Deuxième chapitre

Processus

- Introduction
- Utilisation des processus UNIX
  - Mémoire virtuelle, environnement
  - Création des processus dans Unix
  - Quelques interactions entre processus dans Unix
- Réalisation des processus UNIX
- Communication par signaux
  - Principe et utilité
  - Terminaux, sessions et groupe en Unix
  - Exemples d'utilisation des signaux
- Conclusion

Qu'est ce qu'un processus ?

Définition formelle :

- Entité dynamique représentant l'exécution d'un programme sur un processeur

Du point de vue du système d'exploitation :

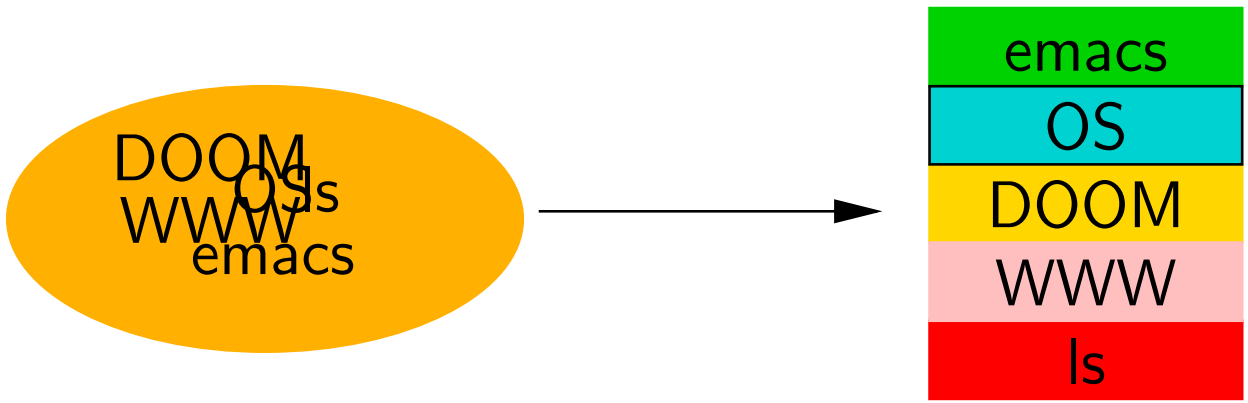
- Espace d'adressage (mémoire, contient données + code)
- État interne (compteur d'exécution, fichiers ouverts, *etc.*)

Exemples de processus :

- L'exécution d'un programme
- La copie d'un fichier sur disque
- La transmission d'une séquence de données sur un réseau

Utilité des processus : simplicité

- L'ordinateur a des activités différentes
- Comment les faire cohabiter simplement ?
  - En plaçant chaque activité dans un processus isolé
    L'OS s'occupe de chacun de la même façon, chacun ne s'occupe que de l'OS



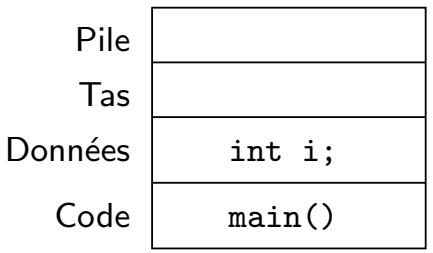
- La décomposition est une réponse classique à la complexité

Ne pas confondre processus et programme

- **Programme :**
  Code + données (**passif**)

```
int i;
int main() {
  printf("Salut\n");
}
```

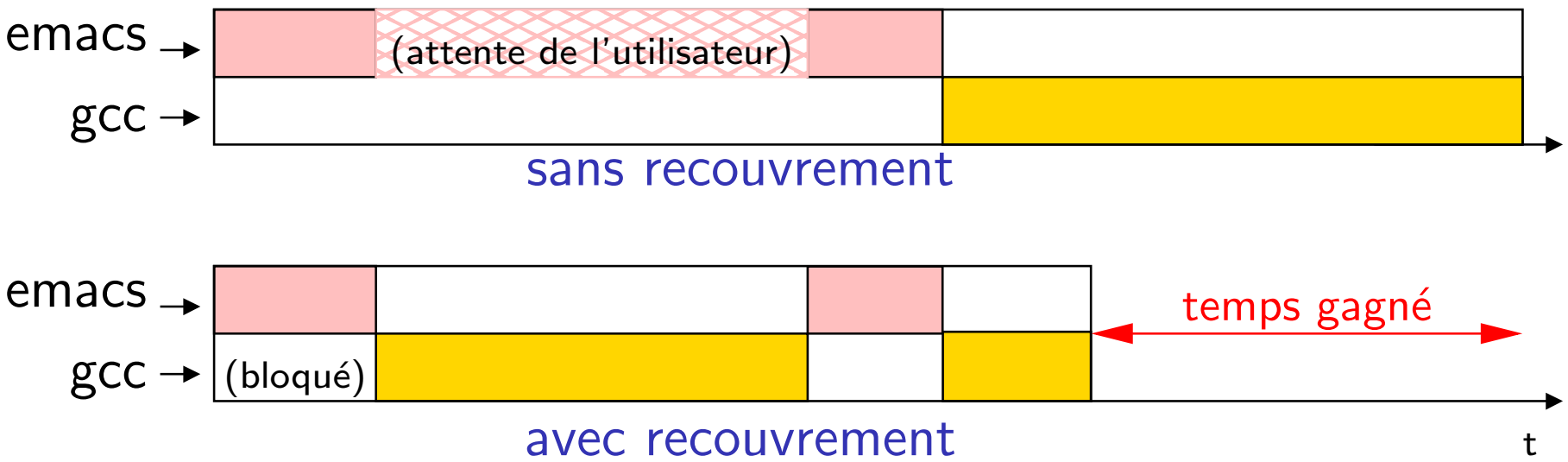
- **Processus :**
  Programme **en cours d'exécution**



- Vous pouvez utiliser le même programme que moi, mais ça ne sera pas le même processus que moi
- Même différence qu'entre classe d'objet et instance d'objet

Utilité des processus : efficacité

- Les communications bloquent les processus
  (communication au sens large : réseau, disque ; utilisateur, autre programme)
  $\Rightarrow$ **recouvrement des calculs et des communications**

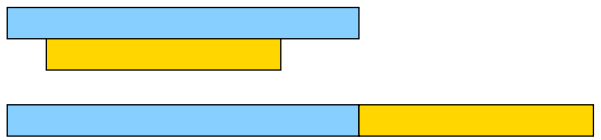


- Parallélisme sur les machines multi-processeurs

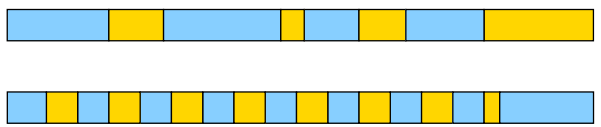
Parallélisme et pseudo-parallélisme

Que faire quand deux processus sont prêts à s'exécuter ?

- Si deux processeurs, tout va bien.
- Sinon, FCFS ? Mauvaise interactivité !



- Pseudo-parallélisme = chacun son tour
- Autre exécution pseudo-parallèle



Le pseudo-parallélisme

- fonctionne grâce aux interruptions matérielles régulières rendant contrôle à OS
- permet également de recouvrir calcul et communications

  On y reviendra.

Relations entre processus

Compétition

- Plusieurs processus veulent accéder à une ressource exclusive
  (*i.e.* ne pouvant être utilisée que par un seul à la fois) :
  - Processeur (cas du pseudo-parallélisme)
  - Imprimante, carte son
- Une solution possible parmi d'autres :
  FCFS : premier arrivé, premier servi (les suivants attendent leur tour)

Coopération

- Plusieurs processus collaborent à une tâche commune
- Souvent, ils doivent se synchroniser :
  - p1 produit un fichier, p2 imprime le fichier
  - p1 met à jour un fichier, p2 consulte le fichier
- La synchronisation se ramène à :
  p2 doit attendre que p1 ait franchi un certain point de son exécution

Faire attendre un processus

Primordial pour les interactions entre processus

Attente active

Processus 1

```
while (ressource occupée)
   { };
ressource occupée = true;
  ...
```

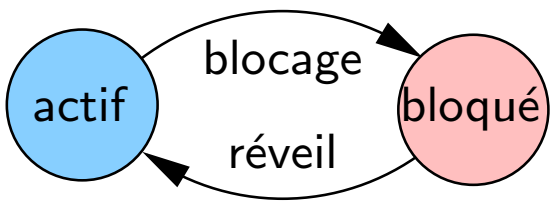
Processus 2

```
ressource occupée = true;
utiliser ressource;
ressource occupée = false;
  ...
```

- Gaspillage de ressource si pseudo-parallélisme
- Problème d'atomicité (*race condition* – on y reviendra)

Blocage du processus

- Définition d'un nouvel état de processus : bloqué
  (exécution suspendue ; réveil explicite par un autre processus ou par le système)




```
  ...
sleep(5); /* se bloquer pour 5 secondes */
  ...
```

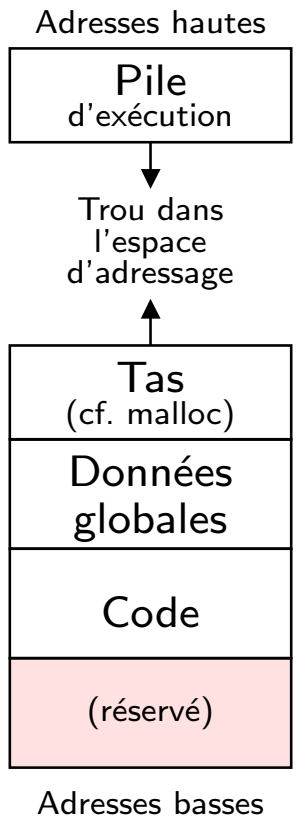
Deuxième chapitre

Processus

- Introduction
- Utilisation des processus UNIX
  - Mémoire virtuelle, environnement
  - Création des processus dans Unix
  - Quelques interactions entre processus dans Unix
- Réalisation des processus UNIX
- Communication par signaux
  - Principe et utilité
  - Terminaux, sessions et groupe en Unix
  - Exemples d'utilisation des signaux
- Conclusion

Processus UNIX

- Processus = exécution d'un programme
  - Commande (du langage de commande)
  - Application
- Un processus comprend :
  - Une mémoire qui lui est propre (mémoire virtuelle)
  - **Contexte** d'exécution (pile, registres du processeur)
- Les processus sont identifiés par leur **pid**
  - Commande `ps` : liste des processus
  - Commande `top` : montre l'activité du processeur
  - Primitive `getpid()` : renvoie le pid du processus courant



Environnement d'un processus

- Ensemble de variables accessibles par le processus
  (sorte de configuration)
- Principaux avantages :
  - L'utilisateur n'a pas à redéfinir son contexte pour chaque programme
    Nom de l'utilisateur, de la machine, terminal par défaut, ...
  - Permet de configurer certains éléments
    Chemin de recherche des programmes (PATH), shell utilisé, ...
- Certaines sont prédéfinies par le système (et modifiables par l'utilisateur)
- L'utilisateur peut créer ses propres variables d'environnement
- Interface (dépend du shell) :

Commande tcsh	Commande bash	Action
`setenv`	`printenv`	affiche toutes les variables définies
`setenv VAR <valeur>`	`export VAR=<valeur>`	attribue la `valeur` à la variable
`echo $VAR`	`echo $VAR`	affiche le contenu de la variable

- Exemple : `export DISPLAY=blaise.loria.fr:0.0` défini le terminal utilisé
- L'interface de programmation sera vue en TD/TP

Vie et mort des processus

Tout processus a un début et une fin

- Début : création par un autre processus
  - `init` est le processus originel : pid=1 (`launchd` sous mac)
    Créé par le noyau au démarrage, il lance les autres processus système
- Fin
  - Auto-destruction (à la fin du programme) (par exit)
  - Destruction par un autre processus (par kill)
  - Destruction par l'OS (en cas de violation de protection et autres)
  - Certains processus ne se terminent pas avant l'arrêt de la machine
    - Nommés ≪démons≫ (disk and execution monitor → daemon)
    - Réalisent des fonctions du système (login utilisateurs, impression, serveur web)

Création de processus dans UNIX

- Dans le langage de commande :
  - Chaque commande est exécutée dans un processus séparé
  - On peut créer des processus en (pseudo-)parallèle :

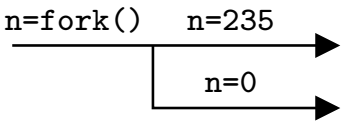
```
$ prog1 & prog2 & # crée deux processus pour exécuter prog1 et prog2
$ prog1 & prog1 & # lance deux instances de prog1
```

- Par l'API : clonage avec l'appel système fork (*cf.* transparent suivant)

Création des processus dans Unix (1/3)

Appel système `pid_t fork()`

- Effet : clone le processus appelant
- Le processus créé (fils) est une copie conforme du processus créateur (père)
  Copies conformes comme une bactérie qui se coupe en deux
- Ils se reconnaissent par la valeur de retour de `fork()` :
  - Pour le père : le `pid` du fils (ou –1 si erreur)
  - Pour le fils : 0



Exemple :

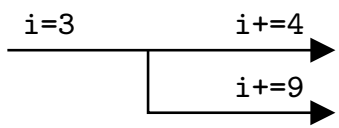
```
if (fork() != 0) {
   printf("je suis le père, mon PID est %d\n", getpid());
} else {
   printf("je suis le fils, mon PID est %d; mon père est %d\n",
          getpid(), getppid());
   /* en général exec(), (exécution d'un nouveau programme) */
}
```

Création des processus dans Unix (2/3)

Duplication du processus père ⇒ duplication de l'espace d'adressage

```
int i=3;
if (fork() != 0) {
     printf("je suis le père, mon PID est %d\n", getpid());
     i += 4;
} else {
     printf("je suis le fils, mon PID est %d; mon père est %d\n",
             getpid(), getppid());
     i += 9;
}
printf("pour %d, i = %d\n", getpid(), i);
```

```
je suis le fils, mon PID est 10271; mon père est 10270
pour 10271, i = 12
je suis le père, mon PID est 10270
pour 10270, i = 7
```

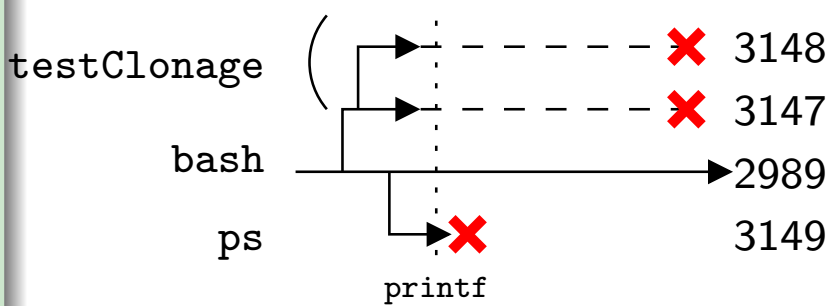


Création des processus dans Unix (3/3)

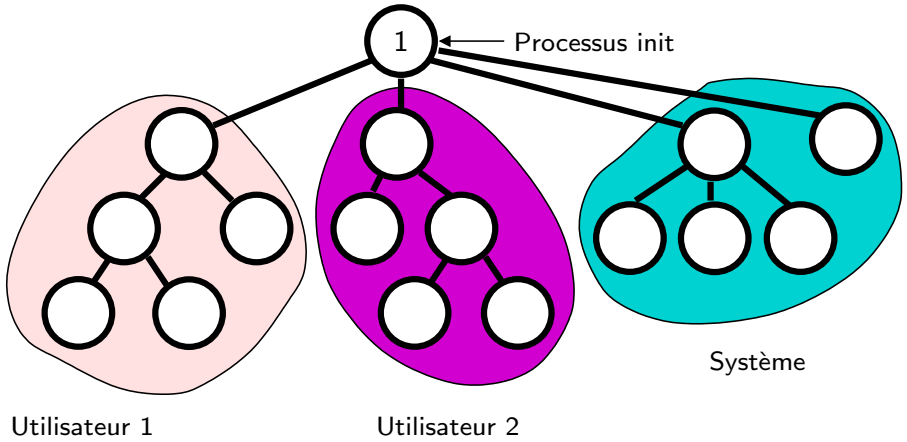
testClonage.c

```
int main() {
  if (fork() != 0) {
    printf("je suis le père, mon PID est %d\n", getpid());
    sleep(10) /* blocage pendant 10  secondes */
    exit(0);
 } else {
    printf("je suis le fils, mon PID est %d\n", getpid());
    sleep(10) /* blocage pendant 10  secondes */
    exit(0);
  }
}
```

```
$ gcc -o testClonage testClonage.c
$ ./testClonage & ps
je suis le fils, mon PID est 3148
je suis le père, mon PID est 3147
[2] 3147
 PID TTY          TIME CMD
2989 pts/0 00:00:00 bash
3147 pts/0 00:00:00 testClonage
3148 pts/0 00:00:00 testClonage
3149 pts/0 00:00:00 ps
$
```



Hiérarchie de processus Unix



- Quelques appels systèmes utiles :
  - getpid() : obtenir le numéro du processus
  - getppid() : obtenir le numéro du père
  - getuid() : obtenir le numéro d'usager (auquel appartient le processus)

Quelques interactions entre processus (1/2)

Envoyer un signal à un autre processus

- En langage de commande, `kill <pid>` tue `pid` (plus de détails plus tard)

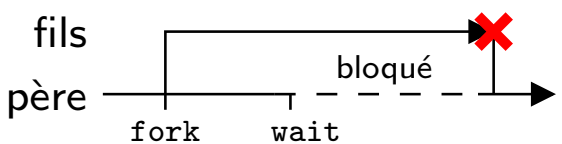
Faire attendre un processus

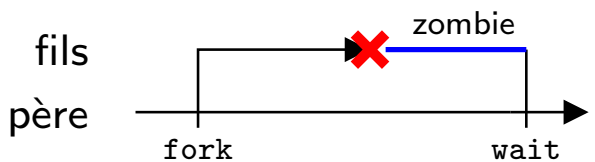
- `sleep(n)` : se bloquer pendant n secondes
- `pause()` : se bloquer jusqu'à la réception d'un signal (cf. plus tard)

Quelques interactions entre processus (2/2)

Synchronisation entre un processus père et ses fils

- Fin d'un processus : `exit(etat)`
  etat est un code de fin (convention : 0 si ok, code d'erreur sinon – *cf.* `errno`)
- Le père attend la fin de l'un des fils : `pid_t wait(int *ptr_etat)`
  retour : pid du fils qui a terminé ; code de fin stocké dans `ptr_etat`
- Attendre la fin du fils `pid` :
  `pid_t waitpid(pid_t pid, int *ptr_etat, int options)`
- Processus zombie : terminé, mais le père n'a pas appelé wait().
  Il ne peut plus s'exécuter, mais consomme encore des ressources. À éviter.





Faire attendre un processus

Fonction `sleep()`

- Bloque le processus courant pour le nombre de secondes indiqué
- `unsigned int sleep(unsigned int seconds);`
- `usleep()` et `nanosleep()` offrent meilleures résolutions (micro, nanoseconde) mais interfaces plus compliquées et pas portables

somnole : affiche à chaque seconde le temps restant à dormir

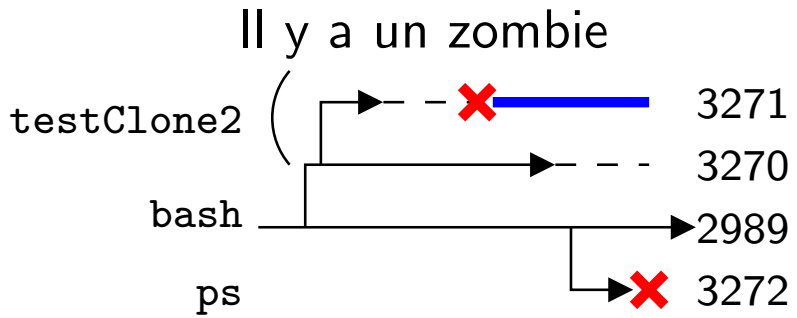
```
void somnole(unsigned int secondes) {
  int i;
  for (i=0; i<secondes; i++) {
   printf("Déjà dormi %d secondes sur %d\n", i, secondes);
   sleep(1);
  }
}
```

Exemple de synchronisation entre père et fils

testClone2.c

```
int main() {
  if (fork() != 0) {
    printf("je suis le père, mon PID est %d\n", getpid());
    while (1) ; /* boucle sans fin sans attendre le fils */
  } else {
    printf("je suis le fils, mon PID est %d\n", getpid());
    sleep(2) /* blocage pendant 2 secondes */
    printf("fin du fils\n");
    exit(0);
}  }
```

```
$ gcc -o testClone2 testClone2.c
$ ./testClone2
je suis le fils, mon PID est 3271
je suis le père, mon PID est 3270
fin du fils
->l'utilisateur tape <ctrl-Z> (suspendre)
Suspended
$ ps
 PID TTY          TIME CMD
2989 pts/0 00:00:00 bash
3270 pts/0 00:00:03 testClone2
3271 pts/0 00:00:00 testClone2 <defunct>
3272 pts/0 00:00:00 ps
$
```



Autre exemple de synchronisation père fils

testClone3.c

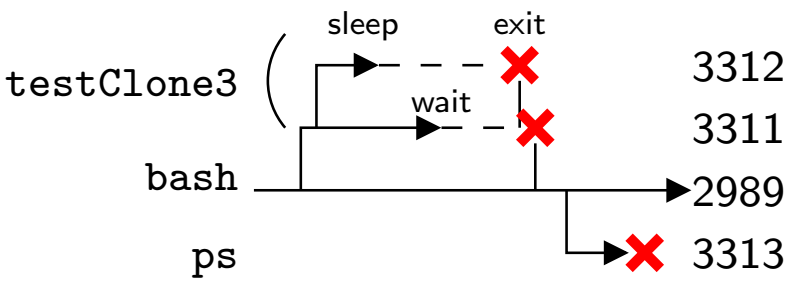
```
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
int main() {
 if (fork() != 0) {
  int statut; pid_t fils;
  printf("Le père (%d) attend.\n", getpid());
  fils = wait(&statut);
  if (WIFEXITED(statut)) {
   printf("%d : fils %d terminé (code %d)\n",
        getpid(), fils, WEXITSTATUS(statut));
  };
  exit(0);
```

(suite de testClone3.c)

```
  } else { /* correspond au if (fork() != 0)*/
    printf("je suis le fils, PID=%d\n",
           getpid());
    sleep(2) /* blocage pendant 2 secondes */
    printf("fin du fils\n");
    exit(1);
} }
```

```
$ ./testClone3
je suis le fils, PID=3312
Le père (3311) attend
fin du fils
3311: fils 3312 terminé (code 1)
$ ps
 PID TTY          TIME CMD
2989 pts/0 00:00:00 bash
3313 pts/0 00:00:00 ps
$
```

Il n'y a pas de zombie



Exécution d'un programme spécifié sous UNIX

Appels systèmes exec

- Pour faire exécuter un nouveau programme par un processus
- Souvent utilisé immédiatement après la création d'un processus : `fork+exec` = lancement d'un programme dans un nouveau processus
- Effet : remplace la mémoire virtuelle du processus par le programme
- Plusieurs variantes existent selon le mode de passage des paramètres (tableau, liste, passage de variables d'environnement)
- C'est aussi une primitive du langage de commande (même effet)

Exemple :

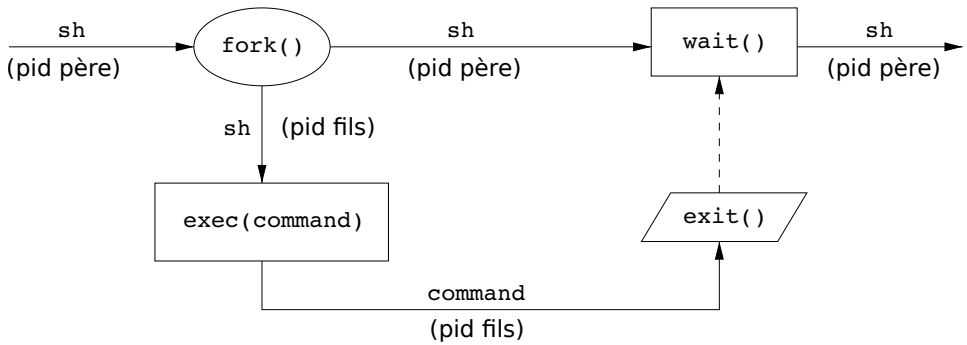
```
main() {
  if (fork() == 0) {

     code=execl("/bin/ls", "ls", "-a", 0); /* le fils  exécute : /bin/ls -a  .. */
     if (code != 0) { ... } /* Problème dans l'appel système; cf. valeur de errno */
  } else {
     wait(NULL); /* le père attend la fin du fils */
  }
  exit(0);
}
```

L'exemple du shell

Exécution d'une commande en premier plan

```
$ commande
```

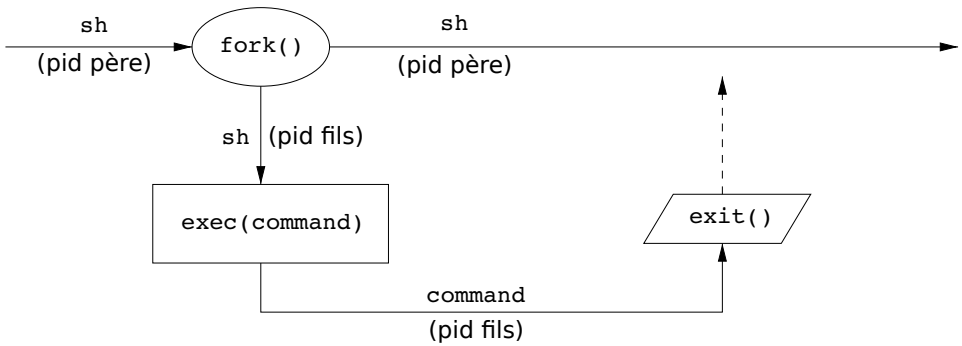
- 4 syscalls : `fork`, `exec`, `exit`, `wait`



Exécution d'une commande en tâche de fond

```
$ commande &
```

- Le shell ne fait pas `wait()`
- Il n'est plus bloqué



Résumé du début du deuxième chapitre

- Utilité des processus
  - Simplicité (séparation entre les activités)
  - Sécurité (séparation entre les activités)
  - Efficacité (*quand l'un est bloqué, on passe à autre chose*)
- Interface UNIX
  - Création : fork()
    - résultat=0 $\rightarrow$ je suis le fils
    - résultat>0 $\rightarrow$ je suis le père (résultat=pid du fils)
    - résultat<0 $\rightarrow$ erreur
  - Attendre un fils : deux manières
    - wait() : n'importe quel fils
    - waitpid() : un fils en particulier
  - Processus zombie : un fils terminé dont le père n'a pas fait wait()
  - Bloquer le processus courant : deux façons
    - Jusqu'au prochain signal : pause()
    - Pendant 32 secondes : sleep(32)
  - Appel système `exec()` : remplace l'image du process actuel par le programme spécifié

Parenthèse sécurité : Shellshock/Bashdoor (2014)

- Série de bugs découverts dans le shell Bash : CVE-2014-6271, CVE-2014-6277, CVE-2014-6278, CVE-2014-7169, CVE-2014-7186, CVE-2014-7187 (CVE = *Common Vulnerabilities and Exposures* : base de données des vulnérabilités)
- Impact très important

Shellshock/Bashdoor (2014) (suite)

- Au lancement, le shell `bash` analyse ses variables d'environnement, notamment pour définir des fonctions qui lui seraient transmises par un shell parent.
- À cause d'un bug (présent depuis 1989), du code shell présent après la définition de la fonction va être exécuté.
  `env X="() { :;} ; echo busted" bash -c "echo completed"`
  $\rightsquigarrow$ On peut faire exécuter n'importe quoi à bash en *polluant* ses variables d'environnement
- Exemple de vecteur d'exploitation : serveur web utilisant CGI
  - Moyen historique d'avoir des sites webs interactifs (exemple 1, 2)
  - Un programme exécutable (souvent un script Perl, Python, Ruby, Bash) est exécuté pour traiter la requête
  - Les paramètres de la requête et les en-têtes HTTP sont transmis via des variables d'environnement
  - Y compris HTTP_USER_AGENT : le navigateur utilisé
    `wget --user-agent="() { test;};/usr/bin/touch /tmp/VULNERABLE" http://server/script.cgi`

Deuxième chapitre

Processus

- Introduction
- Utilisation des processus UNIX
  - Mémoire virtuelle, environnement
  - Création des processus dans Unix
  - Quelques interactions entre processus dans Unix
- Réalisation des processus UNIX
- Communication par signaux
  - Principe et utilité
  - Terminaux, sessions et groupe en Unix
  - Exemples d'utilisation des signaux
- Conclusion

Réalisation des processus

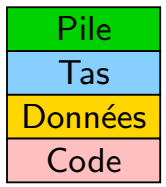
Processus = mémoire virtuelle + flot d'exécution

L'OS fournit ces deux ressources en allouant les ressources physiques

Objectif maintenant :

En savoir assez sur le fonctionnement de l'OS pour utiliser les processus

- À propos de mémoire
  - Organisation interne de la mémoire virtuelle d'un processus Unix



- À propos de processeur
  - Pseudo-parallélisme : allocation successive aux processus par tranches de temps

Objectifs repoussés à plus tard :

- Les autres ressources : disque (chapitre 3), réseau (seconde moitié du module)
- Détails de conception *sous le capot* (module RSA)

Allocation du processeur aux processus

Pseudo-parallélisme

Principe

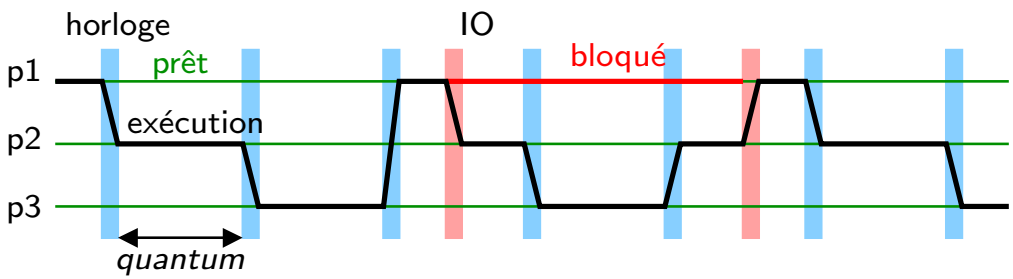
- Allocation successive aux processus par tranches de temps fixées (multiplexage du processeur par préemption)

Avantages

- Partage équitable du processeur entre processus (gestion + protection)
- Recouvrement calcul et communications (ou interactions)

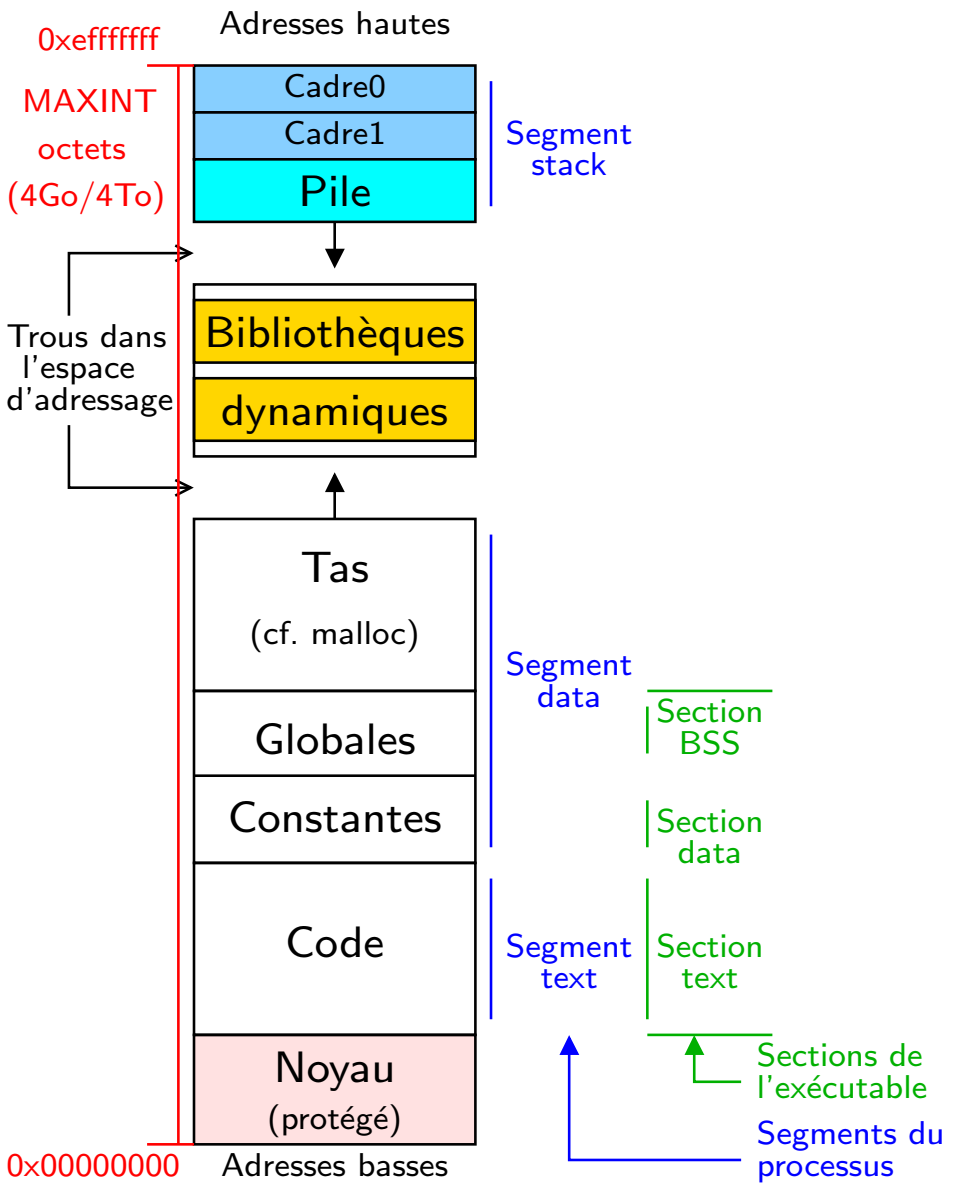
Fonctionnement

- Interruptions matérielles (top d'horloge, I/O, ...) rendent le contrôle à l'OS
- L'OS ordonnance les processus (choisit le prochain à bénéficier de la ressource)
- Il réalise la commutation de processus pour passer le contrôle à l'heureux élu
- (Comment ? Vous verrez en RSA !)



- quantum : ≈10ms (≈ millions d'instructions à 1Ghz)
- temps de commutation : ≈0,5ms
- `yield()` rend la main volontairement

Structure de la mémoire virtuelle d'un processus



- Pile : pour la récursivité
  - Cadres de fonction (*frame*)
  - Arguments des fonctions
  - Adresse de retour
  - Variables locales (non statique)
- Bibliothèques dynamiques
  - Code chargé ... dynamiquement
  - Intercalé dans l'espace d'adresses
- Données
  - Tas : malloc()
  - globales et `static` (modifiables)
  - Variables constantes
- `exec` lit l'exécutable et initialise la mémoire correspondante
- Noyau : infos sur le processus
  "Process Control Block"
  (pid, autorisations, fichiers ouverts, ...)
  (parfois au dessus de la pile)

Sécurité : attaques par corruption de la mémoire

```
void fonction(char * chaine) {
  char buffer[128];
  strcpy(buffer, chaine);
}
```

- Famille de failles très répandue (*buffer overflow*)
  - Récemment : ransomware WannaCry (mai 2017)
- Principe général : faire exécuter du code quelconque à un processus
- Si `chaine` fait plus de 128 caractères, alors `strcpy` écrasera l'adresse de retour de la fonction
- Si `chaine` contient du code machine, le processus exécutera ce code machine
- Plus de détails : `http://mdeloison.free.fr/downloads/memattacks.pdf`
- Mécanismes de défense :
  - W xor X : interdire qu'une zone mémoire soit à la fois inscriptible et exécutable
  - canaris pour détecter les dépassements de pile
  - ASLR (Address Space Layout Randomization) : les adresses des fonctions et de la pile sont plus difficiles à prévoir
  - En assembleur/C/C++, utiliser des fonctions permettant de traiter des données de manière sécurisée (`strcpy` $\rightsquigarrow$ `strncpy`)
  - Utiliser des langages de plus haut niveau
  - Utiliser des outils de test automatiques (*fuzzing*)

Deuxième chapitre

Processus

Communication inter-processus (IPC) dans Unix

Aspect central de la programmation système

Moyens de communication entre processus sous Unix

- Signaux : suite de cette séance
- Fichiers et tubes (*pipes*, FIFOs) : partie 3.
- Files de messages : pas étudié dans ce module
- Mémoire partagée et sémaphores : partie 5.
- Sockets (dans les réseaux, mais aussi en local) : fin du semestre

Signaux

Définition : événement asynchrone

- Émis par l'OS ou un processus
- Destiné à un (ou plusieurs) processus

Intérêts et limites

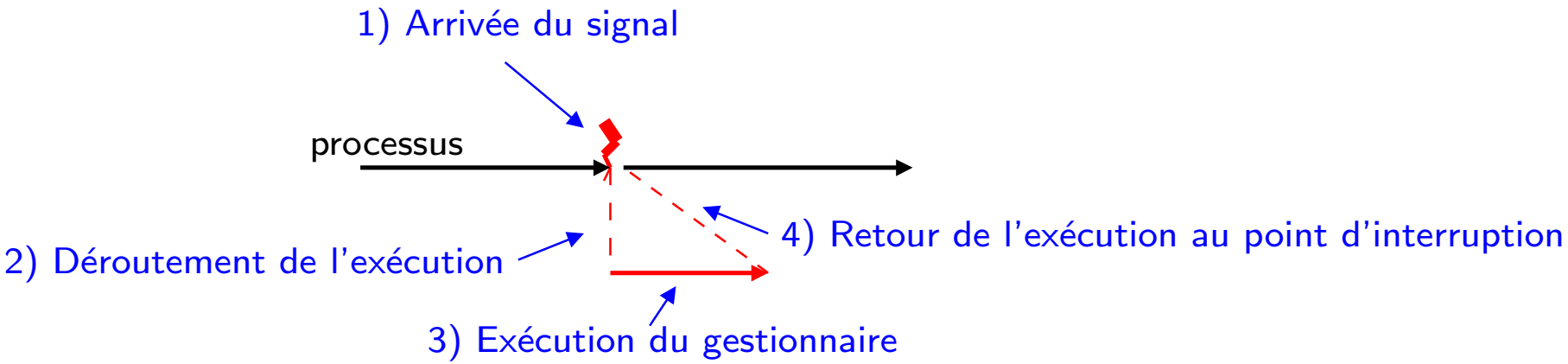
- Simplifient le contrôle d'un ensemble de processus (comme le shell)
- Pratiques pour traiter des événements liés au temps
- Mécanisme de bas niveau à manipuler avec précaution
  (risque de perte de signaux en particulier)

Comparaison avec les interruptions matérielles :

- Analogie : la réception déclenche l'exécution d'un gestionnaire (*handler*)
- Différences : interruption reçue par processeur ; signal reçu par processus

  Certains signaux traduisent la réception d'une interruption (on y revient)

Fonctionnement des signaux



Remarques (on va détailler)

- On ne peut évidement *signaler* que ses propres processus (même `uid`)
- Différents signaux, identifiés par un nom symbolique (et un entier)
- Gestionnaire par défaut pour chacun
- Gestionnaire vide $\Rightarrow$ ignoré
- On peut changer le gestionnaire (sauf exceptions)
- On peut bloquer un signal : mise en attente, délivré qu'après déblocage
- Limites aux traitements possibles dans le gestionnaire (ex : pas de signal())

Quelques exemples de signaux

Nom symbolique	Cause/signification	Par défaut
SIGINT	frappe du caractère <CTRL-C>	terminaison
SIGTSTP	frappe du caractère <CTRL-Z>	suspension
SIGSTOP SIGCONT	blocage d'un processus (*) continuation d'un processus stoppé	suspension reprise
SIGTERM	demande de terminaison	terminaison
SIGKILL	terminaison immédiate (*)	terminaison
SIGSEGV	erreur de segmentation (violation de protection mémoire)	terminaison +*core dump*
SIGALRM	top d'horloge (réglée avec `alarm`)	teminaison
SIGCHLD	terminaison d'un fils	ignoré
SIGUSR1 SIGUSR2	pas utilisés par le système (disponibles pour l'utilisateur)	terminaison terminaison

- KILL et STOP : ni bloquables ni ignorables ; gestionnaire non modifiable.
- Valeurs numériques associées (ex : SIGKILL=9), mais pas portable
- Voir man 7 signal pour d'autres signaux (section 7 du man : conventions)

core dump : copie image mémoire sur disque (premières mémoires : toriques → core ; dump=vidanger)

États d'un signal

Signal **pendant** (*pending*)

- Arrivé au destinataire, mais pas encore traité

Signal **traité**

- Le gestionnaire a commencé (et peut-être même fini)

Pendant, mais pas traité ? Est-ce possible ?

- Il est bloqué, càd retardé : il sera délivré lorsque débloqué
- Lors de l'exécution du gestionnaire d'un signal, ce signal est bloqué

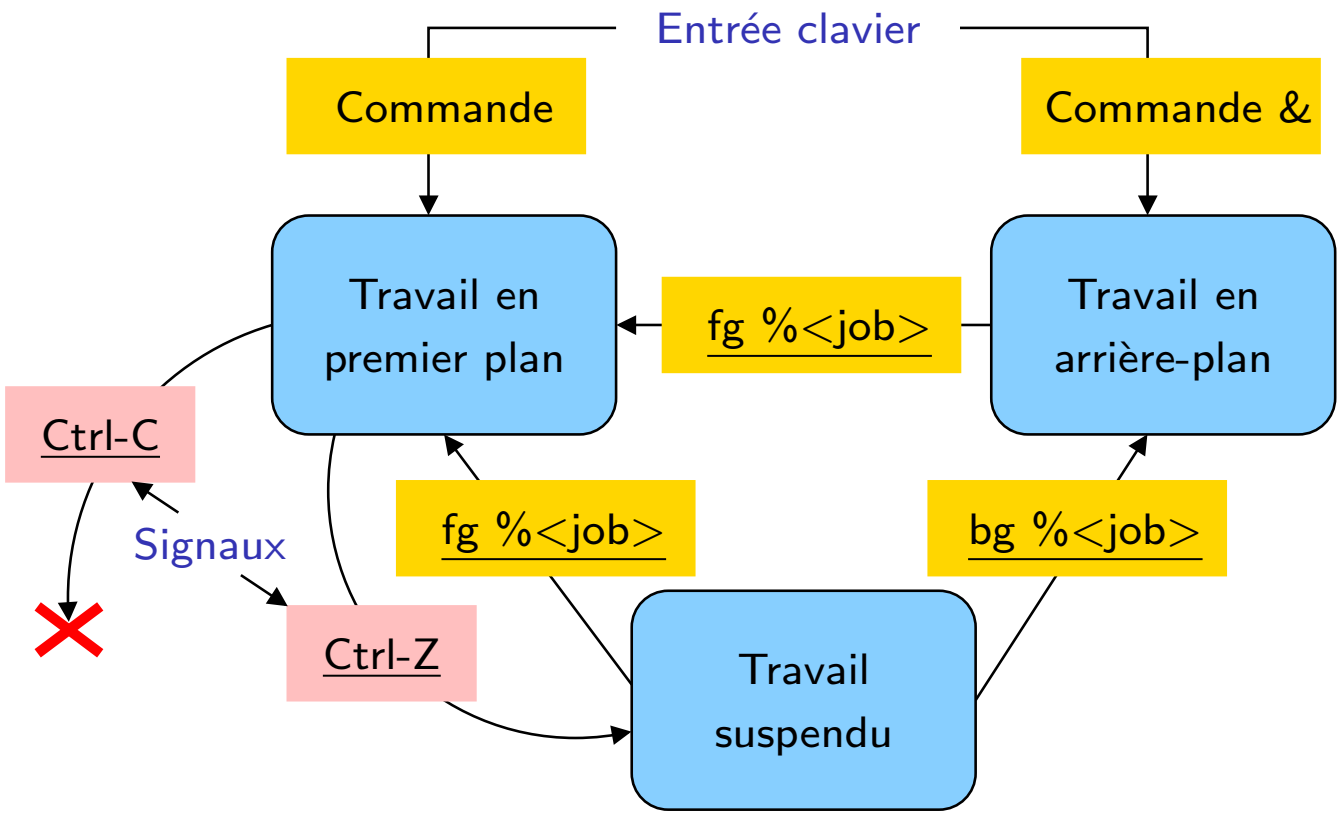
Attention : au plus un signal pendant de chaque type

- L'information est codée sur un seul bit
- S'il arrive un autre signal du même type, le second est perdu

Deuxième chapitre

Processus

États d'un travail



- Travail (*job*) = (groupe de) processus lancé par une commande au shell
- Seul le travail en premier plan peut recevoir des signaux du clavier
- Les autres sont manipulés par des commandes

Terminaux, sessions et groupes en Unix

- Concept important pour comprendre les signaux sous Unix (détaillé plus tard)
- Une session est associée à un terminal, donc au login d'un utilisateur par shell
  Le processus de ce shell est le leader de la session.
- Plusieurs groupes de processus par session. On dit plusieurs travaux (*jobs*)
- Au plus un travail interactif (avant-plan, *foreground*)
  Interagissent avec l'utilisateur via le terminal, seuls à pouvoir lire le terminal
- Plusieurs travaux en arrière plan (*background*)
  Lancés avec & ; Exécution en travail de fond
- Signaux SIGINT (frappe de <CTRL-C>) et SIGTSTP (frappe de <CTRL-Z>) sont passés au groupe interactif et non aux groupes d'arrière-plan

Exemple avec les sessions et groupes Unix

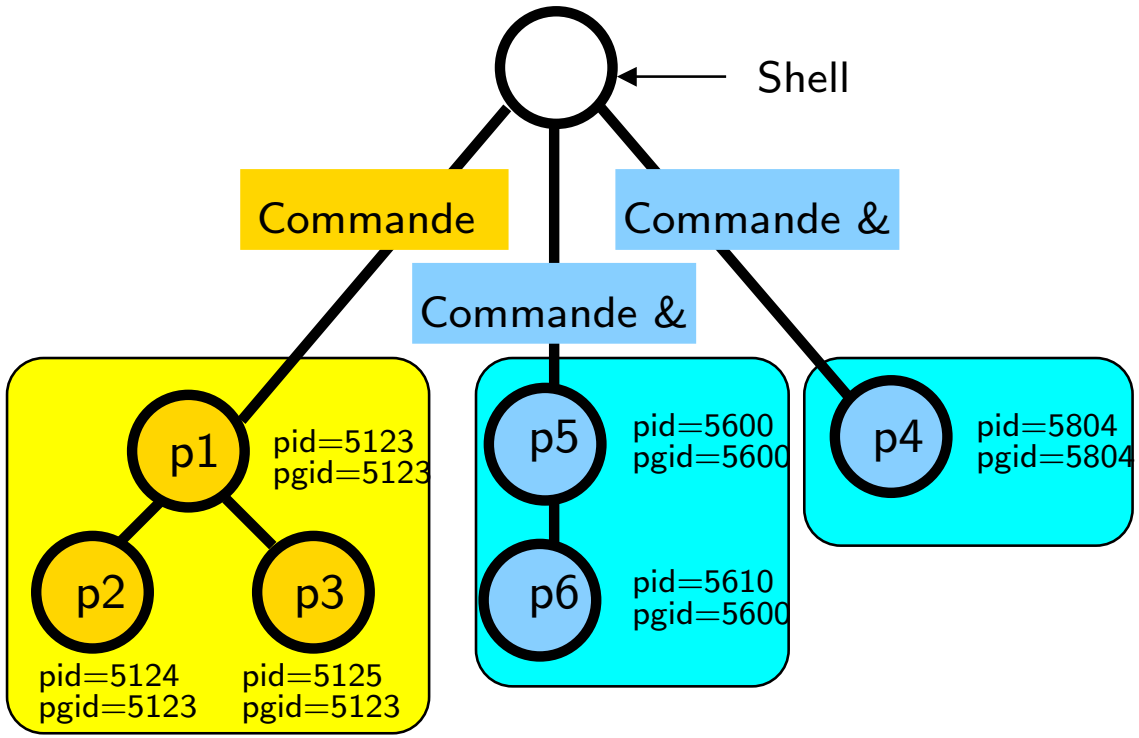
loop.c

```
int main() {
   printf"processus %d, groupe %d\n", getpid(), getpgrp());
   while(1) ;
}
```

```
$ loop & loop & ps
processus 10468, groupe 10468
[1] 10468
processus 10469, groupe 10469
[2] 10469
  PID TTY          TIME CMD
 5691 pts/0 00:00:00 bash
10468 pts/0 00:00:00 loop
10469 pts/0 00:00:00 loop
10470 pts/0 00:00:00 ps
$ fg %1
loop
[frappe de control-Z]
Suspended
$ jobs
[1] + Suspended          loop
[2] - Running            loop
```

```
$ bg %1
[1] loop &
$ fg %2
loop
[frappe de control-C]
$ ps
  PID TTY          TIME CMD
 5691 pts/0 00:00:00 bash
10468 pts/0 00:02:53 loop
10474 pts/0 00:00:00 ps
$ [frappe de control-C]
$ ps
  PID TTY          TIME CMD
 5691 pts/0 00:00:00 bash
10468 pts/0 00:02:57 loop
10475 pts/0 00:00:00 ps
$
```

Exemple de travaux



- Signaux CTRL-C et CTRL-Z adressés à **tous** les processus du groupe jaune
- Commandes shell `fg`, `bg` et `stop` pour travaux bleus

Deuxième chapitre

Processus

Envoyer un signal à un autre processus

Interfaces

- Langage de commande :

```
kill -NOM victime
```

- Appel système :

```
#include <signal.h>

int kill(pid_t victime, int sig);
```

Sémantique : à qui est envoyé le signal ?

- Si *victime* > 0, au processus tel que `pid` $=$ *victime*
- Si *victime* $= 0$, à tous les processus du même groupe (`pgid`) que l'émetteur
- Si *victime* $= -1$:
  - Si super-utilisateur, à tous les processus sauf système et émetteur
  - Si non, à tous les processus dont l'utilisateur est propriétaire
- Si *victime* < -1, aux processus tels que `pgid` $= |$*victime*$|$ (tout le groupe)

Redéfinir le gestionnaire associé à un signal (POSIX)

Structure à utiliser pour décrire un gestionnaire

```
struct sigaction {
  void (*sa_handler)(int);                                    /* gestionnaire, interface simple */
  void (* sa_sigaction) (int, siginfo_t *, void *);     /* gestionnaire, interface complète */
  sigset_t sa_mask;                                  /* signaux à bloquer pendant le traitement */
  int sa_flags;                                                          /* options */
}
```

- Gestionnaires particuliers : SIG_DFL : action par défaut ; SIG_IGN : ignorer signal
- Deux types de gestionnaires
  - `sa_handler()` connait le numéro du signal
  - `sa_sigaction()` a plus d'infos

Primitive à utiliser pour installer un nouveau gestionnaire

```
#include <signal.h>
int sigaction(int sig, const struct sigaction *newaction, struct sigaction *oldaction);
```

- Voir `man sigaction` pour les détails

Autre interface existante : ANSI C

- Peut-être un peu plus simple, mais bien moins puissante et pas thread-safe

Exemple 1 : traitement d'une interruption du clavier

- Par défaut, Ctrl-C tue le processus ; pour survivre : il suffit de redéfinir le gestionnaire de SIGINT

test-int.c

```
#include <signal.h>
void handler(int sig) {                    /* nouveau gestionnaire */
   printf("signal SIGINT reçu !\n");
   exit(0);
}
int main() {
   struct sigaction nvt,old;
   memset(&nvt, 0, sizeof(nvt));
   nvt.sa_handler = &handler;
   sigaction(SIGINT, &nvt, &old);     /*installe le gestionnaire*/
   pause ();                                    /* attend un signal */
   printf("Ceci n'est jamais affiché.\n");;
}
```

```
$ ./test-int
[frappe de CTRL-C]
signal SIGINT reçu !
$
```

Exercice : modifier ce programme pour qu'il continue après un CTRL-C

Note : il doit rester interruptible, *i.e.* on doit pouvoir le tuer d'un CTRL-C de plus

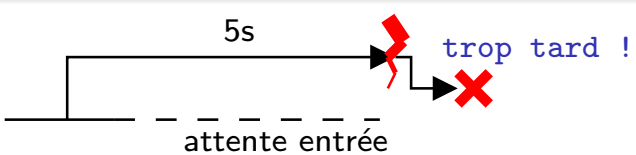
Exemple 2 : temporisation

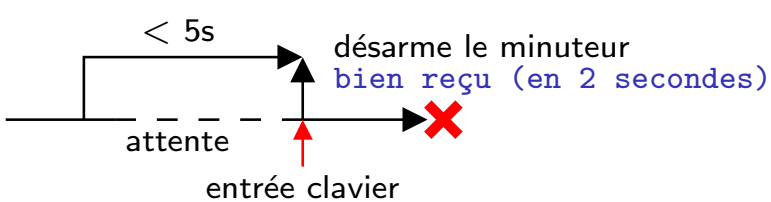
`unsigned int alarm(unsigned int nb_sec)`

- `nb_sec` > 0 : demande l'envoi de SIGALRM après environ `nb_sec` secondes
- `nb_sec` $= 0$: annulation de toute demande précédente
- Retour : nombre de secondes restantes sur l'alarme précédente
- Attention, `sleep()` réalisé avec `alarm()` $\Rightarrow$ mélange dangereux

```c
#include <signal.h>
void handler(int sig) {
  printf("trop tard !\n");
  exit(1);
}
int main() {
  struct sigaction nvt,old;
  int reponse,restant;
  memset(&nvt, 0, sizeof(nvt));
  nvt.sa_handler = handler;
  sigaction(SIGALRM, &nvt, &old);
```

```c
  printf("Entrez un nombre avant 5 sec:");
  alarm(5);
  scanf("%d", &reponse);
  restant = alarm(0);
  printf("bien reçu (en %d secondes)\n",
         5 - restant);
  exit (0);
}
```





Exemple 3 : synchronisation père-fils

- Fin ou suspension d'un processus $\Rightarrow$ SIGCHLD automatique à son père
- Traitement par défaut : ignorer ce signal

- Application : `wait()` pour éviter les zombies mangeurs de ressources
  C'est ce que fait le processus `init` (celui dont le pid est 1)

```
#include <signal.h>
void handler(int sig) {                    /* nouveau gestionnaire */
  pid_t pid;
  int statut;
  pid = waitpid(-1, &statut, 0);   /* attend un fils quelconque */
  return;
}
int main() {
  struct sigaction nvt,old;
  memset(&nvt, 0, sizeof(nvt));
  nvt.sa_handler = &handler;
  sigaction(SIGCHLD, &nvt, &old);   /* installe le gestionnaire */
  ... <création d'un certain nombre de fils> ...
  exit (0);
}
```

Résumé de la fin du deuxième chapitre

- Quelques définitions
  - pgid : groupe de processus ; un par processus lancé par shell (et tous ses fils)
  - Travail d'avant-plan, d'arrière-plan : lancé avec ou sans &
- Communication par signaux
  - Envoyer un signal <*NOM*> à <*victime*> :
    - Langage commande : kill -NOM victime
    - API : kill(pid_t victime, int sig)
      victime > 0 : numéro du pid visé
      victime $= 0$: tous les process de ce groupe
      victime $= -1$: tous les process accessibles
      victime < -1 : tous les process du groupe *abs*(*victime*)
    - Astuce : envoyer le signal 9 à tous les processus : `kill -9 -1`
  - Changer le gestionnaire d'un signal : sigaction (en POSIX)
  - Exemples de signaux
    - SIGINT, SIGSTOP : Interaction avec le travail de premier plan (ctrl-c, ctrl-z)
    - SIGTERM, SIGKILL : demande de terminaison, fin brutale
    - SIGALARM : temporisation
    - SIGCHLD : relations père-fils