

Systèmes d'exploitation

Les processus

Thomas Ropars

Email: thomas.ropars@univ-grenoble-alpes.fr

Website: tropars.github.io

Dans ce cours

- Définition du concept de processus
- États et propriétés
- La mémoire des processus
- API pour manipuler des processus
 - `fork()`
 - `wait()`
 - `exec()`

Le concept de processus

Définition du concept de processus

Un processus est une abstraction créée par le système d'exploitation qui représente un programme en cours d'exécution

- Le programme en lui même est un ensemble d'instructions (code exécutable)
 - Stockées dans un fichier (statique)
- Le processus est une instance d'un programme en cours d'exécution
 - Son état évolue au cours du temps
 - Il a un début et une fin

Un processus est défini par

- Le code exécutable du programme
- Les données qui lui sont associées
- Un contexte d'exécution
 - Valeur des registres
 - Information liées à la gestion de la mémoire
 - le compteur d'instructions (*program counter*)
 - Liste de descripteurs de fichiers
 - etc.

Pourquoi les OS introduisent ce concept?

Objectifs: mettre en oeuvre un système multi-tâches

Les processus permettent à l'OS:

- De savoir quels programmes s'exécutent à chaque instant sur le système
- De gérer la consommation de ressources de chacun

Commandes pour connaître les processus qui s'exécutent sur le système

- ps: Liste de tous les processus
- top: Liste des processus ordonnés en fonction de leur consommation de ressources

Isolation des processus

L'OS offre l'illusion à chaque processus qu'il s'exécute seul sur le système:

- Illusion d'un accès exclusif aux ressources matérielles (processeurs, mémoire)
 - Le système se comporte comme si le processeur exécutait les instructions du programme les unes après les autres sans jamais être interrompu
 - Contrôle de flot logique
 - Mémoire virtuelle privée
 - Privée = Illusion d'un accès exclusif
 - Virtuelle= Illusion d'une mémoire *infinie*
- Isolation entre processus
 - L'OS protège chaque processus des actions des autres processus

En pratique, de nombreux processus s'exécutent en même temps sur un système

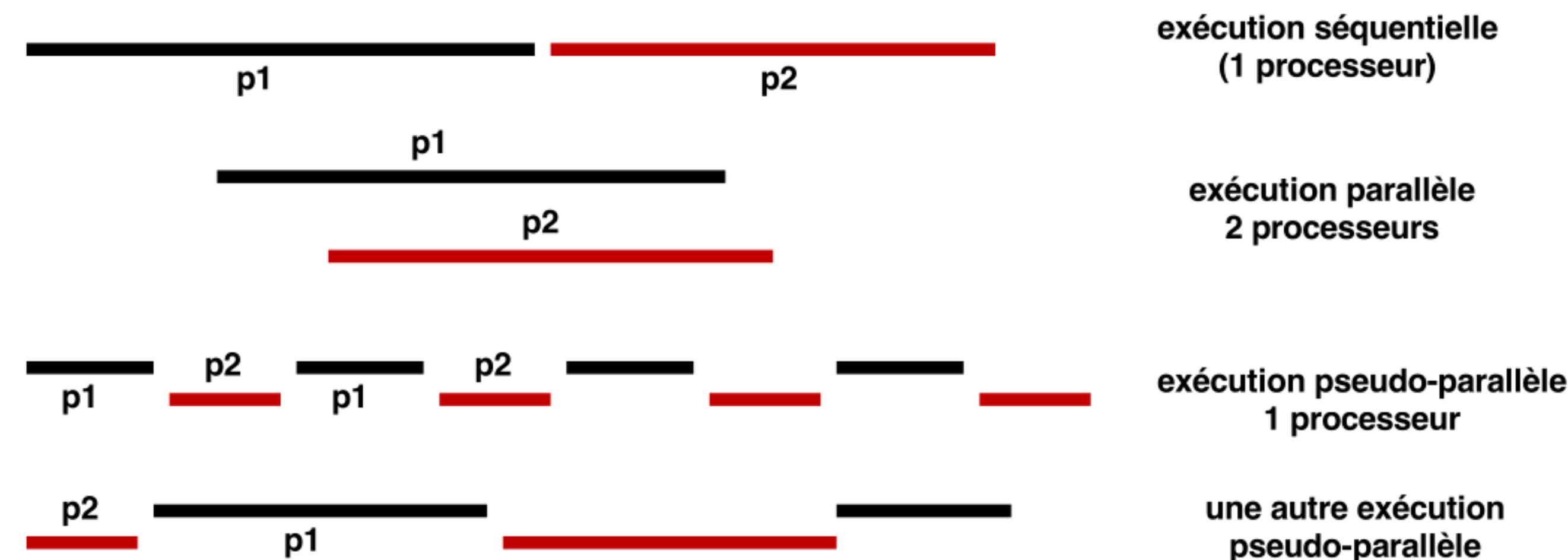
- Plusieurs programmes: un navigateur web + un éditeur de texte + un lecteur audio + des services systèmes (interface graphique, syslog, etc.)
- Plusieurs instances d'un même programme: Emacs file1.txt + Emacs file2.txt

Parallélisme et pseudo-parallélisme

- ▶ Soit deux processus p_1 et p_2 (exécution de deux programmes séquentiels P_1 et P_2)



- ▶ Mise en œuvre concrète de l'exécution de p_1 et p_2

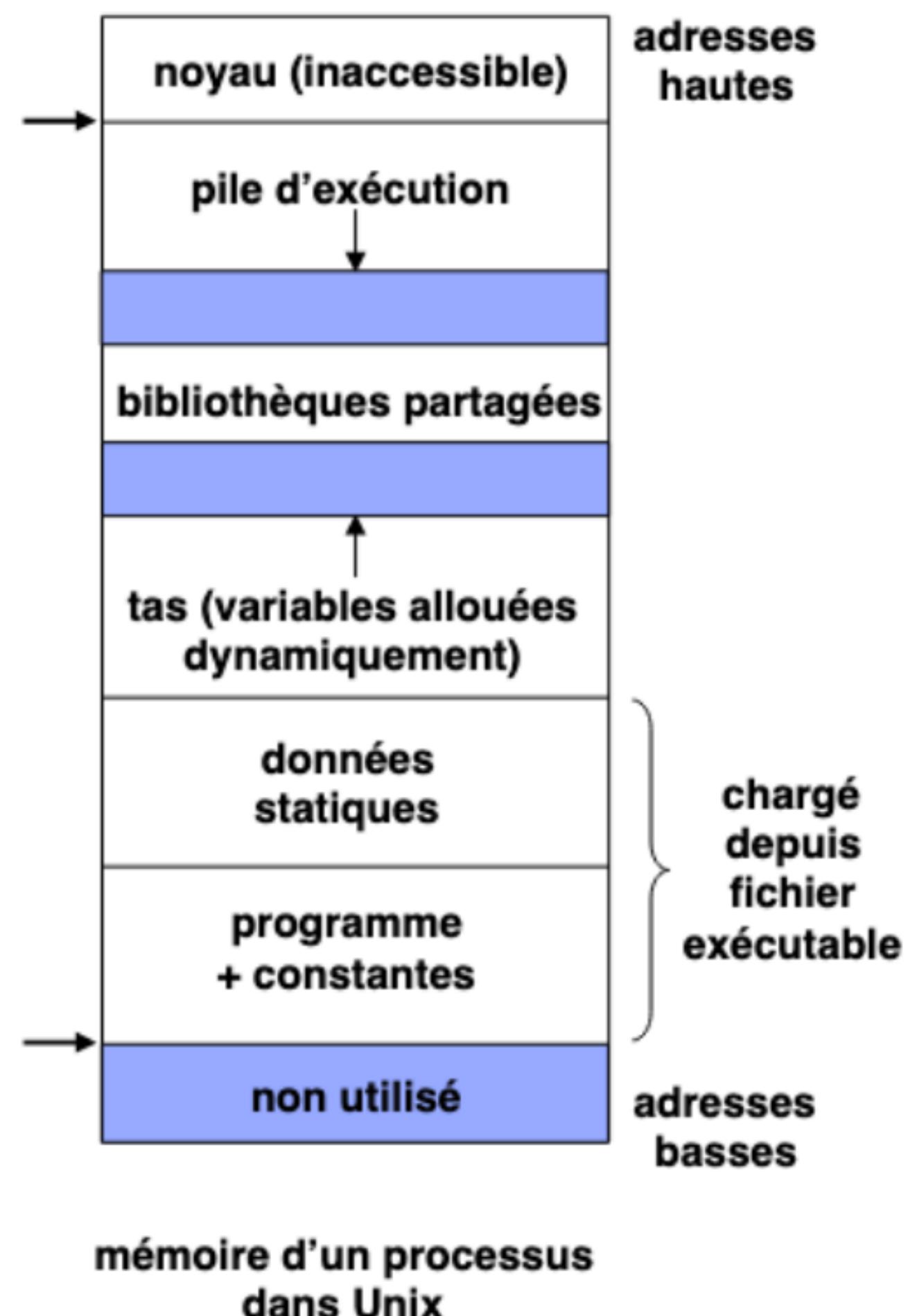


États d'un processus

Informations associées à un processus (UNIX)

- Chaque processus est identifié par un PID (*Process Identifier*) unique
 - Assigné par l'OS
 - De manière *aléatoire*
 - Max PID par défaut: 32768 ou 4194304
 - `cat /proc/sys/kernel/pid_max`
 - La fonction `getpid()` permet d'obtenir l'identifiant du processus courant
- L'état du processus comprend:
 - L'état de la mémoire virtuelle
 - La valeur du compteur d'instruction
 - La valeur des registres
 - etc.

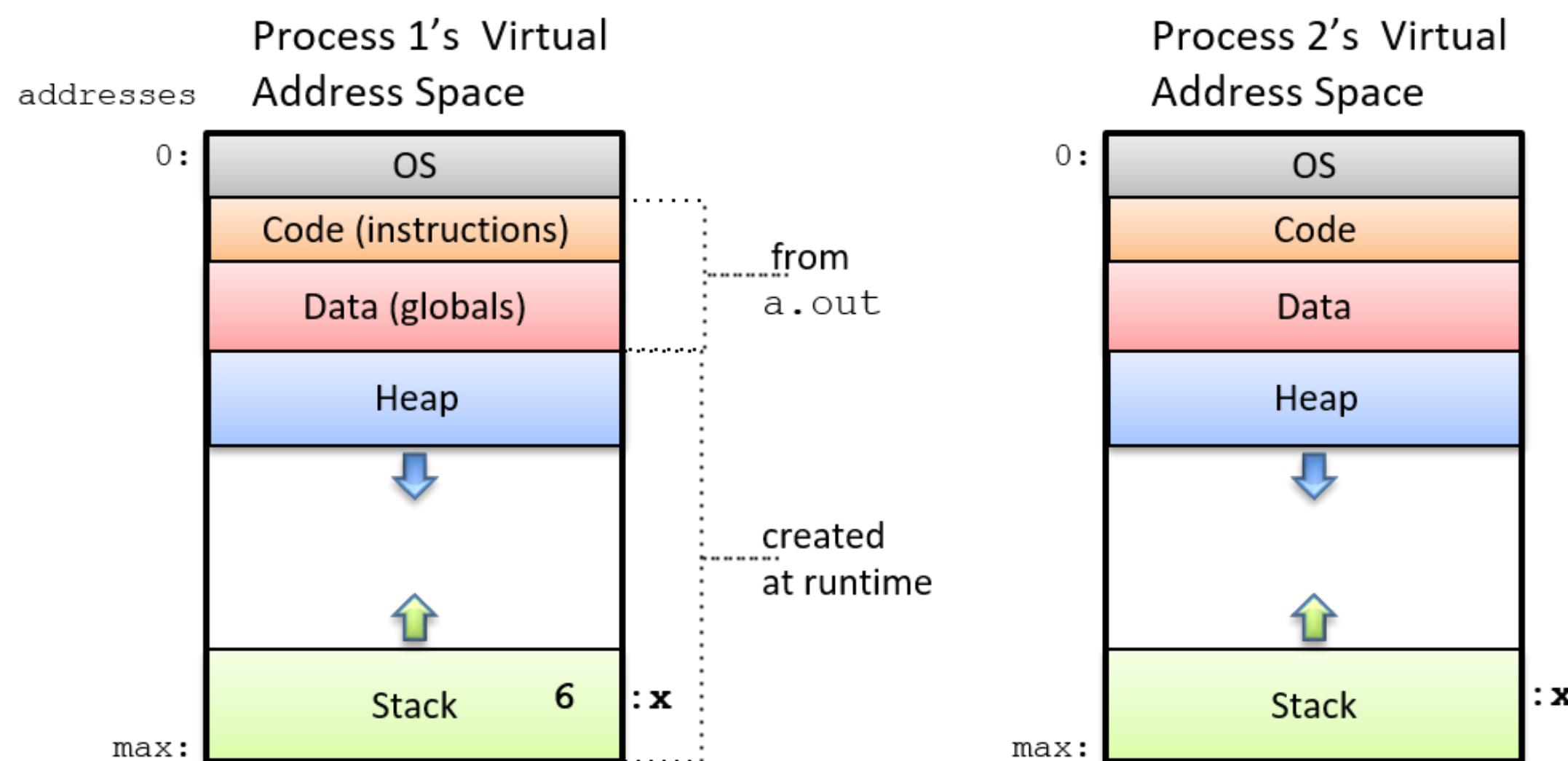
Mémoire virtuelle



Mémoire virtuelle

Le mémoire virtuelle de chaque processus est organisée de la même manière

- L'OS (avec l'aide du matériel) se charge de traduire les adresses virtuelles en adresses physiques
- La taille de la mémoire virtuelle = 2^n
 - $n = 32$ sur les systèmes 32 bits
 - $n = 64$ sur les systèmes 64 bits (en réalité $n = 48$ sur les systèmes actuels)



Crédits: Dive into Systems S. J. Matthews et al. -- (Attention: représentation inversée par rapport à la figure précédente)

Environnement d'un processus (1)

- ▶ **Dans Unix, un processus a accès à un certain nombre de variables qui constituent son environnement.**
 - ▶ faciliter la tâche de l'utilisateur en évitant d'avoir à redéfinir tout le contexte du processus (nom de l'utilisateur, de la machine, terminal par défaut, etc.)
 - ▶ personnaliser différents éléments comme le chemin de recherche des fichiers, le répertoire de base (home), le shell utilisé, etc.
- ▶ **Certaines variables sont prédéfinies dans le système. L'utilisateur peut les modifier, et peut aussi créer ses propres variables d'environnement.**
 - ▶ La commande **env** (sans paramètres) affiche l'environnement courant
 - ▶ **Pour attribuer la valeur <val> à la variable VAR,**
 - ▶ Shell tcsh : **setenv VAR <val>**
 - ▶ Shell bash : **export VAR=<val>**
 - ▶ **La commande echo \$VAR affiche la valeur courante de la variable VAR**

Environnement d'un processus (2)

On peut aussi consulter et modifier les variables d'environnement par programme

```
#include <stdlib.h>
char * getenv (const char *nom) ;
int putenv (const char *chaine) ;
int setenv (const char *nom, const char *valeur, int écraser) ;
int unsetenv (const char *nom) ;
```

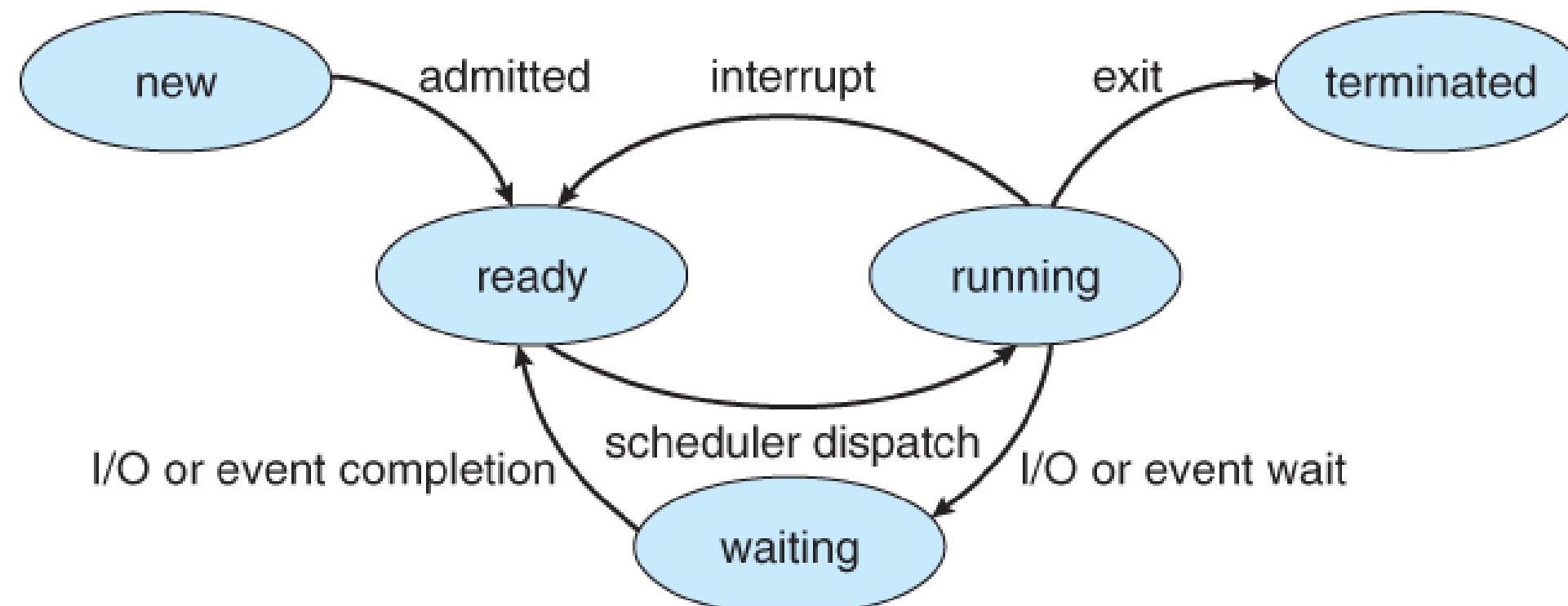
Exemples :

```
char *var = getenv("USER");
if (var != NULL) printf("utilisateur: %s", var);

putenv("MAVARIABLE=toto");
setenv("MAVARIABLE", "toto", 1);

unsetenv("MAVARIABLE"); // équivalent à putenv("MAVARIABLE") !!!
```

État d'un processus



- **New:** Le processus est en train d'être créé
- **Ready:** Le processus est prêt à s'exécuter mais l'OS a choisi d'exécuter un autre processus
- **Running:** Le processus est en train de s'exécuter sur le processeur
- **Waiting:** Le processus est bloqué en attente (par exemple d'une entrée au clavier)
- **Terminated:** Le processus est terminé

Crédits: Figure by Silberschatz et al.

API pour manipuler des processus

Manipuler des processus dans les systèmes UNIX

3 ensembles de fonctions

- *fork()* pour la création
- *exec()* pour le chargement d'un nouvel exécutable
- *wait()* pour attendre la terminaison d'un processus

Créer un nouveau processus

- Appel système `fork()`
 - `pid_t fork(void)`
 - Crée un nouveau processus (processus fils) **identique** au processus appelant (processus père)
 - Valeur de retour:
 - 0 pour le fils
 - `pid` du fils pour le père (ou -1 si le processus n'a pas pu être créé)

```
pid_t pid = fork();
if (pid == 0) { /* Le père et le fils exécutent ceci */
    printf("hello from child\n");
} else {
    printf("hello from parent\n");
}
```

Attention: `fork()` est appelé une fois et retourne deux fois (une fois dans le père et une fois dans le fils)

Informations en plus sur fork()

- Le père et le fils exécutent le même code
 - La seule chose qui diffère est la valeur renvoyée par `fork()`
- L'état du fils est une copie de l'état du père. Il a sa propre copie (privée):
 - de la mémoire virtuelle
 - des variables d'environnement
 - de la liste de fichiers ouverts
 - etc.
- L'ordre d'exécution est non déterministe
 - Une fois le fils créé, le père et le fils sont prêt à s'exécuter
 - Qui s'exécute en premier après l'appel à `fork()` (le père? le fils? les deux?)
 - Par d'ordre prédéfini

Terminaison d'un processus

Auto destruction

- Appel explicite à `exit()` par le processus
 - `void exit(int status)`
 - Par convention, `status == 0` signifie *succès*
 - Renvoyer une valeur différente de 0 signifie *erreur*

Tuer un processus

- On peut envoyer un signal à un processus pour le tuer (`SIG_TERM` ou `SIG_KILL`)
 - commande `kill`
 - `Ctrl+C`

Processus démons

- Certains processus ne se terminent jamais
 - Processus démons réalisant des fonctions du système

Attente d'un processus

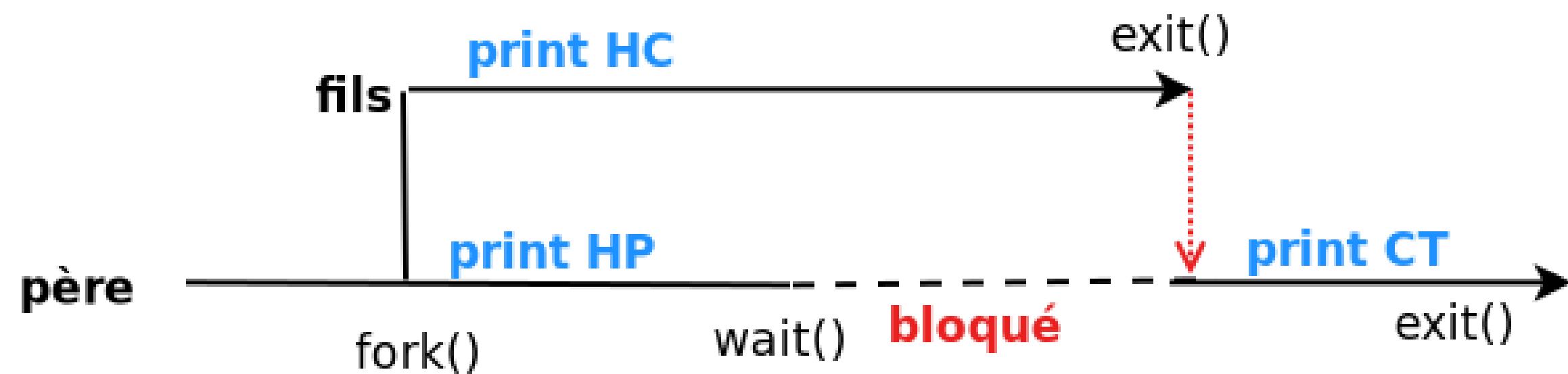
- `pid_t wait(int *child_status)`
 - Bloque le processus appelant jusqu'à ce que l'un de ses processus fils termine
 - La valeur renournée est le pid du fils terminé
 - Si `child_status != NULL`, la variable pointée se voit attribuée un statut décrivant la manière dont le fils s'est terminé
 - Si plusieurs fils ont terminé, un est pris de manière arbitraire
- `pid_t waitpid(pid_t pid, int *child_status, int options)`
 - Bloque le processus appelant en attente d'un processus spécifique
 - Plusieurs options (voir les pages de man)

Exemple d'attente d'un processus fils

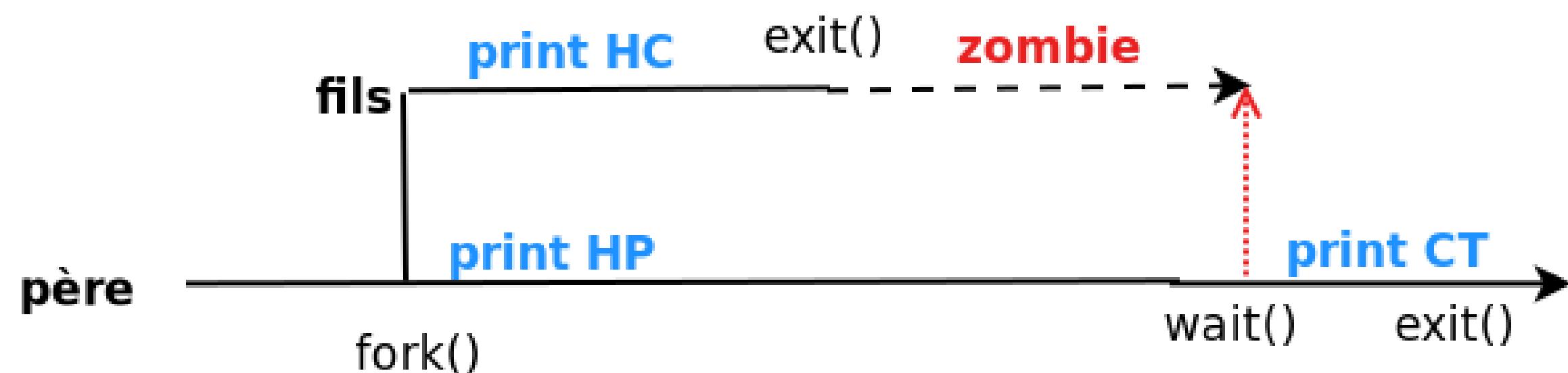
```
int main(void) {
    int child_status;
    if (fork() == 0) {
        printf("HC: hello from child\n");
    }
    else {
        printf("HP: hello from parent\n");
        wait(&child_status);
        printf("CT: child has terminated\n");
    }
    exit(0);
}
```

Exemple d'attente d'un processus fils

Scénario 1



Scénario 2



Processus zombie

Description

- Quand un processus est dans l'état terminated, il consomme encore des ressources
 - L'OS conserve des informations sur le processus
- Le processus est appelé zombie

Supprimer un zombie

- Attente explicite par le processus père (wait() ou waitpid())

Que se passe-t-il si un père se termine sans attendre un processus fils

- Le processus non attendu est reparenté avec un processus *spécial* (souvent appelé init)
 - Ce processus va supprimer les zombies
- Conséquence: Attente explicite indispensable seulement pour les applications ayant une durée de vie très longue (shell, serveur web, etc.)

Analyser le status d'un fils terminé

Utilisation de macros

- WIFEXITED() et WEXITSTATUS() (voir man 2 wait)

```
int main()
{
    pid_t pid;
    int child_status;
    if ((pid = fork()) == 0)
        exit(EXIT_SUCCESS); /* Child */

    pid_t wpid = wait(&child_status);
    if (WIFEXITED(child_status)){
        printf("Child %d terminated with exit status %d\n",
               wpid, WEXITSTATUS(child_status));
    }
    else
        printf("Child %d terminated abnormally\n", wpid);
}
```

Exécuter un nouveau programme dans un processus

Utilisation d'un primitive exec

- Appel système
 - ```
int execve(char *path, char * argv[], char * envp[]);
```
- Reconfigure complètement l'état du processus appelant
  - Charge l'exécutable pointé par path
  - Avec la liste d'arguments argv (terminée par une entrée NULL)
    - Par convention argv[0] est le nom de l'exécutable
  - Avec la liste de variables d'environnement envp
  - La mémoire virtuelle du processus est écrasé
    - Mais le pid est conservé

**Attention: cet appel de retourne pas (à moins d'une erreur)**

# Les différentes variantes d'Exec

---

- ▶ **Il existe 6 versions différentes de la primitive Exec:**
  - ▶ execv, execve, execvp, execl, execle, execlp
- ▶ **Nuances**
  - ▶ Passage des paramètres
    - Sous forme de tableau de pointeurs (v) : execv, execve, execvp
    - Sous forme de liste (l) : execl, execle, execlp
  - ▶ Passage de l'environnement
    - Explicite : paramètre pointeur vers tableau de pointeurs (e) : execve, execle
    - Implicite (héritage de l'environnement courant) : les autres primitives
  - ▶ Chemin de l'executable
    - Recherche dans le PATH (p) : execlp, execvp
    - Nécessité de spécifier le chemin complet : les autres primitives
- ▶ **En général, une seule de ces primitives est fournie par le système d'exploitation (execve) et les autres sont construites au dessus dans des bibliothèques**

# Exemple avec exec

```
int main(void) {
 int res;
 if (fork() == 0) { /* le fils charge le programme cp */
 res = execl("/usr/bin/cp", "cp", "foo", "bar", NULL);
 if (res < 0) {
 printf("error: execl failed\n");
 exit(-1);
 }
 }
 wait(&res); /* le père attend le fils */
 if (WIFEXITED(res) && (WEXITSTATUS(res) == 0)) {
 printf("copy completed successfully\n");
 } else {
 printf("copy failed\n");
 }
 exit(0);
}
```

# Résumé

- La notion de processus
  - Informations associées
  - État
  - Mémoire virtuelle
- Manipuler des processus
  - Création
  - Attente
  - Exécuter un nouveau programme