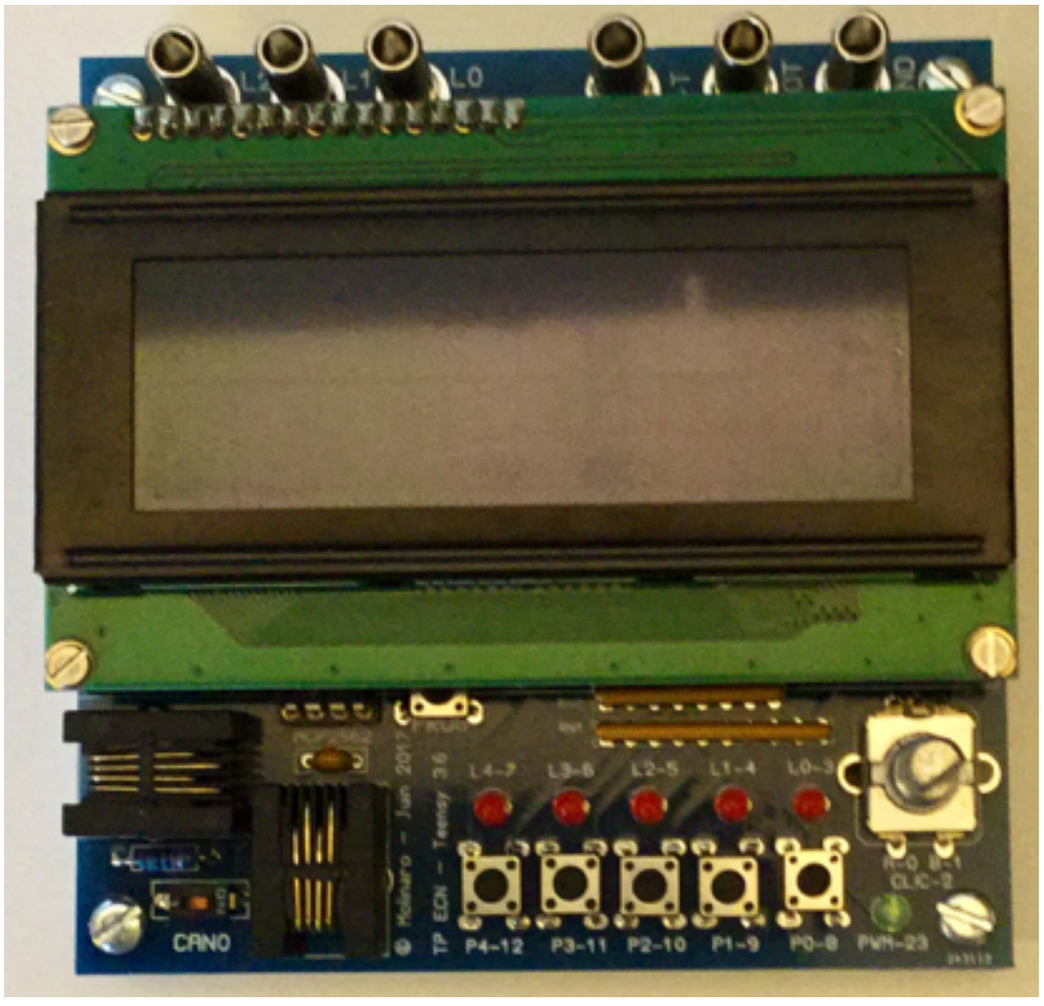
# *Temps Réel*




**Programme *15-synchronization-tools***

**Pierre Molinaro**

**Juin 2018**

# Description de cette étape

Cette étape est consacrée aux outils de synchronisation.

Deux fonctions vont être présentées ; elles permettent d'exprimer la plupart des outils de synchronisation.

Dupliquer le projet de l'étape précédente et renommez-le par exemple **15-synchronization**.

# La fonction kernel_blockRunningTaskInList

Cette fonction bloque la tâche en cours et insère son descripteur dans la liste passée en argument ; elle est appelable en mode **KERNEL** :

```
void kernel_blockRunningTaskInList (KERNEL_MODE_ TaskList & ioWaitingList) {
  XTR_ASSERT_NON_NULL_POINTER (gRunningTaskControlBlockPtr) ;
//--- Insert in task list
  ioWaitingList.enterTask (MODE_ gRunningTaskControlBlockPtr) ;
//--- Block task
  kernel_makeNoTaskRunning (MODE) ;
}
```

Insérer cette fonction dans **xtr.cpp**, et son prototype dans **xtr.h**.

# La fonction `irq_makeTaskReadyFromList`

Cette fonction, appelable en mode **IRQ**, agit sur la liste de tâches passée en argument :

- si la liste est vide, la valeur **false** est renvoyée par la fonction ;
- si la liste n'est pas vide, la tâche la plus prioritaire en est retirée, cette tâche est rendue prête, et la valeur **true** est renvoyée par la fonction.

```
bool irq_makeTaskReadyFromList (IRQ_MODE_ TaskList & ioWaitingList) {
  TaskControlBlock * taskPtr = ioWaitingList.removeFirstTask (MODE) ;
  const bool found = taskPtr != nullptr ;
  if (found) {
    kernel_makeTaskReady (MODE_ taskPtr) ;
  }
  return found ;
}
```

Insérer cette fonction dans **xtr.cpp**, et son prototype dans **xtr.h**.

# Le sémaphore de Dijkstra (1/5)

On trouve dans la littérature de nombreuses implémentations du sémaphore de Dijkstra, par exemple :

Un sémaphore de Dijkstra est constitué :

- d'une variable **e** positive, négative ou nulle ;
- une liste **l** de tâches.

**Initialisation**

```
e prend une valeur ≥ 0
l est la liste vide
```

**Primitive P**

```
e := e – 1 ;
si e < 0 alors
  Bloquer la tâche en cours dans l
  Appeler l'ordonnanceur
finsi
```

**Primitive V**

```
e := e + 1
si e ≥ 0 alors
  une tâche est retirée de l
  cette tâche est rendue prête
  Appeler l'ordonnanceur
finsi
```

Un sémaphore de Dijkstra est constitué :

- d'une variable **e** positive ou nulle ;
- une liste **l** de tâches.

**Initialisation**

```
e prend une valeur ≥ 0
l est la liste vide
```

**Primitive P**

```
si e == 0 alors
  Bloquer la tâche en cours dans l
  Appeler l'ordonnanceur
sinon
  e := e – 1 ;
finsi
```

**Primitive V**

```
si l est vide alors
  e := e + 1
sinon
  une tâche est retirée de l
  cette tâche est rendue prête
  Appeler l'ordonnanceur
finsi
```

CENTRALE NANTES

# Le sémaphore de Dijkstra (2/5) : déclaration de la classe

On choisit la seconde implémentation, car elle permet facilement l'extension à l'attente temporelle et aux commandes gardées.

Le sémaphore est déclaré comme une classe C++. Les primitives doivent être définies comme des services.

```
#include "task-list--32-tasks.h"

class Semaphore {
//--- Properties
  protected: TaskList mWaitingTaskList ;
  protected: uint32_t mValue ;

//--- Constructor
  public: Semaphore (const uint32_t inInitialValue) ;

//--- V
//$service semaphore.V
  public: void V (USER_MODE) asm ("semaphore.V")  ;
  public: void sys_V (IRQ_MODE) asm ("service.semaphore.V") ;

//--- P
//$service semaphore.P
  public: void P (USER_MODE) asm ("semaphore.P") ;
  public: void sys_P (KERNEL_MODE) asm ("service.semaphore.P") ;

//--- No copy
  private: Semaphore (const Semaphore &) ;
  private: Semaphore & operator = (const Semaphore &) ;
} ;
```

Un sémaphore de Dijkstra est constitué :

- d'une variable **e** positive ou nulle ;
- une liste **l** de tâches.

# Le sémaphore de Dijkstra (3/5) : initialisation

**Initialisation**

```
e prend une valeur ≥ 0
l est la liste vide
```

Le constructeur effectue l'initialisation :

```
Semaphore::Semaphore (const uint32_t inInitialValue) :
mWaitingTaskList (),
mValue (inInitialValue) {
}
```

CENTRALE NANTES

# Le sémaphore de Dijkstra (4/5) : primitive P

**Primitive P**

```
si e == 0 alors
  Bloquer la tâche en cours dans l
  Appeler l'ordonnanceur
sinon
  e := e - 1 ;
finsi
```

La méthode **sys_P** implémente la primitive **P** du sémaphore :

```
void Semaphore::sys_P (KERNEL_MODE) {
  if (mValue == 0) {
    kernel_blockRunningTaskInList (MODE_ mWaitingTaskList) ;
  }else{
    mValue -= 1 ;
  }
}
```

Notez que l'ordonnanceur n'est pas explicitement appelé. En effet, **sys_P** est appelé par la méthode **P** via le *svc handler* qui se charge lui-même d'appeler la fonction **kernel.select.task.to.run**.

Les annotations de mode garantissent qu'une routine d'interruption n'appellera ni **P** ni **sys_P**.

# Le sémaphore de Dijkstra (5/5) : primitive V

**Primitive V**

```
si l est vide alors
  e := e + 1
sinon
  une tâche est retirée de l
  cette tâche est rendue prête
  Appeler l'ordonnanceur
finsi
```

La méthode **sys_P** implémente la primitive **P** du sémaphore :

```
void Semaphore::sys_V (IRQ_MODE) {
  const bool found = irq_makeTaskReadyFromList (MODE_ mWaitingTaskList) ;
  if (! found) {
    mValue += 1 ;
  }
}
```

Notez que l'ordonnanceur n'est pas explicitement appelé. En effet :

- soit **sys_V** est appelé par la méthode **V** via le *svc handler* qui se charge lui-même d'appeler la fonction **kernel.select.task.to.run** ;
- soit **sys_V** est appelé directement par une routine d'interruption ; celle-ci doit être déclarée en mode **IRQ**, ce qui provoquera l'appel de la fonction **kernel.select.task.to.run**.

Les annotations de mode garantissent qu'une routine d'interruption n'appellera pas **V** mais **sys_V**.

CENTRALE NANTES

# Travail à faire

Écrire le code du sémaphore dans des fichiers **Semaphore.h** et **Semaphore.cpp**.

Ajouter un sémaphore d'exclusion mutuelle dans **lcd.cpp** de façon qu'un caractère soit écrit de façon indivisible.

Attention, dans le code de **lcd.cpp**, on ne demande pas à ce qu'une séquence de caractères soit écrite de façon indivisible. Par exemple, si deux tâches écrivent deux nombres en parallèle, les deux séquences seront entrelacées.

On peut à titre d'information voir comment est géré le même problème sur les ordinateurs de bureau (voir pages suivantes).

# Un exemple d'utilisation des sémaphores (1/2)

***À exécuter sur votre ordinateur, et non pas sur la carte de TP***

```
#include <iostream>
#include <thread>

//-----------------------------------------*

static const int NOMBRE_THREADS = 10 ;

//-----------------------------------------*

static void codeThread (int tid) {
  std::cout << "thread " << tid << std::endl ;
}

//-----------------------------------------*

int main (void) {
//--- Déclaration des threads
  std::thread t [NOMBRE_THREADS] ;
//--- Démarrage des threads
  for (int i=0 ; i<NOMBRE_THREADS ; i++) {
    t[i] = std::thread (codeThread, i) ;
  }
//--- Message
  std::cout << "main\n";
//--- Attente de la fin de l'exécution des threads
  for (int i=0 ; i<NOMBRE_THREADS ; i++) {
    t[i].join () ;
  }
//---
  return 0;
}
```

Compilation : `g++ main.cpp -o main`

Lire attentivement le programme ci-contre, et le faire tourner sur votre ordinateur de bureau.

11 threads se déroulent en parallèle, chacun d'eux affiche un message.

Voici le résultat de deux exécutions :

```
main
thread 9
thrttttttethhhhhhhahrrrrrrdreeeeeee eaaaaaaa1adddddddd        23074568
```

```
mttatthttttthtihhrhhhhhrhnrrerrrrrer
eeaeeeeeaeaadaaaaadadd ddddd d  9     8 03
25164
7
```

Les caractères sont corrects, mais les affichages sont entremêlés.

**Note :** sur votre plateforme, vous pouvez être amené à utiliser les options de compilation suivantes :

- `-std=c++11` (les threads sont définis à partir du C++ 11) ;
- `-lpthread` (édition des liens avec la librairie libpthread).

# Un exemple d'utilisation des sémaphores (2/2)

***À exécuter sur votre ordinateur, et non pas sur la carte de TP***

```
#include <iostream>
#include <thread>

//----------------------------------------*

static const int NOMBRE_THREADS = 10 ;
static std::mutex semaphore ; // Sémaphore initialisé à 1

//----------------------------------------*

static void codeThread (int tid) {
  semaphore.lock () ; // P(semaphore)
  std::cout << "thread " << tid << std::endl ;
  semaphore.unlock () ; // V (semaphore)
}

//----------------------------------------*

int main (void) {
//--- Déclaration des threads
  std::thread t [NOMBRE_THREADS] ;
//--- Démarrage des threads
  for (int i=0 ; i<NOMBRE_THREADS ; i++) {
    t[i] = std::thread (codeThread, i) ;
  }
//--- Message
  semaphore.lock () ; // P(semaphore)
  std::cout << "main\n";
  semaphore.unlock () ; // V (semaphore)
//--- Attente de la fin de l'exécution des threads
  for (int i=0 ; i<NOMBRE_THREADS ; i++) {
    t[i].join () ;
  }
//---
  return 0;
}
```

Compilation : `g++ main.cpp -o main`

On ajoute maintenant un sémaphore d'exclusion mutuelle (en bleu).

Voici le résultat de deux exécutions :

```
main
thread 0
thread 7
thread 8
thread 6
thread 9
thread 1
thread 3
thread 4
thread 2
thread 5
```

```
thread 2
main
thread 4
thread 8
thread 9
thread 5
thread 0
thread 1
thread 6
thread 3
thread 7
```

Les affichages sont corrects, l'ordre peut varier d'une exécution à une autre.

**Note :** sur votre plateforme, vous pouvez être amené à utiliser les options de compilation suivantes :

- `-std=c++11` (les threads sont définis à partir du C++ 11) ;
- `-lpthread` (édition des liens avec la librairie libpthread).