

## Résumé du cinquième chapitre

### Problèmes à éviter lors des synchronisations (et définitions)

- ▶ Interblocage : groupe de processus en attente mutuelle
- ▶ Compétition : le résultat dépend de l'ordre d'exécution
- ▶ Famine : un processus n'obtient pas la ressource car les autres l'en empêchent

### Les sémaphores

- ▶ Principe : distributeur de jetons
- ▶ Opérations :
  - ▶ initialisation : mettre des jetons dans la boîte
  - ▶ P : prendre un jeton (ou bloquer s'il y en a plus)
  - ▶ V : rendre un jeton pris

### Schémas de synchronisation classiques

- ▶ Exclusion mutuelle : Ressource utilisée par au plus un utilisateur
- ▶ Cohorte : Ressource partagée entre au plus N utilisateurs
- ▶ Rendez-vous : un processus attend un autre, ou attente mutuelle
- ▶ Producteurs/consommateurs : utilisation **après** création
- ▶ Lecteurs/rédacteurs : concurrence entre **catégories** d'utilisateurs

(179/217)

## Résumé du cinquième chapitre (suite)

### Moniteurs

- ▶ Principe : Objet auto-protégé par sémaphore
- ▶ Avantage : Pas d'erreur de manipulation possible
- ▶ Usage en Java : synchronized

### Variable de condition

- ▶ Principe : Comme un sémaphore privé pour la communication entre threads
- ▶ Avantage : Permet le passage de relai entre threads
- ▶ Usage en Java : wait()/notifyAll()

### CAS (Compare-And-Swap)

- ▶ Principe : Tentative de modif. si personne n'a modifié depuis dernière lecture
- ▶ Avantages : Implementer les sémaphores ; algo lock-free

(180/217)

## Conclusion générale

### Il n'y a pas de magie noire dans l'ordinateur

- ▶ Même un OS est finalement assez simple, avec des idées très générales
- ▶ **Concepts** : processus, mémoire, système de fichiers, pseudo-parallélisme
- ▶ **Idées** : interposition, préemption, tout-est-fichier, bibliothèque de fonctions
- ▶ **Synchro** : compétition, interblocage, famine. Sémaphore, mutex, moniteur . . .

### Indispensable pour comprendre l'ordinateur

- ▶ 1% d'entre vous vont coder dans l'OS, 5% vont coder si bas niveau
- ▶ Mais ces connaissances restent indispensables pour comprendre la machine
- ▶ Programmer efficace en Java demande de comprendre le tas et les threads
- ▶ Les problèmes de synchro restent assez similaires dans les couches hautes

### Ce que nous n'avons pas vu

- ▶ Le chapitre sur les threads
- ▶ L'implémentation de l'OS (cf. RSA) et des machines virtuelles
- ▶ High Perf Computing : Message-passing, cache-aware, out-of-core, parallélisme
- ▶ Recherche en OS : Virtualisation, synchro wait-free, spec formelle

(181/217)

## Sixième chapitre

### Programmer avec les threads

- **Introduction aux threads**
  - Comparaison entre threads et processus
  - Avantages et inconvénients des threads
  - Design d'applications multi-threadées
- **Modèles de threads**
  - Threads utilisateur ou noyau, modèles M:1, 1:1 et M:N
  - Études de cas
- **Programmer avec les Pthreads**
  - Gestion des threads
  - Mutexes, sémaphores POSIX et variables de condition
- **Conclusion**

## Qu'est ce qu'un thread

### Définition d'un thread

- ▶ Techniquement : un **flot d'exécution** pouvant être ordonnancé par l'OS
- ▶ En pratique : une procédure s'exécutant indépendamment du main
- ▶ Mot français : fil d'exécution ou processus léger (*lightweight process*)

### Programme *multi-threadé*

- ▶ Un programme contenant diverses fonctions et procédures
- ▶ Ces procédures peuvent être exécutées simultanément et/ou indépendamment

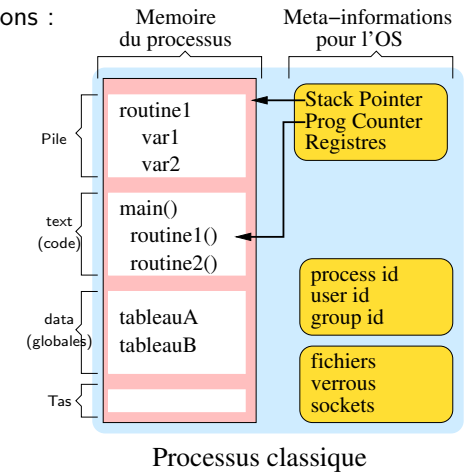
(183/217)

## Comparaison de processus et threads (1/2)

### Processus «classique» (ou «lourd»)

Processus UNIX contient diverses informations :

- ▶ PID, PGID, UID, GID
- ▶ L'environnement
- ▶ Répertoire courant
- ▶ Pointeur d'instruction (PC)
- ▶ Registres
- ▶ Pile
- ▶ Tas
- ▶ Descripteurs de fichier
- ▶ Gestionnaires de signaux
- ▶ Bibliothèques partagées
- ▶ Outils d'IPC (tubes, sémaphores, shm, etc)

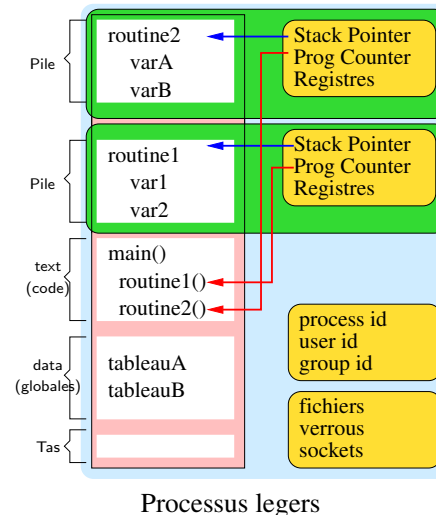


(184/217)

## Comparaison de processus et threads (2/2)

### Processus légers

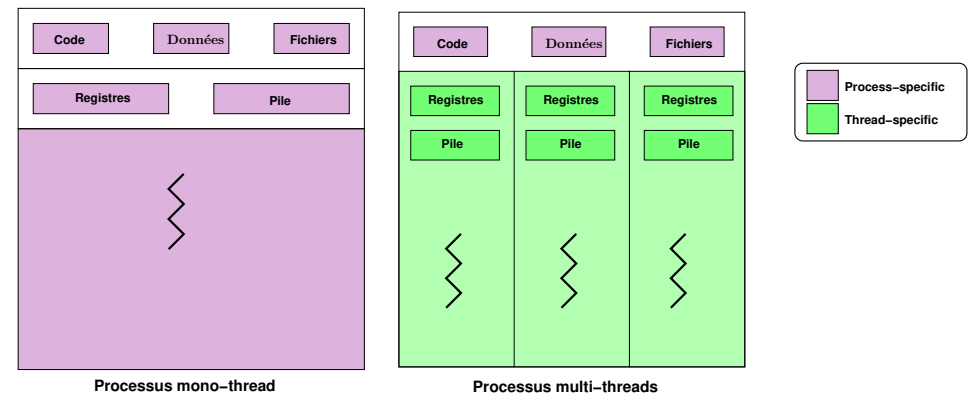
- ▶ Plusieurs threads coexistent dans le même processus «lourd»
- ▶ Ils sont ordonnancés séparément
- ▶ Informations spécifiques
  - ▶ Pile
  - ▶ Registres
  - ▶ Priorité (d'ordonnancement)
  - ▶ Données spécifiques
  - ▶ Liste des signaux bloqués
- ▶ Le reste est partagé
  - ▶ Si un thread ferme un fichier, il est fermé pour tous
  - ▶ Si un thread fait `exit()`, tout s'arrête
  - ▶ Globales et pointeurs vers le tas : variables partagées (à synchroniser)



(185/217)

## Processus vs. thread en résumé

- ▶ Processus : environnement d'exécution pour les threads au sein de l'OS
- ▶ État vis-à-vis de l'OS (fichiers ouverts) et de la machine (mémoire)
- ▶ Processus = Thread + Espace d'adressage



L'espace d'adressage est *passif*; le thread est *actif*

(186/217)

## Pourquoi processus dits «légers» ?

### Les threads contiennent moins de choses

- ▶ Partagent la plupart des ressources du processus lourd
- ▶ Ne dupliquent que l'indispensable
- ▶ ⇒ 2 threads dans 1 processus consomment moins de mémoire que 2 processus

### Les threads sont plus rapides à créer

Machine	fork()			threads		
	real	user	sys	real	user	sys
Celeron 2GHz	4.479s	0.364s	3.756s	1.606s	0.380s	0.388s
AMD64 2.5GHz (4CPU)	7.006s	0.936s	6.244s	0.903s	0.300s	0.640s

### Les communications inter-threads sont rapides

- ▶ Bus PCI (donc, carte réseau) : 128 Mb/s
- ▶ Copie de mémoire (Tubes ; Passage message sur SMP) : 0,3 Gb/s
- ▶ Mémoire vers CPU (Pthreads) : 4 Gb/s

(187/217)

## Usage des threads

### Pourquoi utiliser les threads

- ▶ Objectif principal : gagner du temps (threads moins gourmands que processus)

### Quand utiliser les threads

- ▶ 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 SMP ou CMP (multi-cœurs)

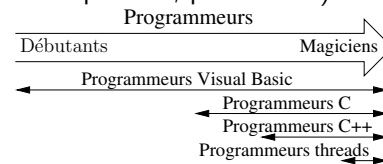
(188/217)

## Quand (pourquoi) ne pas utiliser les threads

### Problèmes du partage de la mémoire

- ▶ Risque de corruption mémoire (risque de compétition)
  - ▶ Besoin de synchronisation (risque d'interblocage)
- ⇒ Communication inter-threads rapide mais dangereuse
- ▶ Segfault d'un thread → mort de tous
  - ▶ Casse l'abstraction en modules indépendants
  - ▶ Extrêmement difficile à debugger (dépendances temporelles ; pas d'outils)

Programmer avec les threads,  
c'est enlever les gardes-fous de l'OS  
pour gagner du temps



(Why Threads are a Bad Idea, USENIX96)

### Obtenir de bonnes performances est très difficile

- ▶ Verrouillage simple (moniteurs) amène peu de concurrence
- ▶ Verrouillage fin augmente la complexité (concurrence pas facilement meilleure)

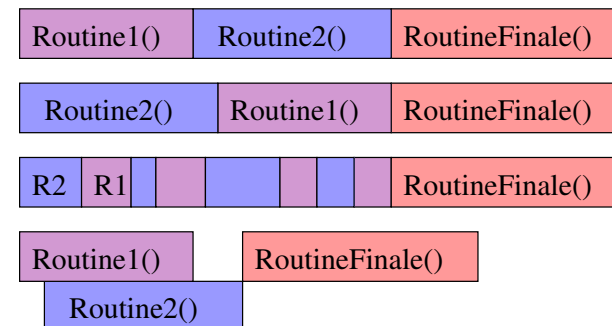
(189/217)

## Design d'applications multi-threadées

### Applications candidates

- ▶ Applis organisées en tâches indépendantes s'exécutant indépendamment
- ▶ Toutes routines pouvant s'exécuter en (pseudo-)parallèle sont candidates
- ▶ Interface interactive (↔ latence indésirable) avec des calculs ou du réseau

### Dans l'exemple, routine1() et routine2() sont candidates



(190/217)

## Code réentrant et threads-safeness

### Code réentrant

- ▶ Définition : Peut être appelé récursivement ou depuis plusieurs «endroits»
- ▶ Ne pas maintenir d'état entre les appels
  - ▶ Contre-exemple : strtok, rand (strtok\_r est réentrante)
- ▶ Ne pas renvoyer un pointeur vers une statique
  - ▶ Contre-exemple : ctime (ctime\_r est réentrante)

### Code thread-safe

- ▶ Définition : Fonctionne même si utilisé de manière concurrente
- ▶ Si le code n'est pas réentrant, il faut le protéger par verrous

### Problème des dépendances

- ▶ **Votre code est thread-safe, mais vos bibliothèques le sont-elles ?**
- ▶ La libc est réentrante (sous linux modernes)
  - ▶ Exemple de errno : chaque thread a maintenant son propre errno
- ▶ Pour le reste, il faut vérifier (voire, supposer qu'il y a un problème)
- ▶ En cas de problème, il faut protéger les appels grâce à un verrou explicite

(191/217)

## Patterns classiques avec les threads

### Maitre/esclaves

- ▶ Un thread centralise le travail à faire et le distribue aux esclaves
- ▶ Pool d'esclaves statique ou dynamique
- ▶ Exemple : serveur web

### Pipeline

- ▶ La tâche est découpée en diverses étapes successives  
Chaque thread réalise une étape et passe son résultat au suivant
- ▶ Exemple : traitement multimédia (streaming)

### Peer to peer

- ▶ Comme un maitre/esclaves, mais le maitre participe au travail

(192/217)

## Sixième chapitre

## Programmer avec les threads

### ● Introduction aux threads

Comparaison entre threads et processus  
Avantages et inconvénients des threads  
Design d'applications multi-threadées

### ● Modèles de threads

Threads utilisateur ou noyau, modèles M:1, 1:1 et M:N  
Études de cas

### ● Programmer avec les Pthreads

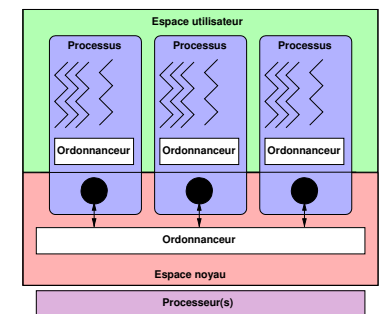
Gestion des threads  
Mutexes, sémaphores POSIX et variables de condition

### ● Conclusion

## Implantation des threads : Modèle M:1

**Tous les threads d'un processus mappés sur un seul thread noyau**  
Service implémenté dans une bibliothèque spécifique

- ▶ Gestion des threads au niveau utilisateur
- ▶ Avantages :
  - ▶ Pas besoin de modifier le noyau
  - ▶ Rapides pour créer un thread, et pour changer de contexte
  - ▶ Portables entre OS
- ▶ Inconvénients :
  - ▶ Ordonnancement limité à celui d'un processus système  
⇒ «Erreurs» d'ordonnancement
  - ▶ Appel bloquant dans un thread  
⇒ blocage de tous
  - ▶ Pas de parallélisme (dommage pour les SMP)



(D'après F. Silber)

⇒ Efficace, mais pas de concurrence

- ▶ Exemples : Fibres Windows, Java Green Threads, GNU pth (*portable thread*)

(194/217)

## Modèle 1:1

### Chaque thread utilisateur mappé sur un thread noyau

Modification du noyau pour un support aux threads

- ▶ Gestion des threads au niveau système (LightWeight Process – LWP)

#### ▶ Avantages

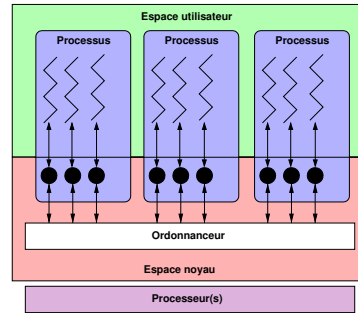
- ▶ Appel bloquant dans un thread  
⇒ exécution d'un autre
- ▶ Parallélisme possible
- ▶ Ordonnement du noyau plus approprié

#### ▶ Inconvénients

- ▶ Besoin d'appels systèmes spécifiques (clone()) pour la création sous linux)
- ▶ Commutation réalisée par le noyau  
⇒ changements de contexte (coûteux)

⇒ Concurrence importante, mais moins efficace (nombre total de threads souvent borné)

- ▶ Exemples : Windows 95/98/NT/2000, OS/2, Linux, Solaris 9+



(D'après F. Silber)

(195/217)

## Modèle M:N

### M threads utilisateur mappés sur N threads noyau ( $M \geq N \geq 1$ )

Services utilisateur basés sur des services noyau

- ▶ Coopération entre l'ordonnanceur noyau et un ordonnanceur utilisateur

#### ▶ Avantages : le meilleur des deux mondes

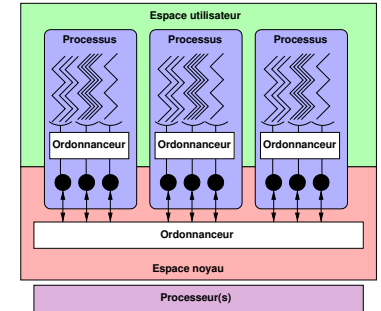
- ▶ Threads noyaux plus basiques et efficaces
- ▶ Threads utilisateurs plus flexibles
- ▶ Moins de changement de contexte
- ▶ Pas d'erreur d'ordonnement

#### ▶ Inconvénients :

- ▶ Extrêmement difficile à implémenter
- ▶ Un peu «usine à gaz» :
  - ▶ modèle théorique plus pur
  - ▶ implémentations complexes
  - ▶ efficacité parfois discutable

- ▶ Concurrence importante, bonne efficacité (?)

- ▶ Exemples : Solaris avant v9, IRIX, HP-UX



(D'après F. Silber)

(196/217)

## Études de cas (1/3)

### Pthreads

- ▶ POSIX threads : norme standardisé par IEEE POSIX 1003.1c (1995)
- ▶ Ensemble de types et fonctions C dont la sémantique est spécifiée
- ▶ Seulement une API : implémentation sous tous les UNIX (et même Windows)

### Threads Solaris

- ▶ Modèle M:N
- ▶ Threads intermédiaires (LWP)

### Threads Windows 2000

- ▶ Modèle 1:1 pour les WinThreads
- ▶ Modèle M:1 pour les fibres (l'OS ne voit pas les fibres)

### Threads Java

- ▶ Extension de la classe Thread ; Implantation de l'interface Runnable
- ▶ Implémentation dépend de la JVM utilisée

(197/217)

## Études de cas (2/3)

### Threads sous linux

- ▶ Threads mappé sur des tâches (tasks)
- ▶ Appel système clone() pour dupliquer une tâche (fork() implémenté avec ça)

### Plusieurs bibliothèques implémentant le standard Pthreads

#### ▶ Depuis 1996 : LinuxThreads

- ▶ Modèle 1:1, par Xavier Leroy (INRIA, créateur d'Ocaml)
- ▶ Pas complètement POSIX (gestion des signaux, synchronisation)
- ▶ ≈ 1000 threads au maximum

#### ▶ Next Generation POSIX Threads

- ▶ Modèle M:N, par IBM ; abandonné
- ~ NPTL avançait plus vite
- ~ M:N induisait une complexité trop importante

#### ▶ Maintenant Native POSIX Thread Library

- ▶ Modèle 1:1, par Ulrich Drepper (acteur principal libc, chez Red Hat)
- ▶ Totalement conforme à POSIX
- ▶ Bénéficie des fonctionnalités du noyau Linux 2.6 (ordonnement  $O(1)$ )
- ▶ Création de 100 000 threads en 2 secondes (contre 15 minutes sans)

(198/217)

## Études de cas (3/3)

Possibilités de quelques systèmes d'exploitations

	1 seul espace d'adressage	plusieurs espaces d'adressage
1 seul thread par espace d'adressage	MS/DOS Macintosh (OS9)	Unix traditionnels
plusieurs threads par espace d'adressage	Systèmes embarqués	Win/NT, Linux, Solaris HP-UP, OS/2, Mach, VMS

(199/217)

## Sixième chapitre

### Programmer avec les threads

- Introduction aux threads
  - Comparaison entre threads et processus
  - Avantages et inconvénients des threads
  - Design d'applications multi-threadées
- Modèles de threads
  - Threads utilisateur ou noyau, modèles M:1, 1:1 et M:N
  - Études de cas
- Programmer avec les Pthreads
  - Gestion des threads
  - Mutexes, sémaphores POSIX et variables de condition
- Conclusion

## Généralités sur l'interface Pthreads

Trois grandes catégories de fonctions / types de données

### Gestion des threads

- ▶ Créer des threads, les arrêter, contrôler leurs attributs, etc.

### Synchronisation par mutex (**mutual exclusion**)

- ▶ Créer, détruire verrouiller, déverrouiller des mutex; Contrôler leurs attributs

### Variables de condition :

- ▶ Communications entre threads partageant un mutex
- ▶ Les créer, les détruire, attendre dessus, les signaler; Contrôler leurs attributs

Préfixe d'identificateur	Groupe
pthread_	Threads eux-mêmes et diverses fonctions
pthread_attr_	Attributs des threads
pthread_mutex_	Mutexes
pthread_cond_	Variables de condition

... ..

(201/217)

## L'interface Pthreads en pratique

- ▶ Types de données sont structures opaques, fonctions d'accès spécifiques
- ▶ L'interface compte 60 fonctions, nous ne verrons pas tout
- ▶ Il faut charger le fichier d'entête `pthread.h` dans les sources
- ▶ Il faut spécifier l'option `-pthread` à gcc

### thread-ex1.c

```
#include <pthread.h>
void *hello( void *arg ) {
    int *id = (int*)arg;
    printf("%d: hello world \n", *id);
    pthread_exit(NULL);
}

int main (int argc, char *argv[ ]) {
    pthread_t thread[3];
    int id[3]={1,2,3};
    int i;

    for (i=0;i<3;i++) {
        printf("Crée thread %d\n",i);
        pthread_create(&thread[i], NULL,
                     hello, (void *)&id[i]);
    }
    pthread_exit(NULL);
}
```

```
$ gcc -pthread -o thread-ex1 thread-ex1.c
$ ./thread-exemple1
Crée thread 1
Crée thread 2
Crée thread 3
1 : hello world
2 : hello world
3 : hello world
$
```

(202/217)

## Identification et création des threads

### Identifier les threads

- ▶ **pthread\_t** : équivalent du pid\_t (c'est une structure opaque)
- ▶ pthread\_t **pthread\_self** () : identité du thread courant
- ▶ int **pthread\_equal** (pthread\_t, pthread\_t) : test d'égalité

### Créer de nouveaux threads

- ▶ Le programme est démarré avec un seul thread, les autres sont créés à la main
- ▶ int **pthread\_create**(identité, attributs, fonction, argument);
  - ▶ **identité** : [pthread\_t\*] identifieur unique du nouveau thread (*rempli par l'appel*)
  - ▶ **attributs** : Pour modifier les attributs du thread (NULL → attributs par défaut)
  - ▶ **fonction** : [void \*(\*)(void \*)] Fonction C à exécuter (le «main du thread»)
  - ▶ **argument** : argument à passer à la fonction. Doit être transtypé en void\*
  - ▶ **retour** : 0 si succès, errno en cas de problème

Exercice : Comment savoir dans quel ordre vont démarrer les threads créés ?

On peut pas, ça dépend des fois (gare aux races conditions)

Exercice : Comment passer deux arguments à la fonction ?

en définissant une structure

(203/217)

## Exemple FAUX de passage d'arguments

```
thread-faux1.c
#include <pthread.h>
void *hello( void *id ) {
    printf("%d: hello world \n", (char *) id);
    pthread_exit(NULL);
}

int main (int argc, char *argv[ ]) {
    pthread_t th[3];
    int i;

    for (i=0;i<3;i++) {
        printf("Crée thread %d\n",i);
        pthread_create(&th[i], NULL, hello, (void *)&i);
    }

    pthread_exit(NULL);
}
```

Exercice : Quel est le problème ?

On transforme i en globale inter-thread, et sa valeur peut donc être changée dans le thread lanceur avant le démarrage du thread utilisateur. C'est une belle condition de compétition.

(204/217)

## Exemple de passage d'arguments complexes

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define NUM_THREADS 8

typedef struct data {
    int thread_id,sum;
    char *msg;
} data_t;

data_t data_array[NUM_THREADS];

void *PrintHello(void *arg) {
    data_t *mine = (data_t *)arg;

    sleep(1);
    printf("Thread %d: %s Sum=%d\n",
        mine->thread_id,
        mine->msg,
        mine->sum);
    pthread_exit(NULL);
}
```

```
int main(int argc, char *argv[ ]) {
    pthread_t threads[NUM_THREADS];
    int rc, t, sum=0;

    char *messages[NUM_THREADS] = {
        "EN: Hello World!", "FR: Bonjour, le monde!",
        "SP: Hola al mundo", "RU: Zdravstvyye, mir!",
        "DE: Guten Tag, Welt!", "Klingon: Nuq neH!",
        "JP: Sekai e konnichiwa!",
        "Latin: Orbis, te saluto!" };

    for(t=0;t<NUM_THREADS;t++) {
        sum = sum + t;
        thread_data_array[t].thread_id = t;
        thread_data_array[t].sum = sum;
        thread_data_array[t].message = messages[t];
        printf("Creating thread %d\n", t);
        rc = pthread_create(&threads[t], NULL,
            PrintHello,
            (void*)&thread_data_array[t]);

        if (rc) {
            printf("ERROR; _create() returned %d\n", rc);
            exit(-1);
        }
    }
    pthread_exit(NULL);
}
```

(205/217)

## Terminaison des threads

### Causes de terminaison des threads

- ▶ Le thread termine sa fonction initiale
- ▶ Le thread appelle la routine pthread\_exit()
- ▶ Le thread est tué par un autre thread appelant pthread\_cancel()
- ▶ Tout le processus se termine à cause d'un exit, exec ou return du main()

### Terminer le thread courant

- ▶ void **pthread\_exit**(void \*retval);
  - ▶ **retval** : valeur de retour du thread (optionnel)
- ▶ Pour récupérer code de retour, un autre thread doit utiliser pthread\_join()

(206/217)

## Attendre la fin d'un thread

### Joindre un thread

- ▶ `int pthread_join ( pthread_t, void ** )`
- ▶ Le thread A joint le thread B : A bloque jusqu'à la fin de B
- ▶ Utile pour la synchronisation (rendez-vous)
- ▶ Second argument reçoit un pointeur vers la valeur retour du `pthread_exit()`
- ▶ Similaire au `wait()` après `fork()`  
(mais pas besoin d'être le créateur pour joindre un thread)

### Détacher un thread

- ▶ `int pthread_detach ( pthread_t )`
- ▶ Détacher un thread revient à dire que personne ne le joindra à sa fin
- ▶ Le système libère ses ressources au plus vite
- ▶ Évite les threads zombies quand on ne veut ni synchro ni code retour
- ▶ On ne peut pas ré-attacher un thread détaché

(207/217)

## Attributs des threads

C'est le second argument du `create`

### Les fonctions associées

- ▶ Création et destruction d'un objet à passer en argument à `_create` :
  - ▶ `int pthread_attr_init ( pthread_attr_t * )`
  - ▶ `int pthread_attr_destroy ( pthread_attr_t * )`
- ▶ Lecture : `int pthread_attr_getX ( const pthread_attr_t *, T * )`
- ▶ Mise à jour : `int pthread_attr_setX ( pthread_attr_t *, T )`

### Attributs existants

- ▶ `detachstate (int)` : `PTHREAD_CREATE_[JOINABLE|DETACHED]`
- ▶ `schedpolicy (int)`
  - ▶ `SCHED_OTHER` : Ordonnancement classique
  - ▶ `SCHED_RR` : Round-Robin (chacun son tour)
  - ▶ `SCHED_FIFO` : Temps réel
- ▶ `schedparam (int)` : priorité d'ordonnancement
- ▶ `stackaddr (void*)` et `stacksize (size_t)` pour régler la pile
- ▶ `inheritsched, scope`

(208/217)

## Exemple de gestion des threads

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define NUM_THREADS 3

void *travail(void *null) {
    int i;
    double result=0.0;
    for (i=0; i<1000000; i++)
        result = result + (double)random();
    printf("Resultat = %e\n",result);
    pthread_exit(NULL);
}

int main(int argc, char *argv[ ]) {
    pthread_t thread[NUM_THREADS];
    pthread_attr_t attr;
    int rc, t;
    /* Initialise et modifie l'attribut */
    pthread_attr_init(&attr);
    pthread_attr_setdetachstate(&attr,
        PTHREAD_CREATE_JOINABLE);
```

```
for(t=0;t<NUM_THREADS;t++) {
    printf("Creating thread %d\n", t);
    if ((rc = pthread_create(&thread[t], &attr,
        travail, NULL))) {
        printf("ERREUR de _create() : %d\n", rc);
        exit(-1);
    }
    /* Libère l'attribut */
    pthread_attr_destroy(&attr);
    /* Attend les autres */
    for(t=0;t<NUM_THREADS;t++) {
        if ((rc = pthread_join(thread[t],
            /*pas de retour attendu*/NULL))) {
            printf("ERREUR de _join() : %d\n", rc);
            exit(-1);
        }
        printf("Rejoint thread %d. (ret=%d)\n",
            t, status);
    }
    pthread_exit(NULL);
}
```

(209/217)

## Sixième chapitre

### Programmer avec les threads

- Introduction aux threads
  - Comparaison entre threads et processus
  - Avantages et inconvénients des threads
  - Design d'applications multi-threadées
- Modèles de threads
  - Threads utilisateur ou noyau, modèles M:1, 1:1 et M:N
  - Études de cas
- Programmer avec les Pthreads
  - Gestion des threads
  - Mutexes, sémaphores POSIX et variables de condition
- Conclusion



## Les mutex Pthreads

### Interface de gestion

- ▶ Type de donnée : `pthread_mutex_t`
- ▶ Création :
  - ▶ statique : `pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;`
  - ▶ dynamique : `pthread_mutex_init(pthread_mutex_t *, pthread_mutexattr_t *)`;  
Premier argument : adresse de (pointeur vers) la variable à initialiser
- ▶ Destruction : `pthread_mutex_destroy(mutex)` (doit être déverrouillé)
- ▶ (pas d'attributs POSIX, mais il y en a dans certaines implémentations)

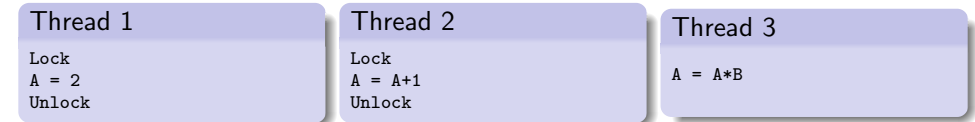
### Interface d'usage

- ▶ `pthread_mutex_lock(mutex)` Bloque jusqu'à obtention du verrou
- ▶ `pthread_mutex_trylock(mutex)` Obtient le verrou ou renvoie EBUSY
- ▶ `pthread_mutex_unlock(mutex)` Libère le verrou

(211/217)

## Usage des mutex

Les mutex sont un «gentlemen's agreement»



- ▶ Thread 3 crée une condition de compétition même si les autres sont disciplinés (cf. les verrous consultatifs sur les fichiers)
- ▶ Pas d'équivalent des verrous impératifs sur la mémoire
- ▶ Pas de moniteurs dans PThreads (durs à implémenter en C)

(212/217)

## Sémaphores POSIX

- ▶ On parle ici de l'interface POSIX, pas de celle IPC Système V
- ▶ `#include <semaphore.h>`
- ▶ Type : `sem_t`

### Interface de gestion

- ▶ `int sem_init(sem_t *sem, int pshared, unsigned int valeur)`  
pshared !=0 ⇒ sémaphore partagée entre plusieurs processus (pas sous linux)
- ▶ `int sem_destroy(sem_t * sem)` (personne ne doit être bloqué dessus)

### Interface d'usage

- ▶ `int sem_wait(sem_t * sem)` réalise un P()
- ▶ `int sem_post(sem_t * sem)` réalise un V()
- ▶ `int sem_trywait(sem_t * sem)` P() ou renvoie EAGAIN pour éviter blocage
- ▶ `int sem_getvalue(sem_t * sem, int * sval)`

(213/217)

## Variables de condition

### Interface de gestion

- ▶ Type de donnée : `pthread_cond_t`
- ▶ Création :
  - ▶ statique : `pthread_cond_t cond = PTHREAD_COND_INITIALIZER;`
  - ▶ dynamique : `int pthread_cond_init(pthread_cond_t *, pthread_condattr_t *)`
- ▶ Destruction : `int pthread_cond_destroy(pthread_cond_t *)`
- ▶ Il n'y a pas d'attributs POSIX (ni linux) pour les conditions

### Rappel du principe des conditions

- ▶ Cf. conditions Java (`wait()` et `notifyAll()`)
- ▶ Autre mécanisme de synchronisation.
  - ▶ `mutex` : solution pratique pour l'exclusion mutuelle
  - ▶ `sémaphore` : solution pratique pour les cohortes
  - ▶ `condition` : solution pratique pour les rendez-vous
  - ▶ `compare-and-swap` : solution pour la synchronisation non-bloquante

(214/217)

## Exemple d'usage des conditions

### Thread principal

- (1) Déclare et initialise une globale requérant une synchronisation (ex : compteur)
- (1) Déclare et initialise une variable de condition et un mutex associé
- (1) Crée deux threads (A et B) pour faire le travail

### Thread A

- (2) Travaille jusqu'au rendez-vous (point où B doit remplir une condition, *compteur* > 0 par ex)
- (2) Verrouille mutex et consulte variable
- (2) Attend la condition de B ça libère le mutex (pour B) et gèle A
- (4) Au signal, réveil mutex automatiquement repris
- (4) Déverrouille explicitement

### Thread B

- (2) Fait des choses
- (3) Verrouille le mutex
- (3) Modifie la globale attendue par A
- (3) Si la condition est atteinte, signale A
- (3) Déverrouille le mutex

Thread principal : (5) Rejoint les deux threads puis continue

(215/217)

## Les conditions POSIX

### Interface d'usage

- ▶ `pthread_cond_signal(pthread_cond_t *)` Débloque un éventuel thread bloqué
- ▶ `pthread_cond_wait(pthread_cond_t *, pthread_mutex_t *)` Bloque tant que la condition n'est pas réalisée
- ▶ `pthread_cond_timedwait(pthread_cond_t*, pthread_mutex_t*, struct timespec*)` Bloque au plus tard jusqu'à la date spécifiée
- ▶ `pthread_cond_broadcast(pthread_cond_t *)` Réveille tous les bloqués (sont encore bloqués par mutex)

### Pièges des conditions

- ▶ Risque d'interblocage ou de pas de blocage si protocole du mutex pas suivi
- ▶ Différence sémantique avec sémaphore :
  - ▶ Si `sem==0`, alors `V(sem) ⇒ sem := 1`
  - ▶ Signaler une condition que personne n'attend : noop (info perdue)

(216/217)

## Résumé du sixième chapitre

- ▶ Définition de threads (vs. processus) : proc=espace d'adressage+meta-données OS ; thread=fil d'exécution
- ▶ Avantages et inconvénients : Ca va plus vite, mais c'est plus dangereux
- ▶ Schémas d'implémentations :
  - ▶ Modèle M:1 : M threads par processus (portable et rapide, pas parallèle)
  - ▶ Modèle 1:1 : Threads gérés par l'OS directement (plus dur à implémenter, plus efficace en pratique)
  - ▶ Modèle M:N : Gestion conjointe (modèle théorique meilleur, difficile à faire efficacement)
- ▶ Les fonctions principales de l'interface POSIX :
  - ▶ `pthread_create` : crée un nouveau thread
  - ▶ `pthread_exit` : termine le thread courant
  - ▶ `pthread_join` : attend la fin du thread et récupère son errcode
  - ▶ `pthread_detach` : indique que personne ne rejoindra ce thread
  - ▶ `mutex_{lock,unlock,*}` : usage des mutex
  - ▶ `sem_{wait,post,*}` : usage des sémaphore
  - ▶ `cond_{wait,signal,*}` : usage des conditions

(217/217)