```
#define SIGHUP  1   /* hangup */
#define SIGINT  2   /* interrupt (rubout) */
#define SIGQUIT 3   /* quit (ASCII FS) */
#define SIGILL  4   /* illegal instruction(not reset when caught)*/
#define SIGTRAP 5   /* trace trap (not reset when caught) */
#define SIGIOT  6   /* IOT instruction */
#define SIGABRT 6   /*used by abort,replace SIGIOT in the future */
#define SIGEMT  7   /* EMT instruction */
#define SIGFPE  8   /* floating point exception */
#define SIGKILL 9   /* kill (cannot be caught or ignored) */
#define SIGBUS  10  /* bus error */
#define SIGSEGV 11  /* segmentation violation */
#define SIGSYS  12  /* bad argument to system call */
#define SIGPIPE 13  /* write on a pipe with no one to read it */
#define SIGALRM 14  /* alarm clock */
#define SIGTERM 15  /* software termination signal from kill */
#define SIGUSR1 16  /* user defined signal 1 */
#define SIGUSR2 17  /* user defined signal 2 */
#define SIGCLD  18  /* child status change */
#define SIGCHLD 18  /* child status change alias (POSIX) */
#define SIGPWR  19  /* power-fail restart */
#define SIGWINCH 20 /* window size change */
#define SIGURG  21  /* urgent socket condition */
#define SIGPOLL 22  /* pollable event occured */
#define SIGIO   SIGPOLL /* socket I/O possible (SIGPOLL alias) */
#define SIGSTOP 23  /* stop (cannot be caught or ignored) */
#define SIGTSTP 24  /* user stop requested from tty */
#define SIGCONT 25  /* stopped process has been continued */
#define SIGTTIN 26  /* background tty read attempted */
#define SIGTTOU 27  /* background tty write attempted */
#define SIGVTALRM 28    /* virtual timer expired */
#define SIGPROF 29  /* profiling timer expired */
#define SIGXCPU 30  /* exceeded cpu limit */
#define SIGXFSZ 31  /* exceeded file size limit */
#define SIGWAITING 32   /* process's lwps are blocked */
#define SIGLWP  33  /* special signal used by thread library */
#define SIGFREEZE 34    /* special signal used by CPR */
#define SIGTHAW 35  /* special signal used by CPR */
#define SIGCANCEL 36    /*thread cancel signal used by libthread */
#define _SIGRTMIN 37    /*first(highest-priority) realtime signal*/
#define _SIGRTMAX 44    /*last (lowest-priority) realtime signal */
```

Les signaux : présentation

- Définition : un signal sert à indiquer l'occurrence d'un événement, cet événement peut être d'origine :
  - Interne, c'est-à-dire provoqué par le processus lui-même :
    - Involontairement : division par zéro, dépassement de capacité de la pile, …
    - volontairement : gestion d'une alarme, gestion d'E/S, …
  - Externe, provoqué par :
    - Un autre processus : fin d'un processus fils, …
    - Le système : fin d'E/S, …
- Dans le cas des événements d'origine matérielle, les signaux sont le moyen dont dispose le système pour remonter les interruptions du matériel vers les processus concernés
- L'ensemble des signaux disponibles est décrit dans `signal.h`

Remarques :

Un seul bit indique l'occurrence d'un signal de type donné. Si un signal arrive avant que le traitement du précédent de même type soit terminé, il est perdu !

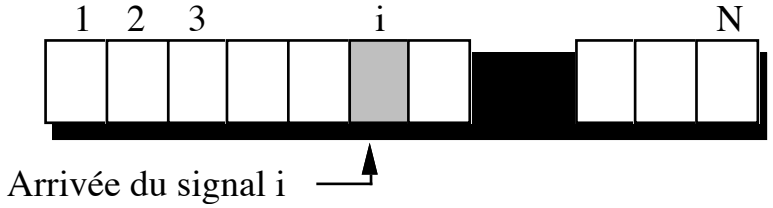
Seuls les processus du « super-utilisateur (root) » et les processus appartenant au même utilisateur peuvent envoyer des signaux vers un processus donné.

Les signaux :émission

- **Qui** peut émettre un signal ?

- le noyau, à la suite d'une division par zéro, d'une tentative d'exécution d'une instruction interdite, à la fin d'un processus (émission de SIGCHLD), ...
- un utilisateur : en utilisant le clavier (`<CTRL C>`, par exemple) ou la commande `kill` du shell,
- un processus : appel à la fonction `kill`, à la fonction `alarm`.

- L'envoi d'un signal à un processus est matérialisé sous forme d'un bit positionné par le système dans un tableau associé à ce processus :



- Remarque :

un émetteur ne peut pas savoir si le processus destinataire a **reçu** ou non le signal qu'il a émis.

Les signaux : Outils d'émission

• Utilisation de la commande kill du shell :

```
kill –nom-du-signal pid
kill –numéro-du-signal pid
```

`kill –INT 567`	Envoi du signal SIGINT au processus 567.
`kill –9  7890`	Envoi du signal SIGKILL au processus 7890.

• Utilisation de la fonction kill en C:

```
#include <signal.h>
int kill (pid_t pid, int sig);
```

`kill (pid, SIGINT)`	Envoi du signal SIGINT au processus pid.
`kill (getppid(), SIGUSR1)`	Envoi du signal SIGUSR1 au processus père.

• Utilisation de la fonction alarm en C:

```
#include <unistd.h>
unsigned int alarm(unsigned int seconds);
```

`alarm (2)`	Le processus courant recevra le signal SIGALRM dans deux secondes

Remarque :

Un processus en attente de sortie d'un appel système bloquant peut être debloqué par un évènement **différent** de celui attendu si celui qui arrive est plus prioritaire que celui attendu.

Exemple :
SIGCHLD est plus prioritaire que les entrées-sorties clavier.

Un appel système dont on sort en recevant un évènement different de celui qui était attendu retourne un message d'erreur.

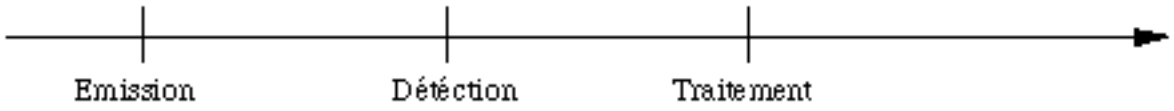
Réception d'un signal

- Réception d'un signal par un processus actif :
  - si le processus exécute un programme utilisateur : traitement immédiat du signal reçu,
  - s'il se trouve dans une fonction du système (ou *system call*) : le traitement du signal est différé jusqu'à ce qu'il revienne en mode *user*, c'est à dire lorsqu'il sort de cette fonction.

- Réception d'un signal par un processus bloqué :
  - Traitement du signal lors du passage à l'état actif
  - Si le signal est plus prioritaire que l'événement attendu, sortie de l'appel bloquant

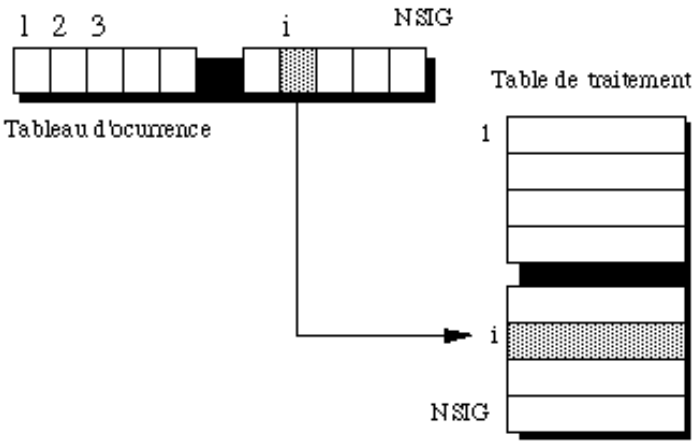
De la réception au traitement (1/2)

- Une fois détectée son occurrence, **comment traiter** un signal ? Pour chaque signal, un processus peut :
  - ignorer ce signal, si le système l'y autorise,
  - se contenter du traitement par défaut (en général fin du processus),
  - exécuter une fonction spécifique, si le système l'y autorise.



De la réception au traitement (2/2)

- Pour traiter le signal i qui a été délivré à un processus de pid P, le système consulte un tableau associé à P qui indique l'attitude de P vis à vis de chacun des signaux :
  - ce tableau comporte une entrée par signal, chacune initialisée à la valeur SIG_DFL (traitement par défaut) à la création du processus,
  - le processus peut modifier les entrées de ce tableau pour **indiquer le comportement** qu'il adoptera s'il reçoit le signal correspondant



- REMARQUE : Un processus hérite, par copie, de la table construite par son père.

Traitement des signaux

- Un processus peut adopter les comportements suivants lors de la réception d'un signal :
  - se satisfaire du traitement standard,
  - ignorer ce signal (si le système le permet),
  - lui associer un traitement spécifique (si le système le permet),

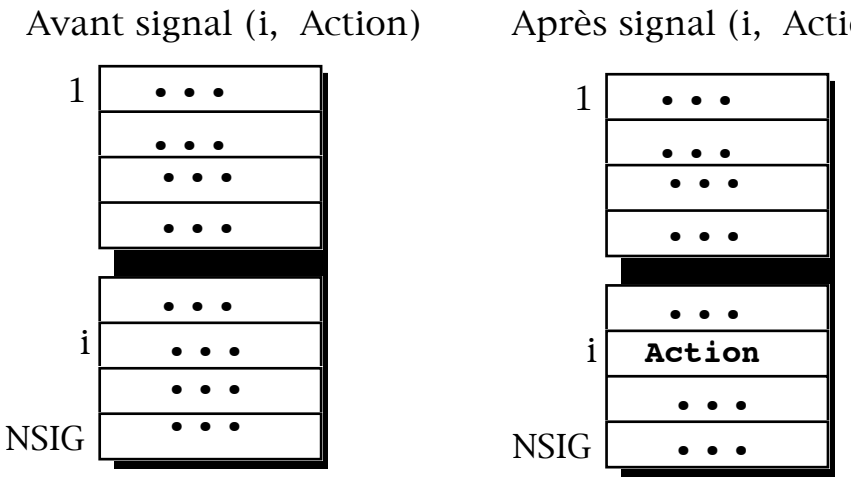
- Traitement standard en réception d'un signal :
  - dans la plupart des cas, fin du processus destinataire avec, ou sans, production d'un fichier appelé `core` (dump mémoire)
  - cas particuliers, citons :
    - SIGCHLD, émis par le `exit` d'un processus fils, pour indiquer sa fin au processus père.

Modifier le traitement par défaut

• Pour ce faire, un processus utilise la fonction

```
signal(Num_Sig, Action)
```

- Cette fonction **modifie** l'entrée numéro `Num_Sig` dans le tableau. L'entrée `Num_Sig` indique ce que doit faire le processus si il reçoit le signal de numéro `Num_Sig.`



Traitement d'un signal : Les 3 options

1 - Ignorer le signal : `signal (Num_Sig, SIG_IGN)`

effet : *mise à la valeur « ignorer » de l'entrée associée au signal* `Num_Sig` *dans la tableau.*

2 - (re)prendre le traitement par défaut (en général `exit`) : `signal (Num_Sig, SIG_DFL)`

effet : *mise à à la valeur « traitement par défaut» de l'entrée associée au signal* `Num_Sig` *dans la tableau.*

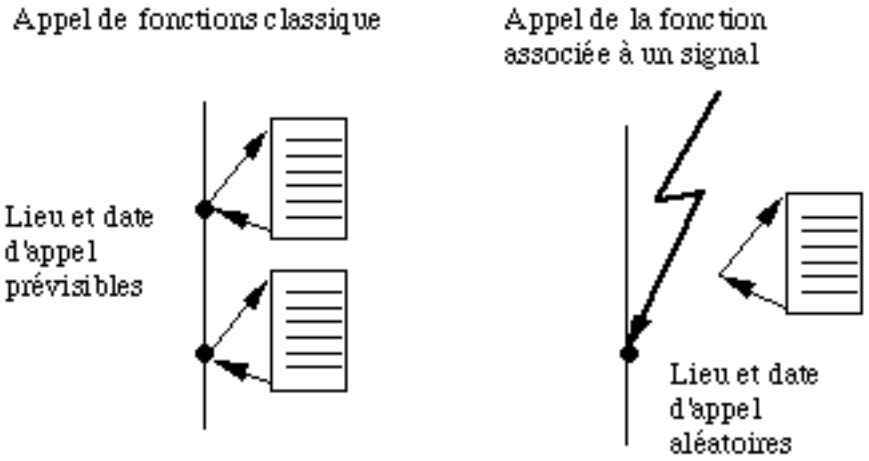
3 - adopter un traitement spécifique (défini dans `fonction`) **:** `signal (Num_Sig, fonction)`

effet : *l'adresse de la fonction* `fonction` *est rangée dans l'entrée associée au signal* `Num_Sig` *dans la tableau.*

Remarque : `signal` **n'émet pas de signal** (la fonction qui émet un signal est la fonction `kill` …),

Traitement d'un signal : Exécution de la fonction associée

- Comme on l'a vu, si une fonction est associée à un signal, elle est exécutée lorsque le système constate l'arrivée du signal,
- Différence entre un appel de fonction classique (synchrone) et un appel à celle qui traite un signal (asynchrone) :



- L'adresse de retour de la fonction de traitement du signal est celle de l'instruction où a été détecté le signal.

Ignorer un signal : exemple

- Voici un exemple de programme exécuté par un processus qui veut ignorer tous les signaux :

```
#include <signal.h>
#include <stdio.h>
int  main(void){
  short int  Num_Signal;
  long       Ret_Sig;

/*
    La fonction signal indique le comportement à adopter
    si le signal numéro Num_Sig arrive.
    Contrairement à son nom, elle n'envoie pas de signal !
    Si on n'a pas le droit d'ignorer le signal Num_Sig,
    la fonction signal renvoie -1.
*/

   for (Num_Signal = 1; Num_Signal < NSIG ; Num_Signal ++){
      Val_Sig= signal(Num_Signal, SIG_IGN);
      printf("Valeur renvoyée pour: %d %d\n",Num_Signal, Val_Sig);
      }
  •••
}
```

Traitement spécifique: exemple

- Si un signal lui arrive, ce programme exécute une fonction de traitement :

```
#include <stdio.h>
#include <signal.h>

int main (void){

    void fonc (int Num);
    int NumSig;

     /* Si un signal arrive , on appelle fonc */
    for (NumSig = 1 ; NumSig <= NSIG ; NumSig++)
       signal (NumSig, fonc);

    while (1);
}

/* fonction de traitement des signaux */
void fonc (int Num){
    printf("Recu signal %d\n", Num);
    }
```

Exemple : le signal SIGSEGV

- Le signal `SIGSEGV` est émis lors d'un accès à la mémoire interdit.
- Soit le programme :

```
#include <stdio.h>
int i, Tab[100];

int main(void) {
  •••
  /* La fonction Mise_A_Jour calcule des
     valeurs de i et met le tableau Tab à jour  */
  Mise_A_Jour() ;
  •••
}
```

- Si une des valeurs calculées pour i provoque une erreur mémoire, le processus est arrêté et on reçoit le message suivant (l'exécutable s'appelle `a.out`) :

```
zsh: segmentation fault  ./a.out
```

Ignorer le signal

• Modification du programme pour ignorer ce signal :

```
int i, Tab[100];

int main(void) {

    signal(SIGSEGV, SIG_IGN);

    •••
    /* Cette fonction calcule des valeurs de i
      et met le tableau Tab à jour  */
    Mise_A_Jour() ;
    •••

 }
```

•Inconvénient : on n'est pas averti si l'un des valeurs calculées est erronée!

Traitement spécifique d'un signal (1/2)

• Modification du programme pour adopter un traitement spécifique, c'est à dire l'exécution d'une fonction donnée par l'utilisateur . Cette fonction s'appelle **`Traite_Sig.`**

```
int i, Tab[100];

/************ main ****************/
int main(void) {
   void Traite_Sig();

   signal(SIGSEGV, Traite_Sig);
   •••
   /* Cette fonction calcule des valeurs de i
     et met le tableau Tab à jour  */
   Mise_A_Jour() ;
   •••

 }

/******** traitement du signal ************/
void  Traite_Sig (int Num_Sig ){
   printf("Erreur sur adresse : %x, i = %d\n", (int)&Tab[i], i);
}
```

• Inconvénient : on continue après l'instruction qui a provoqué l'erreur. Il pourrait être plus intéressant de prévoir un point de reprise en cas d'erreur, c'est ce qu'on va voir.

Traitement spécifique d'un signal (2/2)

• On modifie le programme précédent pour y introduire un point de reprise.

- Ce point est défini par la fonction `setjmp`
- Après exécution de la fonction de traitement du signal, on reviendra au point de reprise en utilisant `longjmp` .

```
#include <setjmp.h>
int i, Tab[100];
jmp_buf contexte;

/********** main *********************/
int main(void) {
    int Retour;
    void Traite_Sig();
    signal(SIGSEGV, Traite_Sig);
    •••
    /* point de reprise */
    Retour  = setjmp (contexte);
    •••
    /* Cette fonction calcule des valeurs de i
     et met le tableau Tab à jour  */
    Mise_A_Jour() ;
    •••
}
/******** traitement du signal **************/
void  Traite_Sig (int Num_Sig ){
    printf("Erreur sur adresse : %x, i = %d\n", (int)&Tab[i], i);
    longjmp(contexte, Num_Sig);
}
```

Commentaire: `longjmp` va extraire le contexte rangé dans `contexte` et le restaurer. Ainsi, après avoir exécuté `longjmp` le programme retourne au `setjmp` qui avait sauvé le contexte.

Le signal SIGALRM (1/4)

- Cet exemple va montrer les problèmes que peut poser la gestion du temps dans un système d'exploitation.
- On va utiliser la fonction `alarm(t)` qui demande au système d'envoyer au processus courant le signal SIGALRM dans **au moins** t secondes.
- Le programme suivant reçoit SIGALRM toutes les 5 secondes, il exécute alors la fonction `Traite_Alarme`

```
#define MAX (1024*1024*1024)
#define ALARME 5
unsigned long  Compteur ;

int main(void){
   void Traite_Alarme (int Signal);
   signal (SIGALRM, Traite_Alarme);
   alarm(ALARME);

   for (Compteur=0; Compteur< MAX; Compteur++);

   return 0;
}

/***********************************/
void Traite_Alarme(Signal){
   static int Nb_Alarmes = 1;
   printf ("Alarme num %d Compteur %ld\n", Nb_Alarmes, Compteur);
   Nb_Alarmes = Nb_Alarmes + 1;
   alarm(ALARME);
}
```

Ce type d'événement s'appelle une alarme ou un *timer*

Le signal SIGALRM (2/4)

- Résultats sur une machine dotée d'un processeur cadencé à 800 Mhz :

```
Alarme num 1 Compteur 114834311
Alarme num 2 Compteur 232834363
Alarme num 3 Compteur 350383937
Alarme num 4 Compteur 463890247
Alarme num 5 Compteur 577742244
```

- Donc, après 5 alarmes, c'est à dire 25 secondes, on a exécuté environ $577*10^6$ incréments alors qu'on pensait exécuter environ $25*(800*10^6)$ instructions, le processeur étant cadencé à 800 MHz !

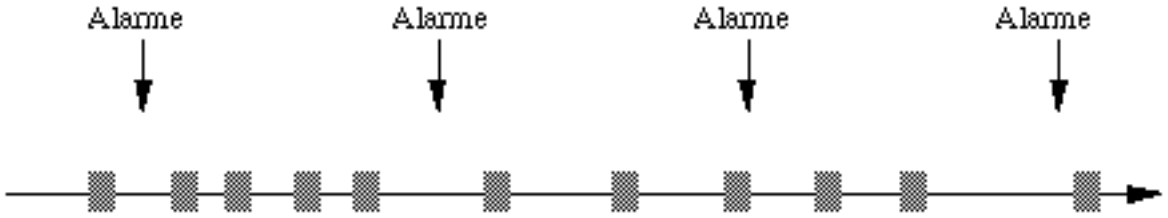
- D'où vient cette différence ? A cet instant la commande ps donne ceci pour le programme étudié :

```
UID   PID  PPID CPU PRI NI      VSZ    STAT       TIME    COMMAND
501   775   769   0   9  5    27448    RN         0:10.16 prog
```

- en fait, le processus a consommé seulement environ 10 secondes de temps cpu pendant ces 25 secondes. Pourquoi ? On va le voir dans ce qui suit.

Le signal SIGALRM (3/4)

• Dans une fenêtre de temps de 25 secondes, le processus n'est **actif** que lorsque l'ordonnanceur lui accorde le quantum, comme l'indique le schéma suivant :



Attribution des quantum au processus

• Ceci explique pourquoi le processus n'a consommé que 10 secondes de temps cpu pendant 25 secondes de temps écoulé,

• Mais on aurait donc du exécuter : $10*800*10^6$ instructions au lieu des $577*10^6$ incréments comptés,

• Pourquoi cette différence ?

- une instruction de langage de haut niveau correspond à **plusieurs instructions** machine,
- les changements de contexte ne se font pas en temps nul !

Le signal SIGALRM (4/4)

Commentaires généraux sur l'exemple précédent :

- différence entre temps de service et temps d'exécution (d'où le temps de réponse important sur les machines chargées),
- en compilant avec des options d'optimisation, on peut gagner un facteur 2, mais il faut garder à l'esprit que les performances annoncées pour un processeur concernent les instructions machines,
- les traces peuvent perturber l'application : au lieu de tracer avec printf, il faudrait ranger les traces dans un tableau affiché en fin de programme,
- on a vu ici les problèmes que peut poser la gestion du temps dans les systèmes temps partagé :
    - on ne peut pas prédire quand un processus sera actif,
    - une alarme pour la date D est délivrée **au plus tôt à cette date D.**

Le signal SIGCHLD (1/3)

• On rappelle que `SIGCHLD` est émis par un processus lorsqu'il fait appel à exit. Le processus passe alors dans un état transitoire appelé `zombie`, en attendant de recevoir un acquittement de son père. Cet acquittement peut se faire de plusieurs façons, en général par un appel à `wait`.

• On va montrer ici les effets de cet état transitoire.

Le signal SIGCHLD (2/3)

• Exemple :

```
int main (void){
   •••
   ret_fork = fork ();
   if (ret_fork == 0) fils ();
   pere();
   return 0;
}

/**************** ce que fait le fils ********************/
void fils (void){
   •••
   printf ("Pid %d fils de %d : debut\n", getpid(), getppid());
   •••
   printf ("Pid %d fils de %d : fin\n", getpid(), getppid());
   exit (5);
}

/**************** ce que fait le pere ********************/
void pere (void){
   •••
   signal (SIGCHLD, fonc);
   while (1) ;
}


/**************** traitement de SIGCHLD ********************/
void fonc (int NumSig){
   printf ("fonc : Pid %d a recu %d\n", getpid(), NumSig);
}
```

Le signal SIGCHLD (3/3)

• La trace de l'exécution est la suivante :

```
Pid 943 fils de 942 : debut
Pid 943 fils de 942 : fin
fonc : Pid 942 a recu 20
```

ici le shell ne reprend pas la main (on ne voit pas l'invite)

• La commande ps donne ceci pour les deux processus précédents :

```
942  45.7  0.2    27448    808  p1  R   5:42PM   0:03.81
943   0.0  0.0        0      0  p1  Z   1Jan70   0:00.00
```

• Que s'est-il passé ?

- création du processus 943 par le processus 942,
- exécutions entrelacées de 942 et 943, qui passent alternativement de l'état actif à l'état prêt, suivant l'attribution du quantum,
- 943 fait exit, envoie donc SIGCHLD à 942 et passe dans l'état Z (zombie) en attendant l'acquittement de ce signal,
- 942 reçoit le signal, exécute fonc et continue son activité**, sans avoir acquitté** (pas de wait) le SIGCHLD émis par son fils qui reste zombie. Il le restera jusqu'à ce que son père se termine.