

Systèmes d'exploitations

Cours 3: Multi threading

Matthieu Lemerre
CEA LIST

Année 2018-2019

On souhaite développer un atelier d'émission télégraphique 2.0, dont les spécifications sont les suivantes

- Le télégraphiste entrera son texte au clavier. Il ne faut pas oublier de touche (mémoire du clavier limitée).
- Le texte entré sera traduit en morse par la machine.
- La traduction sera affichée sur la LED de la machine (temps d'une unité: 1 seconde, avec une jigue de $\pm 10\text{ms}$)
- On utilisera le temps processeur libre pour accéder à internet et miner du bitcoin

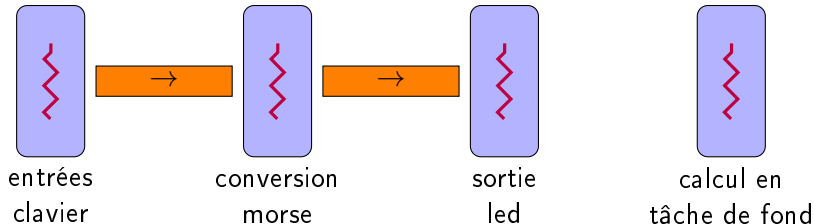
Une tentative en mono-tâche (programme *séquentiel*)

```
char input_buffer[100];
int in_idx = 0;
int out_idx = 0;
_Bool output_buffer[1000];

int last_time;
while(1) {
    if(char_available())
        input_buffer[in_idx++] = getchar();
    int new_time = current_time();
    if(new_time > last_time)
        set_led_to(output_buffer[out]);
    translate_input_to_output();
    // et du code réseau et cryptographique
    //découpé en paquets qui durent < 10 ms
}
```

- Est-ce que la période de 10ms est la bonne pour l'entrée clavier?
- La jigue sur la led est importante en moyenne (mais jigue maximale respectée)
- Découper le code bitcoin en paquets inférieurs <10ms est pénible et fragile

Une tentative en multi-tâche (programme *concurrent*)



4 tâches, deux tuyaux de communication:

- Une tâche réveillée automatiquement à chaque appui sur le clavier (priorité élevée)
- Une tâche qui s'exécute toutes les secondes pour piloter la LED (priorité élevée aussi)
- Une tâche de calcul entre ces deux là (priorité moins importante que ces dernières)
- La fonction de minage de bitcoin (priorité la plus basse).

- Optimiser l'utilisation de la machine
 - Plusieurs fonctionnalités fournies par le même ordinateur
 - Parallélisation des entrées-sorties avec le CPU
- Traiter des évènements asynchrones
 - Interruptions à des instants pas entièrement déterminés
- Simplifier la conception
 - Tâche = unité de partage des ressources entre les objectifs fonctionnels
 - Tâches ayant des échelles de temps différentes
 - Des degrés de criticité différents

Intérêt d'une conception multi-tâche

- Optimiser l'utilisation de la machine
 - Plusieurs fonctionnalités fournies par le même ordinateur
 - Parallélisation des entrées-sorties avec le CPU
- Traiter des évènements asynchrones
 - Interruptions à des instants pas entièrement déterminés
- Simplifier la conception
 - Tâche = unité de partage des ressources entre les objectifs fonctionnels
 - Tâches ayant des échelles de temps différentes
 - Des degrés de criticité différents
- Profiter des multiples ressources de calcul
 - Multiple processeurs
 - Multiple coeurs
 - Multiples machines physiques ou virtuelles

Les grandes questions du multi-tâche

- ❶ Qu'est-ce qu'une tâche? Comment en créer?
- ❷ Comment les tâches *communiquent*, se *synchronisent*, *partagent* les ressources?
- ❸ *Ordonnancement*: Quelle tâche exécuter?
- ❹ Comment *protéger* les tâches les unes des autres?

Les grandes questions du multi-tâche

- ❶ Qu'est-ce qu'une tâche? Comment en créer?
- ❷ Comment les tâches *communiquent*, se *synchronisent*, *partagent* les ressources?
- ❸ *Ordonnancement*: Quelle tâche exécuter?
- ❹ Comment *protéger* les tâches les unes des autres?

La gestion du multi-tâche est la principale responsabilité de l'OS

- Quels mécanismes sont fournis par l'OS pour répondre à ces questions?
- Comment les utiliser? (→ cours de programmation concurrente)
- Comment fonctionnent-ils? Comment sont-ils implantés?

Thread, processus, tâche



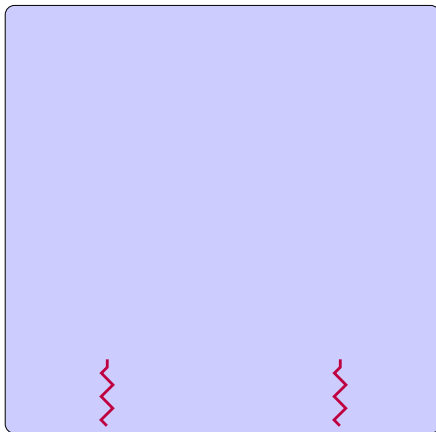
Définition (Thread)

- Thread = séquence d'exécution indépendante
- Unité d'ordonnancement (on ordonnance des threads)

Thread, processus, tâche



Processus mono-threadé

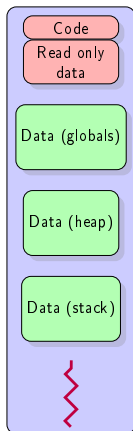


Processus multi-threadé

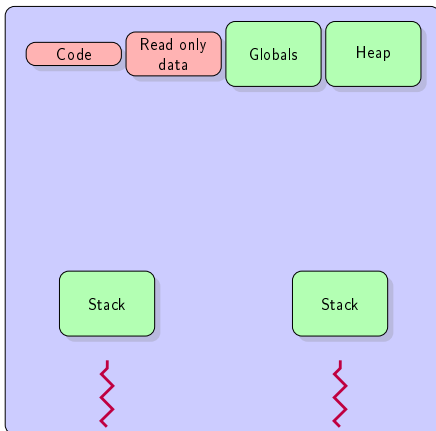
Définition (Processus)

- Processus = threads + permissions (dont: espace d'adressage séparé)
- En général: instance de l'exécution d'un programme (fichier .exe)

Thread, processus, tâche



Processus mono-threadé

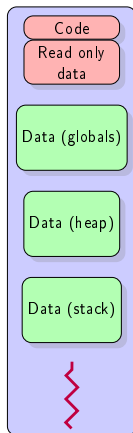


Processus multi-threadé

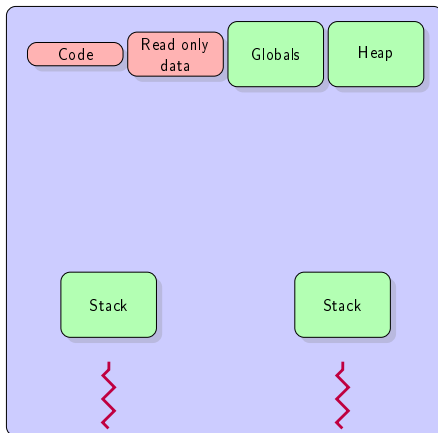
Définition (Processus)

- Processus = threads + permissions (dont: espace d'adressage séparé)
- En général: instance de l'exécution d'un programme (fichier .exe)

Thread, processus, tâche



Processus mono-threadé



Processus multi-threadé

Définition (Tâche)

- Terme ambigu
- Souvent synonyme de processus

Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

```
int a = 0; int b = 0;

while(1){
    a++; b++;
}
```

Exemple (Thread B)

```
doing();
other();

things();
```



- Exécution entrelacée
- Sauvegarde et restauration du contexte d'exécution

Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

```
int a = 0; int b = 0;  
  
while(1){  
    a++; b++;  
}
```

Exemple (Thread B)

```
doing();  
other();  
  
things();
```

A



- Exécution entrelacée
- Sauvegarde et restauration du contexte d'exécution

Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

```
int a = 0; int b = 0;
```

```
while(1){  
    a++; b++;  
}
```

Exemple (Thread B)

```
doing();  
other();  
  
things();
```

A



- Exécution entrelacée
- Sauvegarde et restauration du contexte d'exécution

Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

```
int a = 0; int b = 0;  
  
while(1){  
    a++; b++;  
}
```

Exemple (Thread B)

```
doing();  
other();  
  
things();
```



- Exécution entrelacée
- Sauvegarde et restauration du contexte d'exécution

Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

```
int a = 0; int b = 0;

while(1){
    a++; b++;
}
```

Exemple (Thread B)

```
doing();
other();
things();
```



- Exécution entrelacée
- Sauvegarde et restauration du contexte d'exécution

Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

```
int a = 0; int b = 0;  
  
while(1){  
    a++; b++;  
}
```

Exemple (Thread B)

```
doing();  
other();  
  
things();
```



- Exécution entrelacée
- Sauvegarde et restauration du contexte d'exécution

Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

```
int a = 0; int b = 0;

while(1){
    a++; b++;
}
```

Exemple (Thread B)

```
doing();
other();

things();
```



- Exécution entrelacée
- Sauvegarde et restauration du contexte d'exécution

Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

```
int a = 0; int b = 0;  
  
while(1){  
    a++; b++;  
}
```

Exemple (Thread B)

```
doing();  
other();  
  
things();
```



- Exécution entrelacée
- Sauvegarde et restauration du contexte d'exécution

Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

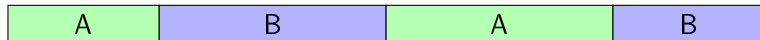
```
int a = 0; int b = 0;

while(1){
    a++; b++;
}
```

Exemple (Thread B)

```
doing();
other();

things();
```



- Exécution entrelacée
- Sauvegarde et restauration du contexte d'exécution
- Multiprocesseur: similaire, sauf que plusieurs tâches sont simultanément en exécution.

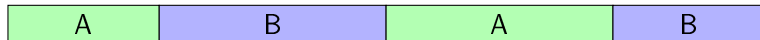
Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

```
int a = 0; int b = 0;  
  
while(1){  
    a++; b++;  
}
```

Exemple (Thread B)

```
doing();  
other();  
  
things();
```



- Quand changer de thread?

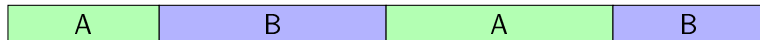
Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

```
int a = 0; int b = 0;  
yield();  
while(1){  
    a++; b++;  
    yield();  
}
```

Exemple (Thread B)

```
doing();  
other();  
yield();  
things();
```



- Quand changer de thread?
 - **multi-threading coopératif**: points de préemptions explicites

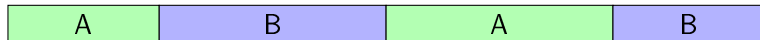
Concrètement: le multi-thread sur un seul processeur

Exemple (Thread A)

```
int a = 0; int b = 0;  
  
while(1){  
    a++; b++;  
  
}
```

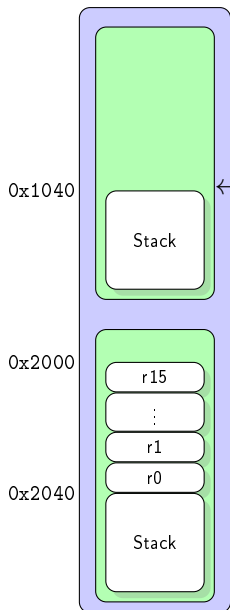
Exemple (Thread B)

```
doing();  
other();  
  
things();
```



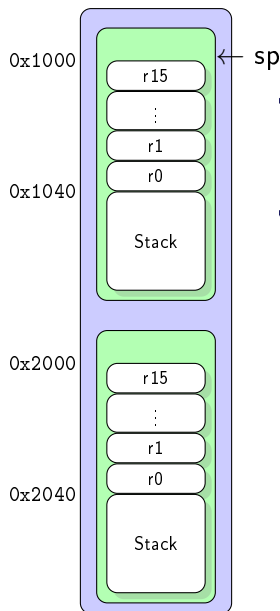
- Quand changer de thread?
 - **multi-threading coopératif**: points de préemptions explicites
 - **multi-threading preemptif**: le hardware et l'OS coupent automatiquement entre deux instructions

Implantation du changement de contexte



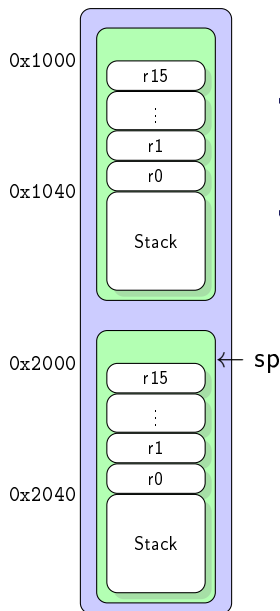
- L'état d'un calcul séquentiel (d'un thread), aussi appelé *contexte*, est représenté par l'état de la pile et la valeur des registres.
- Pour changer de thread:

Implantation du changement de contexte



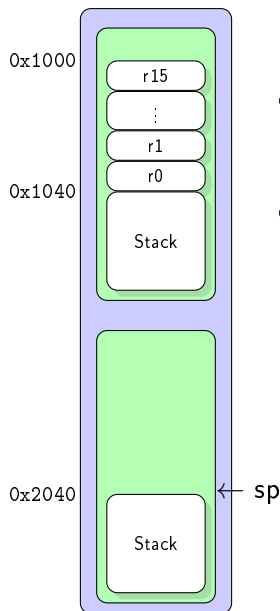
- L'état d'un calcul séquentiel (d'un thread), aussi appelé *contexte*, est représenté par l'état de la pile et la valeur des registres.
- Pour changer de thread:
 - 1 On sauvegarde la valeur des registres (e.g. au sommet de la pile)

Implantation du changement de contexte



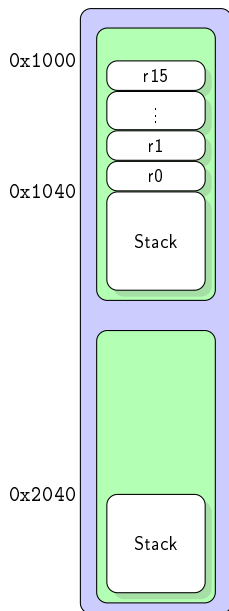
- L'état d'un calcul séquentiel (d'un thread), aussi appelé *contexte*, est représenté par l'état de la pile et la valeur des registres.
- Pour changer de thread:
 - 1 On sauvegarde la valeur des registres (e.g. au sommet de la pile)
 - 2 On change de pile et on recharge la valeur des registres

Implantation du changement de contexte



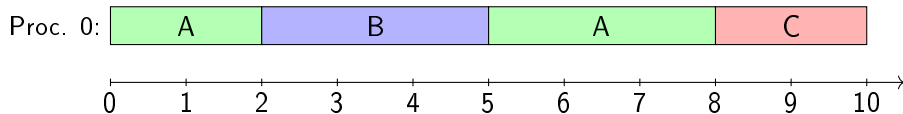
- L'état d'un calcul séquentiel (d'un thread), aussi appelé *contexte*, est représenté par l'état de la pile et la valeur des registres.
- Pour changer de thread:
 - 1 On sauvegarde la valeur des registres (e.g. au sommet de la pile)
 - 2 On change de pile et on recharge la valeur des registres

Implantation du changement de contexte

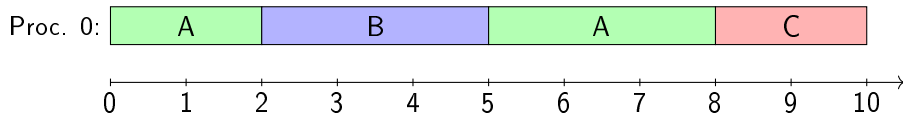


- L'état d'un calcul séquentiel (d'un thread), aussi appelé *contexte*, est représenté par l'état de la pile et la valeur des registres.
- Pour changer de thread:
 - ➊ On sauvegarde la valeur des registres (e.g. au sommet de la pile)
 - ➋ On change de pile et on recharge la valeur des registres
- Les autres sections mémoires (code, variables globales, tas) sont inchangés
 - Elles peuvent être utilisés pour communiquer (communication en mémoire partagée).

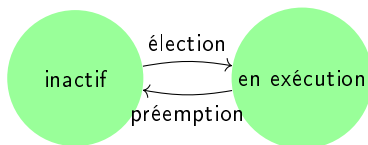
Ordonnancement et statuts des threads (1)



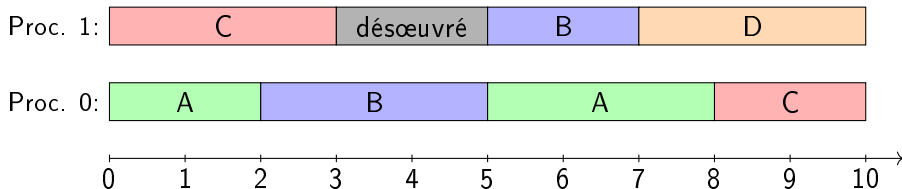
Ordonnancement et statuts des threads (1)



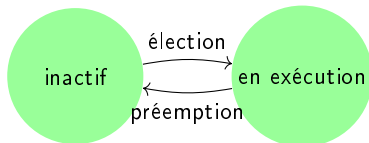
Au moins deux statuts d'un thread: en exécution (actif) ou non en exécution (inactif).



Ordonnancement et statuts des threads (1)



Au moins deux statuts d'un thread: en exécution (actif) ou non en exécution (inactif).



Multi-processeur: plusieurs threads différents simultanément en exécution!

Ordonnancement et statuts des threads (2)

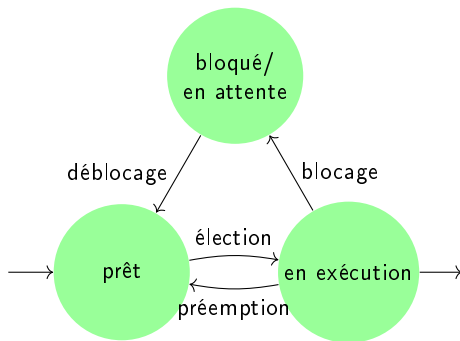
- Que faire quand un thread a besoin d'une entrée du clavier?
- Que faire quand un thread a besoin d'un résultat pas encore fournit par un autre thread?

Ordonnancement et statuts des threads (2)

- Que faire quand un thread a besoin d'une entrée du clavier?
- Que faire quand un thread a besoin d'un résultat pas encore fournit par un autre thread?
- Le thread peut rendre la main (yield) quand il n'a rien à faire

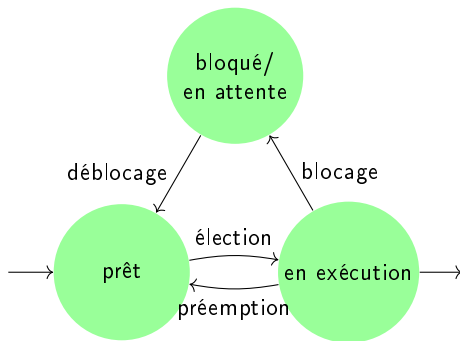
Ordonnancement et statuts des threads (2)

- Que faire quand un thread a besoin d'une entrée du clavier?
- Que faire quand un thread a besoin d'un résultat pas encore fournit par un autre thread?
- Le thread peut rendre la main (yield) quand il n'a rien à faire
- \Rightarrow Encore mieux: le thread peut ne pas s'exécuter du tout
- \Rightarrow Séparation du statut "inactif" en "prêt" et "en attente"



Ordonnancement et statuts des threads (2)

- Que faire quand un thread a besoin d'une entrée du clavier?
- Que faire quand un thread a besoin d'un résultat pas encore fournit par un autre thread?
- Le thread peut rendre la main (yield) quand il n'a rien à faire
- \Rightarrow Encore mieux: le thread peut ne pas s'exécuter du tout
- \Rightarrow Séparation du statut "inactif" en "prêt" et "en attente"



Le problème de la cohérence des données

Exemple (Une horloge partagée)

```
char    hour;    // 12
char    minutes; // 57

void write_clock(char h, //13    void read_clock(char *ph,
                        char m){//04                        char *pm){

    hour = h;                        *ph = hour;
    minutes = m;                    *pm = minutes;
}                                    }
```

Le problème de la cohérence des données

Exemple (Une horloge partagée)

```
char    hour;    // 12
char    minutes; // 57

void write_clock(char h, //13    void read_clock(char *ph,
                        char m){//04                        char *pm){

    hour = h;                                *ph = hour; // 12
    minutes = m;                            *pm = minutes;
}                                           }
```

Le problème de la cohérence des données

Exemple (Une horloge partagée)

```
char    hour;    // 13
char    minutes; // 57

void write_clock(char h, //13    void read_clock(char *ph,
                        char m){//04                        char *pm){

    hour = h;                *ph = hour; // 12
    minutes = m;            *pm = minutes;

}                            }
```

Le problème de la cohérence des données

Exemple (Une horloge partagée)

```
char    hour;    // 13
char    minutes; // 04

void write_clock(char h, //13    void read_clock(char *ph,
                        char m){//04                        char *pm){

    hour = h;                                *ph = hour; // 12
    minutes = m;                            *pm = minutes;
}                                           }
```


Le problème de la cohérence des données

Exemple (Une horloge partagée)

```
char    hour;    // 13
char    minutes; // 04

void write_clock(char h, //13    void read_clock(char *ph,
                        char m){//04                        char *pm){

    hour = h;                    *ph = hour; // 12
    minutes = m;                 *pm = minutes; // 04
}                                }
```

Le problème de la cohérence des données

Exemple (Une horloge partagée)

```
char    hour;    // 13
char    minutes; // 04

void write_clock(char h, //13    void read_clock(char *ph,
                        char m){//04                        char *pm){

    hour = h;                    *ph = hour; // 12
    minutes = m;                *pm = minutes; // 04
}                                }
```

Atomicité (linéarizabilité)

- Informellement:

f est atomique par rapport à g si f apparaît s'exécuter d'un seul coup sans être interrompue par l'exécution de g .

Le problème de la cohérence des données

Exemple (Une horloge partagée)

```
char    hour;    // 13
char    minutes; // 04

void write_clock(char h, //13    void read_clock(char *ph,
                        char m){//04                        char *pm){

    hour = h;                    *ph = hour; // 12
    minutes = m;                 *pm = minutes; // 04
}                                }
```

Atomicité (linéarizabilité)

- Plus formellement:

Deux fonctions f et g sont atomiques si l'exécution entrelacée de f et g est équivalente à une exécution séquentielle de f puis g ou de g puis f

Exemple (Une horloge partagée)

```
char hour; char minutes;
void write_clock(char h,          void read_clock(char *ph,
                           char m){                           char *pm){
    hour = h;                *ph = hour;
    minutes = m;            *pm = minutes;
}                            }
```

Exemple (Une horloge partagée)

```
char hour; char minutes;
void write_clock(char h,          void read_clock(char *ph,
                          char m){                          char *pm){
    // pas de yield: la          // pas de yield: la
    // fonction est atomique     // fonction est atomique
    hour = h;                   *ph = hour;
    minutes = m;                *pm = minutes;
}                               }
```

Avec des threads coopératifs

- On contrôle les points de préemption avec les appels à `yield()` (ou aux fonctions qui l'emploient)
- L'exécution entre deux appels à `yield()` est atomique.

Exemple (Une horloge partagée)

```
volatile short clock;

void write_clock(char h,          void read_clock(char *ph,
                      char m){                      char *pm){
    short c = (h << 8) | m;          short c = clock;
    clock = c;                      *ph = c >> 8;
}                                   *pm = c & 255;
                                   }

```

Avec des threads préemptifs (monoprocasseur)

- Le processeur garantit que les préemptions se font entre deux instructions.
- Attention:
 - Un statement C = plusieurs instructions assembleurs (e.g. `i++`);
 - Le compilateur peut réordonner les instructions.

Exemple (Une horloge partagée)

```
volatile short clock;

void write_clock(char h,
                  char m){
    short c = (h << 8) | m;
    clock = c;
}

void read_clock(char *ph,
                char *pm){
    short c = clock;
    *ph = c >> 8;
    *pm = c & 255;
}
```

Avec des threads préemptifs (multiprocesseur)

- Le système garantit l'atomicité des accès du bus
- Attention:
 - Le processeur peut réordonner les écritures et les lectures

Exemple (Une horloge partagée)

```
char hour; char minutes; mutex_t clock_mutex;

void write_clock(char h,          void read_clock(char *ph,
                           char m){                           char *pm){
    mutex_lock(&clock_mutex);    mutex_lock(&clock_mutex);
    hour = h;                   *ph = hour;
    minutes = m;                *pm = minutes;
    mutex_unlock(&clock_mutex);  mutex_unlock(&clock_mutex);
}                                }
```

Avec le support de l'OS

- Utilisation de **primitives de synchronisation** fournies par l'OS
- Comment fonctionnent-elles?

Définition (Synchronisation)

Mécanismes permettant de *coordonner* l'exécution de plusieurs threads en *bloquant* leur exécution à des points de programmes précis.

Pourquoi synchroniser?

- Résoudre les problèmes de cohérence mémoire pendant la communication de données (en mémoire partagée)
- Spécifier des dépendances entre traitements:
 - Contrôler l'ordre d'exécution des threads
 - Ex: producteur/consommateur: cas des listes pleines et vides, sémaphores
 - Exécution de section critique
 - Ex: commandes de périphériques/du matériel (e.g. s'assurer qu'on n'envoie pas simultanément deux commandes disques contraires)

En général

Régler les problèmes de concurrence sur l'accès à une *ressource (logicielle ou matérielle) partagée*

Name

pthread_mutex_lock, pthread_mutex_trylock,
pthread_mutex_unlock - lock and unlock a mutex

Synopsis

```
#include <pthread.h>
```

```
int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mutex);  
int pthread_mutex_trylock(pthread_mutex_t *mutex);  
int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex);
```

Comment synchroniser: implantation de primitive (mutex)

```
typedef struct {  
    volatile int tiquet; volatile int panneau;  
} mutex_t;  
  
void mutex_lock(mutex_t *m){  
    int mon_tiquet = m->tiquet;  
    m->tiquet++;  
    while(mon_tiquet != panneau){}  
}  
  
void mutex_unlock(mutex_t *m){  
    m->panneau = m->panneau + 1;  
}
```

- Que se passe-t-il si le lock est déjà pris? coopératif vs préemptif; mono vs multiprocesseur

Comment synchroniser: implantation de primitive (mutex)

```
typedef struct {  
    volatile int tiquet; volatile int panneau;  
} mutex_t;  
  
void mutex_lock(mutex_t *m){  
    int mon_tiquet = m->tiquet;  
    m->tiquet++;  
    while(mon_tiquet != panneau){ yield(); }  
}  
  
void mutex_unlock(mutex_t *m){  
    m->panneau = m->panneau + 1;  
}
```

- Que se passe-t-il si le lock est déjà pris? coopératif vs préemptif; mono vs multiprocesseur
- En préemptif, yield++ nécessite plusieurs accès mémoires

Comment synchroniser: implantation de primitive (mutex)

```
typedef struct {  
    volatile int tiquet; volatile int panneau;  
} mutex_t;  
  
void mutex_lock(mutex_t *m){  
    int mon_tiquet = fetch_and_add(&m->tiquet);  
    while(mon_tiquet != panneau){}  
}  
  
void mutex_unlock(mutex_t *m){  
    m->panneau = m->panneau + 1;  
}
```

- Que se passe-t-il si le lock est déjà pris? coopératif vs préemptif; mono vs multiprocesseur
- En préemptif, yield++ nécessite plusieurs accès mémoires
- Comment éviter de se faire réveiller pour constater qu'il n'y a rien à faire?

Comment synchroniser: implantation de primitive (mutex)

```
typedef struct {
    volatile int tiquet; volatile int panneau;
    thread_queue_t waiting;
} mutex_t;

void mutex_lock(mutex_t *m){
    int mon_tiquet = fetch_and_add(&m->tiquet);
    while(mon_tiquet != panneau){
        add_to_queue(m->waiting, thread_self());
        thread_self()->status = WAITING;
        yield();
    }
}

void mutex_unlock(mutex_t *m){
    thread_t th = remove_head(m->waiting);
    th->status = READY;
    m->panneau = m->panneau + 1;
}
```

- Que se passe-t-il si le lock est déjà pris? coopératif vs préemptif; mono vs multiprocesseur
- En préemptif, yield++ nécessite plusieurs accès mémoires
- Comment éviter de se faire réveiller pour constater qu'il n'y a rien à faire?

- La synchronisation sert à coordonner l'exécution de threads
- Implantation des mécanismes de synchronisation à l'intérieur d'un OS (mémoire partagée).
- Problèmes non vus:
 - Famine et équité, deadlocks, inversion de priorité. . .

Communication inter-thread et processus: motivation

- Le découpage d'un travail en threads et/ou processus implique une communication entre les threads et processus.
- Pour les threads: on peut communiquer par mémoire partagée
 - Efficace, mais sujet à erreur
 - L'utilisation de mécanisme de communication de plus haut niveau est souhaitable
- Pour les processus: on interdit aux processus de communiquer par mémoire partagée
 - \Rightarrow C'est à l'OS d'établir la communication
- Dans tous les cas:
 - Le mécanisme de passage de message est implanté en utilisant de la mémoire partagée et de la synchronisation.

Linux Programmer's Manual for pipe, read, write

Name

pipe, pipe2 - create pipe

Synopsis

```
int pipe(int pipefd[2]);
```

Linux Programmer's Manual for pipe, read, write

Name

pipe, pipe2 - create pipe

Synopsis

```
int pipe(int pipefd[2]);
```

Name

write - write to a file descriptor

Synopsis

```
ssize_t write(int fd, const void *buf, size_t count);
```

Linux Programmer's Manual for pipe, read, write

Name

pipe, pipe2 - create pipe

Synopsis

```
int pipe(int pipefd[2]);
```

Name

write - write to a file descriptor

Synopsis

```
ssize_t write(int fd, const void *buf, size_t count);
```

Name

read - read from a file descriptor

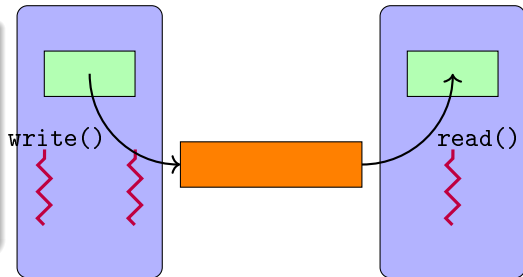
Synopsis

```
ssize_t read(int fd, void *buf, size_t count);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



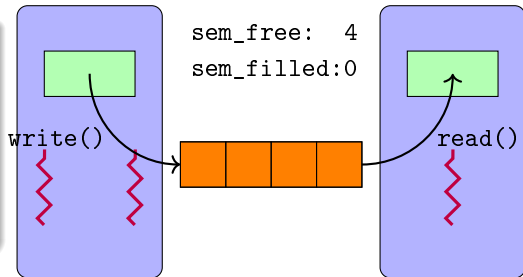
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



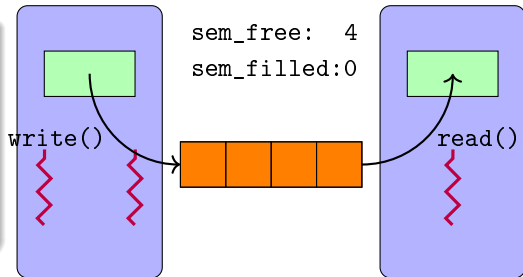
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



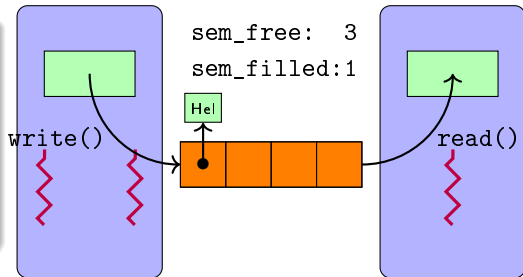
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



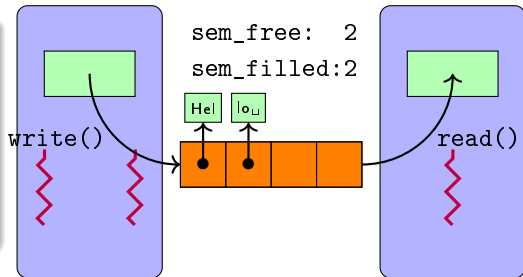
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```


Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



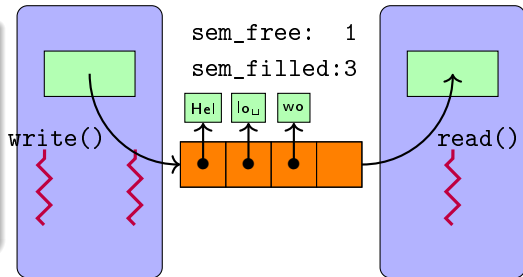
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



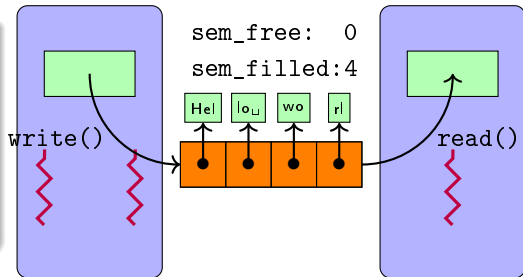
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



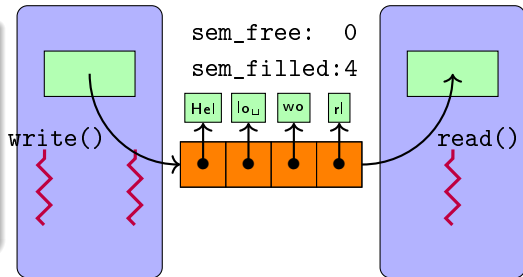
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



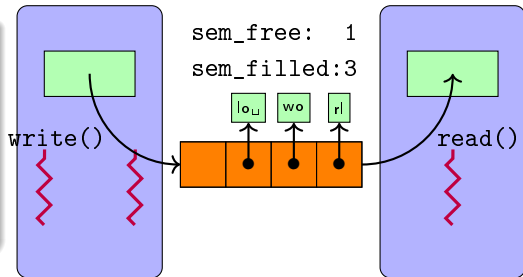
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



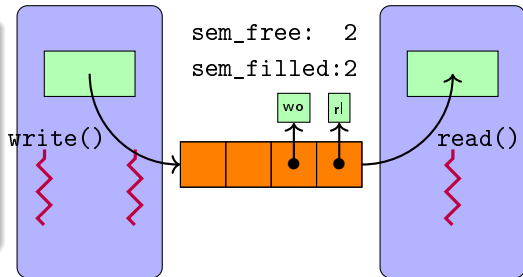
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



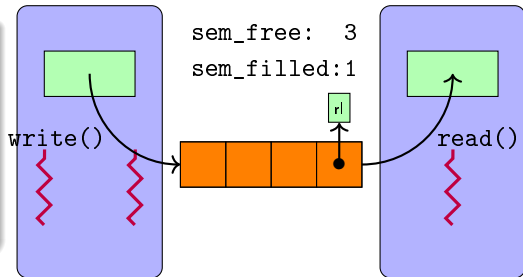
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



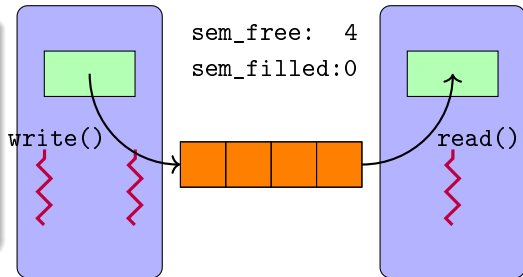
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



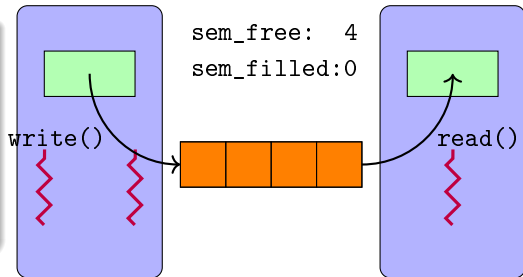
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```


Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



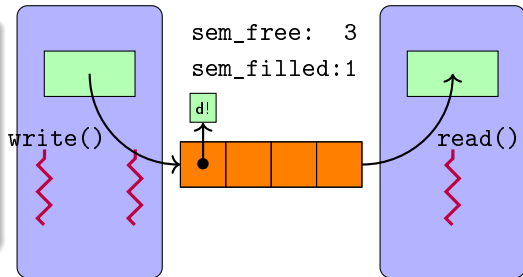
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



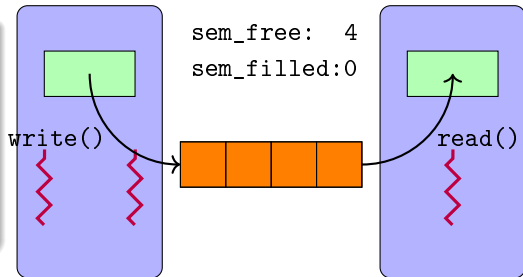
Exemple (Reader)

```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Communication inter-processus (ou inter-thread) : le pipe

Exemple (Writer)

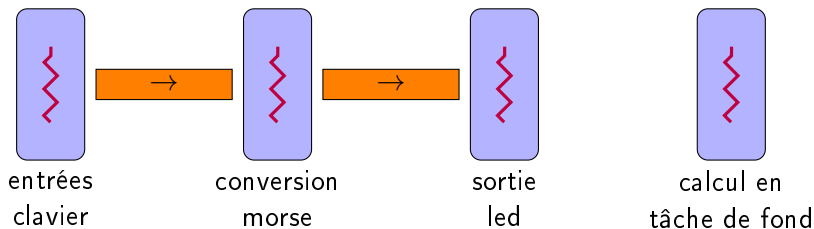
```
write("Hel");  
write("lo ");  
write("wo");  
write("rl");  
write("d!");
```



Exemple (Reader)

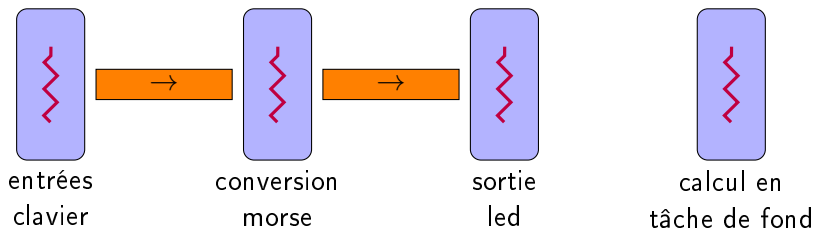
```
read(&buf);  
read(&buf+3);  
read(&buf+6);  
read(&buf+8);  
read(&buf+10);
```

Retour sur le problème



- Les threads et les mécanismes de communication simplifient la conception de l'application:
 - Attribution d'une ressource par thread
 - Toutes les synchronisations sont implicites dans l'application
 - Faites par les mécanismes de communication

Retour sur le problème



- Nous avons vu:
 - Qu'est-ce qu'un thread et comment on les réalise
 - Comment on synchronise les threads
 - Comment on les fait communiquer (en utilisant les synchronisations)
- Nous n'avons pas encore vu:
 - Comment on choisi quel thread exécuter (politique d'ordonnancement)
 - À quoi correspondent les boîtes bleues (espaces d'adressage différent)

- Un thread consiste en une pile d'exécution et une sauvegarde des registres du processeur.
- Le thread est l'unité d'ordonnancement d'un système (on ordonnance des threads).
- Les 3 états principaux du thread sont *prêt*, *en attente*, ou *en exécution*.
- La synchronisation permet de coordonner des threads en bloquant leur exécution.
- Le processeur et l'OS fournissent différents mécanismes d'accès atomique aux données.
- Communiquer entre thread peut se faire par mémoire partagée ou par passage de message
 - Le passage de message est implanté en utilisant la mémoire partagée
 - La communication repose sur la *synchronisation*