Programmation Système et Réseau

Communication Inter-Processus (IPC) - Les Signaux

Équipe pédagogique

CY Tech

Bibliographie - Sitographie

- Slides de Juan Ángel Lorenzo del Castillo, Seytkamal Medetov et Son Vu
- Linux : Programmation système et réseau de Joëlle Delacroix Dunod
- Système d'exploitation de Andrew Tanenbaum, Pearson Education

Introduction aux Signaux

Introduction

- Les processus ne sont pas des entités indépendantes. Ils doivent partager les ressources de l'ordinateur.
- Quelques fois, ils doivent communiquer entre eux pour se synchroniser ou pour communiquer de l'information.
- Il existe des nombreuses façons de communiquer. Nous allons nous intéresser aux **signaux**.

Définitions

- Un signal est une information atomique envoyée :
  - D'un processus à un autre, à un groupe de processus, ou à lui même.
  - Du noyau du SE à un processus.
- Lorsqu'un processus reçoit un signal, le système d'exploitation l'informe : "*Tu as reçu un signal*" sans plus.
  - Exemple : le signal `SIGCHLD` permet au noyau d'avertir au processus père de la mort de son fils.
- Un signal ne transporte aucune autre information utile (forme de communication sans transport de données).
- Le processus pourra alors mettre en oeuvre une réponse décidée et pré-définie à l'avance (`handler`)

Définitions

- Le signal est une interruption logicielle délivrée à un processus (voir man 7 signal).
- C'est un mécanisme asynchrone de communication inter-processus.
- Il informe les processus de l'occurrence d'événements asynchrones et permet de faire exécuter à un processus une action relative à ces événements.
- Il est assimilable à une sonnerie indiquant des événements différents pouvant donner lieu à une réaction.
- Il ne transporte pas de données.
- Rappel :
  - Interruption matérielle (IRQ) : traitement synchrone
  - Interruption logicielle : traitement asynchrone

Définitions

Ce mécanisme est implanté par un **moniteur**, qui scrute en permanence l'occurrence des signaux. C'est par ce mécanisme que le système communique avec les processus utilisateurs :

- Provenance interne en cas d'erreur du processus
  - violation mémoire
  - erreur d'E/S
  - segmentation fault (*core dumped*)
- à la demande de l'utilisateur lui-même via le clavier, par exemple lorsque vous tapez la commande kill ou vous appuyez sur CTRL-C.
- pour la déconnexion de la ligne/terminal (provenance externe).

Définitions

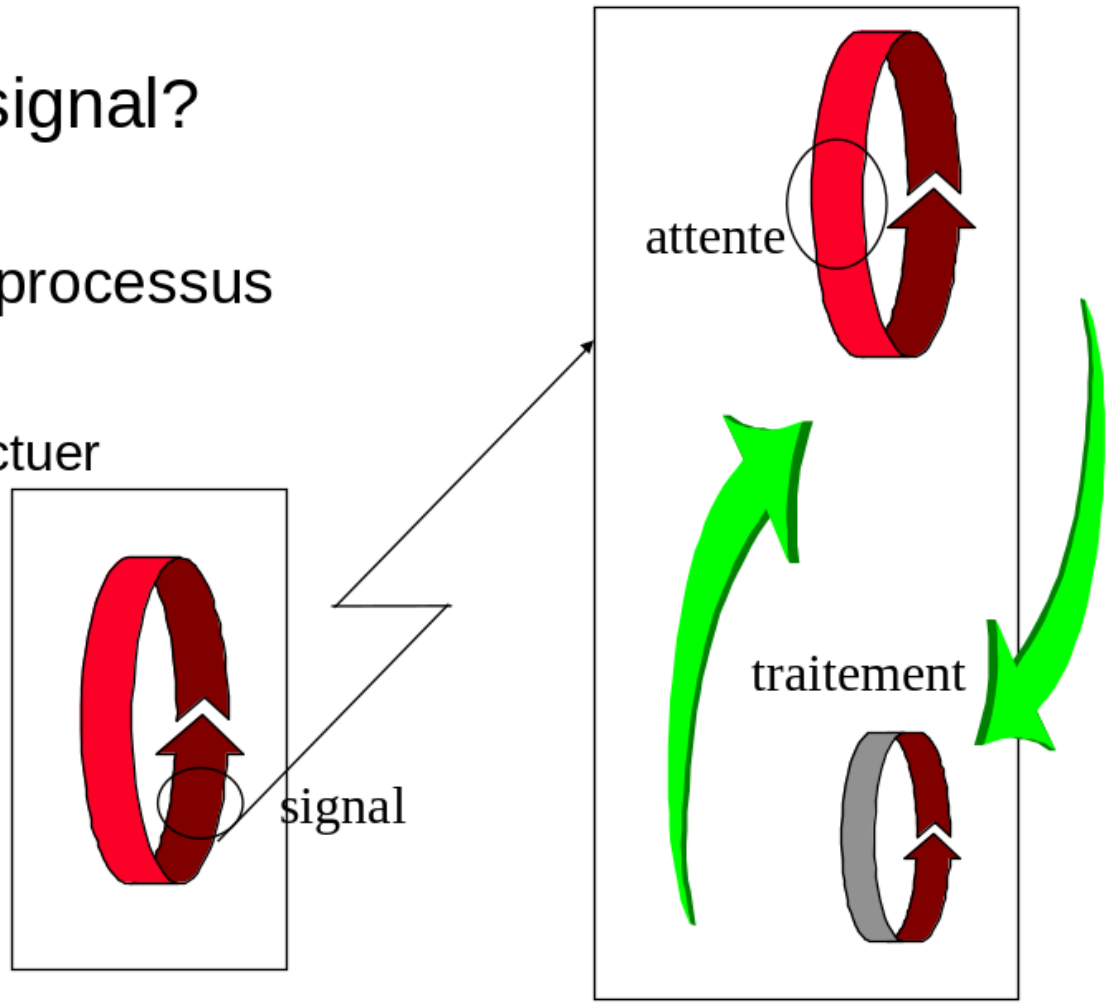
- Un signal est identifié par un numéro entier et un nom symbolique décrit dans "`/usr/include/signal.h`".
- Il existe 64 signaux différents numérotés ; ces signaux portent également des noms «normalisés» :
  - 0 : seul signal qui n'a pas de nom
  - 1 à 31 : signaux classiques
  - 32 à 63 : signaux "temps reels" (selon configuration de l'OS)
- Ces codes peuvent être trouvés dans "`/usr/include/signal.h`" ou avec la commande shell : `$ kill`

Définitions

Signaux

Qu'est-ce qu'un signal?

- interruption d'un processus
- fonctions utiles
  - traitement à effectuer
  - attente du signal
  - envoi du signal



Signaux

Gestion des Signaux utilisés sous Unix/Linux

Quelques signaux (I)

- **SIGHUP (1)** terminaison du processus leader de la session (CTRL-D interruption clavier).
- **SIGINT (2)** signal d'interruption (exemple déclenché par CTRL-C)
- **SIGQUIT (3)** Frappe du caractère quit (interruption clavier avec sauvegarde de l'image mémoire dans un fichier nommé core) sur le clavier : Ctrl
- **SIGILL (4)** Instruction illégale.
- **SIGFPE (8)** Erreur arithmétique.
- **SIGKILL (9)** signal de terminaison d'un processus (non déroutable).
- **SIGUSR1 (10)** Signal 1 défini par l'utilisateur.
- **SIGSEGV (11)** Adressage mémoire invalide.
- **SIGUSR2 (12)** Signal 2 défini par l'utilisateur.
- **SIGPIPE (13)** Écriture sur un tube sans lecteur.
- **SIGALRM (14)** Permet de gérer un timer (Alarme).
- **SIGTERM (15)** signal de terminaison, il est envoyé à tous les processus actifs par le programme shutdown, qui permet

Quelques signaux (II)

- **SIGCHLD (17)** Reveille le processus dont le fils vient de mourir.
- **SIGCONT (18)** Reprise du processus (non déroutable).
- **SIGSTOP (19)** Suspension du processus (non déroutable).
- **SIGTSTP (20)** Émission vers le terminal du caractère de suspension (“CTRL Z”).
- **SIGTTIN (21)** Lecture du terminal pour un processus d’arrière-plan.
- **SIGTTOU (22)** Écriture vers le terminal pour un processus d’arrière-plan.

Quelques signaux (III)

Actions par défaut	Nom du signal
Fin du process	SIGHUP, SIGINT, SIGBUS, SIGKILL, SIGUSR1, SIGUSR2, SIGPIPE, SIGALRM, SIGTERM, SIGSTKFLT, SIGXCOU, SIGXFSZ, SIGVTALRM, SIGPROF, SIGIO, SIGPOLL, SIGPWR, SIGUNUSED
Fin du process et création `core`	SIGQUIT, SIGILL, SIGTRAP, SIGABRT, SIGIOT, SIGFPE, SIGSEGV
Signal ignoré	SIGCHLD, SIGURG, SIGWINCH
Processus stoppé	SIGSTOP, SIGTSTP, SIGTTIN, SIGTTOU
Processus redémarré	SIGCONT

- **Fichier core :** C'est un fichier disque qui contient l'image mémoire du processus au moment où il s'est terminé. Cette image peut être utilisé dans un débogueur pour étudier l'état du programme au moment où il a été terminé.

Origine des signaux

Émission d'un signal ?

- Causes internes au processus
  - Erreur d'adressage $\rightarrow$ `SIGSEVG` (segmentation violation)
  - Division par zero $\rightarrow$ `SIGFPE` (Floating Point Exception)
- Terminal : grâce aux caractères spéciaux
  - Intr $\rightarrow$ SIGINT "CTRL C" (interruption)
  - Quit $\rightarrow$ SIGQUIT "CTRL \ "

Origine des signaux

Émission d'un signal ?

- Déconnexion du terminal
  - Envoie à l'ensemble des processus de son groupe → SIGHUP.
  - Hangup=décrochage (fin de session)
- Par un autre processus
  - kill()

Envoi d'un signal

- La primitive `kill` permet au systeme d'envoyer un signal à un processus :

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

int kill(pid_t pid, int signal)
```

  - la primitive renvoie **0** en cas de succès, **-1** sinon
  - **signal** est un numéro compris entre 1 et NSIG (défini dans `<signal.h>`).
  - `pid` numero du processus destinataire du signal.

    < -1 : tous les processus du groupe `|pid|`

    -1 : **Si l'émetteur est root :** tous les processus du système (sauf les procesus système : 0 et 1).
    Sinon : tous les processus dont leur *real user ID* est égal au *effective user ID* du processus émetteur.

    0 : tous les processus dans le même groupe que le processus émetteur

    > 0 : processus du pid indiqué

Envoi d'un signal

Remarques :

1. La fonction `raise(int signal)` est un raccourci pour `kill(getpid(), signal)` qui permet à un processus de s'envoyer un signal à lui-même.
2. Un processus ne peut envoyer un signal qu'à un processus de même propriétaire.
3. La commande `kill` peut être utilisée pour envoyer des signaux. Cette commande capture ses arguments en ligne et exécute un appel système `kill()`.
4. Si `signal` est 0, kill n'envoie pas de signal, mais elle fait toujours une vérification d'erreur. Cela est utile pour vérifier l'existence d'un processus ID ou un groupe de processus ID.

Envoi d'un signal

Exemple :

```
int main() {
  pid_t pid; int statut;
  printf("Lancement du processus %d\n", getpid());
  switch (pid = fork()) {
  case -1: exit(1);
  case 0: while(1) sleep(1); exit(1);
  default:
    printf("Processus fils %d cree\n", pid); sleep(10);
    if ( kill(pid,0) == -1 ) printf("fils %d inaccessible\n", pid);
    else {
      printf("Envoi du signal SIGUSR1 au processus %d\n", pid);
      kill(pid, SIGUSR1);
    }
    pid = waitpid(pid, &statut, 0);
    printf("Statut final du fils %d : %d\n", pid, statut); } }
```

Envoi d'un signal

La commande shell `kill` :

Pour envoyer un signal à un processus, on utilise la commande appelée kill. Celle-ci prend en option le numéro du signal à envoyer et en argument le numéro du (ou des) processus destinataire(s).

```
kill [-options] pid_processus
```

Exemples :

1. $ **kill 36** : par défaut le signal 15 (`SIGTERM`) est envoyé au processus de pid 36.
2. $ **kill 0** : Envoie le signal 15 à tous les processus fils, petits-fils... tous ceux lancés depuis ce terminal.
3. $ **kill -9 36** : Envoie le signal de numéro 9 (`SIGKILL`) au processus de pid 36.
4. $ **kill -SIGKILL 36** : Envoie le signal `SIGKILL` au processus de pid 36.

Comportements possibles du processus

- Traitement associé à un signal
  - A tout signal est associé un traitement par défaut (ignorer, terminer le processus avec ou sans core, stopper le processus) qui est exécuté lors de la prise en compte du signal par le processus ;
  - Tout processus peut installer pour chaque type de signal (hormis SIGKILL), un nouveau traitement appelé handler
    - ★ handler SIG_IGN : pour ignorer le signal (sauf mort du fils pour Linux)
    - ★ handler fonction utilisateur pour capter le signal : fonction signal et sigaction

Comportements possibles du processus

- Un *handler* définit le comportement par défaut du processus ou la procédure à exécuter à la réception du signal donné.
- À chaque type de signal est associé à un *handler* par défaut `SIG_DFL`.
- Les différents comportements gérés par ce handler sont :
  - terminaison du processus, avec ou sans une image mémoire (fichier core),
  - rien : signal ignoré, (SIGKILL et SIGSTOP ne peuvent être ignorés)
  - suspension (SIGSTOP) du processus (le père est prévenu),
  - continuation (SIGCONT) : reprise du processus stoppé et ignoré sinon.

Comportements possibles du processus

- Un *handler* définit le comportement par défaut du processus ou la procédure à exécuter à la réception du signal donné.
- À chaque type de signal est associé à un *handler* par défaut `SIG_DFL`.
- Les différents comportements gérés par ce handler sont :
  - terminaison du processus, avec ou sans une image mémoire (fichier core),
  - rien : signal ignoré, (SIGKILL et SIGSTOP ne peuvent être ignorés)
  - suspension (SIGSTOP) du processus (le père est prévenu),
  - continuation (SIGCONT) : reprise du processus stoppé et ignoré sinon.

Comportements par défaut des signaux

- Rien :
  - SIGCHLD (Terminaison d'un processus fils),
  - SIGPWR,
  - SIGCONT...
- Fin :
  - SIGHUP(Fin de session),
  - SIGINT,
  - SIGKILL...
- Génération d'une image mémoire (CORE) :
  - SIGQUIT,
  - SIGILL (Instruction illégale),
  - SIGSEGV (Violation de mémoire)...
- Arrêt :
  - SIGSTOP,
  - SIGSTP (Demande de suspension depuis le terminal)...

Un autre signal

Armer une temporisation

- La primitive `alarm` permet au systeme d'envoyer au bout d'un nombre de secondes, un signal SIGALRM à un processus :

```
#include <sys/types.h>
#include <signal.h>
unsigned seconds;
int alarm(int seconds)
```

Détournement (ou déroutement) d'un signal

- Pour certains signaux, on peut détourner l'action par défaut.
- Le caractère non modifiable de certains signaux assure la stabilité du système (SIGKILL, SIGCONT, SIGSTOP).

L'association signaux/handlers

- Un **handler** est une fonction qui décrit la suite des instructions à effectuer lors de la reception d'un signal.
- Tout processus peut installer pour les autres signaux un nouveau *handler*.
- Il existe deux interfaces de manipulation permettant l'installation d'un handler :
  - L'une, historique (ATT) et **rendu obsolète** est simplifiée ("**signal()**"), mais avec un comportement incertain.
  - ("**sigaction()**"), POSIX, plus complexe que la première garantit un comportement plus sûr et des programmes plus portables.

L'association Sigaction

- Sigaction permet de determiner ou de modifier l'action associée à un signal particulier.

```
int sigaction ( int num_sig, // le signal a dérouter
                const struct sigaction *nouv_action,
                struct sigaction *anc_action);
```

- Si le pointeur `nouv_action` est différent de NULL, alors le système modifie l'action du signal `num_sig` avec celle de `nouv_action`.
- Si le pointeur `anc_action` est différent de NULL, alors le système sauvegarde sur `anc_action` l'action précédente qui était prévue pour `num_sig`.
- Si les pointeurs `nouv_action` et `anc_action` sont NULL, l'appel système teste uniquement la validité du signal.
- La valeur renvoyée par `sigaction()` est :
  - 0 si tout s'est bien passé
  - -1 si une erreur est survenue, l'appel à sigaction() est ignorée

L'association Sigaction

La structure `sigaction` :

```
struct sigaction {
    void     (*sa_handler)(int);
    void     (*sa_sigaction)(int, siginfo_t *, void
        *);
    sigset_t sa_mask;
    int      sa_flags;
    void     (*sa_restorer)(void);
};
```

- Certaines architectures emploient une union. Il ne faut pas utiliser ou remplir simultanément `sa_handler` et `sa_sigaction`.

L'association Sigaction

La structure `sigaction` :

- **void (*sa_handler)(int)** est le handler (l'action) associé au signal `num_sig`, qui peut être :
  - Un pointeur vers une fonction de traitement du signal. Cette fonction reçoit le numéro de signal comme seul argument.
  - SIG_IGN pour ignorer le signal
  - SIG_DFL pour restaurer la réaction par défaut
- **void (*sa_sigaction)(int, siginfo_t *, void *)** : Pointeur sur une structure de type sigaction. Si le flag `SA_SIGINFO` est indiqué en `sa_flags`, `sa_sigaction` spécifiera le handler pour `num_sig` (à la place de `sa_handler`). Cette fonction reçoit le numéro de signal comme premier argument, un pointeur vers siginfo_t comme second argument et un troisième argument qui normalement n'est pas utilisé.
- **sa_mask** est un ensemble/vecteur de signaux qui seront bloqués avec celui passé à l'appel de sigaction(), lors de l'exécution du handler associé
- **sa_flags** permet de passer des drapeaux, et indique les options liées à la gestion du signal.
- L'élément **sa_restorer** est obsolète et ne doit pas être utilisé, POSIX ne mentionne pas de membre **sa_restorer**.

L'association Sigaction

La structure `siginfo_t` :

```
siginfo_t {
    int      si_signo;     /* Signal number */
    int      si_errno;     /* An errno value */
    int      si_code;      /* Signal code */
    int      si_trapno;    /* Trap number that caused hw-generated
        signal */
    pid_t    si_pid;       /* Sending process ID */
    uid_t    si_uid;       /* Real user ID of sending process */
    int      si_status;    /* Exit value or signal */
    clock_t  si_utime;     /* User time consumed */
    clock_t  si_stime;     /* System time consumed */
    sigval_t si_value;     /* Signal value */
    int      si_int;       /* POSIX.1b signal */
    void    *si_ptr;       /* POSIX.1b signal */
    int      si_overrun;   /* Timer overrun count; POSIX.1b timers */
    int      si_timerid;   /* Timer ID; POSIX.1b timers */
    void    *si_addr;      /* Memory location which caused fault */
    long     si_band;      /* Band event */
    int      si_fd;        /* File descriptor */
    short    si_addr_lsb;  /* Least significant bit of address  */
    void    *si_call_addr; /* Address of system call instruction  */
    int      si_syscall;   /* Number of attempted system call */
    unsigned int si_arch;  /* Architecture of attempted system call
        */
}
```

Quelques remarques sur le traitement du signal

- Comment un processus reçoit-t-il un signal ?
- Quand un processus traite-t-il un signal reçu ?
- Comment un processus contrôle t-il sa réaction vis-à-vis d'un signal ?

Quelques remarques sur le traitement du signal

Comment un processus reçoit-t-il un signal ?

- Un processus pid_A envoie un signal S à un processus pid_B par le biais de la primitive kill.
  - kill (pid_B, S)
  - Positionnement d'un bit à 1 dans le champ *signal* de la table du processus pid _B, correspondant au numéro de signal reçu.
  - signal pendant (reçu)
  - vecteur de bits : pas de mémorisation du nombre de signaux d'un type reçu.

Signal[0]
Entier de 32 bits

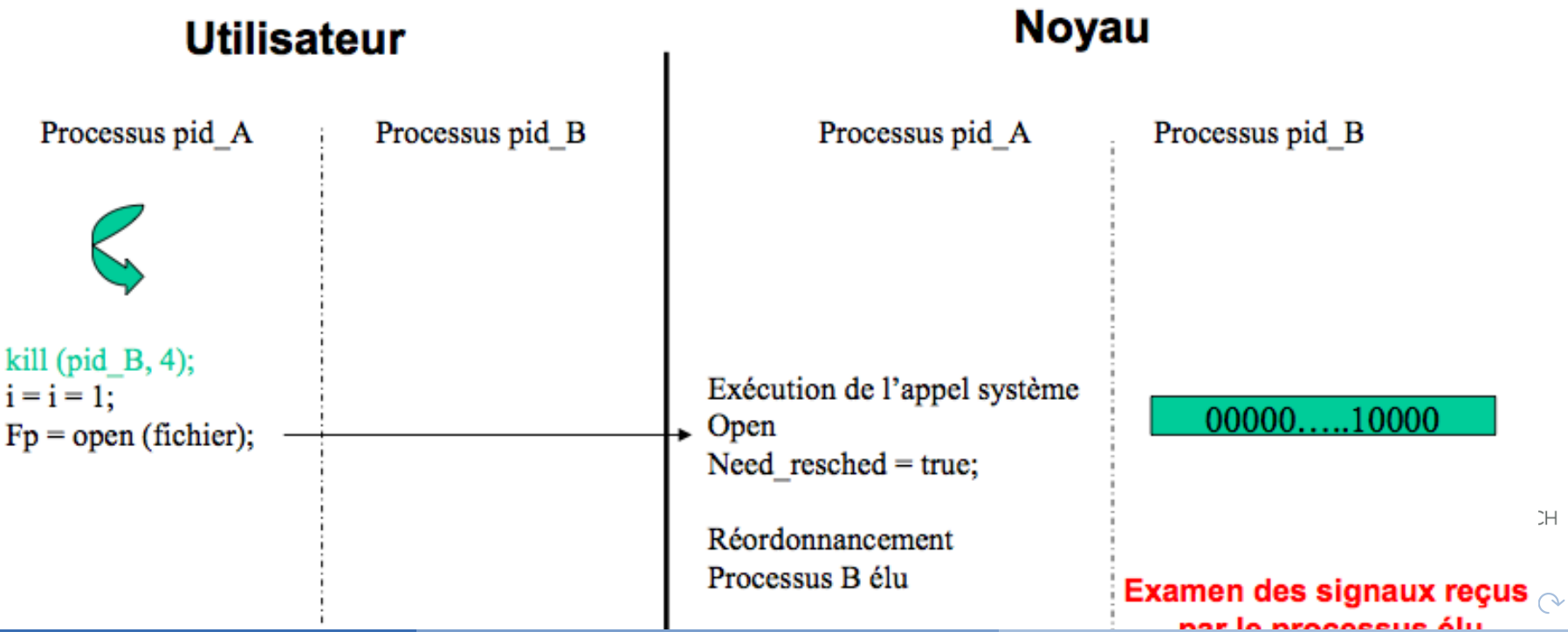
00001100000000000000100000100010

Signaux 1, 5, 11, 27, 26 reçus

Quelques remarques sur le traitement du signal

Quand un processus traite-t-il un signal reçu ?

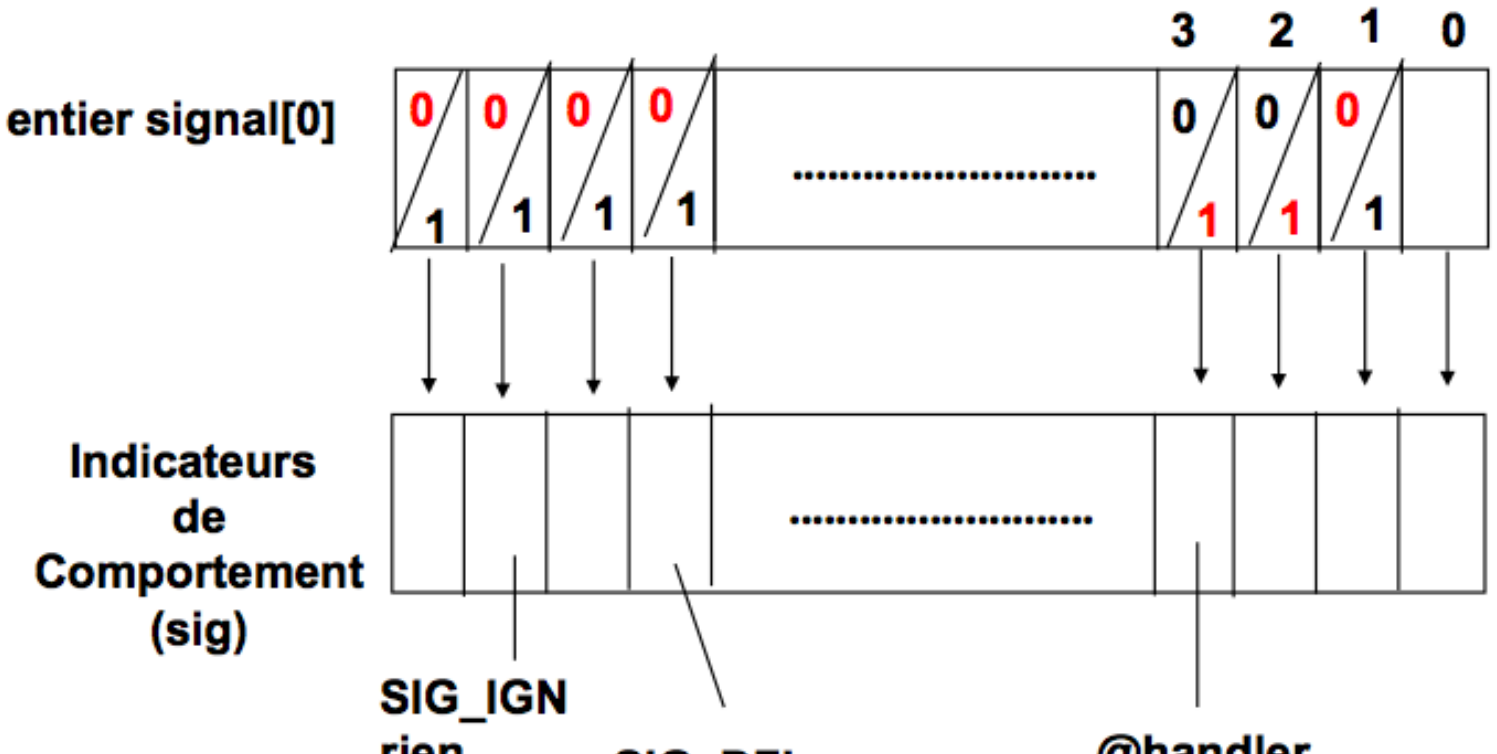
- Un processus traite les signaux reçus quand il quitte le mode noyau pour retourner au mode utilisateur
  - ↳ signal délivré, le bit correspondant est remis à 0; le traitement associé est exécuté.



Quelques remarques sur le traitement du signal

Comment un processus contrôle-t-il ses réactions
vis-à-vis des signaux ?
(fonction du noyau do_signal())

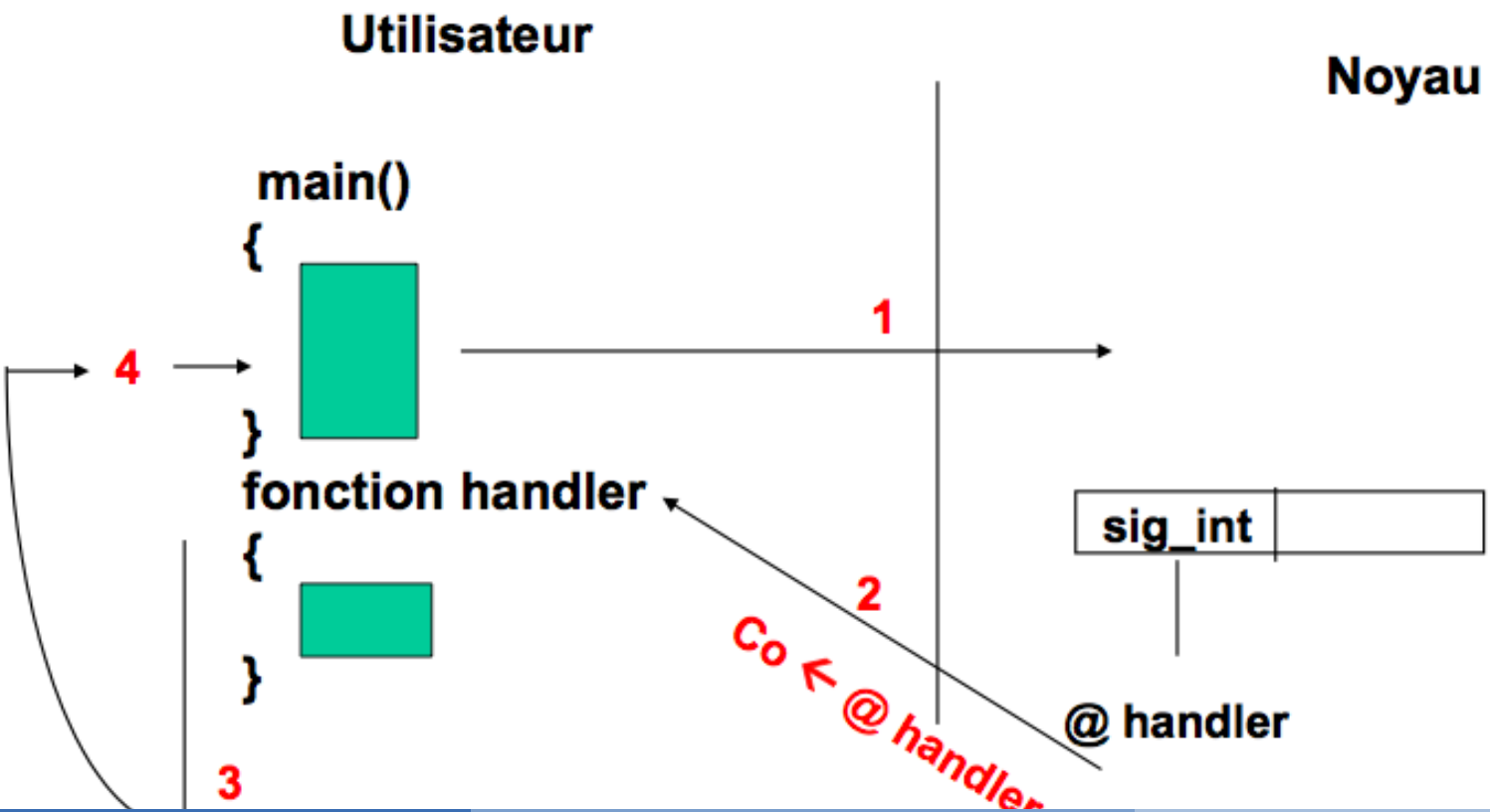
- Traitement des signaux (signal(sig_x, handler))



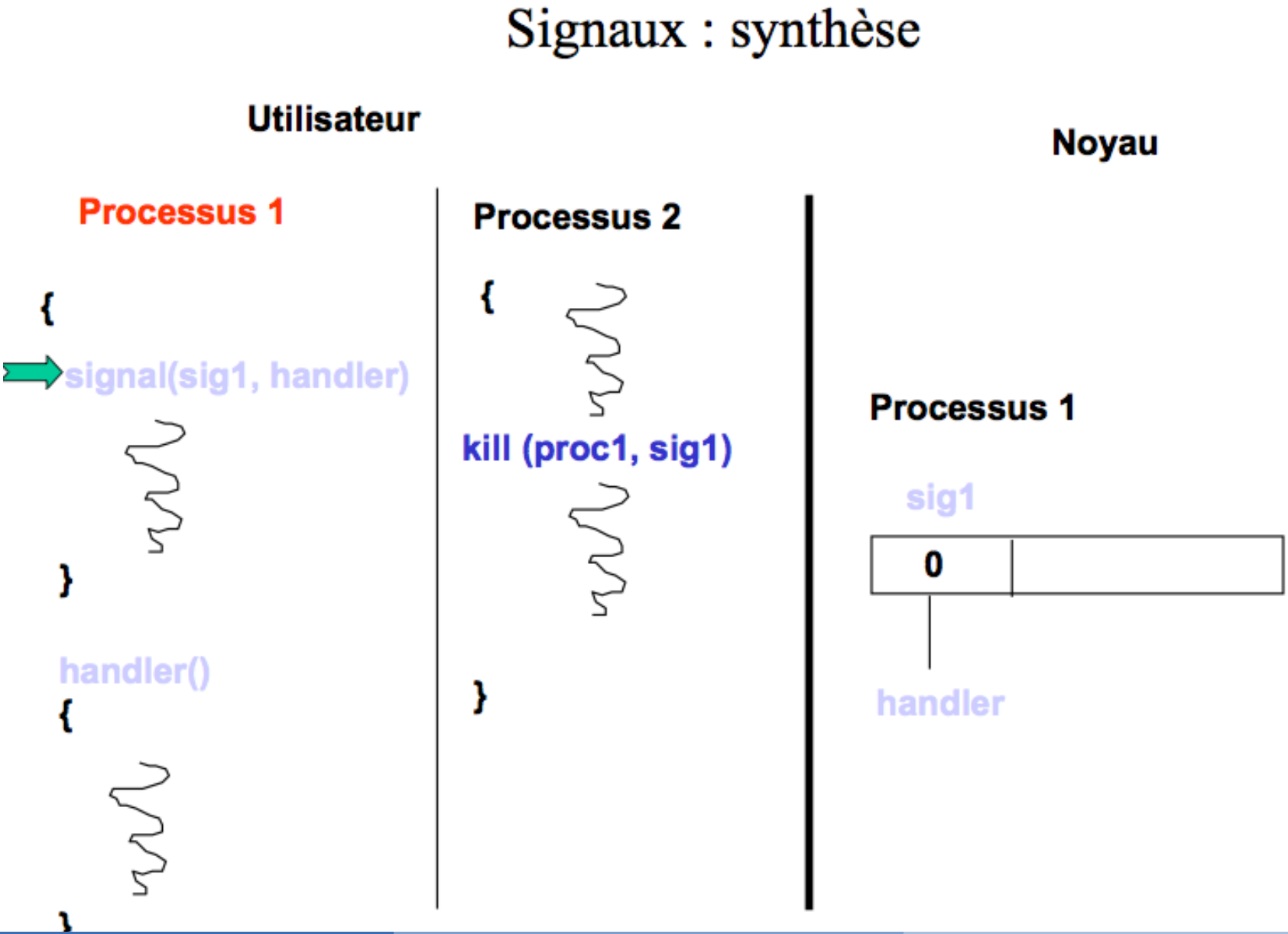
Quelques remarques sur le traitement du signal

Exécution d'un handler de signal défini par l'utilisateur

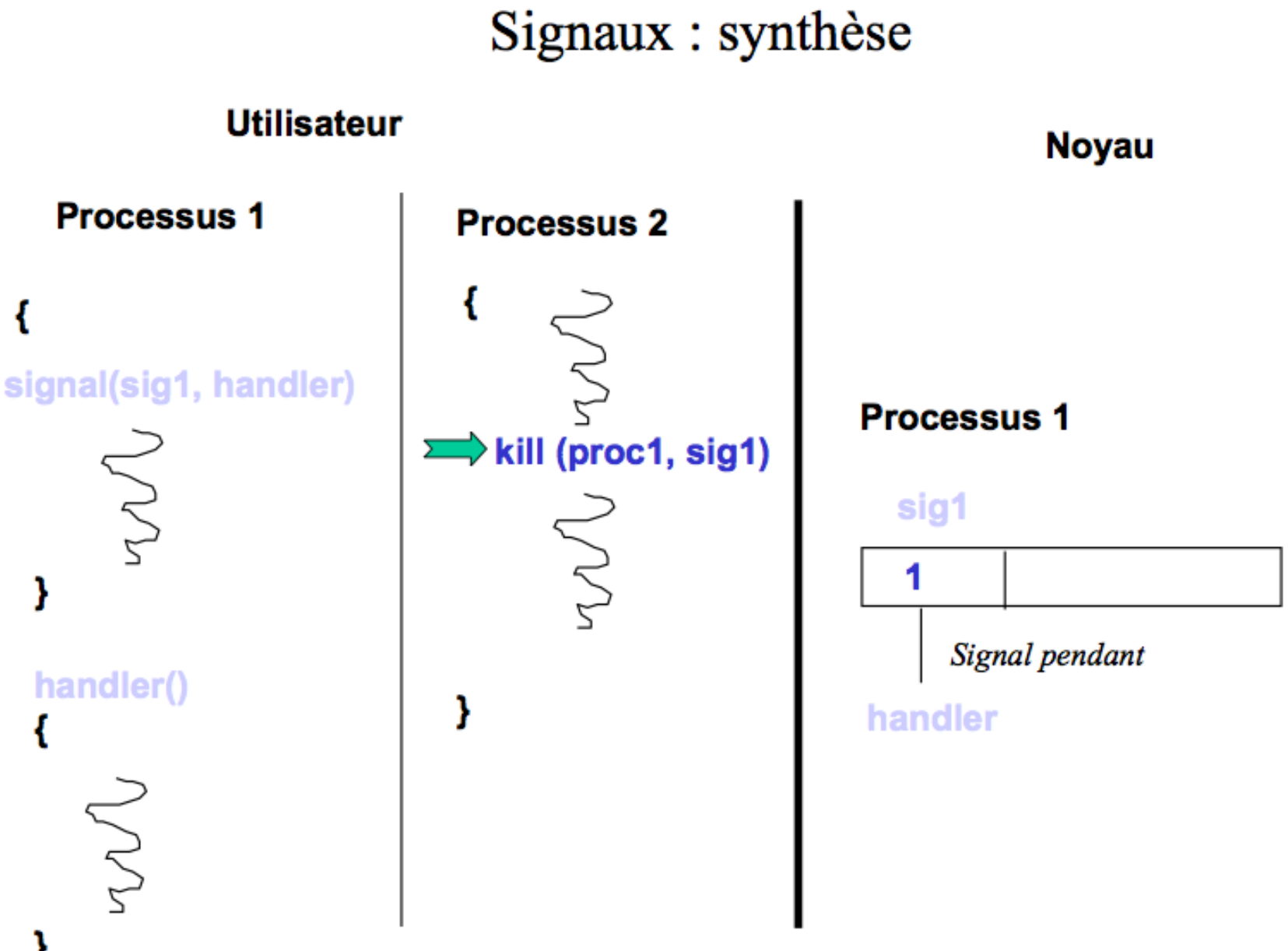
- Traitement des signaux



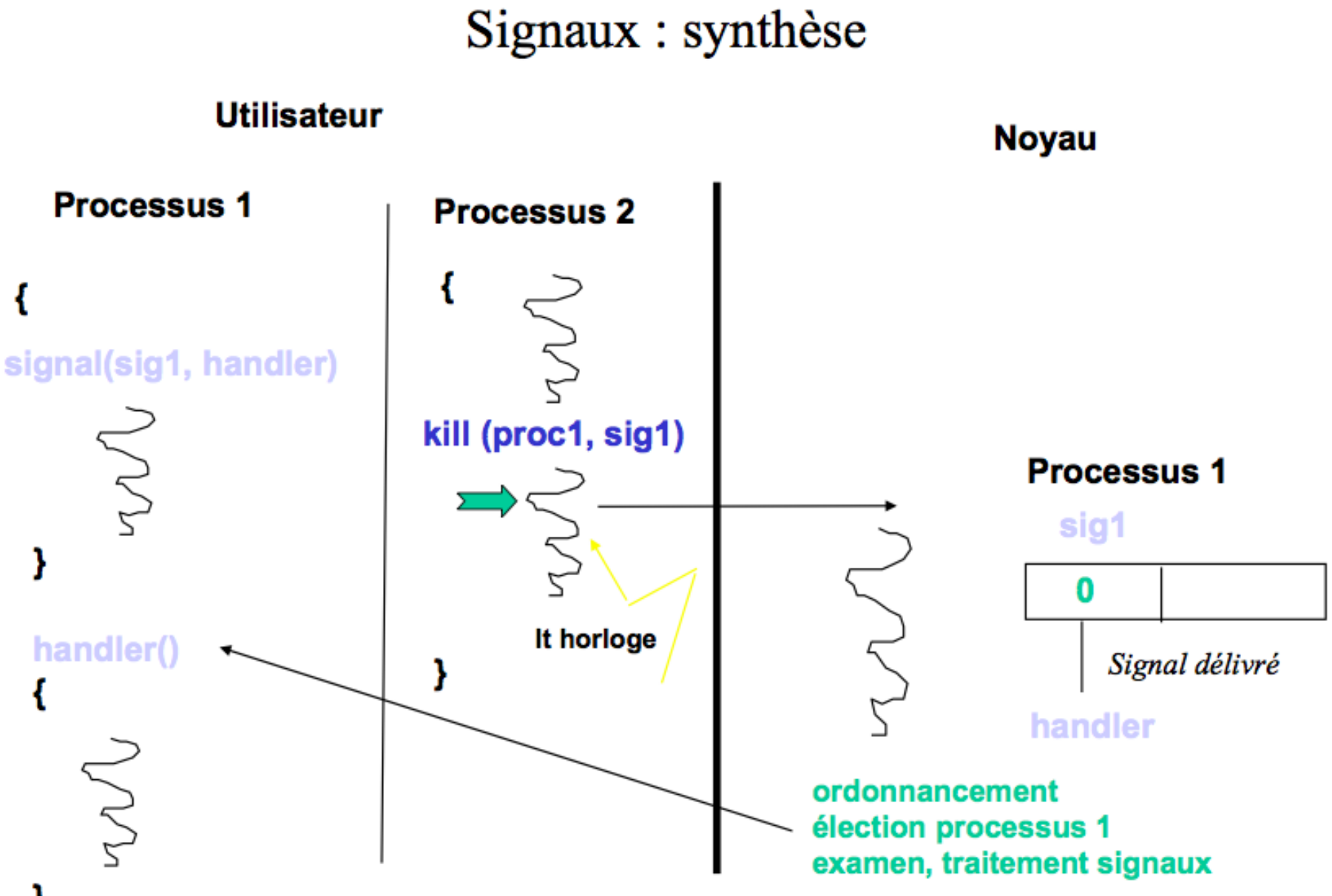
Quelques remarques sur le traitement du signal



Quelques remarques sur le traitement du signal



Quelques remarques sur le traitement du signal

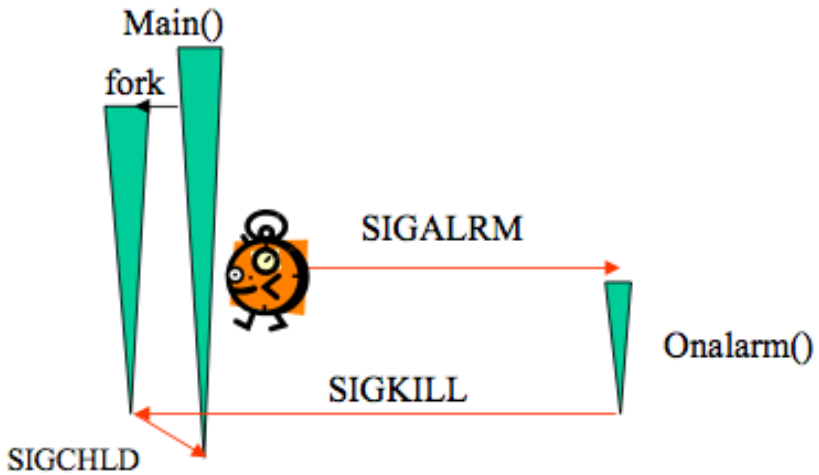


Quelques remarques sur le traitement du signal

Signaux et interruptions

- **Signaux**
  - Le processus P2 envoie un signal au processus P1 (signal pendant chez P1)
  - Plus tard, le processus P1 est élu. Il quitte le mode noyau. Il exécute le handler du signal en mode utilisateur (signal délivré à P1).

- **Interruptions**
  - Le dispositif matériel X envoie une interruption lors de l'exécution du processus P1.
  - Immédiatement, le processus P1 est dérouté en mode noyau pour exécuter le handler « routine » de l'interruption.



Masquage des signaux

- Selon les besoins, un processus n'est pas obligé de traiter tous les signaux qui lui sont envoyés.
- Cela permet de limiter l'effort de codage supplémentaire qu'exige le traitement d'un signal.
- Pour cela, chaque processus peut définir un masque de signaux.
- Ainsi, tous les signaux masqués ne seront pas envoyés au processus.

L'association Sigaction

Manipulation de `sa_mask` :

Les fonctions suivantes permettent de manipuler le masque sa_mask

- **int sigemptyset (sigset_t * ens_signaux)** : vide l'ensemble des signaux du masque
- **int sigaddset (sigset_t * ens_signaux, int num_sig) :** ajout d'un signal au masque
- **int sigdelset (sigset_t * ens_signaux, int num_sig)** : retire un signal du masque
- **int sigprocmask (int action, const sigset_t ens_signaux, sigset_t *ancien_signaux)** : bloque ou débloque l'ensemble des signaux du masque
- **int sigismember(sigset_t * ens_signaux, int num_sig)** : voir si le signal appartient à ens_signaux

Signaux et héritage

- Un fils n'hérite pas des signaux pendants du père, mais bien des associations signaux-handler faites par le père.
- Lors d'un `fork()`, suivi par un `exec()` dans le fils, toutes les associations signaux-handler sont réinitialisées dans le fils avec les handlers par défaut.

Exemple sigaction()

```c
#include <stdio.h>  /* Example of using sigaction() to setup */
#include <unistd.h> /* a signal handler with 3 arguments including
     siginfo_t. */
#include <signal.h>
#include <string.h>

static void hdl (int sig, siginfo_t *siginfo, void *context){
  printf ("Sending PID: %ld, UID: %ld\n", (long)siginfo->si_pid,
       (long)siginfo->si_uid);
}

int main (int argc, char *argv[]){
        struct sigaction act;

        memset (&act, '\0', sizeof(act));

        /* Use the sa_sigaction field because the handles has two
             additional parameters */
        act.sa_sigaction = &hdl;

        /* The SA_SIGINFO flag tells sigaction() to use the
             sa_sigaction field, not sa_handler. */
        act.sa_flags = SA_SIGINFO;

        if (sigaction(SIGTERM, &act, NULL) < 0) {
                perror ("sigaction");
                return 1;
        }

        while (1) sleep (10);

        return 0;
}
```

Source : https://www.linuxprogrammingblog.com/code-examples/sigaction

Exemples

Exemple de blockage des signaux avec sigprocmask() :

```
#include <stdio.h>
#include <signal.h>
int main() {
sigset_t sigs_new; // Signaux a bloquer
sigset_t sigs_old; // Ancien masque

sigfillset(&sigs_new); // Tous les signaux
sigdelset(&sigs_new, SIGINT); // Sauf SIGINT
sigdelset(&sigs_new, SIGQUIT); // Sauf SIGQUIT
// Bloque les signaux
sigprocmask(SIG_BLOCK,&sigs_new, &sigs_old);
/* Tous les signaux sont bloques sauf SIGINT et SIGQUIT
    */
sigprocmask(SIG_SETMASK,&sigs_old,0); // Replacer par
    défaut
sigemptyset(&sigs_new); // Aucun signal
sigaddset(&sigs_new,SIGINT); // Plus SIGINT
sigaddset(&sigs_new,SIGQUIT); // Plus SIGQUIT
// Bloque les signaux
sigprocmask(SIG_BLOCK,&sigs_new,&sigsold);
/* Seuls les signaux SIGINT et SIGQUIT sont bloques */
sigprocmask(SIG_SETMASK,&sigs_old,0); // Replacer par
    defaut
```

Exemples (II)

Ignorer tous les signaux sauf SIGQUIT :

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

void main(void)
{
    int i;
    struct sigaction action;
    action.sa_handler = SIG_IGN; //ignore le signal

    for(i=1;i<NSIG;i++)
            sigaction(i, &action, NULL);
    action.sa_handler = SIG_DFL;   //remise a la valeur
                                   //par defaut du signal
    sigaction(SIGQUIT, &action, NULL);
}
```