Les processus : `fork`, `exit` et `wait`

Luigi Santocanale

Laboratoire d'Informatique Fondamentale,
Centre de Mathématiques et Informatique,
39, rue Joliot-Curie - F-13453 Marseille

27 Octobre 2004

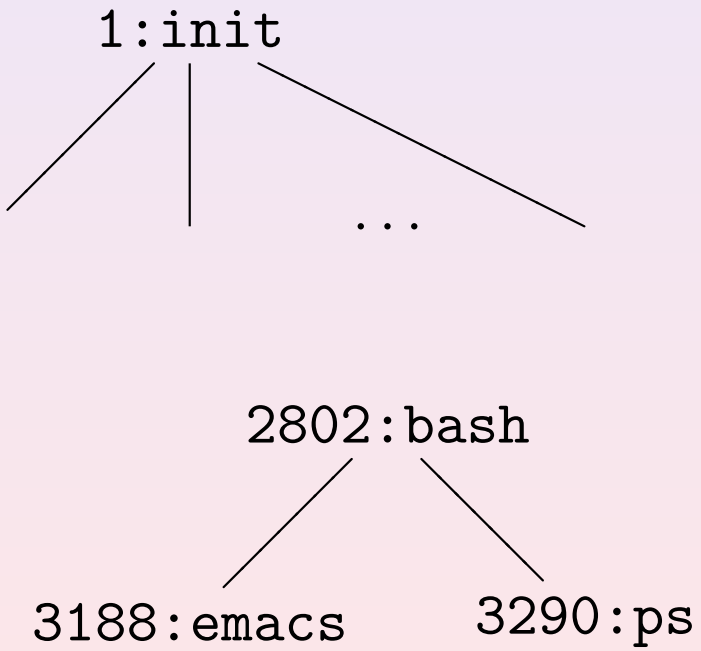
Plan

Arborescence des processus

```
[lsantoca@localhost lecture3]$ ps -o "%p %P %c"
  PID  PPID COMMAND
 2802  2799 bash
 3188  2802 emacs
 3290  2802 ps
```

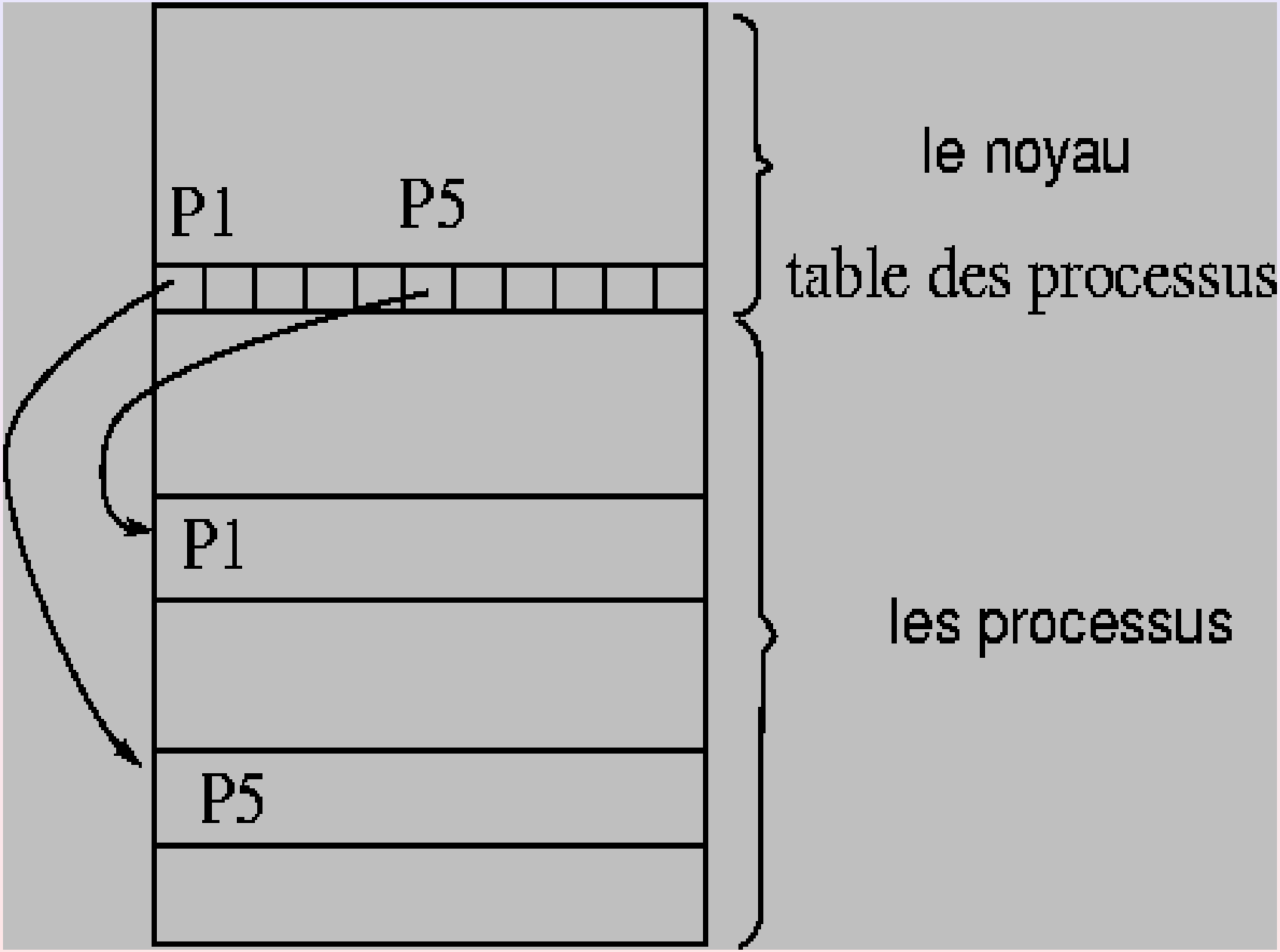
Arborescence des processus

```
[lsantoca@localhost lecture3]$ ps -o "%p %P %c"
  PID  PPID COMMAND
 2802  2799 bash
 3188  2802 emacs
 3290  2802 ps
```



Plan

La table des processus (Revuz 1998)

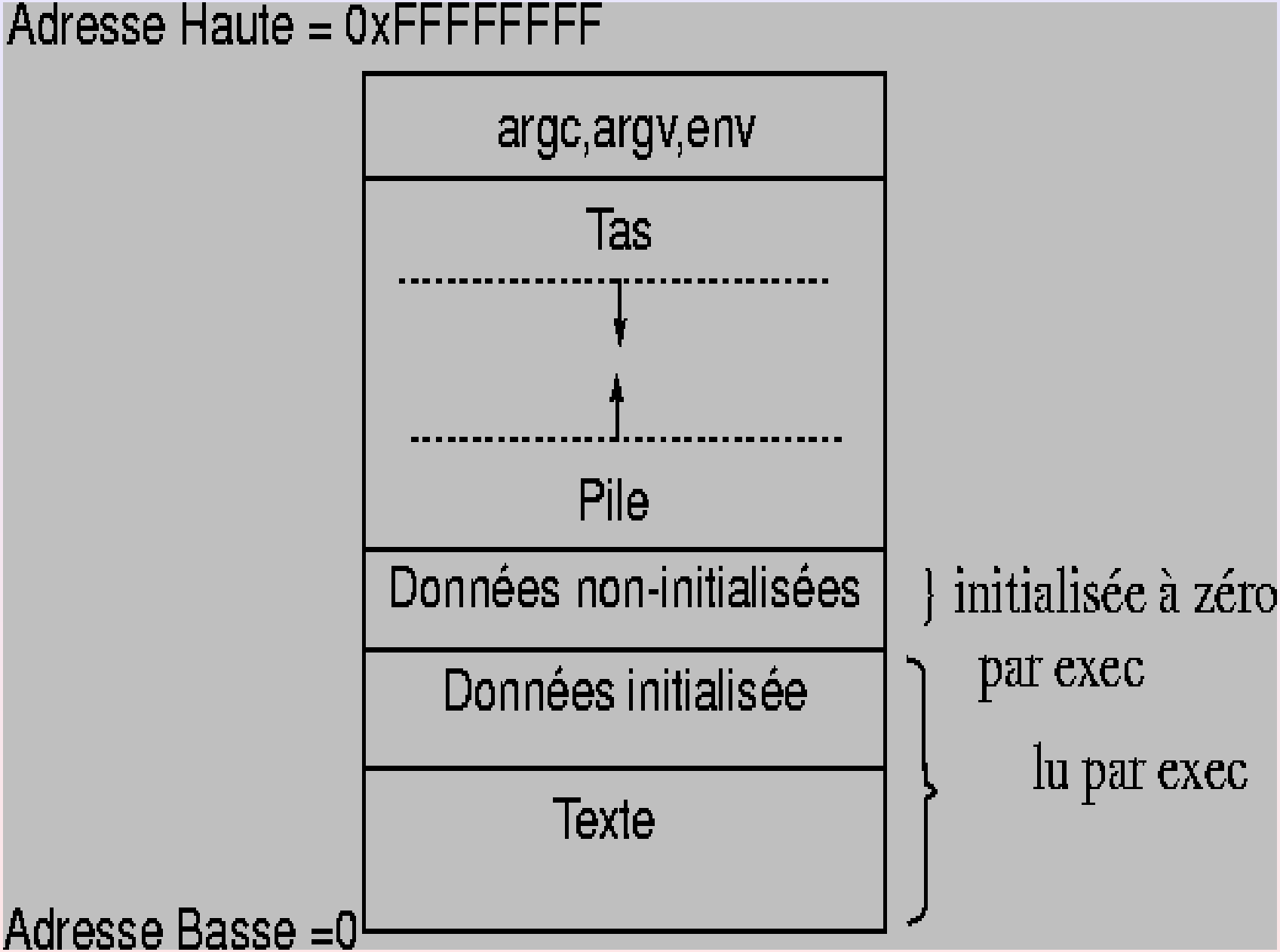


Implémentation des processus

Un processus comporte:

- un espace d'adressage,
- le bloc du contrôle du processus, décomposé en :
  - entrée dans la table des processus,
  - une `zone u`, alloué dynamiquement à la création du processus.

Espace d'addressage d'un processus (Revuz 1998)



Format d'un fichier exécutable

- en tête,
- section TEXT : le code,
- section BSS : données non allouées,
- section DATA : données initialisés,
- autres sections : symboles pour le déboguer, images,. . . .

La commande size

```
[lsantoca@localhost solutions2]$ make ex1; ls -l ex1; size -A ex1
gcc   identique.o   -o identique
mv identique ex1
-rwxr-xr-x    1 lsantoca lsantoca    20770 oct 23 14:27 ex1*
ex1  :
section              size        addr
  ...
.text                 884   134513632
.data                  12   134519016
.bss                   20   134519296
  ...
.debug_info          7574           0
  ...
Total               15705
```

Plan

La table des processus

Tableau de structures `proc`, voir `sys/proc.h` :

S (état)
adresse `zone u`
adresses en mémoire
PID (ID du processus), PPID (ID du père)
événement en attente (si endormi)
NI (valeur nice), priorités
ensemble des signaux pendants
temporisation,
⋮

La zone u

Structure `user`, voir `sys/user.h` :

pointeur sur l'entrée dans la table des processus
RUSER, EUSER, RGROUP, EGROUP
consommation CPU
masque des signaux
terminal de contrôle
`errno`
. et /
table des descripteurs ouverts
masque création
⋮

La commande ps

```
[lsantoca@localhost lecture3]$ ps -eo cmd,pid,ppid,ruser,euser,\
> rgroup,egroup,s,ni | grep ps
cupsd                2053     1 root     root     root     root     S   0
cups-polld 193.5     2244  2053 lp       lp       sys      sys      S   0
cups-polld 193.5     2245  2053 lp       lp       sys      sys      S   0
cups-polld 192.1     2246  2053 lp       lp       sys      sys      S   0
kdeinit: dcopser     3254     1 lsantoca lsantoca lsantoca lsantoca S   0
man ps               3664  3317 lsantoca lsantoca lsantoca lsantoca S   0
ps -eo cmd,pid,p     3697  3329 lsantoca lsantoca lsantoca lsantoca R   0
```

Plan

Contexte d'un processus

Ensemble des données qui permettent de reprendre l'exécution d'un processus interrompu.

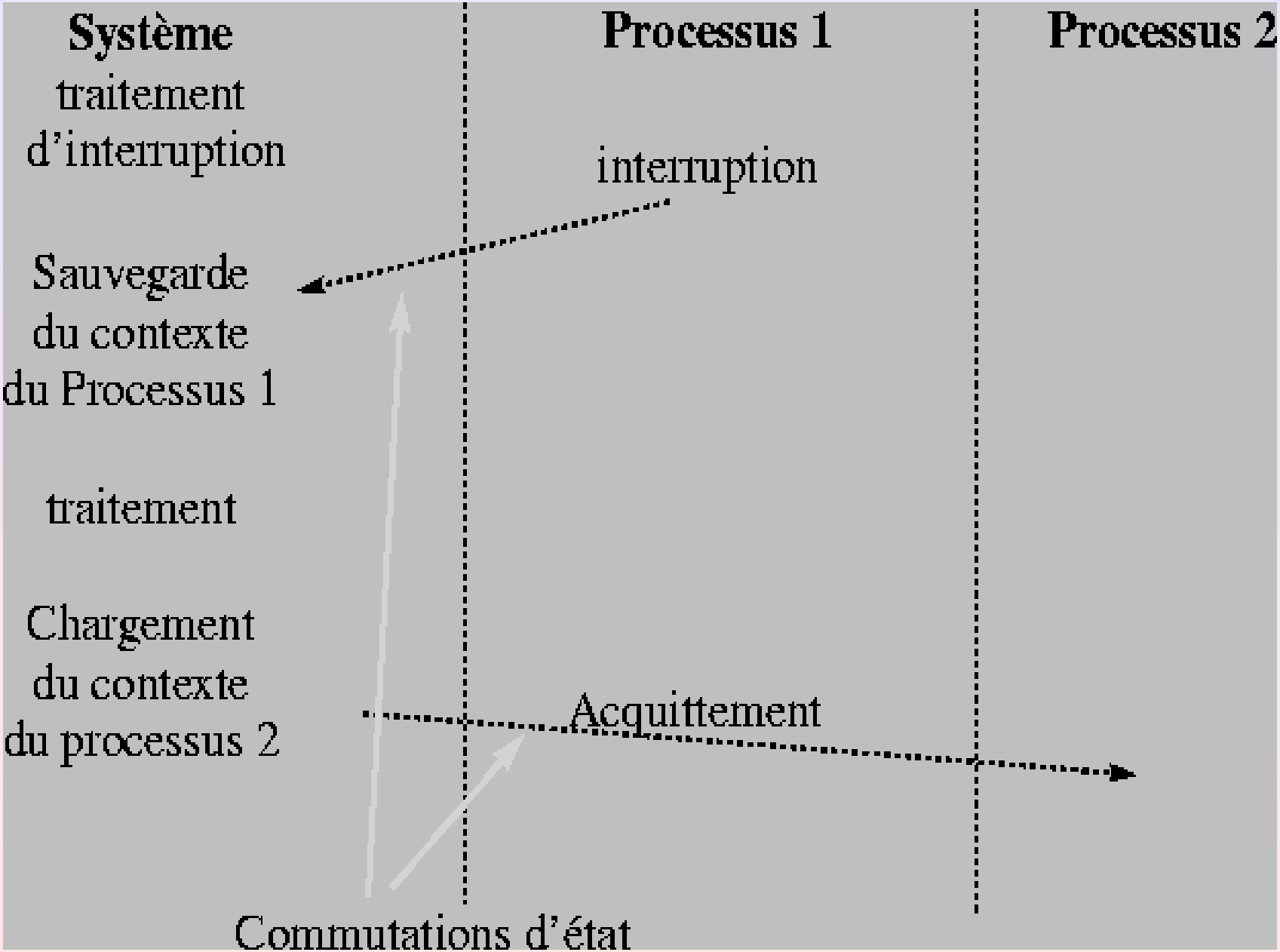
- mot d'état, contexte de l'unité centrale :
  - accumulateur,
  - registre d'instruction et compteur d'instruction,
  - registres d'état du processeur,
  - registres d'états du processus.
- état du processus,
- variables globales statiques dynamiques,
- entrée dans la table du processus,
- zone u,
- piles user et system,
- zones de codes et de données.

Commutation du mot d'état

Il s'avère à la réception/acquittement d'une interruption.
Trois types d'interruptions :

- externe : horloge, disque, console, périphérique.,
- déroutement : erreur du processeur, division par zéro, page fault,
- appel système.

Traitement des interruptions



Plan

ID du processus, ID du processus père

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

pid_t getpid (void);

Retourne : Le pid du processus, toujours succès.

pid_t getppid (void);

Retourne : Le pid du père, toujours succès.

ID du processus, ID du processus père

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

pid_t getpid (void);

Retourne : Le pid du processus, toujours succès.

pid_t getppid (void);

Retourne : Le pid du père, toujours succès.

ID du processus, ID du processus père

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

pid_t getpid (void);

Retourne : Le pid du processus, toujours succès.

pid_t getppid (void);

Retourne : Le pid du père, toujours succès.

IDs utilisateur

```
#include <unistd.h>
```

uid_t getuid (void);

Remarques : propriétaire réel :
utilisateur qui exécute le fichier exécutable.

uid_t geteuid (void);

Retourne : Le uid, toujours succès.

Remarques : propriétaire effectif :
utilisateur qui possède l'exécutable.

int setuid (uid_t *uit*);

Retourne : 0/-1.

Remarques : il faut voir permissions de root.

IDs utilisateur

```
#include <unistd.h>
```

uid_t getuid (`void`);

Remarques : propriétaire réel :
utilisateur qui exécute le fichier exécutable.

uid_t geteuid (`void`);

Retourne : Le uid, toujours succès.

Remarques : propriétaire effectif :
utilisateur qui possède l'exécutable.

int setuid (`uid_t` *uit*);

Retourne : 0/-1.

Remarques : il faut voir permissions de root.

IDs utilisateur

```
#include <unistd.h>
```

uid_t getuid (`void`);

Remarques : propriétaire réel :
utilisateur qui exécute le fichier exécutable.

uid_t geteuid (`void`);

Retourne : Le uid, toujours succès.

Remarques : propriétaire effectif :
utilisateur qui possède l'exécutable.

int setuid (`uid_t` *uit*);

Retourne : 0/-1.

Remarques : il faut voir permissions de root.

IDs utilisateur

```
#include <unistd.h>
```

uid_t getuid (`void`);

Remarques : propriétaire réel :
utilisateur qui exécute le fichier exécutable.

uid_t geteuid (`void`);

Retourne : Le uid, toujours succès.

Remarques : propriétaire effectif :
utilisateur qui possède l'exécutable.

int setuid (`uid_t` *uit*);

Retourne : 0/-1.

Remarques : il faut voir permissions de root.

IDs groupe

```
#include <unistd.h>
```

uid_t getgid (void);

uid_t getegid (void);

int setgid (uid_t *uit*);

Remarques : Comme pour getuid ...

IDs groupe

```
#include <unistd.h>
```

uid_t getgid (void);

uid_t getegid (void);

int setgid (uid_t *uit*);

Remarques : Comme pour getuid ...

IDs groupe

```
#include <unistd.h>
```

uid_t getgid (void);

uid_t getegid (void);

int setgid (uid_t *uit*);

Remarques : Comme pour getuid . . .

IDs groupe

```
#include <unistd.h>
```

uid_t getgid (void);

uid_t getegid (void);

int setgid (uid_t *uit*);

Remarques : Comme pour getuid . . .

IDs groupe

```
#include <unistd.h>
```

uid_t getgid (void);

uid_t getegid (void);

int setgid (uid_t *uit*);

Remarques : Comme pour getuid ...

Répertoire d'un processus, masque de création

```
#include <unistd.h>
```

int chdir (const char * *ref*);

Retourne : 0/-1

char const * getcwd (char * *buf* , size_t *taille*);

buf : un tampon de taille taille.

Retourne : *buf* succès, NULL échec

mode_t umask (mode_t *masque*);

masque : les permission qu'on aimerait enlever par defaut aux appels de creat, open, mkdir, mkfifo.

Retourne : La vielle masque de création

Répertoire d'un processus, masque de création

```
#include <unistd.h>
```

int chdir (const char * *ref*);

Retourne : 0/-1

char const * getcwd (char * *buf* , size_t *taille*);

buf : un tampon de taille taille.

Retourne : *buf* succès, NULL échec

mode_t umask (mode_t *masque*);

masque : les permission qu'on aimerait enlever par defaut aux appels de creat, open, mkdir, mkfifo.

Retourne : La vielle masque de création

Répertoire d'un processus, masque de création

```
#include <unistd.h>
```

int chdir (const char * *ref*);

Retourne : 0/-1

char const * getcwd (char * *buf*, size_t *taille*);

buf : un tampon de taille taille.

Retourne : *buf* succès, NULL échec

mode_t umask (mode_t *masque*);

masque : les permission qu'on aimerait enlever par defaut aux appels de creat, open, mkdir, mkfifo.

Retourne : La vielle masque de création

Répertoire d'un processus, masque de création

```
#include <unistd.h>
```

int chdir (`const char *` *`ref`*);

Retourne : 0/-1

char const * getcwd (`char *` *`buf`*, `size_t` *`taille`*);

`buf` : un tampon de taille taille.

Retourne : *`buf`* succès, NULL échec

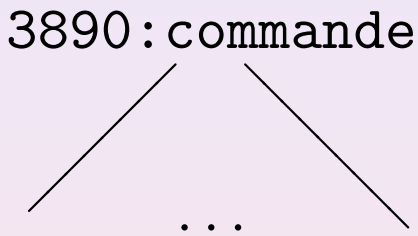
mode_t umask (`mode_t` *`masque`*);

`masque` : les permission qu'on aimerait enlever par defaut aux appels de `creat`, `open`, `mkdir`, `mkfifo`.

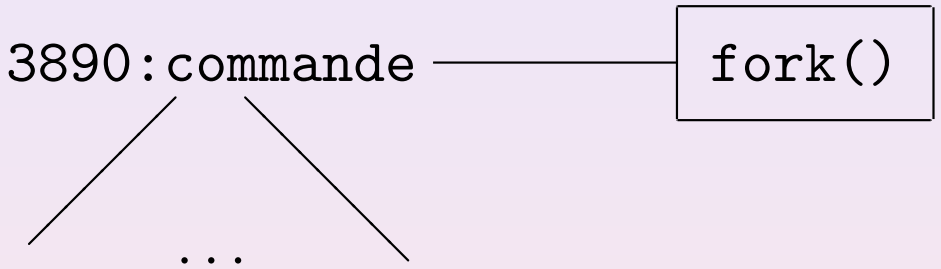
Retourne : La vielle masque de création

Plan

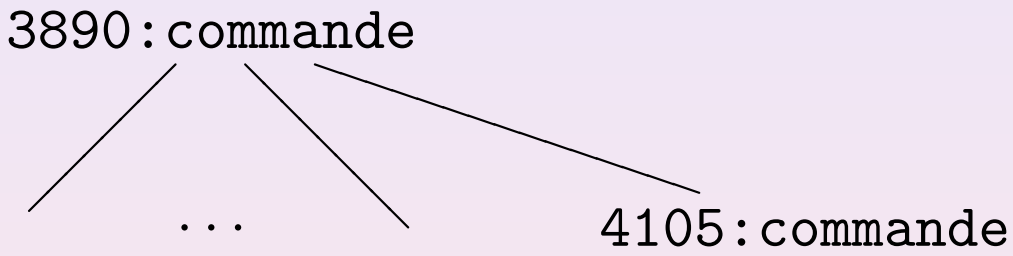
Naissance des processus



Naissance des processus



Naissance des processus



Détails

Dans un appel à la primitive `fork` :

- TOUS les données concernant le processus sont dupliquées :
  - espace d'adressage,
  - bloc de contrôle du processus.
- À L'EXCEPTION de :
  - la région texte peut etre partagé entre les deux processus,
  - le PID et le PPID sont mis à jour.

Détails

Dans un appel à la primitive `fork` :

- TOUS les données concernant le processus sont dupliquées :
  - espace d'adressage,
  - bloc de contrôle du processus.
- À L'EXCEPTION de :
  - la région texte peut être partagé entre les deux processus,
  - le PID et le PPID sont mis à jour.

Détails

Dans un appel à la primitive `fork` :

- TOUS les données concernant le processus sont dupliquées :
  - espace d'adressage,
  - bloc de contrôle du processus.

- À L'EXCEPTION de :
  - la région texte peut etre partagé entre les deux processus,
  - le PID et le PPID sont mis à jour.

Détails

Dans un appel à la primitive `fork` :

- TOUS les données concernant le processus sont dupliquées :
  - espace d'adressage,
  - bloc de contrôle du processus.

- À L'EXCEPTION de :
  - la région `texte` peut etre partagé entre les deux processus,
  - le PID et le PPID sont mis à jour.

Détails

Dans un appel à la primitive `fork` :

- TOUS les données concernant le processus sont dupliquées :
  - espace d'adressage,
  - bloc de contrôle du processus.

- À L'EXCEPTION de :
  - la région `texte` peut etre partagé entre les deux processus,
  - le PID et le PPID sont mis à jour.

Détails

Dans un appel à la primitive `fork` :

- TOUS les données concernant le processus sont dupliquées :
  - espace d'adressage,
  - bloc de contrôle du processus.

- À L'EXCEPTION de :
  - la région `texte` peut etre partagé entre les deux processus,
  - le PID et le PPID sont mis à jour.

Algorithme `fork` (Bach 1989)

```
algorithme fork
entrée: néant
sortie: au processus parent, le PID du fils
        au processus fils, 0
{
    vérifier que des ressources noyau sont disponibles;
    accéder à un emplacement vide de la table des processus
                                                et à un PID unique;
    vérifier que l'utilisateur n'a pas trop de processus en exécution;
    marquer l'état du fils "en création";
    copier les données de l'emplacement du parent dans la table
                                          des processus dans celui du fils;
    incrémenter les comptes i–noeuds du répertoire courant et
                                      du répertoire racine (si changé);
    incrémenter les comptes des fichiers ouverts
                                        dans la table des fichiers;
    faire une copie du contexte du parent (zone u, code, données, pile)
                                      en mémoire;
    empiler la couche contexte factice du niveau système dans le
                                        contexte  du niveau système du fils;
            le contexte factice contient des données qui
            permettent  au processus fils de se reconnaitre et d'être
            lancé au moment où il est élu en vue de son exécution;
    if (processus en exécution est le processus parent)
    {
        changer l'état du fils à celui de "prêt à l'exécution";
        return (ID du fils); /* du système à l'utilisateur */
    }
    else /* le processus en exécution est le processus fils */
    {
        initialiser les champs temps de la zone u;
        return (0); /* à l'utilisateur */
    }
}
```

fork

```
#include <unistd.h>
pid_t fork(void );
```

Retourne :

- -1, si erreur,
- 0, au fils,
- pid du fils, retourné au père.

Sommaire : Clonation du processus

fork

```
#include <unistd.h>
pid_t fork(void );
```

Retourne :

- -1, si erreur,
- 0, au fils,
- pid du fils, retourné au père.

Sommaire : Clonation du processus

Programme : exfork.c

```
 1 : #include <stdio.h>
 2 : #include <unistd.h>
 3 : #include <sys/types.h>
 4 :
 5 : int main(void)
 6 : {
 7 :     pid_t pid;
 8 :
 9 :     switch (pid = fork())
10 :     {
11 :     case -1:
12 :         perror("fork");
13 :         return -1;
14 :     case 0:
15 :         printf("Je suis le fils et mon pid est %d.\n", getpid());
16 :         return 0;
17 :     default:
18 :         printf("Je suis le père, "
19 :                "mon pid est %d, j'ai un fils avec pid %d.\n", getpid(),
20 :                pid);
21 :         return 0;
22 :     }
23 : }
```

Programme : exfork2.c

```
 1 : #include <stdio.h>
 2 : #include <stdlib.h>
 3 : #include <unistd.h>
 4 : #include <sys/types.h>
 5 :
 6 : int main(void)
 7 : {
 8 :     pid_t pid;
 9 :
10 :     if ((pid = fork()) == -1)
11 :     {                              /* Erreur */
12 :         perror("fork");
13 :         exit(EXIT_FAILURE);
14 :     }
15 :
16 :     if (pid == 0)                  /* Si fils */
17 :         code_du_fils();
18 :     else                           /* Si père */
19 :         code_du_pere();
20 : }
```

Plan

Algorithme `exit` (Bach 1989)

```
algorithme exit
entrée: code de retour pour le processus parent
sortie: néant
{
    ignorer tous les signaux;
    if (moniteur du groupe de processus associé au terminal de contrôle)
    {
        envoyer un signal "coupure de ligne" à tous les membres
                                                du groupe du processus;
        mettre à 0 le groupe de processus de tous les membres;
    }
    fermer tous les fichiers ouverts
            (version interne de l'algorithme close);
    libérer le répertoire courant (algorithme iput);
    libérer le répertoire racine (changé) courant, s'il existe
                                        (algorithme iput);
    libérer les régions, la mémoire associée au processus
                    (algorithme freereg);
    écrire un enregistrement de statistiques;
    rendre l'état du processus zombie;
    affecter l'ID processus du parent de tous les processus fils au
                                                processus init (1);
    si un des fils est zombie, envoyer le signal "mort d'un fils" à init;
    envoyer le signal "mort d'un fils" au processus parent;
    changement de contexte;
}
```

exit, atexit, abort, _exit

```
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
```

void _exit (int *status*);
Sommaire : Fermeture des fichiers ouverts, terminaison normale avec code *status* : ce paramètre est reçu par le père à l'aide de la primitive wait.

void exit (int *status*);
Sommaire : Exécute les fonctions enregistrées par atexit, vide les tampons de la bibliothèque standard, ferme les fichiers ouverts avec fopen, appel à la primitive _exit avec paramètre *status*.

int atexit (void *(*valeur)(void)*);

void abort (void);
Sommaire : Vide les tampons de la bibliothèque standard, terminaison anormale

exit, atexit, abort, _exit

```
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
```

void _exit (int *status*);
Sommaire : Fermeture des fichiers ouverts, terminaison normale avec code *status* : ce paramètre est reçu par le père à l'aide de la primitive wait.

void exit (int *status*);
Sommaire : Exécute les fonctions enregistrées par atexit, vide les tampons de la bibliothèque standard, ferme les fichiers ouverts avec fopen, appel à la primitive _exit avec paramètre *status*.

int atexit (void *(*valeur)(void)*);

void abort (void);
Sommaire : Vide les tampons de la bibliothèque standard, terminaison anormale

exit, atexit, abort, _exit

```
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
```

void _exit (int *status*);
Sommaire : Fermeture des fichiers ouverts, terminaison normale avec code *status* : ce paramètre est reçu par le père à l'aide de la primitive wait.

void exit (int *status*);
Sommaire : Exécute les fonctions enregistrées par atexit, vide les tampons de la bibliothèque standard, ferme les fichiers ouverts avec fopen, appel à la primitive _exit avec paramètre *status*.

int atexit (void *(*valeur)(void)*);

void abort (void);
Sommaire : Vide les tampons de la bibliothèque standard, terminaison anormale

exit, atexit, abort, _exit

```
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
```

void _exit (int *status*);
Sommaire : Fermeture des fichiers ouverts, terminaison normale avec code *status* : ce paramètre est reçu par le père à l'aide de la primitive wait.

void exit (int *status*);
Sommaire : Exécute les fonctions enregistrées par atexit, vide les tampons de la bibliothèque standard, ferme les fichiers ouverts avec fopen, appel à la primitive _exit avec paramètre *status*.

int atexit (void *(*valeur)(void)*);

void abort (void);
Sommaire : Vide les tampons de la bibliothèque standard, terminaison anormale

exit, atexit, abort, _exit

```
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
```

void _exit (`int` *`status`*);
Sommaire : Fermeture des fichiers ouverts, terminaison normale avec code *`status`* : ce paramètre est reçu par le père à l'aide de la primitive `wait`.

void exit (`int` *`status`*);
Sommaire : Exécute les fonctions enregistrées par `atexit`, vide les tampons de la bibliothèque standard, ferme les fichiers ouverts avec `fopen`, appel à la primitive `_exit` avec paramètre *`status`*.

int atexit (`void` *`(*valeur)(void)`*);

void abort (`void`);
Sommaire : Vide les tampons de la bibliothèque standard, terminaison anormale

Programme : exexit.c

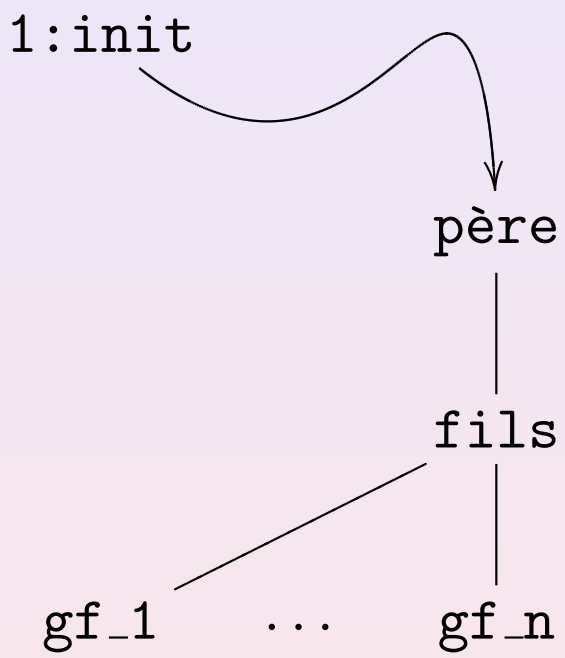
```
 1 : #include <stdlib.h>
 2 : #include <stdio.h>
 3 : #include <unistd.h>
 4 :
 5 : void terminer(void)
 6 : {
 7 :     printf("\nAppel à la fonction terminer ");
 8 : }
 9 :
10 : int main(int argc, char *argv[])
11 : {
12 :
13 :     atexit(terminer);
14 :
15 :     printf("\nUtilisation de \"%s\" pour sortir :", argv[1]);
16 :     printf("\nContenu du tampon à vider ");
17 :     SORTIE;
18 : }
```

Session : exit

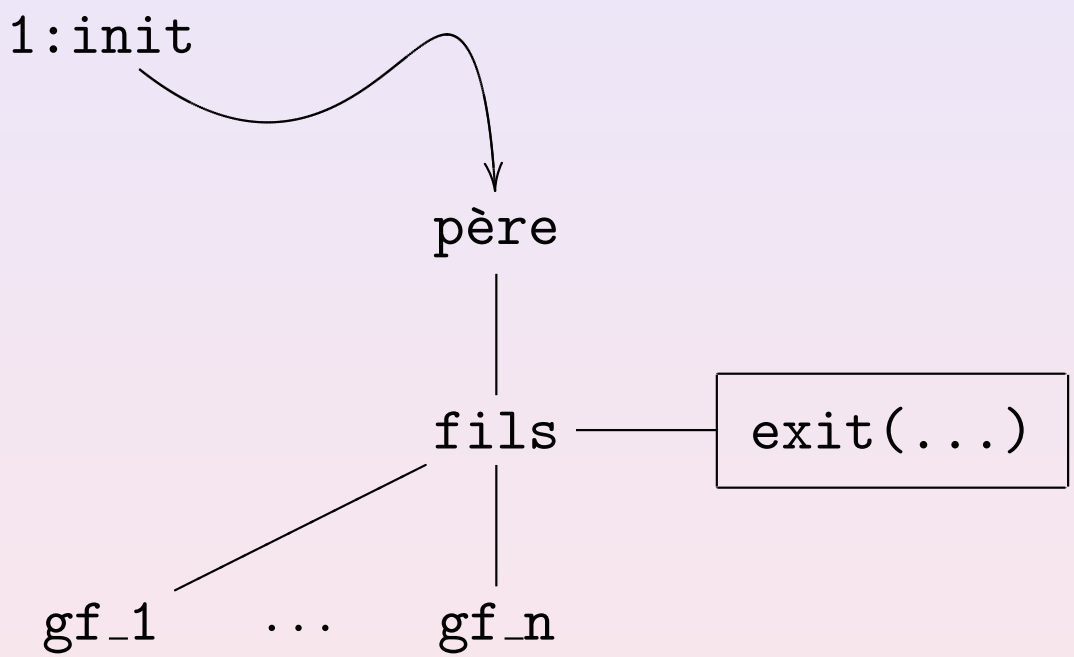
```
[lsantoca@localhost lecture4]$ for i in "exit(0)" \
> "abort()" "_exit(0)";\
> do gcc -Wall -pedantic -DSORTIE=$i exexit.c;\
> a.out $i; done

Utilisation de "exit(0)" pour sortir :
Contenu du tampon à vider
Appel à la fonction terminer
Utilisation de "abort()" pour sortir :
Contenu du tampon à vider Aborted

Utilisation de "_exit(0)" pour sortir :
```

Plan

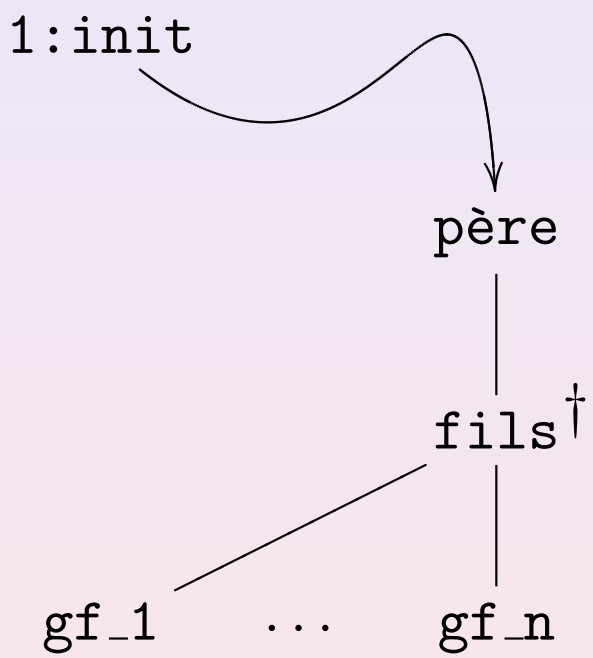
Mort des processus, synchronisation



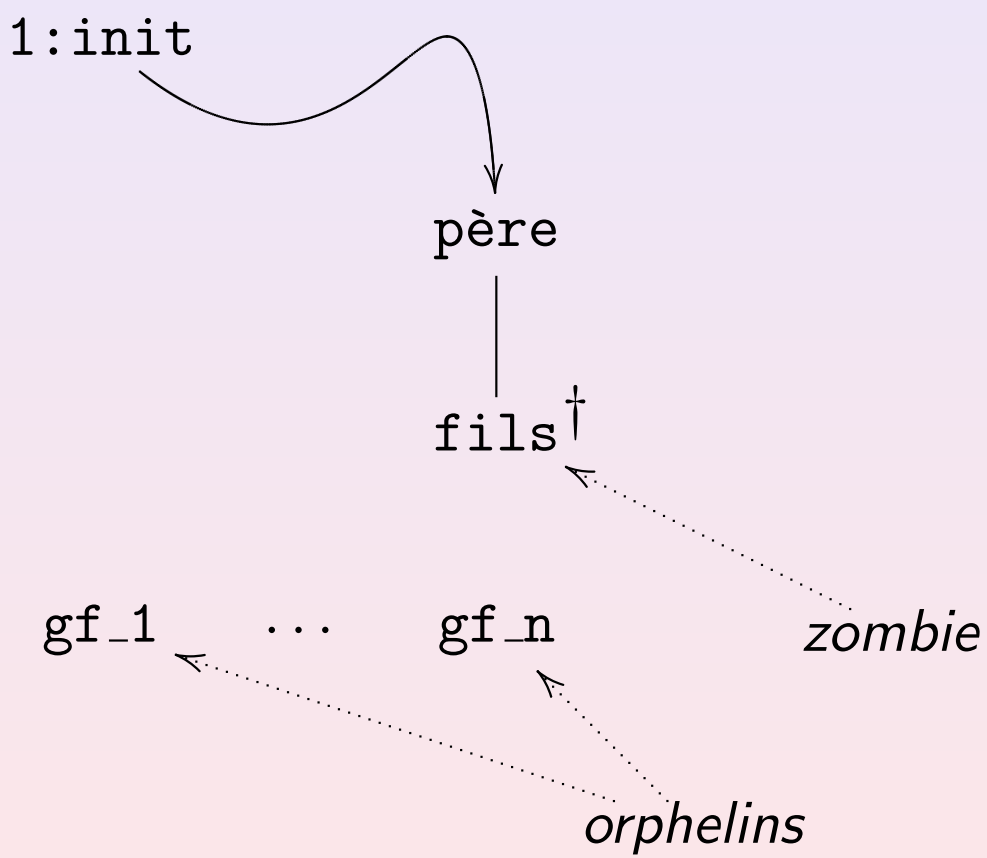
Mort des processus, synchronisation



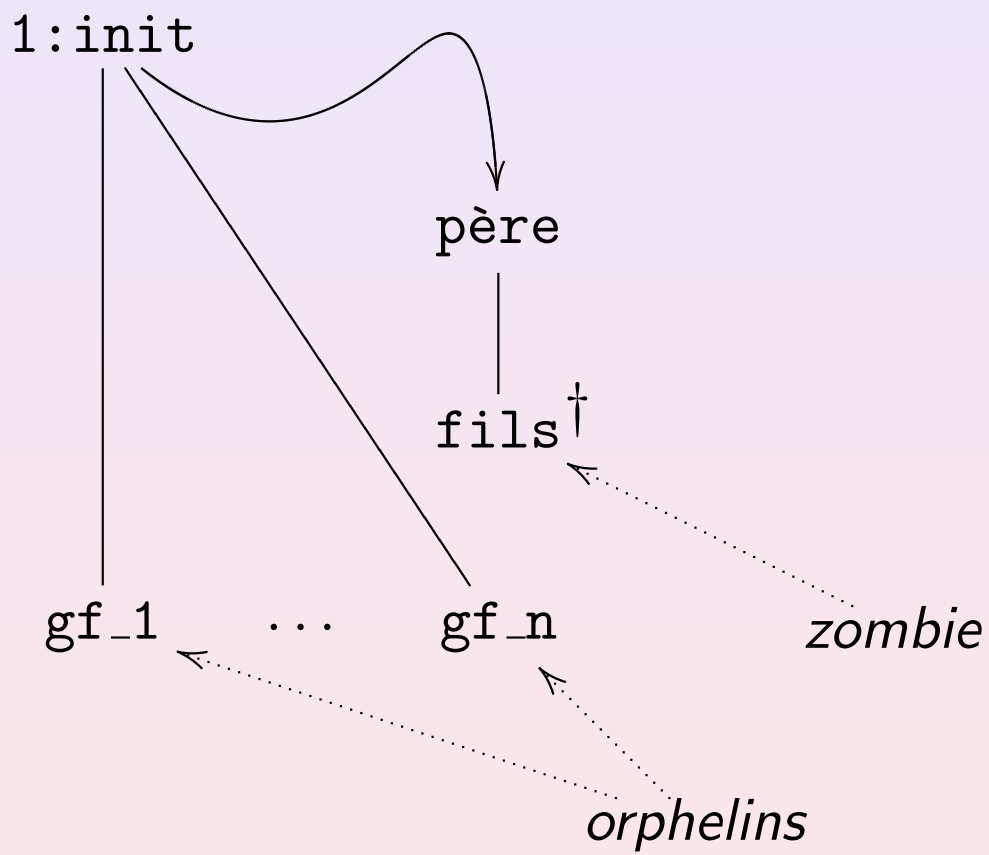
Mort des processus, synchronisation



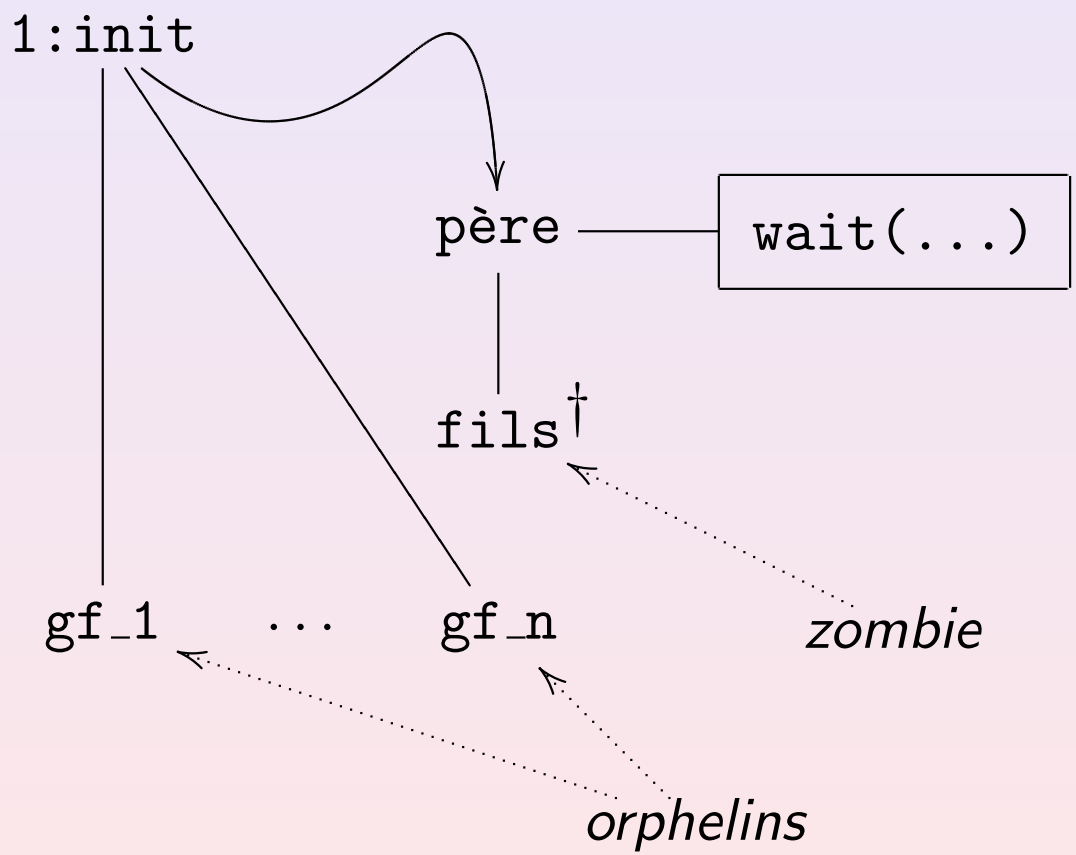
Mort des processus, synchronisation



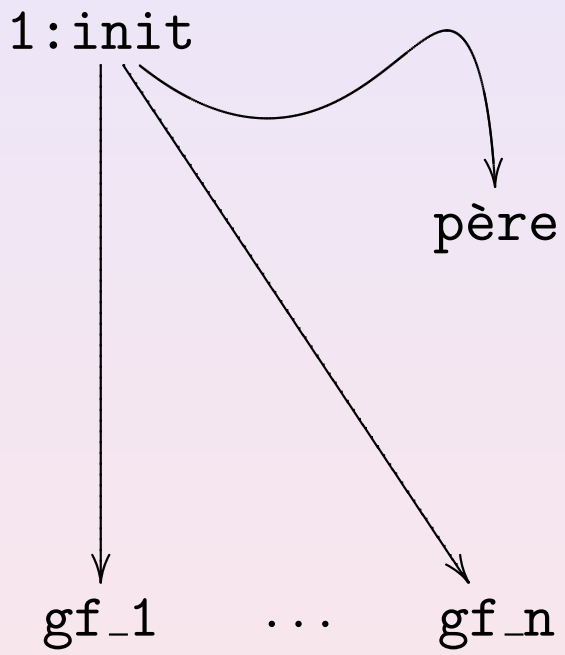
Mort des processus, synchronisation



Mort des processus, synchronisation



Mort des processus, synchronisation



Algorithme `wait` (Bach 1989)

```
algorithme wait
entrée: adresse d'une variable pour ranger l'état du
          processus qui fait l'exit.
sortie: ID et code d'exit du fils
{
    if (le processus en attente n'a pas de processus fils)
        return (erreur);
    for(;;) /* boucle jusqu'à un return */
    {
        if (le processus en attente a des fils zombies)
        {
            accéder à un fils zombie quelconque;
            rajouter l'utilisation de l'UC par le fils au parent;
            libérer l'élément de la table des processus
                                                correspondant au fils;
            return (ID et code d'exit du fils);
        }
        if (le processus n'a pas de fils)
            return (erreur);
        s'endormir en une priorité interruptible en attente de
                                    l'événement: exit du processus fils;
    }
}
```

wait, waitpid

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

pid_t wait (int * *ptr*);
ptr : un adresse à remplir avec le « code »renvoyé par le fils.
Retourne : pid du fils, où -1 si échec.

pid_t waitpid (pid_t *pid*, int * *ptr*, int *opts*);
pid : > 0 : un processus
0 : tous les processus du groupe
-1 : tous les fils
<-1 : tous les processus dans le groupe |pid|

ptr : adresse à remplir
opts : |de :
WNOHANG : sans etre bloqué
WUNTRACED : si le processus est stoppé

Retourne : pid du processus pris en compte, -1 erreur, 0 échec avec option WNOHANG

wait, waitpid

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

pid_t wait (`int * ptr`);

ptr : un adresse à remplir avec le « code »renvoyé par le fils.

Retourne : pid du fils, où -1 si échec.

pid_t waitpid (`pid_t pid, int * ptr, int opts`);

pid : > 0 : un processus
0 : tous les processus du groupe
-1 : tous les fils
<-1 : tous les processus dans le groupe |pid|

ptr : adresse à remplir

opts : |de :
WNOHANG : sans etre bloqué
WUNTRACED : si le processus est stoppé

Retourne : pid du processus pris en compte, -1 erreur, 0 échec avec option WNOHANG

wait, waitpid

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

pid_t wait (int * *ptr*);
ptr : un adresse à remplir avec le « code »renvoyé par le fils.
Retourne : pid du fils, où -1 si échec.

pid_t waitpid (pid_t *pid*, int * *ptr*, int *opts*);
pid : > 0 : un processus
0 : tous les processus du groupe
-1 : tous les fils
<-1 : tous les processus dans le groupe |pid|

ptr : adresse à remplir
opts : |de :
WNOHANG : sans etre bloqué
WUNTRACED : si le processus est stoppé

Retourne : pid du processus pris en compte, -1 erreur, 0 échec avec option WNOHANG

Décodage de la valeur de sortie du fils

- `WIFEXITED`, si le processus s'est terminé de façon normale
  - `WEXITSTATUS`, le code de sortie : *`status`* dans `exit(status)`.
- `WIFSIGNALED`, si le processus s'est terminé à cause d'un signal :
  - `WTERMSIG`, le signal qui a provoqué la terminaison.
- WIFSTOPPED, si le processus est arrêté à cause d'un signal (primitive `wait` avec option `WUNTRACED`) :
  - WSTOPSIG, le signal qui a provoqué l' arrêt.

Programme : exwait.c

```
 1 : #include <wait.h>
 2 : #include <stdio.h>
 3 : #include <unistd.h>
 4 : #include <stdlib.h>
 5 : #include <time.h>
 6 :
 7 : void fils(void);
 8 : void pere(pid_t pid);
 9 :
10 : int main(void)
11 : {
12 :     pid_t pid;
13 :     srand(time(NULL));
14 :
15 :     switch (pid = fork())
16 :     {
17 :     case -1:                    /* Erreur */
18 :         exit(EXIT_FAILURE);
19 :     case 0:
20 :         fils();
21 :     default:
22 :         pere(pid);
23 :     }
24 :     exit(EXIT_SUCCESS);
25 : }
26 :
```

Programme : exwait.c

```
27 : void fils(void)
28 : {
29 :     int signum = rand() % (NSIG - 1) + 1;
30 :     printf("Signal choisi : %d.\n", signum);
31 :     kill(getpid(), signum);
32 :     exit(signum);
33 : }
34 :
35 : void pere(pid_t pid1)
36 : {
37 :     int codesortie;
38 :     pid_t pid2 = waitpid(pid1, &codesortie, WUNTRACED);
39 :
40 :     if (WIFSIGNALED(codesortie))
41 :         printf("Le fils %d s'est terminé à cause du signal %d.\n", pid2,
42 :                WTERMSIG(codesortie));
43 :     if (WIFEXITED(codesortie))
44 :         printf("Le fils %d s'est terminé normalement"
45 :                " avec code sortie %d.\n", pid2, WEXITSTATUS(codesortie));
46 :     if (WIFSTOPPED(codesortie))
47 :         printf("Le fils %d est stoppé" " avec code  %d.\n", pid2,
48 :                WSTOPSIG(codesortie));
49 :     exit(EXIT_SUCCESS);
50 : }
```

États d'un processus : deuxième approximation (Revuz 1998)