VARIABLES DE CONDITION

2016 – 2017

Florent Gluck – Florent.Gluck@hesge.ch

Version 0.1

h e p i a
Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

Hes·so GENÈVE
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

Introduction

- Un thread peut vouloir exécuter un certain code seulement si une ou plusieurs conditions sont remplies.
- Si une condition peut être exprimée dans un programme, alors une variable de condition peut être utilisée.
- Une variable de condition est un mécanisme de synchronisation reposant sur le test d'une condition :
    - un (ou plusieurs) thread est bloqué tant que la condition n'est pas satisfaite ;
    - un (ou plusieurs) thread est réveillé lorsque la condition devient vraie.
- Le blocage d'un thread est bien sûre une attente passive.

Qu'est-ce qu'une variable de condition ?

- Une **variable de condition (VC)** représente une condition sur laquelle un thread peut :
  - **attendre** jusqu'à ce que la condition devienne vraie
  - **notifier** (signaler) un ou plusieurs threads que la condition est devenue vraie

    ⇨ mécanisme de signalisation entre threads

- Trois opérations sont associées à une variable de condition :
  - `wait` : bloque jusqu'à ce qu'un **autre** thread appelle `signal` ou `broadcast` sur la VC
  - `signal` : réveille **un** thread en attente sur la VC
  - `broadcast` : réveille **tous** les threads en attente sur la VC.

- **Toutes** les opérations sur une VC doivent être effectuées **en section critique ⇨ avec un mutex verrouillé !**

Définition alternative

- Une **variable de condition** est une file d'attente de thread(s) en attente sur une condition à l'intérieur d'une section critique
- **Idée principale** : permet de bloquer (attente passive) à l'intérieur de la section critique en relâchant le verrou de manière atomique au moment de la mise en attente
- Opérations :
  - **wait(&lock)** : relâche le verrou et bloque le thread, le tout **atomiquement**. Lorsque la condition est ensuite signalée, le thread reprend sont exécution, mais en **re-verrouillant** le verrou avant de continuer
  - **signal** : réveille un des threads en attente sur la condition
  - **broadcast** : réveille tous les threads en attente sur la condition.

Pour toute opération sur une variable de condition, le verrou doit être préalablement verrouillé !

Interface de programmation

- La librairie pthread met à disposition:
  - le type **`pthread_cond_t`**
  - des fonctions et macros d'initialisation et destruction:
    - **`pthread_cond_init`**`(pthread_cond_t *cond, pthread_condattr_t *cond_attr)`
    - `pthread_cond_t cond =` **`PTHREAD_COND_INITIALIZER`**
    - **`pthread_cond_destroy`**`(pthread_cond_t *cond)`
  - des fonctions de manipulation:
    - **`pthread_cond_wait`**`(pthread_cond_t *cond, pthread_mutex_t *mutex)`
    - **`pthread_cond_signal`**`(pthread_cond_t *cond)`
    - **`pthread_cond_broadcast`**`(pthread_cond_t *cond)`

Initialisation et destruction

```
// Initialisation statique
pthread_cond_t cond = PTHREAD_COND_INITIALIZER;

// Initialisation dynamique
int pthread_cond_init(pthread_cond_t *cond,
                      pthread_condattr_t *cond_attr);

int pthread_cond_destroy(pthread_cond_t *cond);
```

- Passer un attribut de condition `NULL` à `pthread_cond_init` spécifie les attributs par défaut.
- L'implémentation Linux ne supportant pas d'attribut, `cond_attr` est donc ignoré.
- Toutes les fonctions sur les variables de condition renvoient 0 en cas de succès et différente de 0 en cas d'erreur.

Attente

```
int pthread_cond_wait(pthread_cond_t *cond,
                      pthread_mutex_t *mutex);
```

- L'exécution du thread appelant est suspendue (attente passive) jusqu'à ce que la condition **`cond`** soit signalée.

le **`mutex`** doit être **verrouillé** par le thread **avant** l'appel à **`pthread_cond_wait`**.

- **`pthread_cond_wait`** effectue ces opérations de manière **atomique** :
  - **relâche** **`mutex`**
  - attend que **`cond`** soit signalée.

- Au moment où **`cond`** est signalée, **`pthread_cond_wait`** **re-verrouille** automatiquement le **`mutex`**.

Signalisation

```
int pthread_cond_signal(pthread_cond_t *cond);

int pthread_cond_broadcast(pthread_cond_t *cond);
```

- **`pthread_cond_signal`** réveille un des threads en attente sur **`cond`** :
  - si aucun thread n'est en attente, la fonction n'a aucun effet
  - si plusieurs threads sont en attente, **un seul** est réveillé (choisi par l'ordonnanceur).
- **`pthread_cond_broadcast`** réveille **tous** les threads en attente sur **`cond`** :
  - si aucun thread n'est en attente, la fonction n'a aucun effet
  - les threads réveillés continuent leur exécution **chacun à leur tour** car le mutex ne peut être repris que par un thread à la fois (comme toujours, l'ordre est **imprévisible** et dépend de l'ordonnenceur).

Exemple 1

```
void *child(void *arg) {
    // Comment indiquer que le
    // thread est terminé ?
    return NULL;
}

int main() {
    pthread_t t;
    pthread_create(&t,NULL,child,NULL);
    // Comment attendre la fin du
    // thread child ?
    return 0;
}
```

- Comment bloquer passivement `main` tant que `child` ne s'est pas terminé, sans utiliser de sémaphore, de barrière de synchronisation, ni d'appel à `pthread_join` ?
- Autrement dit, comment implémenter l'équivalent de `pthread_join` à l'aide de variables de condition ?

Exemple 1

```
int child_done = 0;
pthread_mutex_t m =
          PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t c =
          PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void *child(void *arg) {
   pthread_mutex_lock(&m);
   child_done = 1;
   pthread_cond_signal(&c);
   pthread_mutex_unlock(&m);
   return NULL;
}

void thr_join() {
   pthread_mutex_lock(&m);
   if (!child_done)
      pthread_cond_wait(&c,&m);
   pthread_mutex_unlock(&m);
}

int main() {
   pthread_t t;
   pthread_create(&t,NULL,child,NULL);
   thr_join();
   return 0;
}
```

Deux scénarios possibles:

Exemple 1

```
int child_done = 0;
pthread_mutex_t m =
          PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t c =
          PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void *child(void *arg) {
   pthread_mutex_lock(&m);
   child_done = 1;
   pthread_cond_signal(&c);
   pthread_mutex_unlock(&m);
   return NULL;
}

void thr_join() {
   pthread_mutex_lock(&m);
   if (!child_done)
      pthread_cond_wait(&c,&m);
   pthread_mutex_unlock(&m);
}

int main() {
   pthread_t t;
   pthread_create(&t,NULL,child,NULL);
   thr_join();
   return 0;
}
```

1 `child` s'exécute avant `thr_join`

- Le thread `child` s'exécute avant que `main` n'arrive à `thr_join`:
  - verouille `m`;
  - met `child_done` à 1;
  - signale `main`, ce qui n'a aucun effet (car aucun thread bloqué sur **`c`**).
- Ensuite, le thread `main`:
  - exécute `thr_join`;
  - verouille `m`;
  - teste `child_done` à vrai;
  - relâche `m`;
  - se termine.

Exemple 1

```
int child_done = 0;
pthread_mutex_t m =
          PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t c =
          PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void *child(void *arg) {
   pthread_mutex_lock(&m);
   child_done = 1;
   pthread_cond_signal(&c);
   pthread_mutex_unlock(&m);
   return NULL;
}

void thr_join() {
   pthread_mutex_lock(&m);
   if (!child_done)
      pthread_cond_wait(&c,&m);
   pthread_mutex_unlock(&m);
}

int main() {
   pthread_t t;
   pthread_create(&t,NULL,child,NULL);
   thr_join();
   return 0;
}
```

2 `thr_join` s'exécute avant `child`

- Thread `main` créé le thread `child` et appelle `thr_join` avant que `child` ne s'exécute:
  - verrouille `m`;
  - teste `child_done` à faux;
  - bloque sur `cond_wait` (donc relâche `m`).
- Ensuite, le thread `child`:
  - verouille `m`;
  - met `child_done` à 1;
  - réveille (signal) `main`.
- Ensuite, le thread `main`:
  - reprend depuis l'appel à `cond_wait` avec `m` verrouillé;
  - puis relâche `m`;

Question 1

```
int child_done = 0;
pthread_mutex_t m =
          PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t c =
          PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void *child(void *arg) {
   pthread_mutex_lock(&m);
   child_done = 1;
   pthread_cond_signal(&c);
   pthread_mutex_unlock(&m);
   return NULL;
}

void thr_join() {
   pthread_mutex_lock(&m);
   if (!child_done)
      pthread_cond_wait(&c,&m);
   pthread_mutex_unlock(&m);
}

int main() {
   pthread_t t;
   pthread_create(&t,NULL,child,NULL);
   thr_join();
   return 0;
}
```

- La variable `child_done` est-elle vraiment nécessaire ?

Question 1

```
int child_done = 0;
pthread_mutex_t m =
          PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t c =
          PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void *child(void *arg) {
   pthread_mutex_lock(&m);
   child_done = 1;
   pthread_cond_signal(&c);
   pthread_mutex_unlock(&m);
   return NULL;
}

void thr_join() {
   pthread_mutex_lock(&m);
   if (!child_done)
      pthread_cond_wait(&c,&m);
   pthread_mutex_unlock(&m);
}

int main() {
   pthread_t t;
   pthread_create(&t,NULL,child,NULL);
   thr_join();
   return 0;
}
```

- La variable `child_done` est-elle vraiment nécessaire ?

Question 1

```
int child_done = 0;
pthread_mutex_t m =
          PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t c =
          PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void *child(void *arg) {
    pthread_mutex_lock(&m);
    child_done = 1;
    pthread_cond_signal(&c);
    pthread_mutex_unlock(&m);
    return NULL;
}

void thr_join() {
    pthread_mutex_lock(&m);
    if (!child_done)
       pthread_cond_wait(&c,&m);
    pthread_mutex_unlock(&m);
}

int main() {
    pthread_t t;
    pthread_create(&t,NULL,child,NULL);
    thr_join();
    return 0;
}
```

- La variable `child_done` est-elle vraiment nécessaire ?
- Si le thread `child` est exécuté avant que `main` n'appelle `thr_join`:
  - la VC `c` est signalée, mais cela n'a aucun effet, car aucun thread n'est bloqué ;
  - `main` va ensuite bloquer sur `cond_wait` dans la fonction `thr_join`...

  ⇨ **deadlock !**

Question 2

```
int child_done = 0;
pthread_mutex_t m =
          PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t c =
          PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void *child(void *arg) {
   pthread_mutex_lock(&m);
   child_done = 1;
   pthread_cond_signal(&c);
   pthread_mutex_unlock(&m);
   return NULL;
}

void thr_join() {
   pthread_mutex_lock(&m);
   if (!child_done)
      pthread_cond_wait(&c,&m);
   pthread_mutex_unlock(&m);
}

int main() {
   pthread_t t;
   pthread_create(&t,NULL,child,NULL);
   thr_join();
   return 0;
}
```

- L'utilisation du mutex `m` est-elle vraiment nécessaire ?

Question 2

```
int child_done = 0;
pthread_mutex_t m =
          PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t c =
          PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void *child(void *arg) {
   pthread_mutex_lock(&m);
   child_done = 1;
   pthread_cond_signal(&c);
   pthread_mutex_unlock(&m);
   return NULL;
}

void thr_join() {
   pthread_mutex_lock(&m);
   if (!child_done)
      pthread_cond_wait(&c,&m);
   pthread_mutex_unlock(&m);
}

int main() {
   pthread_t t;
   pthread_create(&t,NULL,child,NULL);
   thr_join();
   return 0;
}
```

- L'utilisation du mutex `m` est-elle vraiment nécessaire ?
- Si la fonction `thr_join` est exécutée avant le thread `child`:
  - `child_done` est testé à faux, mais le thread est préempté **avant** de faire le `pthread_cond_wait`;
  - `child` prend la main, met `child_done` à 1 et signale la VC;
  - `thr_join` reprend la main et bloque dans l'appel à `pthread_cond_wait`.

  ⇨ **deadlock !**

Question 2

```
int child_done = 0;
pthread_mutex_t m =
          PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t c =
          PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void *child(void *arg) {
   pt
   ch
   pt
   pt
   re
}

void
   pt
   if

   pth
}

int main() {
   pthread_t t;
   pthread_create(&t,NULL,child,NULL);
   thr_join();
   return 0;
}
```

- L'utilisation du mutex `m` est-elle vraiment nécessaire ?
- Si la fonction `thr_join` est
  ld:
  é à
  st
  re le
  met
  gnale
- `main` reprend la main et bloque dans l'appel à `wait`.

  ⇨ **deadlock !**

- **Toujours** verrouiller le mutex **pendant la signalisation** d'une VC ! (même si ce n'est pas toujours nécessaire)
- Verrouiller un mutex pendant l'attente sur une VC est imposé par la sémantique du wait.

Producteur-consommateur simple

- Considérons le modèle producteur-consommateur simple, dans le cas d'un buffer à un slot.
- Plusieurs producteurs et consommateurs sont autorisés.
- Comment synchroniser l'accès à l'aide de variables de condition ?

```
item_t buffer;
int count = 0;

void put_item(item_t item) {
        buffer = item;
        count = 1;
}

item_t get_item() {
        item_t item = buffer;
        count = 0;
        return item;
}
```

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Cette solution est-elle correcte ?

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Oui…

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Oui… mais pas dans le cas de plusieurs producteurs et plusieurs consommateurs !

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Oui… mais pas dans le cas de plusieurs producteurs et plusieurs consommateurs !
- Pourquoi ?

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
C1  mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
C1  if (count == 0)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
P   mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
P   if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
P   buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
P   count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
P   cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
P   mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
P    mutex_lock(&mutex);
     if (count == 1)
          cond_wait(&cond,&mutex);
     buffer = item;
     count = 1;
     cond_signal(&cond);
     mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
     mutex_lock(&mutex);
     if (count == 0)
C1        cond_wait(&cond,&mutex);
     item_t item = buffer;
     count = 0;
     cond_signal(&cond);
     mutex_unlock(&mutex);
     return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
P   mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
C2  mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.
- Avant que C1 ne soit réveillé, C2 est ordonnancé et consomme l'item du buffer (count ≡ 0) et signale **cond**.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
P   mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
C2  if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.
- Avant que C1 ne soit réveillé, C2 est ordonnancé et consomme l'item du buffer (count ≡ 0) et signale **cond**.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
P   mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
C2  item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.
- Avant que C1 ne soit réveillé, C2 est ordonnancé et consomme l'item du buffer (count ≡ 0) et signale **cond**.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
P   mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
C2  count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.
- Avant que C1 ne soit réveillé, C2 est ordonnancé et consomme l'item du buffer (count ≡ 0) et signale **cond**.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
P   mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
C2  cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.
- Avant que C1 ne soit réveillé, C2 est ordonnancé et consomme l'item du buffer (count ≡ 0) et signale **cond**.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
P   mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
C2  mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.
- Avant que C1 ne soit réveillé, C2 est ordonnancé et consomme l'item du buffer (count ≡ 0) et signale **cond**.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
P   mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
C2  return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.
- Avant que C1 ne soit réveillé, C2 est ordonnancé et consomme l'item du buffer (count ≡ 0) et signale **cond**.

Solution 1

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
P   mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
C1      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.
- Avant que C1 ne soit réveillé, C2 est ordonnancé et consomme l'item du buffer (count ≡ 0) et signale **cond**.
- C1 est réveillé et retire un item du buffer alors que celui-ci est vide !

Solution 1

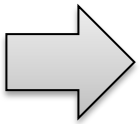
```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
P    mutex_lock(&mutex);
     if (count == 1)
          cond_wait(&cond,&mutex);
     buffer = item;
     count = 1;
     cond_signal(&cond);
     mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
     mutex_lock(&mutex);
     if (count == 0)
          cond_wait(&cond,&mutex);
C1   item_t item = buffer;
     count = 0;
     cond_signal(&cond);
     mutex_unlock(&mutex);
     return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 s'exécute, puis bloque sur le wait (à ce moment il relâche le mutex).
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1), signale la condition et relâche le mutex.
- Avant que C1 ne soit réveillé, C2 est ordonnancé et consomme l'item du buffer (count ≡ 0) et signale **cond**.
- C1 est réveillé et retire un item du buffer alors que celui-ci est vide !

Solution 1

- Le problème précédent vient du fait que l'état du buffer a changé entre le moment où un thread est signalé et le moment où il s'exécute !
- Signaler un thread ne fait que le réveiller ; il n'y a aucune garantie que l'état soit toujours le même au moment où le thread est exécuté.
- Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de **retester** la condition avant de poursuivre.
- Cela revient simplement à remplacer le `if` par un `while` dans le test de la condition :

```
if (count == 1)
    cond_wait(&cond,&mutex);
```



```
while (count == 1)
    cond_wait(&cond,&mutex);
```

Toujours tester chaque condition à l'intérieur d'une boucle !

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    if (count == 0)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- En remplaçant les `if` par des `while`, nous obtenons le code suivant…

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- En remplaçant les `if` par des `while`, nous obtenons le code suivant… ce qui permet de retester l'état de la condition au réveil et de se rendormir si celle-ci a changé.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- En remplaçant les `if` par des `while`, nous obtenons le code suivant… ce qui permet de retester l'état de la condition au réveil et de se rendormir si celle-ci a changé.
- Est-ce que ce code est exempt de bug ?

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
        cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C1 C2   cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C1 C2   cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C1 C2   cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.
- C1 est ordonnancé, re-teste la condition,voit le buffer plein et consomme l'item; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
C1  while (count == 0)
C2      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.
- C1 est ordonnancé, re-teste la condition,voit le buffer plein et consomme l'item; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C2      cond_wait(&cond,&mutex);
C1  item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.
- C1 est ordonnancé, re-teste la condition,voit le buffer plein et consomme l'item; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C2      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
C1  count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.
- C1 est ordonnancé, re-teste la condition,voit le buffer plein et consomme l'item; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C2      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
C1  cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.
- C1 est ordonnancé, re-teste la condition,voit le buffer plein et consomme l'item; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C2      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
C1  return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.
- C1 est ordonnancé, re-teste la condition,voit le buffer plein et consomme l'item; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
C1  mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C2      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.
- C1 est ordonnancé, re-teste la condition,voit le buffer plein et consomme l'item; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
C1  while (count == 0)
C2      cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.
- C1 est ordonnancé, re-teste la condition,voit le buffer plein et consomme l'item; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C1 C2   cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.
- C1 est ordonnancé, re-teste la condition,voit le buffer plein et consomme l'item; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C1 C2   cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.
- C1 est ordonnancé, re-teste la condition,voit le buffer plein et consomme l'item; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.
- Quel thread devrait être ordonnancé ? On désire P, mais ce n'est pas garanti (dépend de l'ordonnanceur)…

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
P       cond_wait(&cond,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C1 C2   cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- P est ordonnancé, produit un item (count ≡ 1) et signale la condition; P veut encore produire, mais bloque sur le wait.
- C1 est ordonnancé, re-teste la condition,voit le buffer plein et consomme l'item; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.
- Quel thread devrait être ordonnancé ? On désire P, mais ce n'est pas garanti (dépend de l'ordonnanceur)…
- Si c'est C2, que se passe-t-il ?

Solution 2

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t cond;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count
P       cond_wait
    buffer = item
    count = 1;
    cond_signal(&
    mutex_unlock(
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
C1 C2   cond_wait(&cond,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&cond);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```

Voyant que `count == 0`, C2 va donc bloquer sur le `wait`.

Deadlock !

- Soit un producteur (P) et deux consommateurs (C1, C2) et le buffer vide (count ≡ 0).
- C1 et C2 s'exécutent et bloquent tous les deux sur le wait.
- …cé, produit un item (count …a condition; P veut …, mais bloque sur le wait.
- …ncé, re-teste la … buffer plein et …m; C1 signale que le buffer est vide (count ≡ 0), veut encore consommer et se bloque sur le wait.
- Quel thread devrait être ordonnancé ? On désire P, mais ce n'est pas garanti (dépend de l'ordonnanceur)…
- Si c'est C2, que se passe-t-il ?

Solution 2

- Le problème de la solution précédente vient du fait que **n'importe quel thread peut être réveillé** lors d'un signal et si ce n'est pas le bon, un deadlock peut se produire.
- Un thread producteur devrait seulement signaler un thread consommateur.
- Inversément, un thread consommateur devrait seulement signaler un thread producteur.
- Solution ?

Solution 2

- Le problème de la solution précédente vient du fait que **n'importe quel thread peut être réveillé** lors d'un signal et si ce n'est pas le bon, un deadlock peut se produire.
- Un thread producteur devrait seulement signaler un thread consommateur.
- Inversément, un thread consommateur devrait seulement signaler un thread producteur.
- Solution ? Utiliser deux variables de condition au lieu d'une seule !

Solution 3

```
item_t buffer;
int count = 0;
cond_t empty, full;
mutex_t mutex;

void put_item(item_t item) {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 1)
        cond_wait(&empty,&mutex);
    buffer = item;
    count = 1;
    cond_signal(&full);
    mutex_unlock(&mutex);
}

item_t get_item() {
    mutex_lock(&mutex);
    while (count == 0)
        cond_wait(&full,&mutex);
    item_t item = buffer;
    count = 0;
    cond_signal(&empty);
    mutex_unlock(&mutex);
    return item;
}
```