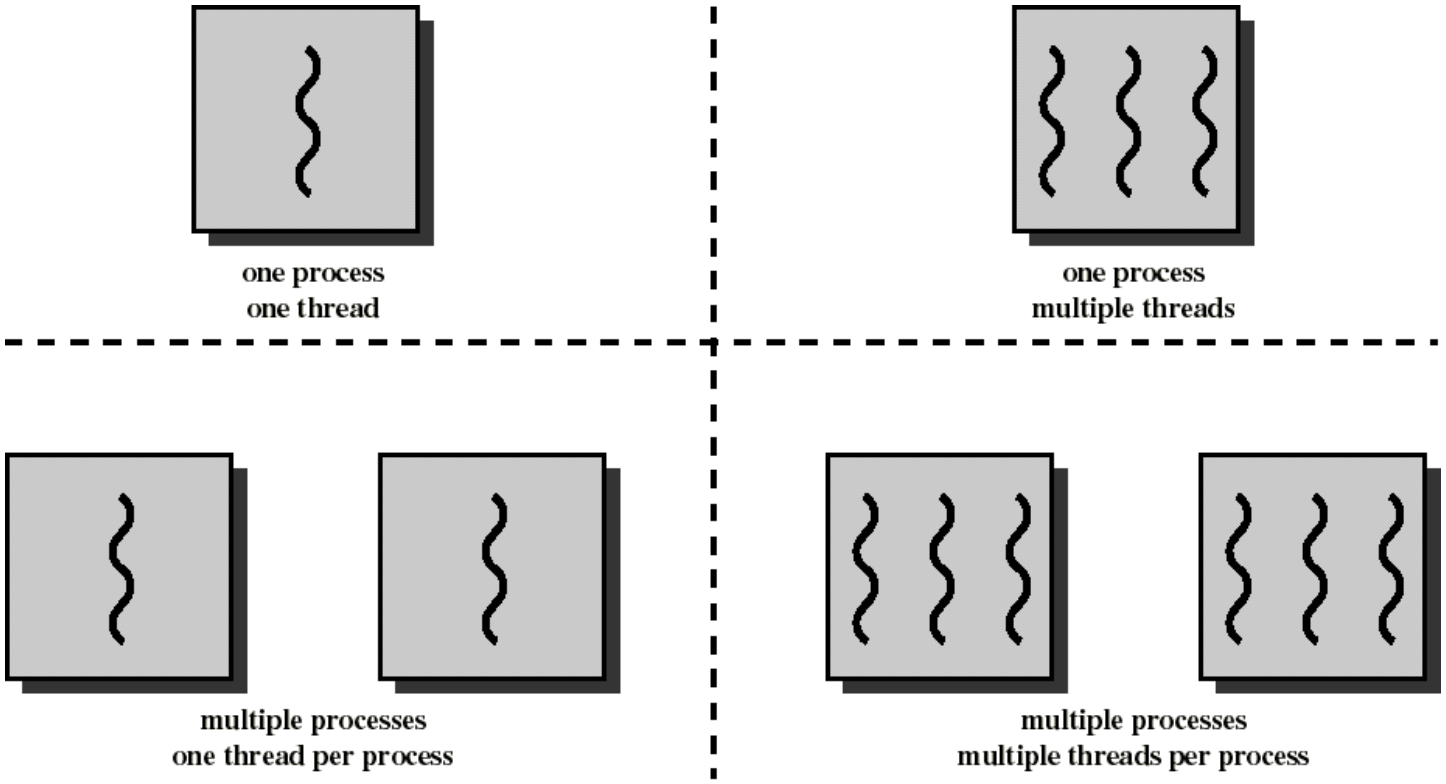
Fils d'exécution

- Qu’est ce qu’un fil d'exécution?
- Usage des fils d'exécution
- Threads POSIX
  - Création
  - Attente de la fin d’un fil d'exécution
  - Terminaison
  - Nettoyage à la terminaison

Qu’est ce qu’un fil d'exécution?

- Le modèle processus décrit précédemment est un programme qui s’exécute selon un chemin unique (compteur ordinal). On dit qu’il a un fil d'exécution ou flot de contrôle unique (single thread).
- De nombreux systèmes d’exploitation modernes offrent la possibilité d’associer à un même processus plusieurs chemins d’exécution (multithreading).



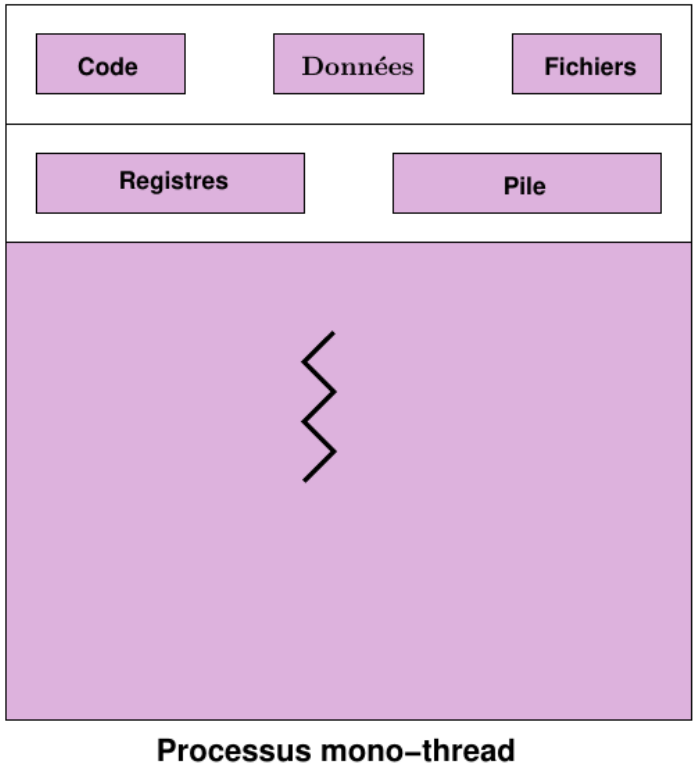
Qu’est ce qu’un fil d'exécution?

- Un processus est vu comme étant un ensemble de ressources (espace d’adressage, fichiers, périphériques…) que ses fils d'exécution (threads) partagent.

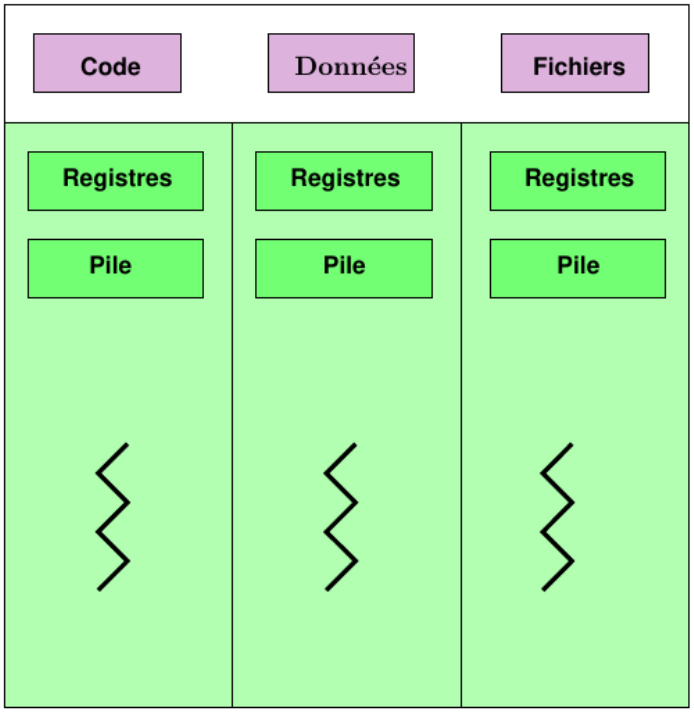
- Lorsqu’un processus est créé, un seul fil d’exécution (thread) est associé au processus. Ce fil peut en créer d’autres.

- Chaque fil a:
  - un identificateur unique
  - une pile d'exécution
  - des registres (un compteur ordinal)
  - un état…

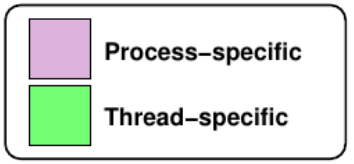
Qu’est ce qu’un thread?



Processus mono–thread



Processus multi–threads



- Le multithreading permet l’exécution simultanée ou en pseudo-parallèle de plusieurs parties d’un même processus.

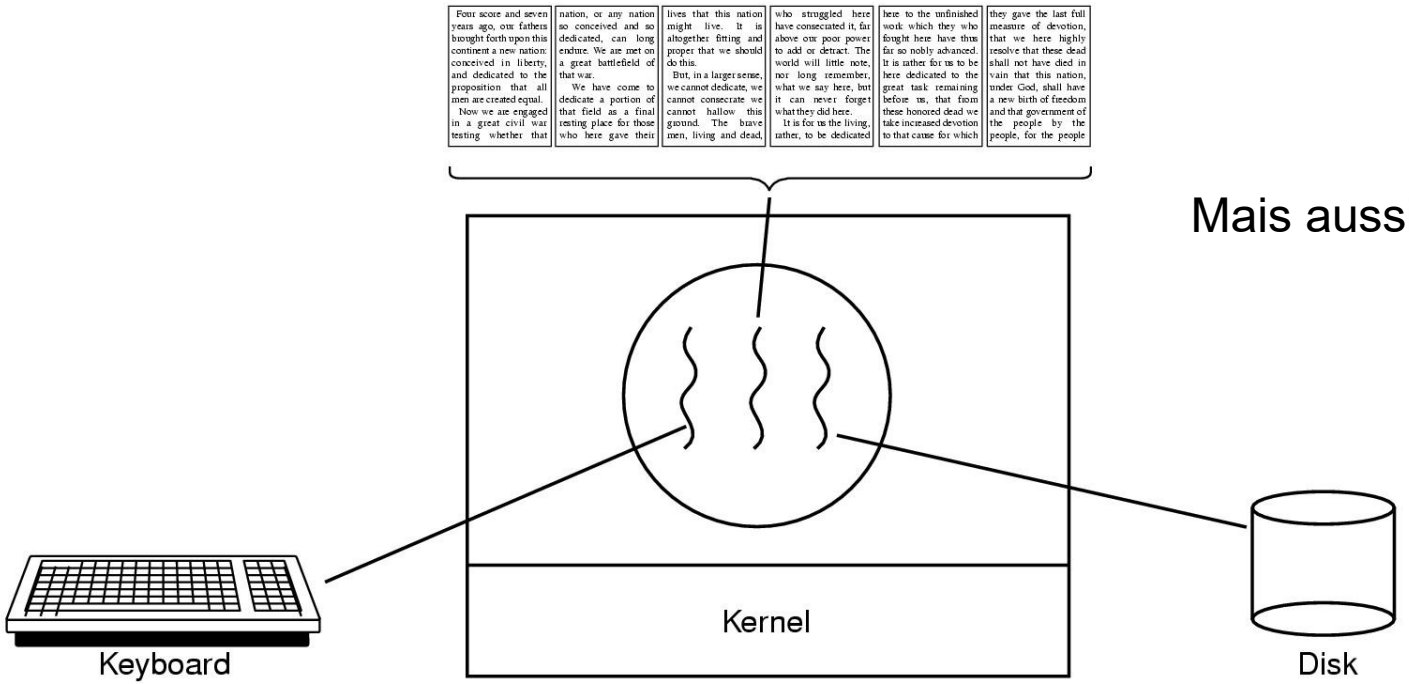
Avantages des fils / processus

- Réactivité (le processus peut continuer à s'exécuter même si certaines de ses parties sont bloquées, exemple E/S),
- Partage de ressources (facilite la coopération, améliore les performances),
- Économie d'espace mémoire et de temps. Il faut moins de temps pour :
  - créer, terminer un fil (sous Solaris, la création d'un processus est 30 fois plus lente que celle d'un thread),
  - Changer de contexte entre deux fils d'un même processus.

- Pour un recouvrement calcul/communication
- Pour avoir différentes tâches de priorité différentes
  - ordonnancement “temps réel mou”
- Pour gérer des événements asynchrones
- Tâches indépendantes activées par des événements de fréquence irrégulière
  - Exemple : Serveur web peut répondre à plusieurs requêtes en parallèle
- Pour tirer profit des systèmes multi-cœurs

Mais plus risqué que les processus car moins de contrôle de l’OS (partage mémoire)

Usage des fils: traitement de texte



Mais aussi serveur web...

- Un thread pour interagir avec l'utilisateur,
- Un thread pour reformater en arrière plan,
- Un thread pour sauvegarder périodiquement le document

PThreads (POSIX Threads)

- L’objectif premier des Pthreads est la portabilité (disponibles sous Linux, Windows …).

Appel	**Description**
pthread_create	Créer un nouveau fil d'exécution
pthread_exit	Terminer le fil appelant
pthread_join	Attendre la fin d'un autre fil
pthread_mutex_init	Créer un mutex
pthread_mutex_destroy	Détruire un mutex
pthread_mutex_lock	Verrouiller un mutex
pthread_mutex_unlock	Relâcher un mutex
pthread_cond_init	Créer une condition
pthread_cond_destroy	Détruire une condition
pthread_cond_wait	Attendre après une condition
pthread_cond_signal	Signaler une condition

Fonction pthread_create()

- **int pthread_create(**

pthread_t *tid,
// sert à récupérer le TID du pthread créé

const pthread_attr_t *attr,
// sert à préciser les attributs du pthread `(taille de la pile, priorité….)
//attr = NULL pour les attributs par défaut

void * (*func) (void*),
// est la fonction à exécuter par le pthread

void *arg);
//le paramètre de la fonction.

- L'appel renvoie 0 s'il réussit, sinon il renvoie une valeur non nulle identifiant l'erreur qui s'est produite

exemple-pthread-create-1.c


```c
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

void * fonction_thread(void * arg);

int main (void)
{
 pthread_t thr;
 if (pthread_create(& thr, NULL, fonction_thread, NULL) != 0) {
 fprintf(stderr, "Erreur dans pthread_create\n");
 exit(EXIT_FAILURE);
}
while (1) {
 fprintf(stderr, "Thread Main\n");
 sleep(1);
 }
}
```

```c
void * fonction_thread(void * arg)
{
while (1) {
 fprintf(stderr, "Nouveau Thread\n");
 sleep(1);
 }
}
```

```
$ gcc exemple-pthread-create-1.c -o exemple-pthread-create-1  -lpthread
$ ./exemple-pthread-create-1
Thread Main
Nouveau Thread
Thread Main
Nouveau Thread
Thread Main
Nouveau Thread
Thread Main
Nouveau Thread
Thread Main
Nouveau Thread
Thread Main
Nouveau Thread
Thread Main
Nouveau Thread
^C
```

- Remarque :
- si on fait un ps aux sur un autre terminal seul ./exemple-pthread-create-1 est visible
- Pour voir les threads il faut utiliser ps maux

lmascari 4498 0.0 0.0 14652 392 pts/3 - 10:42 0:00 ./exemple-pthread-create-1

lmascari - 0.0 - - - - SI+ 10:42 0:00 -

lmascari - 0.0 - - - - SI+ 10:42 0:00 -

Passage de paramètres

void * : cast (éventuellement d'une structure si plusieurs paramètres)

exemple-pthread-create-2.c
(C) 2000-2010 - Christophe BLAESS

```c
void * fonction_thread(void * arg);
#define NB_THREADS 5

int main (void) {
 pthread_t thr[NB_THREADS];
 long i; // attention à la taille sizeof(int) != sizeof (void *)
 for (i = 0; i < NB_THREADS; i ++) {
  if (pthread_create(& thr[i], NULL, fonction_thread,
      (void *) i) != 0) {
    fprintf(stderr, "Erreur dans pthread_create\n");
   exit(EXIT_FAILURE);
  }
}
while (1) {
 fprintf(stderr, "Thread Main\n");
 sleep(1);
 }
}
```

```c
void * fonction_thread(void * arg)
{
long num = (long) arg;
while (1) {
 fprintf(stderr, "Thread numero %d\n", num+1);
 sleep(1);
 }
}
```

```
 $ ./exemple-pthread-create-2
Thread numero 4
Thread numero 3
Thread Main
Thread numero 2
Thread numero 1
Thread numero 5
Thread numero 3
Thread numero 4
Thread numero 2
Thread numero 1
Thread Main
```

6 messages par seconde.

exemple-pthread-create-3.c
(C) 2000-2010 - Christophe BLAESS

```
typedef struct {
 int X;
 int Y;
} coordonnee_t;

int main (void) {
pthread_t thr;
coordonnee_t * coord;
coord = malloc(sizeof(coordonnee_t));
if (coord == NULL) {
 perror("malloc");
 exit(EXIT_FAILURE);
}
coord->X=10; coord->Y=20;
if (pthread_create(& thr, NULL, fonction_thread,
                   coord) != 0) {
fprintf(stderr, "Erreur dans pthread_create\n");
exit(EXIT_FAILURE);
}
}
```

```
 while (1) {
  fprintf(stderr, "Thread Main\n");
  sleep(1);
 }
}

void * fonction_thread(void * arg) {
coordonnee_t * coord = (coordonnee_t *) arg;
int X = coord->X;
int Y = coord->Y;
free(coord);
while (1) {
 fprintf(stderr, "Thread X=%d, Y=%d\n", X, Y);
 sleep(1);
}
}
```

```
$ ./exemple-pthread-create-3
Thread Main
Thread X=10, Y=20
Thread Main
Thread X=10, Y=20
```

Partage d'espace mémoire

- Automatique : même espace mémoire !
- Mais sans protection...

exemple-pthread-create-4.c
(C) 2000-2010 - Christophe BLAESS

```c
#define NB_THREADS 5

int compteur = 0;

int main (void)
{
 pthread_t thr[NB_THREADS];
 long i;
 for (i = 0; i < NB_THREADS; i ++) {
 if (pthread_create(& thr[i], NULL, fonction_thread, (void *) i)
0) {
 fprintf(stderr, "Erreur dans pthread_create\n");
 exit(EXIT_FAILURE);
 }
}

while (1) {
 fprintf(stderr, "Thread Main, compteur = %d\n", compteur);
 sleep(1);
 }
}
```

```c
void * fonction_thread(void * arg)
{
 long num = (long) arg;
 while (1) {
 fprintf(stderr, "Thread numero %d, compteur = %d \n",num+1,compteur);
 compteur ++;
 sleep(1);
 }
}
```

```
 $ ./exemple-pthread-create-4
Thread numero 2, compteur = 0
Thread numero 3, compteur = 0
Thread Main, compteur = 0
Thread numero 5, compteur = 0
Thread numero 4, compteur = 0
Thread numero 1, compteur = 0
Thread numero 2, compteur = 5
Thread numero 3, compteur = 5
Thread Main, compteur = 6
Thread numero 5, compteur = 6
Thread numero 4, compteur = 7
Thread numero 1, compteur = 8
```

Fin d'un thread

- Lorsqu'une la fonction principale d'un thread se termine, celui-ci est éliminé. La fonction doit renvoyer une valeur (void*) qui pourra être récupérée dans un autre thread.

- Autre possibilité :

```
void pthread_exit( void * retour);
```

- Termine l'exécution du pthread et renvoie retour (éventuellement NULL)

- JAMAIS exit() sinon terminaison du processus.

exemple-pthread-exit-1.c
(C) 2000-2010 - Christophe BLAESS

```c
int main (void)
{
 pthread_t thr[3];
 long i;

for (i = 0; i < 3; i ++) {
 if (pthread_create(& thr[i], NULL, fonction_thread, (void *) i)
       != 0) {
  fprintf(stderr, "Erreur dans pthread_create\n");
  exit(EXIT_FAILURE);
 }
}
while (1) {
fprintf(stderr, "Thread Main\n");
sleep(1);
}
}
```

```c
void * fonction_thread(void * arg)
{
long num = (long) arg;
long i = 0;
while (1) {
 fprintf(stderr, "Thread %d, iteration %d\n", num, i);
 if ((num == 0) && (i == 1))
   pthread_exit(NULL);
 if ((num == 1) && (i == 3))
   return NULL;
 i ++;
 sleep(1);
}
}
```

3 threads :
- 1 terminé au bout de 2 secondes,
- un second au bout de 4 secondes

```
$./exemple-pthread-exit-1
Thread Main
Thread 0, iteration 0
Thread 1, iteration 0
Thread 2, iteration 0
Thread Main
Thread 0, iteration 1
Thread 2, iteration 1
Thread 1, iteration 1
Thread Main
Thread 2, iteration 2
Thread 1, iteration 2
Thread Main
```

exemple-pthread-exit-2.c
(C) 2000-2010 - Christophe BLAESS

```c
int main (void) {
pthread_t thr[3];
long i;

for (i = 0; i < 3; i ++) {
 if (pthread_create(& thr[i], NULL, fonction_thread, (void *) i)
     != 0) {
     fprintf(stderr, "Erreur dans pthread_create\n");
      exit(EXIT_FAILURE);
 }
}
pthread_exit(NULL);
}
void * fonction_thread(void * arg) {
long num = (long) arg;
while (1) {
 fprintf(stderr, "Thread %d\n", num);
 sleep(1);
}
}
```

```
$./exemple-pthread-exit-2
Thread 0
Thread 1
Thread 2
Thread 0
Thread 2
Thread 1
Thread 2
```

- le thread principal se termine
- les autres continuent

```c
int main (void) {
pthread_t thr;
if (pthread_create(& thr, NULL, fonction_thread, NULL) != 0) {
 fprintf(stderr, "Erreur dans pthread_create\n");
 exit(EXIT_FAILURE);
}
while (1) {
 fprintf(stderr, "Thread MAIN en fonctionnement\n");
 sleep(1);
}
}

void * fonction_thread(void * arg) {
 char * ptr = NULL;
 sleep(4);
 ptr[0] = 'A';
return NULL;
}
```

exemple-pthread-exit-4.c

```
$./exemple-pthread-exit-3
Thread MAIN en fonctionnement
Thread MAIN en fonctionnement
Thread MAIN en fonctionnement
Thread MAIN en fonctionnement
Erreur de segmentation (core dumped)
```

- un thread se “plante”
- tout le processus se termine !

Fonctions pthread_join()

void pthread_join(pthread_t tid, void * *retour);

- Attend la fin d’un pthread. L’équivalent de waitpid des processus sauf qu’on doit spécifier le tid du pthread à attendre.

- retour sert à récupérer la valeur de retour et l’état de terminaison.
- Peut échouer si le tid n'existe pas, s'il est détaché (plus tard)

exemple-pthread-join-1.c
(C) 2000-2010 - Christophe BLAESS

```
int main (int argc, char * argv[]) {
pthread_t * thr = NULL;
void * ptr;
int i;
long n;
thr = calloc(argc - 1, sizeof(pthread_t));
if (thr == NULL) {
 perror("calloc");
 exit(EXIT_FAILURE);
}
for (i = 1; i < argc; i ++) {
 n = atoi(argv[i]);
 if (pthread_create(& thr[i-1], NULL, fonction_thread,
     (void *) n) != 0) {
       fprintf(stderr, "Erreur dans pthread_create\n");
       exit(EXIT_FAILURE);
 }
}
...
```

```
...
for (i = 1; i < argc; i ++) {
 pthread_join(thr[i - 1], & ptr);
 fprintf(stderr, "%d -> %d\n", atoi(argv[i]), (int) ptr);
}
return EXIT_SUCCESS;
}

void * fonction_thread(void * arg)
{
long num;
 num = (int) arg;
 return (void *) (num * num);
}
```

```
$ ./exemple-pthread-join-1 1 2 3
1 -> 1
2 -> 4
3 -> 9
$
```

- autant de thread que d'arguments
- la fonction de chaque thread calcule le carré et le renvoie.
- le thread principal récupére les résultats et affiche

Détachement des threads

- Un pthread détaché par la fonction
  int pthread_detach(pthread_t tid)) ;

  a pour effet de le rendre indépendant de celui qui l'a créé (pas de valeur de retour attendue).
  Echoue si le thread n'existe pas ou déjà détaché.

- Pourquoi cette fonction ? parce que sinon les codes de retour (et ses piles) sont conservées : risque de saturation !

- Avec detach la pile et le code de retour sont libérés dès la fin du thread.

```c
int main (int argc, char * argv[])
{
 pthread_t thr; /* La meme variable sera ecrasee a chaque fois *
 int nb_lances = 0;
 while (pthread_create(& thr, NULL, fonction_thread, NULL) == 0)
   pthread_detach(thr);
   nb_lances ++;
 if ((nb_lances % 100) == 0)
   fprintf(stderr, "%d thread lances\n", nb_lances);
 usleep(10000); /* 10 ms */
}
fprintf(stderr, "Echec de creation apres %d threads\n", nb_lance
return EXIT_SUCCESS;
}

void * fonction_thread(void * arg)
{
 return NULL;
}
```

exemple-pthread-detach.c

```
$ ./exemple-pthread-detach
100 thread lances
...
3000 thread lances
^C
$
```

- avec le detach “pas de limite”

Comparaison de threads

int pthread_equal(pthread_t tid1,pthread_t tid2) ;

renvoie une valeur non nulle si les threads sont égaux.

- Attention : le test sur les tid seuls ne marche pas ! pthread_t est vu comme un entier mais il existe une structure interne...

Synchronisations entre threads : mutex

- Deux états : libre ou verrouillé
- Un thread qui verrouille un mutex *tient le mutex*
- Un seul thread peut tenir un mutex donné
- En général variables globales ou locales statiques.

- Initialisation statique :

```
pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
```

- Initialisation dynamique :

```
int pthread_mutex_init mutex(pthread_mutex_t * mutex,
const pthread_mutexattr_t *attributs);
attributs peut être NULL (défauts)
```

Synchronisations entre threads : mutex

- Libération :

```
int pthread_mutex_destroy(pthread_mutex_t *);
```

- verrouillage :
- `int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t * mutex);`

- si mutex libre, verrouillé et attribué au thread appelant
- sinon blocage jusqu'à libération, puis verrouillé et attribué au thread appelant

- `int pthread_mutex_trylock(pthread_mutex_t * mutex);`
- Idem mais echoue avec EBUSY si verrouillé (pas de blocage)
- Déconseillé

Synchronisations entre threads : mutex

- déverrouillage :
- `int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t * mutex);`

exemple-pthread-mutex.c
(C) 2000-2010 - Christophe BLAESS

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <pthread.h>

static void * routine_threads (void * argument);
static int    aleatoire (int maximum);

pthread_mutex_t   mutex_stdout = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

int main (void)
{
int    i;
pthread_t  thread;

for (i = 0; i < 5; i ++)
 pthread_create(& thread, NULL, routine_threads, (void *) i);
 pthread_exit(NULL);
}
```

```c
static void * routine_threads (void * argument) {
 int numero = (int) argument;
 int nombre_iterations;
 int i;
 nombre_iterations = 1 + aleatoire(3);
 for (i = 0; i < nombre_iterations; i ++) {
  sleep(aleatoire(3));
  pthread_mutex_lock(& mutex_stdout);
  fprintf(stdout, "Le thread %d a obtenu le mutex\n", numero);
  sleep(aleatoire(3));
  fprintf(stdout, "Le thread %d relache le mutex\n", numero);
  pthread_mutex_unlock(& mutex_stdout);
 }
return NULL;
}

static int aleatoire (int maximum) {
double d;
d = (double) maximum * rand();
d = d / (RAND_MAX + 1.0);
return ((int) d);
}
```

```
$ ./exemple-pthread-mutex-1
Le thread 0 a obtenu le mutex
Le thread 0 relache le mutex
Le thread 4 a obtenu le mutex
Le thread 4 relache le mutex
Le thread 1 a obtenu le mutex
Le thread 1 relache le mutex
Le thread 2 a obtenu le mutex
Le thread 2 relache le mutex
Le thread 3 a obtenu le mutex
Le thread 3 relache le mutex
Le thread 3 a obtenu le mutex
Le thread 3 relache le mutex
...
$
```

```c
void handler(int sig) {}

int main(void) {
    pid_t pid;
    int i;

    if (signal(SIGUSR1, handler) == SIG_ERR) {
        perror("signal");
        exit(1);
    }

    switch (pid = fork()) {
        case -1:
            perror("fork");
            exit(1);
        case 0:
            /* fils */
            pid = getppid();
            for (i = 1; i <= 100; i += 2) {
                printf("%d\n", i);
                kill(pid, SIGUSR1);
                pause();
            }
            break;
        default:
            /* père */
            for (i = 2; i <= 100; i += 2) {
                pause();
                printf("%d\n", i);
                kill(pid, SIGUSR1);
            }
    }
}
```

1) le fils est suspendu juste après le kill()

5)il reçoit le signal : exécution du handler(), puis pause()

2) le noyau donne la main au père, qui est en pause(

3)Il se réveille, affiche le nombre suivant,

4) émet le signal puis pause()