Programmation des systèmes

Gestion des processus

Philippe MARQUET
Philippe.Marquet@lifl.fr
Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille
Université des sciences et technologies de Lille

Licence d'informatique de Lille
février 2005
révision de janvier 2012

- La dernière version de ce cours est accessible à
  www.lifl.fr/~marquet/cnl/pds/
- $Id: ps.tex,v 1.20 2012/11/27 23:17:54 marquet Exp $

Références & remerciements

- *Unix, programmation et communication*
  Jean-Marie Rifflet et Jean-Baptiste Yunès
  Dunod, 2003
- *Introduction aux Systèmes et aux Réseaux*
  Sacha Krakowiak
  Cours de Licence informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble
- *The Single Unix Specification*
  The Open Group
  www.unix.org/single_unix_specification/
- `man` section 2

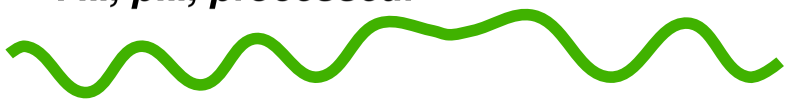
Table des matières

Notion de processus

Processus & programme

- Programme
  - description statique
  - code, suite d'instructions
- Processus
  - activité dynamique, temporelle
  - vie d'un processus : création d'un processus, exécution, fin d'un processus
- *Un* processus est *une* instance d'exécution d'un programme
  - plusieurs exécutions de programmes
  - plusieurs exécutions d'un même programme
  - plusieurs exécutions « simultanées » de programmes différents
  - plusieurs exécutions « simultanées » d'un même programme

P..., p..., processeur



- Programme, processus... processeur
  - entité matérielle
  - désigne l'utilisation du processeur
- Affectation du processeur à un processus
  - pour un temps donné
  - permet de faire progresser le processus
- Choix de cette affectation = ordonnancement
  - système multiprocessus
  - choix à la charge du système d'exploitation (...à suivre)
- P..., p..., p..., parallélisme, pseudo-parallélisme
  - plusieurs processus, un processeur
  - entrelacement des processus
  - exécutions séquentielles / exécutions parallèles (deux processeurs) / différents exécutions entrelacées

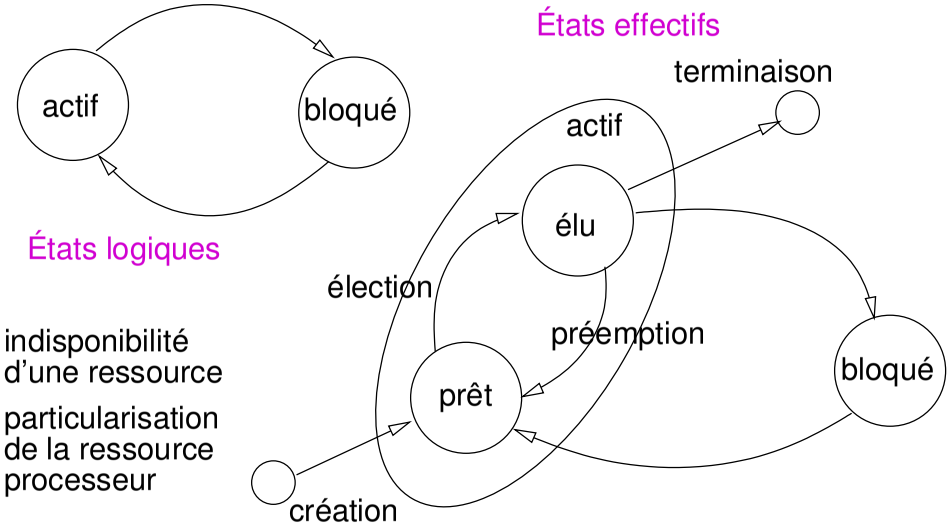
Processus = abstraction !

- Processus = exécution abstraite d'un programme
  - indépendante de l'avancement réel de l'exécution
- Exécution d'un programme = réunion des instants d'exécution réelle du programme
  - dépend de la disponibilité du processeur
- Processus = abstraction
  - désigne une entité identifiable
  - par exemple : priorité d'un processus
  - parallélisme, simultanéité, interaction... de deux processus
- Compétition (*race condition*)
  - résultats de deux processus dépend de cet entrelacement
  - par exemple à cause d'accès partagés à un ficher...
  - à éviter

Processus & ressources

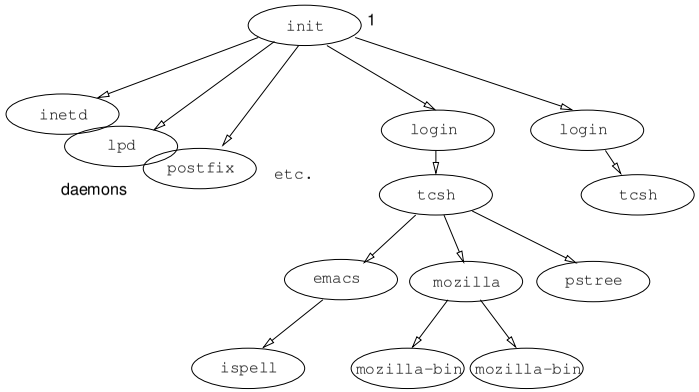
- Processus = exécution d'un programme
  - requiert des ressources
- Ressource
  - entité nécessaire à l'exécution d'un processus
  - ressources matérielles : processeur, périphérique...
  - ressources logicielles : variable...
- Caractéristiques d'une ressource
  - état : libre, occupée
  - nombre de possibles utilisations concurrentes (ressource à accès multiples)
- Ressources indispensables à un processus
  - mémoire propre (mémoire virtuelle)
  - contexte d'exécution (état instantané du processus)
    - pile (en mémoire)
    - registres du processeur

États d'un processus



Hiérarchie des processus

- Création d'un processus par un processus père
  - ⇒ hiérarchie
  - processus ancêtre `init`



Attributs d'un processus

- Identification univoque
  - *process ID*
  - numéro entier `pid_t`
  - numéro du processus père

```
#include <unistd.h>

pid_t getpid();
pid_t getppid();
```

- Propriétaire
  - propriétaire réel
  - utilisateur qui a lancé le processus, son groupe
- Propriétaire effectif, et son groupe
  - détermine les droits du processus
  - peut être modifié / propriétaire réel

```
#include <unistd.h>

uid_t getuid();
gid_t getgid();

uid_t geteuid();
gid_t getegid();

int setuid(uid_t uid)
int setgid(gid_t gid)
```

Attributs d'un processus *(cont'd)*

- Répertoire de travail
  - origine de l'interprétation des chemins relatifs

```
#include <unistd.h>

char *getcwd(char *buffer, size_t bufsize);
```

    retourne `NULL` en cas d'échec
  - peut être changé

```
#include <unistd.h>

int chdir(const char path);
```

- Date de création du processus
  - en secondes depuis l'*epoch*, 1er janvier 1970
- Temps CPU consommés
  - par le processus / par ses processus fils terminés
  - en mode utilisateur / en mode noyau
  - structure `struct tms`

Attributs d'un processus *(cont'd)*

- Temps CPU consommés (cont'd)
  -

```
#include <sys/times.h>

clock_t times(struct tms *buffer);
```

  - retourne le temps en tics horloge depuis un temps fixe dans le passé (démarrage du système par exemple)
  - retourne 4 champs dans la structure `struct tms`

```
struct tms {
    clock_t tms_utime;   /* User CPU time. */
    clock_t tms_stime;   /* System CPU time. */
    clock_t tms_cutime;  /* User CPU time of terminated
                                              child processes. */
    clock_t tms_cstime;  /* System CPU time of
                                         terminated child processes. */
```

  - tics horloge survenus alors que le processus était actif
  - conversion en secondes par division par la constante de configuration `_SC_CLK_TCK`

Attributs d'un processus *(cont'd)*

mtime.c

```
static clock_t st_time;
static clock_t en_time;
static struct tms st_cpu;
static struct tms en_cpu;

static float
tics_to_seconds(clock_t tics)
{
    return tics/(float)sysconf(_SC_CLK_TCK);
}

void
start_clock()
{
    st_time = times(&st_cpu);
}

void
end_clock()
{
    en_time = times(&en_cpu);

    printf("Real Time: %.2f, User Time %.2f, System Time %.2f\n",
           tics_to_seconds(en_time - st_time),
           tics_to_seconds(en_cpu.tms_utime - st_cpu.tms_utime),
           tics_to_seconds(en_cpu.tms_stime - st_cpu.tms_stime));
}
```


Attributs d'un processus *(cont'd)*

- Masque de création des fichiers
  - droits ne pouvant être positionnés lors de la création d'un fichier par `open()`/`create()`
  - voir le cours système de fichiers...
- Table des descripteurs de fichiers
  - voir le cours système de fichiers...
- Variables d'environnement

Lancement d'un programme

- Lancement d'un programme réalisé en deux étapes
  - création d'un nouveau processus par clonage de son père
    - *copie* du processus père
    - sauf l'identité, `pid`
  - mutation pour exécuter un nouveau programme
- Seul mécanisme possible
- Clonage
  - appel système `fork()`
- Mutation
  - appel système `execve()`
  - famille de fonctions de bibliothèque `exec*()`

Clonage de processus

- Appel système `fork()`
  - `#include <unistd.h>`

    `pid_t fork(void);`
  - duplique le processus courant
  - retourne le `pid` du processus fils créé dans le processus père
  - retourne 0 dans le processus fils
  - retourne -1 en cas d'erreur

Clonage de processus – exemple

fork.c

```
int
main()
{
    pid_t status;

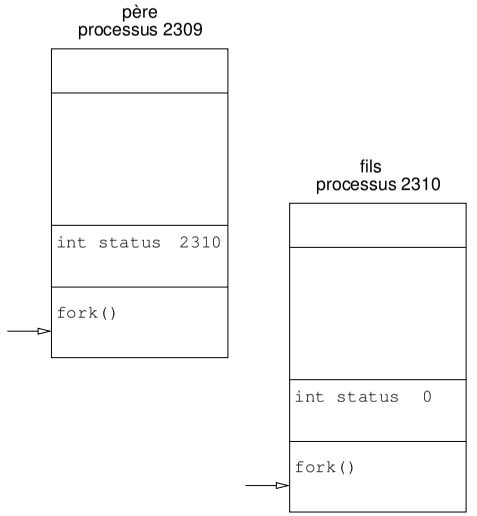
    printf("[%d] Je vais engendrer\n", getpid());

    status = fork();
    switch (status) {
        case -1 :
            perror("Creation processus");
            exit(EXIT_FAILURE);
        case 0 :
            printf("[%d] Je viens de naitre\n", getpid());
            printf("[%d] Mon pere est %d\n", getpid(), getppid());
            break;
        default:
            printf("[%d] J'ai engendre\n", getpid());
            printf("[%d] Mon fils est %d\n", getpid(), status);
    }

    printf("[%d] Je termine\n", getpid());

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```


Clonage de processus – exécution




```
% ./fork
[2309] Je vais engendrer
[2310] Je viens de naitre
[2310] Mon pere est 2309
[2310] Je termine
[2309] J'ai engendre
[2309] Mon fils est 2310
[2309] Je termine
```

Héritage père/fils

- Mémoire du processus fils = *copie* de la mémoire du processus père
- Copie de références = partage
  - la mémoire du père est copiée pour créer la mémoire du fils
  - la mémoire du processus *référence* des structures systèmes
  - des structures systèmes restent partagées entre père et fils
- Conséquences de la copie de la mémoire
  - tampons d'écriture de la bibliothèque standard d'entrées/sorties dupliqués
  - vider ce tampon avant `fork()` (par un appel à `fflush()`)
  - problème des tampons de lecture

Héritage père/fils *(cont'd)*

noflush.c

```
int
main()
{
    pid_t status;

    printf("debut ");
    status = fork();
    switch (status) {
        case -1 :
            perror("Creation processus");
            exit(EXIT_FAILURE);
        case 0 :
            printf("[%d] fils\n", getpid());
            break;
        default:
            printf("[%d] pere\n", getpid());
    }

    printf("[%d] fin\n", getpid());

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
% ./noflush
debut [2983] pere
[2983] fin
debut [2984] fils
[2984] fin
```


Héritage père/fils *(cont'd)*

- Conséquences du partage de structures systèmes
  - descripteurs de fichiers dupliqués
  - mais entrées dans *la* table des fichiers ouverts partagées (`f_pos`...)

Héritage père/fils *(cont'd)*

fdshare.c

```
int
main(int argc, char *argv[])
{
    int fd;
    char buf[10];

    fd = open(argv[1], O_RDWR);
    assert(fd != -1);

    read(fd, buf, 2);

    switch (fork()) {
        case -1 :
            perror("Creation processus");
            exit(EXIT_FAILURE);
        case 0 :
            write(fd, "foo", 3);
            sleep(2);
            read(fd, buf, 3); buf[3]='\0';
            printf("[%d] fils a lu '%s'\n", getpid(), buf);
            break;
        default:
            write(fd, "bar", 3);
            sleep(1);
            read(fd, buf, 3); buf[3]='\0';
            printf("[%d] pere a lu '%s'\n", getpid(), buf);
    }

    close(fd);
    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
% echo _123456789_12345_ > xampl
% ./fdshare xampl
[3101] pere a lu '89_'
[3102] fils a lu '123'
% cat xampl
_1barfoo89_12345_
%
```

Héritage père/fils (cont'd)

- Attributs non copiés
  - explicitement gérés par le système
  - numéro de processus !
  - numéro de processus du père !!
  - temps d'exécution remis à zéro
  - verrous sur les fichiers détenus par le père
  - signaux (...à suivre)
- Coût de la copie mémoire ?
  - sémantique = copie
  - performance = pas de copie systématique
  - *copy on write* des pages mémoires

Terminaison des fils

- Processus termine
  - appel `_exit()`
  - appel `exit()` : ferme les fichiers ouverts
  - positionne une *valeur de retour*
  - succès ≡ `exit(0)`
- Processus père peut consulter cette valeur de retour
  - indication de la terminaison du fils : succès ou échec...
- Attente de la terminaison d'un fils
  - ```
    #include <sys/wait.h>

    pid_t wait(int *pstatus);
    ```
  - retourne le PID du fils
  - -1 en cas d'erreur (n'a pas de fils...)
  - bloquant si aucun fils n'a terminé
  - `*pstatus` renseigne sur la terminaison du fils

Terminaison des fils (cont'd)

- Renseignements concernant la terminaison d'un fils
  - rangées dans l'entier `status` pointé par `pstatus`
  - raison de la terminaison

macro	signification
`WIFEXITED(status)`	le processus a fait un `exit()`
`WIFSIGNALED(status)`	le processus a reçu un signal (...à suivre)
`WIFSTOPPED(status)`	le processus a été stoppé (...à suivre)

  - valeur de retour
    - si `WIFEXITED(status)` !
    - 8 bits de poids faible seulement
    - accessible par la macro `WEXITSTATUS(status)`
  - numéro de signal ayant provoqué la terminaison / l'arrêt
    - si `WIFSIGNALED(status)` / `WIFSTOPPED(status)` !
    - accessible par la macro `WTERMSIG(status)` / `WSTOPSIG(status)`

Terminaison des fils (cont'd)

waitexit.c

```
int
main(int argc, char *argv[])
{
    int status;
    pid_t pid, pidz;

    switch (pid = fork()) {
        case -1 :
            perror("Creation processus");
            exit(EXIT_FAILURE);
        case 0 :
            printf("[%d] fils eclair\n", getpid());
            exit(2);
        default:
            printf("[%d] pere a cree %d\n", getpid(), pid);
            pidz = wait(&status);
            if (WIFEXITED(status))
                printf("[%d] mon fils %d a termine normlement,\n"
                       "[%d] code de retour: %d\n",
                       getpid(), pidz,
                       getpid(), WEXITSTATUS(status));
            else
                printf("[%d] mon fils a termine anormlement\n", getpid());
    }

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
% ./waitexit
[3774] pere a cree 3775
[3775] fils eclair
[3774] mon fils 3775 a termine normlement,
[3774] code de retour: 2
```
```

Terminaison des fils *(cont'd)*

- Attente d'un fils désigné
  - primitive

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

pid_t waitpid(pid_t pid, int *pstatus, int options);
```

  - `pid` désigne le fils à attendre
  - `pid` à -1 ≡ fils quelconque
  - `options` combinaison binaire

`WNOHANG`	appel non bloquant
`WUNTRACED`	processus stoppé

Processus orphelins

- Terminaison d'un processus parent ne termine pas ses processus fils
  - les processus fils sont orphelins
- Processus initial `init` (PID 1) récupère les processus orphelins
  - autre exécution de notre programme `fork.c`

Processus orphelins *(cont'd)*

fork.c

```
int
main()
{
    pid_t status;

    printf("[%d] Je vais engendrer\n", getpid());

    status = fork();
    switch (status) {
        case -1 :
            perror("Creation processus");
            exit(EXIT_FAILURE);
        case 0 :
            printf("[%d] Je viens de naitre\n", getpid());
            printf("[%d] Mon pere est %d\n", getpid(), getppid());
            break;
        default:
            printf("[%d] J'ai engendre\n", getpid());
            printf("[%d] Mon fils est %d\n", getpid(), status);
    }

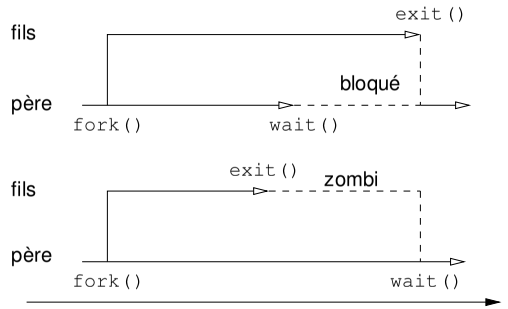
    printf("[%d] Je termine\n", getpid());

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
% ./fork
[3852] Je vais engendrer
[3852] J'ai engendre
[3852] Mon fils est 3854
[3852] Je termine
% [3854] Je viens de naitre
[3854] Mon pere est 1
[3854] Je termine
```


Processus zombis

- Zombi = état d'un processus
  - ayant terminé
  - non encore réclamé par son père
- Éviter les processus zombis
  - système garde des informations relatives au processus
  - pour les retourner à son père
  - encombre la mémoire
- Technique du double `fork()`
  - (voir TD/TP)



Mutation de processus

- Rappel : lancement d'un programme
  - 1- clonage
  - 2- mutation
- Mutation = remplacement
  - remplacement du code à exécuter
  - c'est le *même* processus
  - on parle de recouvrement du processus
- Nouveau programme hérite de l'environnement système
  - même numéro de processus PID, PPID
  - héritage des descripteurs de fichiers ouverts (sauf ...à suivre)
  - pas de remise à zéro des temps d'exécution
  - héritage du masque des signaux (...à suivre)
  - etc.
- Famille de primitives
  - appel système `execve()`
  - fonctions de bibliothèque `exec*()`

Mutation de processus *(cont'd)*

- Appel système
  - `#include <unistd.h>`

```
int execve(const char *filename,
           char *const argv[],
           char *const envp[]);
```

  - va exécuter le programme `filename`
  - ne retourne pas, sauf erreur de recouvrement

Rappel sur `main()`

- Prototype général de la fonction
  - `int main (int argc, char *argv[], char **envp);`

`argc`	nombre d'arguments +1
`argv[0]`	nom de la commande
`argv[1]` à `argv[argc-1]`	arguments
`envp`	variables d'environnement

Appel système `execve()`

- Appel système
  - `int execve(const char *filename,`
    `char *const argv[],`
    `char *const envp[]);`
  - va exécuter le programme `filename`
  - qui, s'il correspond à un programme C, invoquera
    `int main(int argc,`
    `char *const argv[],`
    `char *const envp[]);`
- De manière générale
  - le fichier désigné par `filename` est exécuté
  - avec les arguments `argv[]`
  - et les variables d'environnement `envp`

Appel système `execve()` *(cont'd)*

execve.c

```
int
main(int argc, char *argv[], char **arge)
{

    execve(argv[1], argv+1, arge);
    perror ("recouvrement");

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
% ls r*.c
race.c  rdtty.c  readdir.c
% which ls
/bin/ls
% /bin/ls r*.c
race.c          rdtty.c         readdir.c

% ./execve /bin/ls r*.c
race.c          rdtty.c         readdir.c

% ./execve ls r*.c
recouvrement: No such file or directory

% ./execve /bin/ls y*.c
tcsh: ./execve: No match.

% ./execve /bin/ls y.c
ls: y.c: No such file or directory
```


La famille `exec*()`

- Plusieurs fonctions de bibliothèque
  - écrites au dessus de `execve()`
  - différents moyens de passer les paramètres : tableau, liste
  - spécification ou non des variables d'environnement
- Deux spécifications de la commande à exécuter
  - chemin complet, `filename`
    - absolu ou relatif
  - nom de commande, `command`
    - recherchée dans les chemins de recherche, `$PATH`

```
#include <unistd.h>

int execl(const char *filename, const char *arg0, ... /*, (char *)0 */);
int execv(const char *filename, char *const argv[]);
int execle(const char *filename, const char *arg0, ...
                            /*, (char *)0, char *const envp[]*/);
int execlp(const char *command, const char *arg0, ... /*, (char *)0 */);
int execvp(const char *command, char *const argv[]);
```


La famille `exec*()` *(cont'd)*

- Illustration
  - exécution du programme `ls`

```
% ls race.c rdtty.c
race.c          rdtty.c
% which ls
/bin/ls
```

  - par différents appels d'`exec*()` :

```
char *argv[]={"ls", "race.c", "rdtty.c", (char *)0};

execv("/bin/ls", argv);

execvp("ls", argv);

execl("/bin/ls", "ls", "race.c", "rdtty.c", (char *)0);

execlp("ls", "ls", "race.c", "rdtty.c", (char *)0);
```


Complémentarité `fork()` et `exec*()`

- Faire exécuter un programme par un nouveau processus
  - nouveau processus pour chaque commande exécutée
  - ce que fait le shell

pid.c

```
int
main()
{
    printf("Je suis %5d de pere %5d\n",
           getpid(), getppid());

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

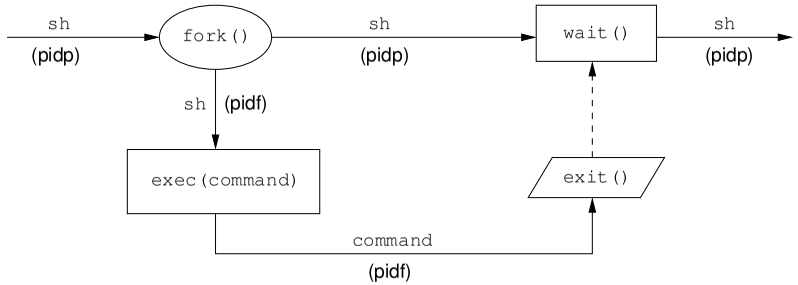
```
% ./pid
Je suis  7851 de pere   717
% ./pid
Je suis  7852 de pere   717
% echo $$
717
```

  - erreur dans le programme n'affecte pas le shell
  - changement d'attributs dans le programme n'affectent pas le shell
  - (sauf commandes internes : par exemple `cd`...)
- Réalisation en deux étapes
  - 1- clonage `fork()`
  - 2- mutation `exec*()`
- Souplesse de par la combinaison deux primitives
  - réalisation d'opérations entre le `fork()` et l'`exec*()`
  - exemple : redirection des entrées/sorties standard (...à suivre)

L'exemple du shell

- Exécution d'une commande `command` par le shell `sh`

```
% command
%
```

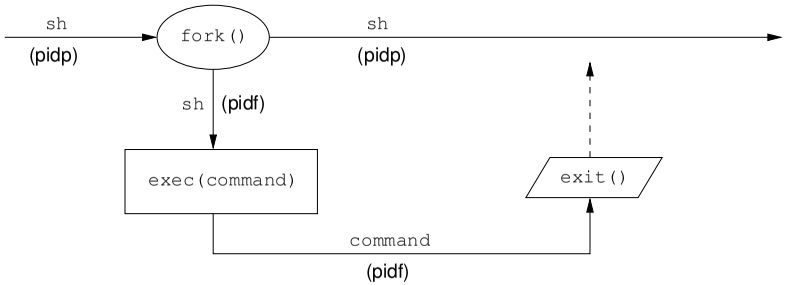


- 4 primitives `fork()`, `exec()`, `exit()`, et `wait()`

L'exemple du shell *(cont'd)*

- Exécution en arrière plan d'une commande `command` par le shell `sh`

```
% command &
%
```



- Le shell n'attend plus la terminaison de son fils

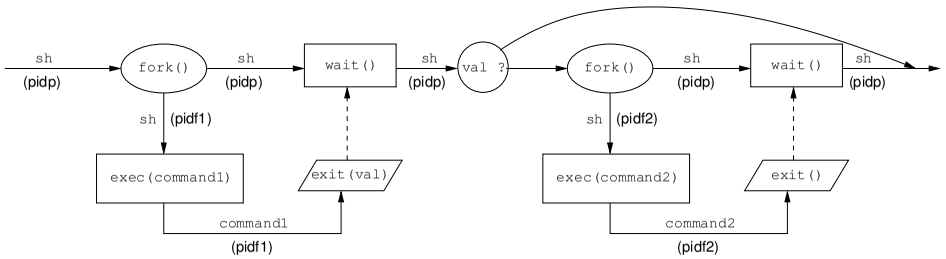
L'exemple du shell *(cont'd)*

- Exécution conditionnelle
  - d'une commande `command2`
  - suivant le résultat d'une commande `command1`

```
% command1 && command2
%
```

ou

```
% command1 || command2
%
```



Héritage des descripteurs lors de mutation

- Descripteurs de fichiers sont hérités par le nouveau programme
  - largement utilisé par le shell pour assurer les redirections
  - exemple :

```
% cmd > out
```

  - le shell associe le descripteur 1, `STDOUT_FILENO` à un fichier `out` (voir `dup()` ...à suivre)
  - `exec("cmd", ...)`
  - le programme `cmd` écrit sur `STDOUT_FILENO`
  - ... qui référence le fichier `out`

Héritage des descripteurs lors de mutation *(cont'd)*

- Sauf si positionnement de l'option *close on exec* sur le descripteur
  - positionnement de `FD_CLOEXEC` par un appel à `fcntl()`

cloexec.c

```
int
main(int argc, char *argv[])
{
    fcntl(STDOUT_FILENO, F_SETFD,
          fcntl(STDOUT_FILENO, F_GETFD, 0) | FD_CLOEXEC);

    execvp(argv[1], argv+1);
    perror ("execvp");

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
% ./cloexec true

% ./cloexec ls
ls: write error: Bad file descriptor
```


Redirections des entrées/sorties

- Associer un descripteur de fichier *donné* à un fichier
  - exemple associer le descripteur de fichier donné 1, `STDOUT_FILENO` au fichier `out`
  - les écritures avec le descripteur `STDOUT_FILENO` se feront dans le fichier `out`
- Primitive POSIX
  - `#include <unistd.h>`

    `int dup(int fildes);`
  - recherche le *plus petit descripteur* disponible
  - en fait un synonyme du descripteur `fildes`
  - les deux descripteurs partagent la même entrée dans la table des fichiers ouverts du système
  - écrire (/lire) dans ce *plus petit descripteur* revient à écrire (/lire) dans le fichier référencé par `fildes`
- Ce *plus petit descripteur* correspond à un fichier qui vient d'être fermé...

Redirections des entrées/sorties *(cont'd)*

- Primitive POSIX `dup2()`
  - explicitation du descripteur synonyme créé !
  - `#include <unistd.h>`

    `int dup2(int fildes, int fildes2);`
  - force `fildes2` à devenir un synonyme de `fildes`
  - ferme le descripteur `fildes2` préalablement si nécessaire
- Utilisations ultérieures de `fildes2`
  - référencent le fichier identifié par `fildes`
- Exemples

dup2pr.c (début)

```
static void
print_inode(const char *str, int fd)
{
    struct stat st;

    fstat(fd, &st);
    fprintf(stderr, "\t%s : inode %d\n", str, st.st_ino);
}
```


Redirections des entrées/sorties *(cont'd)*

dup2pr.c (suite et fin)

```
int
main(int argc, char *argv[])
{
    int fdin, fdout;

    fdin  = open(argv[1], O_RDONLY);
    fdout = open(argv[2], O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC, S_666);

    fprintf(stderr, "Avant dup2() :\n");
    print_inode("fdin", fdin);
    print_inode("fdout", fdout);
    print_inode("stdin", STDIN_FILENO);
    print_inode("stdout", STDOUT_FILENO);

    dup2(fdin,  STDIN_FILENO);
    dup2(fdout, STDOUT_FILENO);

    fprintf(stderr, "Apres dup2() :\n");
    print_inode("fdin", fdin);
    print_inode("fdout", fdout);
    print_inode("stdin", STDIN_FILENO);
    print_inode("stdout", STDOUT_FILENO);

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
% ls -i foo bar
ls: bar: No such file or directory
1083956 foo
% ./dup2pr foo bar
Avant dup2() :
        fdin : inode 1083956
        fdout : inode 1083620
        stdin : inode 51125508
        stdout : inode 51125508
Apres dup2() :
        fdin : inode 1083956
        fdout : inode 1083620
        stdin : inode 1083956
        stdout : inode 1083620
```

Redirections des entrées/sorties *(cont'd)*

dup2cat.c

```
static void
cat()
{
    unsigned char buffer[BSIZE];
    int nread;

    while((nread=read(STDIN_FILENO, buffer, BSIZE)))
        write(STDOUT_FILENO, buffer, nread);
}

int
main(int argc, char *argv[])
{
    int fdin, fdout;

    fdin  = open(argv[1], O_RDONLY);
    fdout = open(argv[2], O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC, S_666);

    dup2(fdin,  STDIN_FILENO);
    dup2(fdout, STDOUT_FILENO);

    close(fdin);
    close(fdout);

    cat();

    close(STDIN_FILENO);
    close(STDOUT_FILENO);

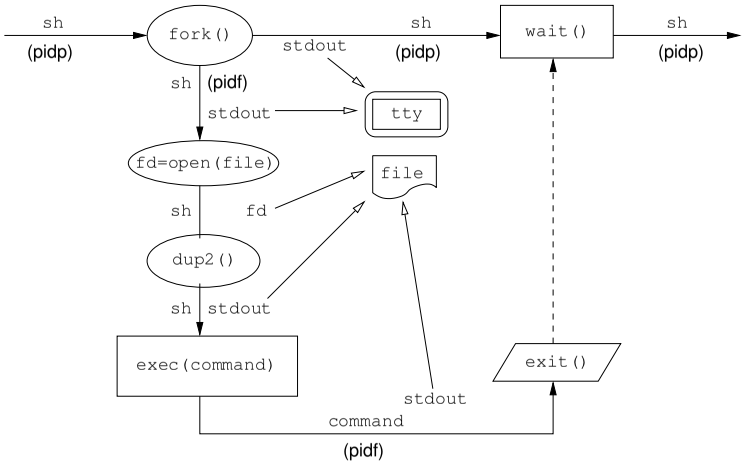
    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
% cat bar
% cat foo
azerty
qwerty
dvorak
% ./dup2cat foo bar
% cat bar
azerty
qwerty
dvorak
```


Redirection : l'exemple du shell

- Exécution d'une commande `command` redirigée sur un fichier `file`

```
% command > file
%
```



Éléments d'ordonnancement des processus

Ordonnancement = virtualisation

- Multiprogrammation
  - plusieurs processus *prêts*
  - un seul processeur
- Virtualisation du processeur
  - chaque processus détient le processeur tour à tour
- Ordonnancement
  - définition et mise en œuvre de ce « tour à tour »
  - choisir le processus *élu*
- Cœur du système d'exploitation
  - bien que tout algorithme d'ordonnancement puisse convenir...
  - voir ASE, l'an prochain
- Ce que nous allons voir ici
  - très grandes lignes de quelques algorithmes d'ordonnancement
  - norme POSIX, système Unix
  - paramétrage par l'utilisateur

Objectif d'un algorithme d'ordonnancement

- Divers et multiples !
  - selon les systèmes d'exploitation
  - systèmes d'exploitation spécialisés
    - temps-réel, multimédia, traitement par lots, interactifs...
  - systèmes d'exploitation généralistes
- Équité
  - attribuer à chaque processus un temps processeur équitable
- Réactif
  - répondre rapidement aux requêtes
- Débit
  - nombre de traitements par unité de temps
- Performance
  - faire en sorte que le processeur soit occupé en permanence
  - faire en sorte que toutes les parties du système soient occupées
- Garanties
  - respecter les échéances

Préemptibilité / quantum

- Préemptibilité des processus
  - ordonnancement préemptif
    - peut interrompre l'exécution d'un processus en cours
    - possibilité de réquisition du processeur
  - ordonnancement non préemptif
    - changement de contexte à la fin du processus, ou
    - changement de contexte volontaire du processus en cours (`yield()`)
- Quantum
  - unité de temps processeur attribué au processus élu
  - réquisition du processeur à la fin du quantum
  - influence de la durée du quantum
    - petit : surcoût des changements de contexte
    - grand : mauvaise réactivité

Priorité des processus

- Propriété d'un processus
  - niveau de priorité
  - dénote l'importance relative des processus
- Numérotation des priorités
  - attention, souvent les processus les plus prioritaires ont un numéro de priorité plus faible !
- Priorité ajustable
  - `#include <unistd.h>`

    `int nice(int incr);`
  - augmente le valeur de priorité du processus
  - donc diminue sa priorité !
  - courtoisie envers les autres utilisateurs
  - `incr` négatif autorisé pour le superutilisateur
- Commande `nice`
  - `nice [-n increment] command [argument...]`

Politiques d'ordonnancement

- Multitudes de politiques possibles
- Trois politiques définies par POSIX
  - premier arrivé, premier servi : *FIFO*, *first-in, firt-out*
  - tourniquet : *RR*, *round robin*
  - autre : en général l'ordonnancement Unix traditionnel
- FIFO
  - non préemptif
  - changement de contexte quand le processus rend la main ou termine
  - POSIX : un nombre fini de niveaux de priorité FIFO
  - processus préempté par un processus plus prioritaire
- Tourniquet
  - processeur alloué successivement à chacun des processus
  - expiration du quantum : réquisition du processeur
  - processus placé en queue de la file d'attente
  - POSIX : un nombre fini de niveaux de priorité RR
  - élection des seuls processus de plus forte priorité

Politiques d'ordonnancement (cont'd)

- Politique Unix classique
  - quantum, à priorité dynamique
  - priorité de base (dite statique) + priorité dynamique
  - principe d'extinction des priorités : évite les famines
  - priorité dynamique diminue au fur et à mesure que le processus consomme du temps processeur
- Ordonnancement POSIX
  - des processus gérés par les trois politiques
  - si un processus associé à FIFO
  - sinon si un processus associé à tourniquet
  - sinon les processus associés à l'autre politique

Primitives d'ordonnancement

- Récupérer les paramètres d'ordonnancement
  - politique d'ordonnancement, une valeur parmi `SCHED_FIFO`, `SCHED_RR`, et `SCHED_OTHER`

```
#include <sched.h>

int sched_getscheduler(pid_t pid);
```

  - structure `struct sched_param`

```
struct sched_param {
    int sched_priority;
    ...
```

  - paramètre de l'ordonnancement

```
#include <sched.h>

int sched_getparam(pid_t pid, struct sched_param *param);
```

- Positionner les paramètres

```
#include <sched.h>

int sched_setscheduler(pid_t pid, int policy,
       const struct sched_param *param)
```


Primitives d'ordonnancement (cont'd)

- Intervalles de priorité

```
#include <sched.h>

int sched_get_priority_max(int policy);
int sched_get_priority_min(int policy);
```

- Quantum
  - dans le seul cas de la politique tourniquet

```
#include <sched.h>

int sched_rr_get_interval(pid_t pid, struct timespec *interval);
```

  - structure `struct timespec`

```
struct timespec {
    time_t tv_sec;            /* Seconds.  */
    long int tv_nsec;         /* Nanoseconds.  */
```

- Utilisation effective
  - faible...
  - sauf FIFO / tourniquet : urgence de processus temps-réel « mou »
  - multimédia sur un système d'exploitation généraliste