Introduction au multithreading

Maîtrise d'informatique

Philippe MARQUET

Philippe.Marquet@lifl.fr

Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille
Université des sciences et technologies de Lille

- Création janvier 1999
-
- La dernière version de ce cours est accessible à partir de `http://www.lifl.fr/~marquet/ens/pp/`
- `$Id: mt.tex,v 1.7 2002/03/18 09:12:01 marquet Exp $`

Table des matières

Références et remerciements

- *Programming with threads*
  Steve KLEIMAN, Devang SHAH, Bart SMAALDERS
  SunSoft Press, Prentice Hall, 1996
  `http://www.sun.com/smi/ssoftpress/threads/`
- *Multithreaded Programming — Concepts and Practice*
  Bil LEWIS
  1999, `http://www.lambdaCS.com/`
- *PM^2 : un environnement pour une conception portable et une exécution efficace des applications parallèles irrégulières*
  Raymond NAMYST
  Thèse, LIFL, Université de Lille 1, 1997
- *Programmer avec les threads Unix*
  Charles NORTHRUP
  John Willey & Sons, 1996, traduction française chez International Thomson Publishing France, 1997
- Manuel en ligne : `man pthreads`

Processus légers

Les processus légers

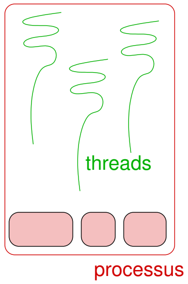
- *Threads* ou *processus légers*
- Initialement dans les systèmes d'exploitation
  - recouvrement des opérations d'I/O (serveurs multithreadés)
  - exploitation des architectures multiprocesseurs
- Thread =

  séquence d'exécution du code d'un programme,
  au sein d'un processus
- Processus habituel : un seul thread
- Processus multithreadé : plusieurs flots d'exécution simultanés
- Les différents threads partagent les ressources systèmes
- Principe

  détacher les flots d'exécution des ressources systèmes

Les processus légers (cont'd)

- Un processus léger ne peut exister qu'au sein d'un processus lourd
- Les ressources d'un processus lourd sont partagées par tous les processus légers qu'il contient :
  - code
  - mémoire
  - fichiers
  - droits Unix
  - environnement de shell
  - répertoire de travail courant
- Un processus léger possède
  - sa propre pile d'exécution
  - indentificateur de thread
  - pointeur d'instruction



- Un processus (Unix) peut contenir plusieurs centaines de threads

Les processus légers (cont'd)

- Opérations relatives aux processus légers performantes
  - création
  - changement de contexte
  - synchronisation
  - ...
- Création d'un processus léger
  - un processus léger exécute du code

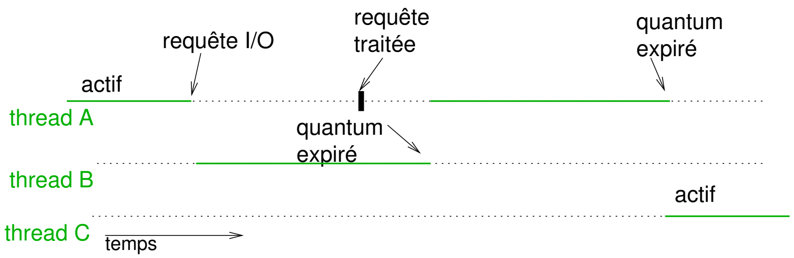
    → adresse d'une fonction (+ paramètres)
  - un processus léger possède une pile d'exécution

    → taille de la pile (valeur par défaut)
  - les processus légers se partagent le temps processeur alloué au processus

    → priorité

Les processus légers (cont'd)

- Exécution des processus légers au sein du processus
  → ordonnancement au sein du processus
- Typiquement, un autre thread prend la main quand :
  - le thread courant se bloque (I/O), ou
  - le thread courant a épuisé le quantum de temps qui lui été alloué



- Multiprocesseurs : possibilité de plusieurs threads actifs

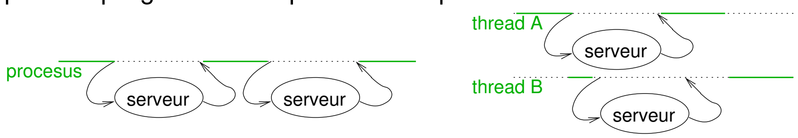
Critique des processus légers

Avantages des threads

- Deux aspects :
  - systèmes d'exploitation
  - applications concurentes
- Quelques exemples
  - débit
  - multiprocesseurs
  - réactivité (interface utilisateur)
  - réactivité d'un serveur
  - robustesse/fiabilité d'un serveur
  - structure d'un programme

Avantages des threads (cont'd)

- Débit
  - un seul thread
    → attente à chaque requête au système
  - plusieurs threads
    → possible superposition d'exécution et d'attente de retour de requête
    - le thread qui a fait la requête attend
    - un autre thread peut poursuivre son exécution
  - exemple : un programme fait plusieurs requêtes



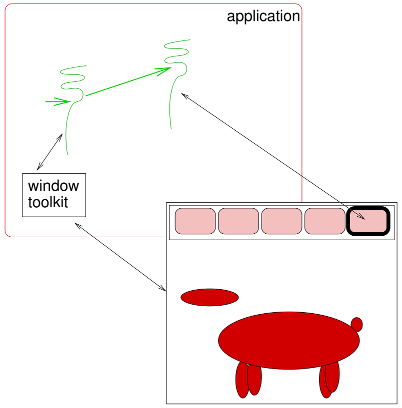
  - attentes parallèles

Avantages des threads (*cont'd*)

- Multiprocesseurs
  - machine multiprocesseurs
  - plusieurs threads au sein d'une application
    → utilisation effective du parallélisme
  - pas aussi simple !

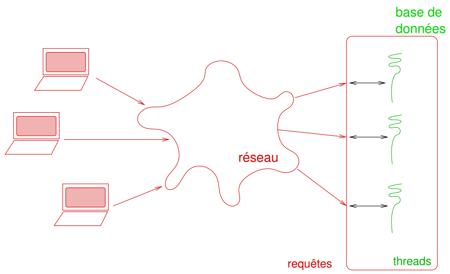
Avantages des threads (*cont'd*)

- Réactivité d'interfaces utilisateurs
  - une application avec une interface graphique
  - « *wait cursor* » pour le traitement (lourd) de certaines opérations
  - application multithreadée
    - un thread pour cette opération
    - le thread qui gère l'interface utilisateur reste actif
  - exemple : « *autosaving* »
  - priorité



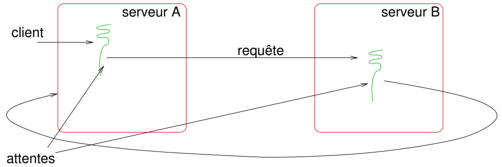
Avantages des threads (*cont'd*)

- Réactivité d'un serveur
  - un serveur dans une application client/serveur
  - possibibilité de plusieurs requêtes simulatannées depuis différents clients
  - un unique thread dans le serveur
    → une requête bloque le serveur si une autre requête plus prioritaire ?
  - serveur multithreadé
    - une requête = un thread
    - priorités de requêtes : ordonnacement des threads

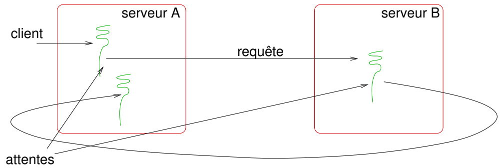


Avantages des threads (*cont'd*)

- Serveur sans dead-lock
  - application client/serveur
  - serveur est aussi client
    - d'autres serveurs
    - de lui-même
  - exemple : serveur « base de données »
    qui utilise un serveur de noms
    qui utilise le serveur de BD !



  - solution : serveur multithreadé



Avantages des threads (cont'd)

- Structure de programmes
  - exemple : une feuille de calcul
    - nouveau calcul des cellules à chaque modification
    - continue de gérer l'interface utilisateur
  - code mono-thread

```
for (;;) {
    while (nouvelle_maj_necessaire()
           && ! entree_utilisateur_disponible()) {
        recalculer_une_formule();
    }
    cmd = get_entree_utilisateur();
    traiter_entree_utilisateur(cmd);
}
```


Avantages des threads (cont'd)

- Structure de programmes
  - exemple : une feuille de calcul
    - nouveau calcul des cellules à chaque modification
    - continue de gérer l'interface utilisateur
  - code multithreadé : 2 threads indépendants = 2 codes *indépendants*
    - premier thread

```
for (;;) {
    cmd = get_entree_utilisateur()
    traiter_entree_utilisateur(cmd);
}
```

    - second thread

```
for (;;) {
    attendre_un_changement()
    for (toutes_les-formules)
        recalculer_une_formule();
}
```

  - expression plus naturelle !

Inconvénients des threads ?

- Cas limites
- Contrôle de la concurence
- Contraintes techniques
- Savoir faire

- Cas limites
  - application = un flot unique de calcul à accélerer sur un monoprocesseur
  - chaque séquence qui pourrait s'exécuter en parallèle → un thread

Contrôle de la concurence

- Toute action ne peut être faite concurremment
- Exemple

```
counter++;                    LOAD @"COUNTER" R1
                              INCR R1
                              STOR R1 @"COUNTER"
```

  - deux threads, un processeur

```
counter++;                    counter++;

LOAD @"COUNTER" R1
                              LOAD @"COUNTER" R2
                              INCR R2
                              STOR R2 @"COUNTER"
INCR R1
STOR R1 @"COUNTER"
```

  on a perdu une incrémentation
- Il faut contrôler la concurence : mécanismes ad hoc

Contraintes techniques

- Dimensionnement des piles d'exécution
  - processus légers : propre pile d'exécution
    - variables locales
    - pile d'exécution des fonctions appelées
  - appels récursifs profonds...
  - allouer systématiquement une « très grande pile »
    - coût mémoire
    - « très grande pile » ?
      - nombre d'appels récursifs ?
      - architecture cible
      - compilateur utilisé
  - stratégie essai/erreur
    - erreur ?
  - agrandir la pile d'exécution ?

Contraintes techniques (cont'd)

- Réentrance du code
  - threads d'un même processus
    - partage efficace de la mémoire
    - avantage utilisateur
  - problème pour les variables globales gérées par les biliohèques (exemple : `malloc()`)
    - idée : contrôler la concurence de l'accès à ces variables
    - quid ? si code source des bibliothèques non disponible ?
    - idée : contrôler la concurence de l'accès à la bibliothèque
    - quid ? si appel à la bibliothèque depuis une autre bibliothèque ?

Interface `pthread`

Interface `pthread`

- `pthread` : threads POSIX
- POSIX : IEEE Portable Operating System Interface, X as in UniX
- Unix threads interface P1003.1c
- Implantions diverses (et différentes) fournissant cette même API

- Illustration de l'API sur un exemple :
  - applications affichant
  - des images compressées lues
  - depuis un ensemble de fichiers
- Idée :
  - décompresser l'image suivante
  - pendant visualisation de la courante

Exemple : `get_next_picure()`

- Fonction `get_next_picure()`
  - ouvre le fichier
  - alloue un buffer
  - décompresse l'image du fichier dans le buffer

```
void *
get_next_picture (void *arg)
{
    int fd;
    pic_buf_t *buf;
    fd = open((char*) arg, O_RDONLY);
    buf = (pic_buf_t*) malloc(...);
    while (nbytes = read(fd,...)) {
        /* decompress data into buf */
    }
    close(fd);
    return(buf);
}
```


Exemple : `main()`

- Programme principal
  - appel de `get_next_picture()` pour lire la première image
  - affiche l'image et lance la lecture suivante
  - attend continuation de l'utilisateur

```
int main(argc, char *argv[])
{
    pthread_t pic_thread;
    int fileno;
    pic_buf_t *buf;

    for (fileno=1 ; fileno<argc ; fileno++) {
        if (fileno==1) {              /* premiere lecture, sans thread */
            buf = get_next_picture((void*)argv[fileno]);
        } else {                      /* attend la fin de la decompression */
            pthread_join(pic_thread), (void**)&buf);
        }
        if (fileno<argc-1)  /* lance un thread pour l'image suivante */
            pthread_create(&pic_thread, NULL, get_next_picture,
                           (void*) argv[fileno+1]);
```


Exemple : `main()` (cont'd)

```
int main(argc, char *argv[])
{
    pthread_t pic_thread;
    int fileno;
    pic_buf_t *buf;

    for (fileno=1 ; fileno<argc ; fileno++) {
        if (fileno==1) {              /* premiere lecture, sans thread */
            buf = get_next_picture((void*)argv[fileno]);
        } else {                      /* attend la fin de la decompression */
            pthread_join(pic_thread), (void**)&buf);
        }
        if (fileno<argc-1)  /* lance un thread pour l'image suivante */
            pthread_create(&pic_thread, NULL, get_next_picture,
                           (void*) argv[fileno+1]);
        display_buf(buf);                        /* affiche l'image */
        free(buf);                              /* libere le buffer */
        if (getchar() == EOF)     /* attend un caractere utilisateur */
            break;
    }
```


Création d'un thread

```
int pthread_create(
        pthread_t *threadid,
        const pthread_attr_t *attr,
        void *(*threadfunction)(void*),
        void *arg);
```

- Crée un nouveau thread
  - qui exécute la fonction `threadfunction()` à un argument `arg`
  - (attributs du thread `attr`, défaut : `NULL`)
  - retourne un identifiant de thread `threadid`
  - retourne une valeur nulle ou erreur (`errno.h`)
- Au plus `PTHREAD_THREADS_MAX` (`limit.h`) threads
- Argument unique `void*` de la fonction
  plusieurs arguments ⇒ structure...

Création d'un thread (cont'd)

```
struct two_args {
    int arg1;
    inrt arg2;
}
void *needs_two_args(void *ap)
{
    struct two_args *args = (void*)ap;
    int a1, a2;

    a1 = argp-> arg1;
    a2 = argp-> arg2;
    ...
}
```


Création d'un thread (cont'd)

```
pthread_t a()
{
    pthread_t t;
    struct two_args args;
    int error;

    args.arg1 = ...
    args.arg2 = ...
    error = pthread_create(&t, NULL,
                           needs_two_args, (void*)&args);
    if (error)
        /* traitement de l'erreur */
    return(t);
}
```

- Bug !!

Création d'un thread (cont'd)

```
pthread_t a()
{
    pthread_t t;
    struct two_args *ap = malloc(sizeof(struct two_args));
    int error;

    ap->arg1 = ...
    ap->arg2 = ...
    error = pthread_create(&t, NULL,
                           needs_two_args, (void*)ap);
    if (error)
        /* traitement de l'erreur */
    return t;
}
```

- Libération de la mémoire dans `needs_two_args()`

Terminaison d'un thread

- Au retour de la fonction, le thread se termine normalement
- Se faire terminer un thread :

```
int pthread_exit(
        void *status);
```

- La valeur `status` est associée à l'identifiant du thread
- Consultable par un autre thread

Attente de la terminaison d'un thread

- Tel thread a-t-il terminé ?

```
int pthread_join(
        pthread_t thread,
        void **statusp);
```

- Retourne le status du thread
  - à la terminaison du thread
  - ou si il a déjà terminé
- Une fois joint un thread n'a plus d'existence
- Attention à l'allocation du status du thread
  pas dans la pile du thread qui a terminé

Identification d'un thread

- Qui suis-je ?
  - à la création d'un thread, threadid → père
  - mon propre identifiant ?

```
pthread_t pthread_self();
```

- Égalité
  - le type `pthread_t` : identificateur de thread
  - comparaison

```
int pthread_equal(
        pthread_t t1,
        pthread_t t2);
```


Verrous mutex

- Accès en exclusion mutuelle à une section critique
- Protection de la section critique par un mutex
- Utilisation

```
lock(mutex)
... /* section critique */
unlock(mutex)
```

- Interface `pthread`
  - `pthread_mutex_t`
  - `pthread_mutex_init()`
    `pthread_mutex_destroy()`
  - `pthread_mutex_lock()`
    `pthread_mutex_unlock()`
    `pthread_mutex_trylock()`

Création/destruction de mutex

- Allocation

```
pthread_mutex_t lock;
```

  - ou

```
pthread_mutex_t *mp;
mp = malloc(sizeof(pthread_mutex_t));
```

- Initialisation obligatoire

```
pthread_mutex_t lock = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
```

  - ou

```
int pthread_mutex_init(
        pthread_mutex_t *mp,
        const pthread_mutexattr_t *attr);
```

  - valeur par défaut des attributs → `NULL`

- Destruction

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

Création/destruction de mutex (cont'd)

```
struct data_record {
    pthread_mutex_t data_lock;
    char data[128];
}

/* Create and initialize a new data record */
struct data_record *
new_record()
{
    struct_data_record *recp;

    recp = malloc(sizeof(struct date_record));
    pthread_mutex_init(&recp->data_lock, NULL);
    return(recp);
}

/* Delete a data record. The caller must ensure thart no threads are
   waiting to acquire this record's data_lock */
void
delete_record (struct data_record *recp)
{
    pthread_mutex_destroy(&recp->data_lock);
    free((void*) recp);
}
```


Verrouillage/déverrouillage d'un mutex

- Lock
  ```
  int pthread_mutex_lock(
          pthread_mutex_t *mp);
  ```
- Unlock
  ```
  int pthread_mutex_unlock(
          pthread_mutex_t *mp);
  ```
- Propriétaire du mutex
  - le thread qui réalise le verrouillage
- Déverrouillage
  - par le propriétaire uniquement
  - doit avoir été verrouillé
- Tentative de verrouillage
  ```
  int pthread_mutex_trylock(
          pthread_mutex_t *mp);
  ```
  - succès si le mutex est libre (retourne 0), devient proprietaire
  - retour de `EBUSY` sinon

Verrouillage/déverrouillage d'un mutex (cont'd)

- Exemple : synchronisation des accès à un fichier
  ne pas mélanger les chaînes affichées
  ```
  void
  write_strings(char *strings[], int nstring)
  {
      int i;
      static pthread_mutex_t file_lock=PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

      pthread_mutex_lock(&file_lock);
      for (i=0 ; i<nstring ; i++) {
          write(1, strings[i], strlen(strings[i]));
      }
      pthread_mutex_unlock(&file_lock);
  }
  ```


Conditions

- Mutex : séquentialisation des accès
- Attente d'un état
  - buffer non vide,
  - remplissage du buffer par un autre thread...

  → condition
- Condition :
  - utilisée avec un mutex
  - attente d'une condition, d'un état
- Opérations de base
  - attendre, wait
  - signaler, signal
- Interface `pthread`
  - `pthread_cond_t`
  - `pthread_cond_init()`
    `pthread_cond_destroy()`
  - `pthread_cond_wait()`
    `pthread_cond_signal()`
    `pthread_cond_timedwait()`
    `pthread_cond_broadcast()`

Création/destruction de conditions

- Allocation
```
pthread_cond_t lock;
```
  - ou
```
pthread_cond_t *mp;
cp = malloc(sizeof(pthread_cond_t));
```

- Initialisation obligatoire
```
pthread_mutex_t cond = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
```
  - ou
```
int pthread_cond_init(
        pthread_cond_t *cp,
        const pthread_condattr_t *attr);
```
  - valeur par défaut des attributs → `NULL`

- Destruction
```
int pthread_cond_destroy(
        pthread_cond_t *cp);
```


Attente et signal sur une condition

```
int pthread_cond_wait(
        pthread_cond_t *cp,
        pthread_mutex_t *mp);
```

- Bloque le thread
  - jusqu'à ce que la condition soit signalée
  - libère le mutex associé avant de bloquer le thread
    - seul le propriétaire du mutex peut appeler `pthread_cond_wait()`
  - verrouille le mutex avant de retourner suite à un signal sur la condition

Attente et signal sur une condition *(cont'd)*

```
int pthread_cond_signal(
        pthread_cond_t *cp);
```

- Réveille (au moins) un thread en attente sur la condition
  - une implémentation donnée peut réveiller plus de un thread bloqué
  - particulièrement sur multiprocesseurs

```
int pthread_cond_broadcast(
        pthread_cond_t *cp);
```

- Réveille tous les threads en attente sur la condition

Signaler peut réveiller plusieurs threads

- Utilisation typique de l'attente
- Boucle sur la condition

```
pthread_mutex_lock(&mutex);
/* la condition ne peut plus changer une fois le verrou acquis */
while (condition expression) {  /* boucle pour re-tester la condi
    /* lache le mutex lors du wait */
    pthread_cond_wait(&cond, &mutex);
    /* ici on a repris le verrou */
}
... /* fait ce qui est necessaire, la condition etant vraie */
pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

Exemple du producteur/consommateur

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


#define QSIZE 10                /* number of pointers in the queue */
typedef struct {
    pthread_mutex_t buf_lock;   /* lock the structure */
    int start_idx;              /* start of valid data */
    int num_full;               /* # of full locations */
    pthread_cond_t notfull;     /* full -> notfull condition */
    pthread_cond_t notempty;    /* empty -> notempty condition */
    void *data[QSIZE];          /* circular buffer of pointers */
} circ_buf_t;
```


Exemple du producteur/consommateur (cont'd)

```
/* new_cb() creates and initializes a new circular buffer */
circ_buf_t *
new_cb()
{
    circ_buf_t *cbp;

    cbp = malloc(sizeof(circ_buf_t));
    if (cbp == NULL)
        return NULL;
    pthread_mutex_init(&cbp->buf_lock, NULL);
    pthread_cond_init(&cbp->notfull, NULL);
    pthread_cond_init(&cbp->notempty, NULL);
    cbp->start_idx = 0;
    cbp->num_full = 0 ;
    return(cbp);
}
```


Exemple du producteur/consommateur (cont'd)

```
/* delete_cb() frees a circular buffer */
void
delete_cb(circ_buf_t *cbp)
{
    pthread_mutex_destroy(&cbp->buf_lock);
    pthread_cond_destroy(&cbp->notfull);
    pthread_cond_destroy(&cbp->notempty);
    free(cbp);
}
```


Exemple du producteur/consommateur (cont'd)

- Producteur

```
si tampon_plein
    attendre(non_plein)
remplir_tampon()
signaler(non_vide)
```

- Consommateur

```
si tampon_vide
    attendre(non_vide)
vider_tampon()
signaler(non_plein)
```

Exemple du producteur/consommateur *(cont'd)*

```
/* put_cb_data() puts new data on the queue.
   If the queue is full, it waits until there is room. */
void
put_cb_data(circ_buf_t *cbp, void *data)
{
    pthread_mutex_lock(&cbp->buf_lock);
    /* wait while the buffer is full */
    while (cbp->num_full == QSIZE)
        pthread_cond_wait(&cbp->notfull, &cbp->buf_lock);
    cbp->data[(cbp->start_idx + cbp->num_full) % QSIZE] = data;
    cbp->num_full += 1;
    /* let a waiting reader know there's data */
    pthread_cond_signal(&cbp->notempty);
    pthread_mutex_unlock(&cbp->buf_lock);
}
```


Exemple du producteur/consommateur *(cont'd)*

```
/* get_cb_data() get the oldest data in the circular buffer.
   If there is non, it waits until new data appears. */
void *
get_cb_data(circ_buf_t *cbp)
{
    void *data;

    pthread_mutex_lock(&cbp->buf_lock);
    /* wait while there's nothing in the buffer */
    while (cbp->num_full == 0)
        pthread_cond_wait(&cbp->notempty, &cbp->buf_lock);
    data = cbp->data[cbp->start_idx];
    cbp->start_idx = (cbp->start_idx + 1) % QSIZE;
    cbp->num_full -= 1;
    /* let a waiting writer know there's room */
    pthread_cond_signal(&cbp->notfull);
    pthread_mutex_unlock(&cbp->buf_lock);
    return data;
}
```


Programmer avec les threads

Granularité des données

- La synchronisation sur des données suppose que les données sont indépendantes (un changement sur une donnée n'affecte pas d'autres données).
- Ce n'est pas toujours le cas !
- Les processeurs actuels ne savent pas adresser (load and store) moins qu'un mot (32 ou 64 bits par exemple).
- Ne pas utiliser deux parties d'un même mot :

```
char array [8] ;        /* Bad ! */
/* Thread 1 */                       /* Thread 2 */
array[0]++ ;                         array[1]++ ;
```

- Normalement les variables sont alignées sur des mots :

```
char a, b ;             /* Devrait etre OK */
/* Thread 1 */                       /* Thread 2 */
a++ ;                                b++ ;
```

Verrou « récursif »

- N'a de récursif que la terminologie habituelle
- Une fonction verrouille un mutex
  - appelle une autre fonction qui verrouille aussi le mutex
  - situation « naturelle » : les deux fonctions accèdent une même variable...
- Mutex POSIX : deadlock !
  - il existe des mutex récursifs (Java...)
  - on peut les construire au dessus des verrous POSIX (cf TD...)
- Utilisation de mutex récursifs ?
  - emploi plus côuteux
  - bien souvent : pas d'intérêt
  - plutôt restructurer le code

Verrou « récursif » (cont'd)

- Exemple restructuration du code de la fonction `foo()`

```
data_t data ;
mutex_t m ;

foo()
{
  lock(&m) ;
  ... data ...
  foo() ;
  ... data ...
  unlock(&m) ;
}
```

```
bar()
{
  lock(&m) ;
  ... data ...
  unlock(&m) ;
  bar() ;
  lock(&m) ;
  ... data ...
  unlock(&m) ;
}
```

```
gee()
{
  lock(&m) ;
  gee'() ;
  unlock(&m) ;
}

gee'()
{
  ... data ...
  gee'() ;
  ... data ...
}
```

- `bar()` peut-être invalide : un autre thread prend la main avant l'appel récursif
- `bar()` coûteux (*vs.* coût d'un mutex récursif ?)
- `gee()/gee'()` la solution ?

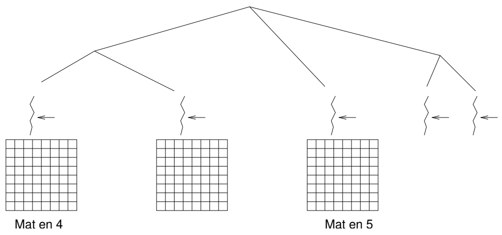
Race conditions

- Exécution concurrente en français ?
- Le résultat du programme dépend de l'ordonnancement des flots d'exécution
- Peut être un bug de conception du programme !

```
/* Thread 1 */
mutex_lock(&m);
v = v-1;
mutex_unlock(&m);
```

```
/* Thread 2 */
mutex_lock(&m);
v = v*2;
mutex_unlock(&m);
```

- Pas nécessairement un bug
  - plusieurs résultats corrects du programme



Race conditions (cont'd)

- La plupart des « race conditions » sont à l'origine de deadlocks !

```
/* Thread 1 */                      /* Thread 2 */
mutex_lock(&m1);
mutex_lock(&m2);
                                    mutex_lock(&m2);
                                    mutex_lock(&m1);
```

Le code va fonctionner 5 000 000 de fois ; puis...

```
/* Thread 1 */                      /* Thread 2 */
mutex_lock(&m1);
                                    mutex_lock(&m2);
mutex_lock(&m2);
                                    mutex_lock(&m1);
```

Recouvrir un deadlock

- Le problème : un thread attend sur un verrou qu'un autre thread ne lachera jamais
  - (programme erroné)
  - erreur sur le thread...
- Recouvrir le deadlock : corriger, à l'exécution, cette situation

- Ne pas le faire ! Corriger le programme !
- Il ne suffit pas de lacher le verrou !

Fin d'un thread – thread détaché

```
void pthread_exit(
        void *retval);
```

- Termine le thread courant
  - `retval` est la valeur retournée par le thread
  - elle pourra être consultée par un autre thread par un `pthread_join()`
  - suppose que le thread est en mode « *joinable* »
  - l'appel `pthread_join` n'est qu'une autre manière de synchoniser des threads
  - on confond l'attente sur la fin du thread avec l'attente sur le résultat de ce thread
- Explicitement attendre sur le résultat que doit produire ce thread

Fin d'un thread – thread détaché (cont'd)

- Lancer les threads en mode *détaché* par défaut :

```
pthread_attr_t attr;
pthread_attr_init(&attr);
pthread_attr_setdetachstate(&attr, PTHREAD_CREATE_DETACHED);

pthread_create(&tid, &attr, func, arg);
```

- Passer un thread en mode détaché :

```
int pthread_detach(pthread_t t);
```


Debug d'un programme multithreadé

- Sources d'erreurs dans les programmes multithreadés :
  - passage en paramètre à un nouveau thread d'un pointeur dans la pile de l'appelant
  - accès à la mémoire globale sans protection (mutex...)
  - création de deadlock : deux threads tentent d'acquerir deux ressources dans un ordre différent
  - tentative de ré-acquerir un verrou déjà détenu
  - utilisation des signaux Unix et de threads
  - création de threads qui (par défaut !) ne sont pas détachés (doivent être réclamés par un `pthread_join()`)
  - prudence insuffisante lors de l'utilisation de cast (`(void *)`) pour les paramètres et retours des threads (`pthread_create()`)

Implantations des threads

Deux niveaux de threads

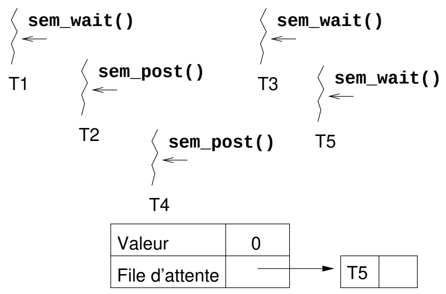
- Deux grands types d'implantations de threads :
  1. threads utilisateurs — bibliothèque de threads
  2. threads noyaux — appels systèmes

(Cf. cours de système ?)

Compléments sur l'interface `pthread`

Sémaphores

- Synchonisation POSIX :
  - déjà vu : mutex, conditions, `exit()`/`join()`
  - existe aussi : sémaphores (à compteur)
- Sémaphore = une valeur et une file d'attente
  - `sem_wait()` bloquant si compteur $\leq$ 0
  - `sem_post()` incrémente le compteur
  - pas de notion de propriétaire d'un sémaphore



Sémaphores (cont'd)

- Interface POSIX :

```
#include <semaphore.h>

sem_t

sem_init();
sem_destroy();

sem_wait();
sem_post();
sem_trywait();
sem_getvalue();
```

- Création/destruction de sémaphores :

```
int sem_init(
        sem_t *sem,
        int pshared,
        unsigned int value);
int sem_destroy(
        sem_t * sem);
```

  - initialisation obligatoire
  - valeur initiale `value`
  - `pshared` : sémaphore local au processus (valeur 0) ou partagé avec d'autres processus

Attente et notification sur un sémaphore

```
int sem_post(
        sem_t *sem);
```

- Incrémente le compteur de manière atomique

```
int sem_wait(
        sem_t *sem);
```

- Bloque tant que compteur $\leq$ 0. Décrémente de manière atomique
- Interruption possible du thread dans un `sem_wait()`
  - (réception d'un signal, appel à `fork()`)
  - $\Rightarrow$ retourne -1, positionne `errno` à `EINTR`

```
while (sem_wait(&s) == -1) { /* vraisemblablement rien */ }
/* ici le semaphore est decremente */
```


Attente et notification sur un sémaphore (cont'd)

```
int sem_trywait(
        sem_t *sem);
```

- Décrémentation d'un sémaphore
  - variante non-bloquante de `sem_wait()`
  - compteur $>$ 0 : décrémente et retourne 0
  - compteur à zéro : retourne immédiatement avec l'erreur `EAGAIN`

```
int sem_getvalue(
        sem_t *sem,
        int *sval);
```

- Valeur d'un sémaphore
  - retourne dans `sval` la valeur du compteur
  - inutile : c'est toujours *l'ancienne* valeur !

Utilisation de threads et de bibliothèques

Bibliothèques « MT-safe »

- Triple exigence :
  1. bibliothèque efficace
  2. bibliothèque MT-safe
  3. bibliothèque conforme à la sémantique et à l'API Unix

  Deux parmi les trois : ok...

Bibliothèque non MT-safe ou changement d'API ?

- Bibliothèque non MT-safe :

```
void
print_time(time_t time)
{
    char *s;
    s = ctime(time);
    printf("%s", s);
}
```

On trouve dans la `libc` :

```
char *
ctime(time_t time)
{
    static char s[SIZE];
    ...
    return(s);
}
```

- Version MT-safe de bibliothèque :

```
void
print_time(time_t time)
{
    char s[SIZE];
    ctime_r(time, s);
    printf("%s", s);
}
```

Changement de l'API !

```
char *
ctime_r(time_t time, char *s)
{
    ...
    return(s);
}
```


Contrôle des accès à une bibliothèque non MT-safe

```
void
print_time(time_t time)
{
    char *s, str [SIZE];
    static pthread_mutex_t lock;

    pthread_mutex_lock(&m);
    s = ctime(time);
    strcpy(str, s) ;
    pthread_mutex_unlock(&m);

    printf("%s", str);
}
```

- Quid des appels à la bibliothèque depuis une autre bibliothèque ?

Bibliothèque MT-safe avec une autre sémantique

- Version MT-safe change la sémantique
  - par exemple `pread()` et `pwrite()` comparées à `read()` et `write()`
-
```
ssize_t read(
        int fd, void *buf,
        size_t count);
```
  - lit `count` octets dans le fichier associé au descripteur `fd` et les range dans `buf`
  - lit ces octets à partir de la position courante dans le fichier
  - effet de bord : incrémente la position courante de `count` : non thread-safe !
-
```
ssize_t pread(
        int fd, void *buf,
        size_t nbyte,
        off_t offset);
```
  - identique à `read()`
  - mais : lit à partir de la position `offset` sans changer la position courante dans le fichier

Autres problèmes : `errno`, `getc()`

- La variable `errno`
  - positionnée par les appels systèmes (et quelques bibliothèques) pour préciser une erreur
  - cette valeur est significative quand un appel système a retourné une erreur (normalement -1)
- Ancienne implémentation : une variable globale
- On veut une valeur de erreur locale à chaque thread
  - c'est pour ce genre d'exigence qu'a été introduit le TSD
  - Thread Specific Data

Autres problèmes : `errno`, `getc()` *(cont'd)*

- `#include <stdio.h>`
  `int getc(FILE *fp);`
  - macro définie dans `stdio.h`.
  - retourne le caractère suivant du flux `fp`
  - effet de bord : avance la position courante dans `fp`
  - il existe des versions thread-safe de `getc()`
  - pas de versions « async-cancel-safe »
  - problème si le thread est interrompu pendant le `getc()`

Ce qui n'a pas été vu

Ce qui n'a pas été vu

- Thread Specific Data
- Cancellation
- Threads et signaux Unix
- Threads et... Java
  Threads et... Windows NT
- Threads en environnement distribué
- Threads communiquants (« *talking threads* »)