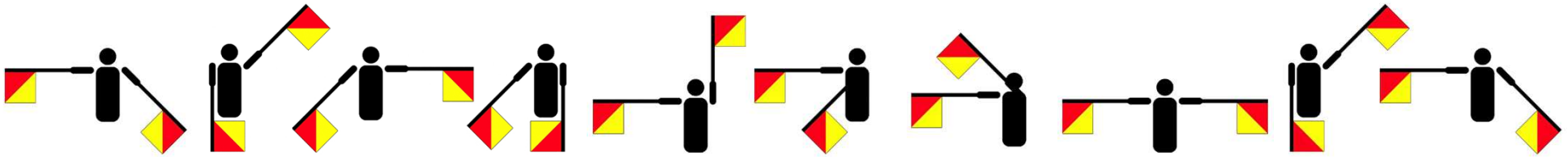
UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Les sémaphores



Définition

- Concept introduit par Dijkstra en 1965 pour synchroniser des processus
  - Section critique
  - Exclusion mutuelle
  - Synchronisation répondant à la logique d'une application

- Principe : un sémaphore représente un distributeur de tickets
  - Un processus peut
    - Prendre un ticket
    - Déposer un ticket
  - En l'absence de ticket, un processus demandeur est bloqué
  - Lorsqu'un ticket est déposé
    - S'il y a un processus en attente de ticket, celui-ci est débloqué
    - S'il n'y a personne en attente, le ticket sera pris par le prochain demandeur

Implémentation (Syntaxe « à la C++ »)

- **Un sémaphore est le regroupement d'un compteur et d'une file d'attente**

```
class Semaphore {
   private :                          // valeur > 0 = nombre de tickets disponibles
     int valeur;                      // valeur < 0 = nombre de processus en attente d'un ticket
     File processusEnAttente;  // les processus demandeurs bloqués en attente d'un ticket
};
```

- **Trois opérations y sont associées**

```
void initialiser (Semaphore &S, unsigned int nbTicketsInitial);
      // fixer le nombre initial de tickets au démarrage de l'application
void P (Semaphore &S);        // prendre un ticket :
     // le processus appelant ne termine cette opération que lorsqu'il a obtenu un ticket
void V (Semaphore &S);        // déposer un ticket :
    // ce qui peut conduire à débloquer un processus bloqué en attente d'un ticket
```

Implémentation

- Le système gère les opérations sur un même objet sémaphore en exclusion mutuelle, afin de garantir la cohérence de cet objet partagé
- Comment ?
  - En utilisant les mécanismes d'exclusion mutuelle précédemment présentés !
- On construit donc un mécanisme de synchronisation « évolué » avec attente passive en utilisant des mécanismes primitifs existants. Par exemple :
  - Masquage des interruptions durant l'exécution de ces opérations en monoprocesseur
  - Problèmes dans le cas des multiprocesseurs
    - Action atomique avec mémoire partagée
    - Instruction test-and-set
      - Si un bit est à 0 alors met à 1 et retourne 0
      - Sinon retourne 1
    - Instruction swap entre 1 et le bit de verrou
      - Si le bit est à 0 alors OK
      - Sinon re-tester ultérieurement

Un exemple d'implémentation

```
// Fixer le nombre initial de tickets au démarrage de l'application
void initialiser (Semaphore &S, unsigned int nbTicketsInitial) {
   S.valeur = nbTicketsInitial;
}
// Le processus courant prend un ticket
// Il ne termine cette opération que lorsqu'il a obtenu un ticket
void P (Semaphore &S) {
  // Tenter de prendre un ticket
  S.valeur = S.valeur – 1;
  if (S.valeur < 0) {
   // Il n'y avait pas de ticket disponible, le processus courant est bloqué
   bloquer(processusCourant(), S.processusEnAttente);
  }
 // Le processus a obtenu un ticket, immédiatement ou après avoir attendu
}
```

Un exemple d'implémentation (suite)

```
// Déposer un ticket, ce qui peut débloquer un processus en attente d'un ticket
void V (Semaphore &S) {
   // Un ticket de plus dans le distributeur
   S.valeur = S.valeur + 1;
   if (S.valeur <= 0) {
      // La valeur était donc négative, traduisant qu'au moins un processus attendait un ticket :
      // débloquer le processus en tête de la file
      debloquer(processusEnTete(S.processusEnAttente));
     // Le processus demandeur a été débloqué :
     // il peut avoir aussi pris l'UC au processus qui a déposé le ticket
  }
}
```

Une autre implémentation du type sémaphore

```
class ImplantationSemaphore {
  private :
    unsigned int valeur;
            //compteur
    file processusEnAttente;
            //file d'attente
    . . .
}
```

```
void P (semaphore &S) {
    if (S.valeur > 0)
        S.valeur = S.valeur - 1;
    else
        Bloquer le processus courant dans S.processusEnAttente;
}

void V (semaphore &S) {
    if (S.processusEnAttente non vide)
        Débloquer le processus en tête de la file S.processusEnAttente;
    else
        S.valeur = S.valeur + 1;
}
```

Exemple 1 : synchronisation

Le sémaphore sem est initialisé à zéro

```
semaphore sem;
initialiser(sem, 0);
```

```
void P2 {
    ...
    P(sem);
    ...
    }
```

Attente (plus de ticket)

```
void P1 {
    ...
    V(sem);
    ...
    }
```

Libération (ticket déposé)

Exemple 2 : exclusion mutuelle

Le sémaphore mutex est initialisé à un

```
semaphore mutex;
initialiser(mutex, 1);
```

```
void P1 {
    . . .
    P(mutex);
    Section critique;
    V(mutex);
    . . .
    }
```

```
void P2 {
    . . .
    P(mutex);
    Section critique;
    V(mutex);
    . . .
    }
```

Le 1er qui obtient le ticket passe.
Le 2e est bloqué

Exemple 3 : gestion d'un pool d'imprimantes

```
class GI {              // Gestion d'Imprimantes
private
  . . .
public
    // Demander une imprimante
    // et récupérer le numéro de l'imprimante allouée
    int demanderImprimante (void);

    void rendreImprimante (int numImp);
};
```

Exemple 3 : synchronisation des accès aux imprimantes

```
#define NB_IMP . . .
{       // Variables supposées partagées
        bool occupe[NB_IMP];
        Semaphore ImpLibre;
}
```

```
int demanderImprimante (void) {
      int i;

      P(ImpLibre);
      i = 1;
      while (occupe[i]) i++ ;
      occupe[i] = true;
      return (i);
}
```

```
void rendreImprimante (int numImp) {
  occupe[numImp] = false;
  V(ImpLibre);
}

void init (void) {
    int i;
    initialiser(ImpLibre, NB_IMP);
    for (i = 1; i < NB_IMP; i++)
      occupe[i] = false;
   }
}
```

Cela marche-t-il ?

Exemple 3 : synchronisation des accès aux imprimantes

```
#define NB_IMP . . .
{       // Variables supposées partagées
        bool occupe[NB_IMP];
        Semaphore ImpLibre;
}
```

```
int demanderImprimante (void) {
      int i;

      P(ImpLibre);
      i = 1;
      while (occupe[i]) i++;
      occupe[i] = true;
      return (i);
}
```

```
void rendreImprimante (int numImp) {
  occupe[numImp] = false;
  V(ImpLibre);
}

void init (void) {
    int i;
    initialiser(ImpLibre, NB_IMP);
    for (i = 1; i < NB_IMP; i++)
      occupe[i] = false;
   }
```

Variables partagées ! ➔ il faut protéger les accès

Exemple 3 : synchronisation des accès aux imprimantes

```
#define NB_IMP . . .
{       // Variables supposées partagées
        bool occupe[NB_IMP];
        Semaphore ImpLibre, mutex;
}
```

```
int demanderImprimante (void) {
      int i;
      P(ImpLibre);
      i = 1;
      P(mutex);
      while (occupe[i]) i++;
      occupe[i] = true;
      V(mutex);
      return (i);
}
```

```
void rendreImprimante (int numImp) {
  P(mutex);
  occupe[numImp] = false;
  V(mutex);
  V(ImpLibre);
}
void init (void) {
    int i;
    initialiser(ImpLibre, NB_IMP);
    initialiser(mutex, 1);
    for (i = 1; i < NB_IMP; i++)
      occupe[i] = false;
   }
}
```

Accès en exclusion mutuelle

Evaluation

- Concept de bas niveau
- L'utilisation reste simple dans le cas de l'exclusion mutuelle
- Une utilisation systématique peut être source d'erreurs
  - Un seul oubli ou un appel mal situé perturbe l'application complète
  - L'exclusion peut ne pas être assurée ou un interblocage peut apparaître dans un cas très rare
- Des outils plus structurés sont nécessaires dans les cas plus complexes
- Aucun langage évolué ne s'appuie uniquement sur les sémaphores

Variantes sémantiques

- **Sémaphore booléen**
  - Équivalent à un sémaphore à un seul jeton
  - Utilisation par une alternance de P et de V

- **Sémaphore privé**
  - Seul le processus propriétaire se bloque derrière ce sémaphore (opération P)
  - La file d'attente n'est plus nécessaire
  - Tout processus peut effectuer une opération V sur le sémaphore

Suite du cours

- **Exercices théoriques avec P et V**
  - Modèle du producteur-consommateur
  - Rendez-vous

- **Comment synchroniser des threads Posix [utilisé en TP]**
  - Avec des sémaphores d'exclusion mutuelle Posix ou verrous : type pthread_mutex_t
  - Avec des sémaphores à compteur Posix : type sem_t

- **Comment synchroniser des Processus Unix [Hors programme]**
  - Présentation de la bibliothèque des IPC (InterProcess Communication) Unix System V
    - Segment de mémoire partagée : pour enfin partager des données entre processus (parents ou non) !
    - Sémaphores : pour synchroniser des processus
    - Files de messages : pour aller plus loin que les tubes en échangeant des informations entre processus non parents

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Exercices « théoriques »

[Ces exercices seront aussi concrètement réalisés en TP
en considérant que les activités parallèles sont des threads Posix]

Exercice 1 – Affichage alterné

- On suppose qu'une activité parallèle possède le comportement suivant :

```
Activité Afficheur {
 while (1) {
   Effectuer un traitement ;
   Afficher un message de plusieurs lignes à l'écran ;
   Effectuer un traitement ;
 }
}
```

- On souhaite synchroniser, à l'aide de sémaphores, plusieurs activités de ce type pour qu'elles alternent leurs messages à l'écran
- Proposer une solution pour 2 activités parallèles
- Généraliser la solution à N activités parallèles

Exécution souhaitée pour 2 activités parallèles :

. . . .
Activité 1 : début de mon message
Activité 1 : fin de mon message
Activité 2 : début de mon message
Activité 2 : fin de mon message
Activité 1 : début de mon message
Activité 1 : fin de mon message
Activité 2 : début de mon message
Activité 2 : fin de mon message
. . .
. . .

Exercice 2 – Modèles des producteurs/consommateurs

- On considère un buffer partagé par des activités parallèles de deux types :
  - Des producteurs qui déposent des messages dans ce buffer
  - Des consommateurs qui retirent des messages de ce buffer
- Le buffer comporte N cases et est géré circulairement

- Variante de base
  - Les dépôts se font dans l'ordre croissant des indices de cases, de manière circulaire
  - Les retraits se font dans l'ordre des dépôts, de manière circulaire aussi

- Proposer une solution utilisant des sémaphores pour que ces activités parallèles déposent et retirent leurs messages de manière cohérente

Exercice 2 – Exemple de dépôts/retraits

Demandes de dépôts/retraits

Producteur1

Producteur2

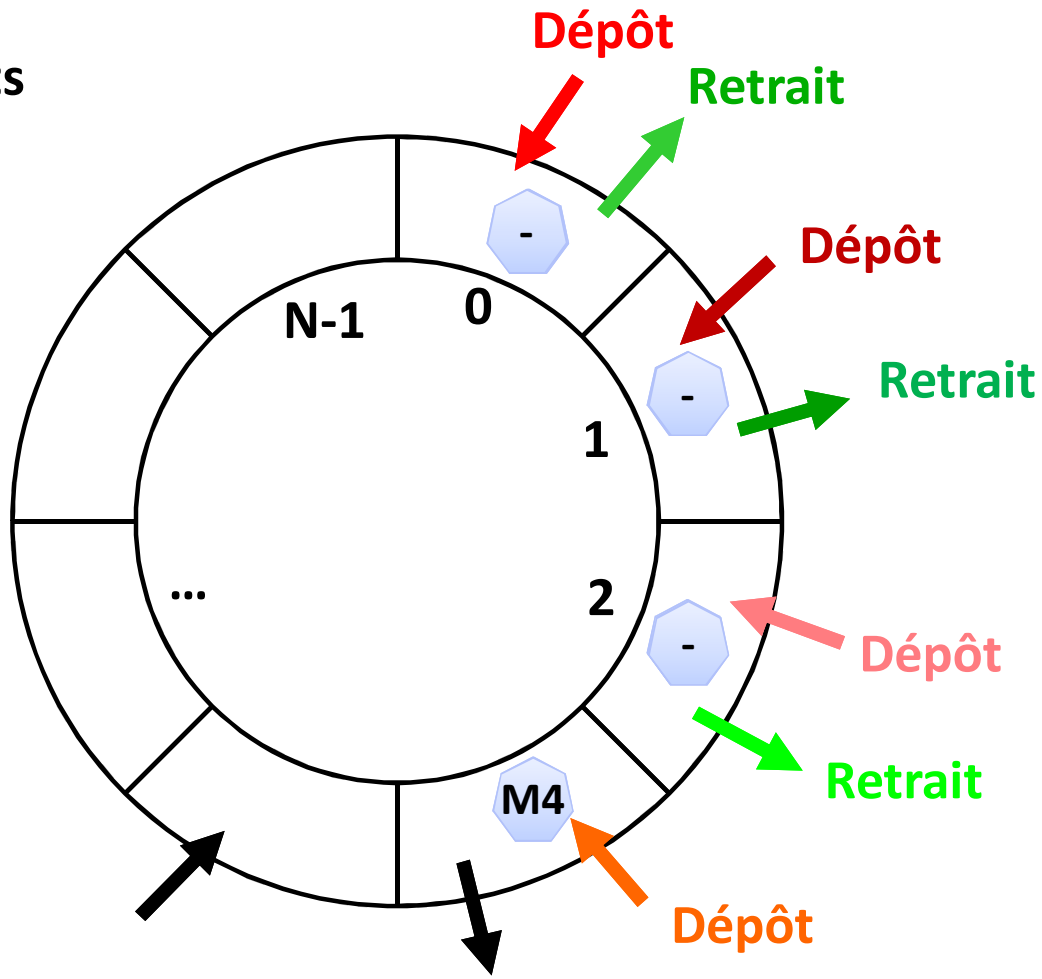
Consommateur1

Consommateur2

Consommateur3

Producteur3

Producteur4



Exercice 2 – Modèles des producteurs/consommateurs

Variante 1

- Les messages sont de deux types (0/1, blanc/noir, recto/verso…)

- On veut que les dépôts soient alternés dans le buffer
  - Un message d'un 1er type, un message du second, etc.
  - Les dépôts se font toujours dans l'ordre croissant des indices de cases, de manière circulaire
  - Les retraits se font toujours dans l'ordre des dépôts, de manière circulaire aussi

- Proposer une solution utilisant des sémaphores pour que ces activités parallèles déposent et retirent leurs messages de manière cohérente

Exercice 2 – Exemple de dépôts alternés/retraits

Demandes de dépôts/retraits

Producteur1(0)

Producteur2(0)

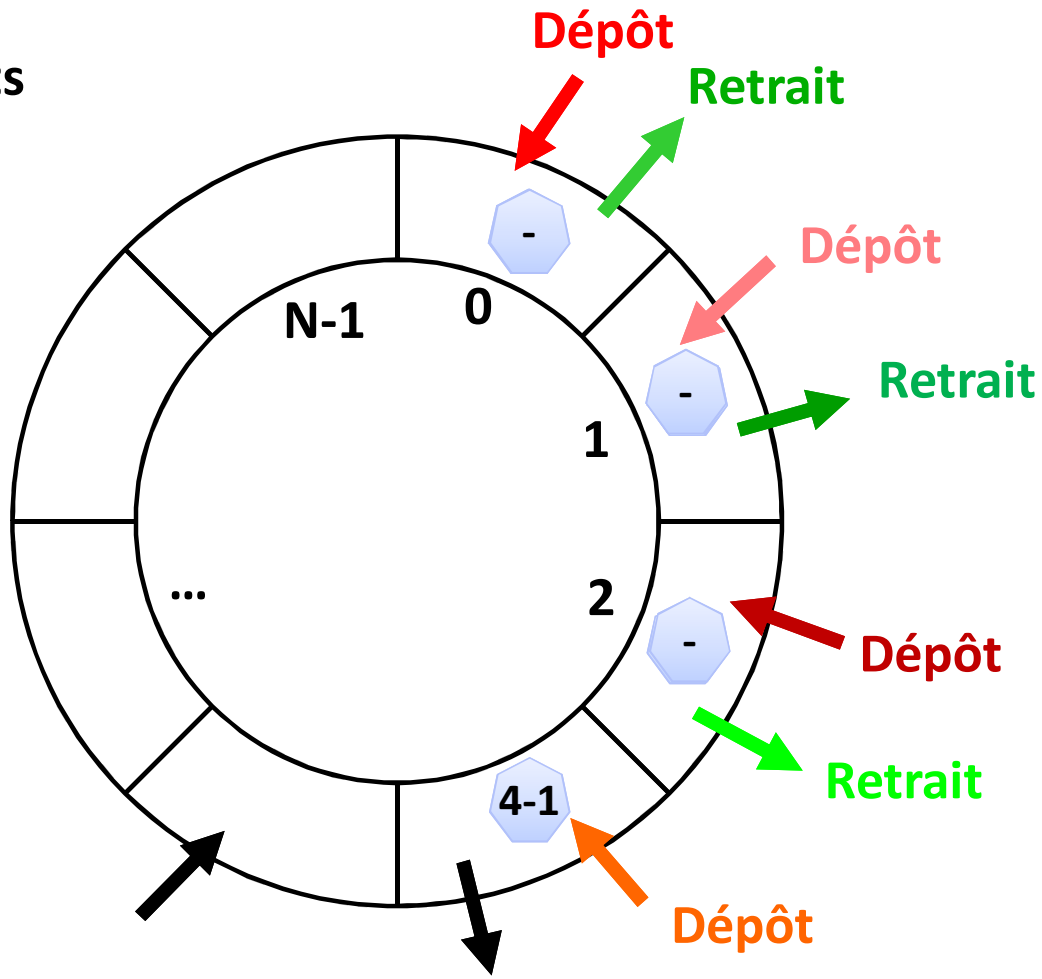
Consommateur1

Consommateur2

Consommateur3

Producteur3(1)

Producteur4(1)



Exercice 2 – Modèles des producteurs/consommateurs

Variante 2

- Les messages sont de deux types (0/1, blanc/noir, recto/verso…)

- On n'impose plus de contrainte sur les dépôts
  - Les dépôts se font dans l'ordre croissant des indices de cases, de manière circulaire
  - Les retraits se font dans l'ordre des dépôts, de manière circulaire aussi
- Mais, les consommateurs précisent quel type de message ils veulent retirer
  - Et sont bloqués s'ils ne peuvent retirer un message du type attendu

- Proposer une solution utilisant des sémaphores pour que ces activités parallèles déposent et retirent leurs messages de manière cohérente

Producteur

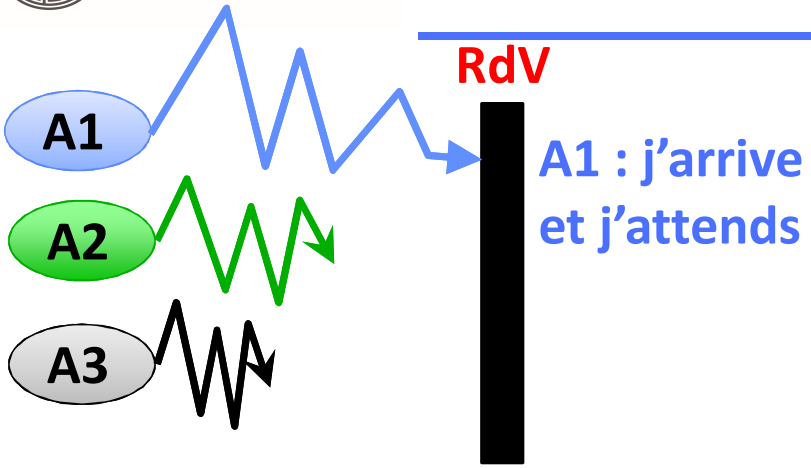
```
Producteur (Message m, type t) {
    while (1) {
      // Ai-je de la place ?
     P(semCaseVide);
     // Est-ce à mon tour de déposer ?
     P(mutexP[0]);
    depot(m)
     V(mutexP[1]);
     // En déposant, j'ai créé une case pleine qu'attend peut-être un consommateur
     V(semCasePleine);
    }
}
```

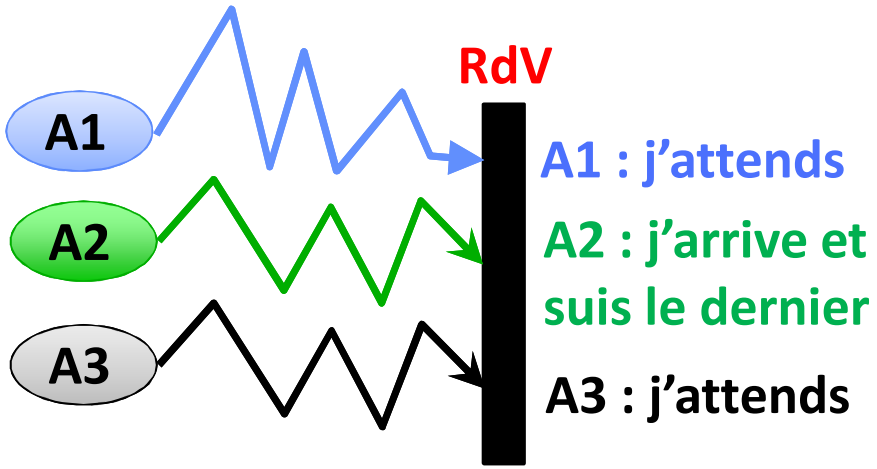
```
Semaphore mutexP[2];
Init(mutexP[0], 1);
Init(mutexP[1], 0);
```

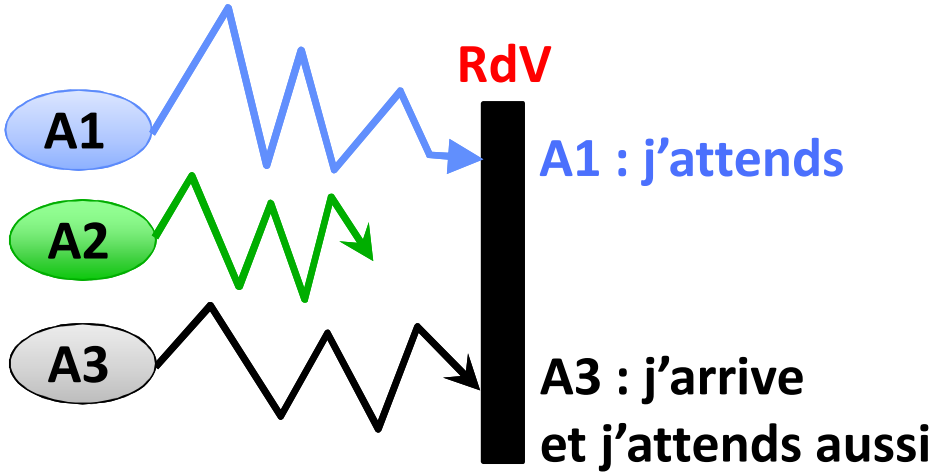
Exercice 3 – Rendez-vous

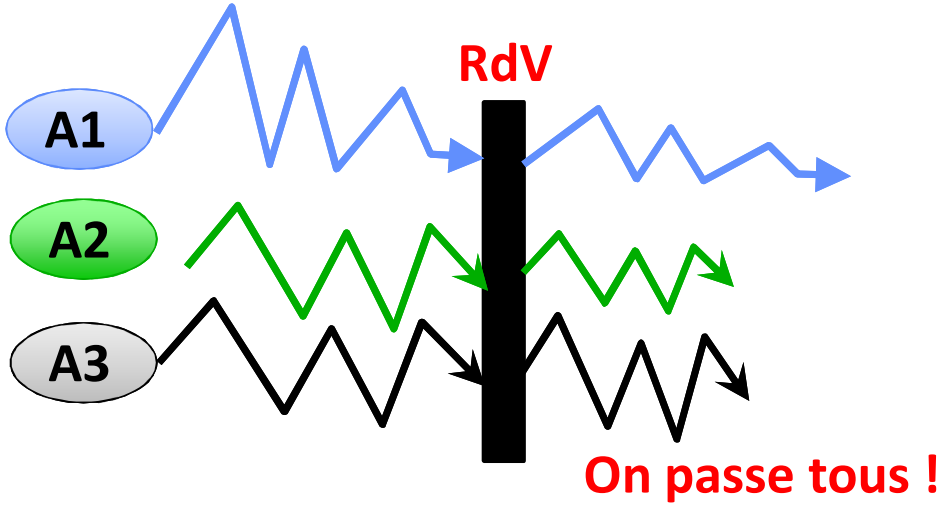
- On considère N activités parallèles qui doivent réaliser un rendez-vous
- Une activité arrivant au point de RdV doit se mettre en attente s'il existe au moins une autre activité qui n'y est pas arrivé
- Toutes les activités bloquées sur cette « barrière » peuvent la franchir lorsque la dernière y est arrivée
- Une activité a le comportement suivant
  - Je fais un certain traitement
  - J'arrive au point de RdV (j'attends les autres si elles n'y sont pas…)
  - Et je continue mon traitement
- Proposer une solution de synchronisation à l'aide des sémaphores

Exercice 3 – Exemple de RdV à 3









UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Synchronisation de threads par sémaphores

- **Sémaphores booléens d'exclusion mutuelle (ou verrous)**
  - **Normaux**
    - Un P est bloquant si le sémaphore a déjà été franchi par un autre thread
  - **Récursifs**
    - Un thread qui a franchi le sémaphore en devient propriétaire et peut effectuer plusieurs P sans se bloquer

- **Sémaphores avec compteur**
  - **Sémaphores classiques avec compteur (Dijkstra)**

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Sémaphores d'exclusion mutuelle POSIX : pthread_mutex_t

Bibliothèque pthread

- Synchronisation de base : mutex et condition
- Types (opaques) : <sys/types.h>
  - pthread_t, pthread_key_t
  - pthread_mutex_t
  - pthread_cond_t
  - pthread_once_t
- Attributs : standard + propres à l'implantation
  - pthread_attr_t
  - pthread_mutexattr_t
  - pthread_condattr_t
- Bibliothèque → #include <pthread.h> + compilation : -lpthread
- Gestion des erreurs
- Primitives « thread-safe »

Mutex Posix : Création

- Création avec les caractéristiques par défaut
  - Macro, utlisée lors de la déclaration

```
pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
```

- Création en fixant les caractéristiques

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

  - mutex = descriptif du mutex, mis à jour
  - attr = attributs optionnels pour l'initialisation
  - Erreurs : EAGAIN, ENOMEM, EPERM, EBUSY, EINVAL
- Initialisé dans l'état non verrouillé (avec un ticket) !
- Éviter de faire une copie de mutex…

Mutex Posix : Destruction

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

- mutex = descriptif du mutex à détruire

- Possible si non verrouillé
- Ressources libérées
- Retourne 0 en cas de succès, un code d'erreur sinon
- Erreurs : EINVAL, EBUSY

Attributs d'un mutex Posix

- Changer les caractéristiques par défaut
- Créer et initialiser par défaut un attribut de mutex

```
int pthread_mutexattr_init(pthread_mutexattr_t *attr);
```

  - attr = attribut du mutex (valeur par défaut)
  - Erreurs : ENOMEM
- Détruire un attribut de mutex

```
int pthread_mutexattr_destroy(pthread_mutexattr_t *attr);
```

  - attr = descriptif
  - Objet devient non initialisé
  - Erreurs : EINVAL

Exemple d'attribut d'un mutex Posix : type de mutex

Positionner le type d'un mutex

```
int pthread_mutexattr_settype(pthread_mutexattr_t *attr, int type);
```

- attr = attributs du mutex (valeur par défaut)
- type = type du mutex :
  - PTHREAD_MUTEX_NORMAL
  - PTHREAD_MUTEX_ERRORCHECK
  - PTHREAD_MUTEX_RECURSIVE
  - PTHREAD_MUTEX_DEFAULT
- Erreurs : EINVAL

Obtenir le type d'un mutex

```
int pthread_mutexattr_gettype(pthread_mutexattr_t *attr, int *type);
```

- Erreurs : EINVAL

Mutex Posix : Opérations

- Verrouiller un mutex (opération P)

```
int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mutex);
```

  - Erreurs : EINVAL, (EAGAIN, EDEADLK)

- Tenter de verrrouiller un mutex (opération P non bloquante)

```
int pthread_mutex_trylock(pthread_mutex_t *mutex);
```

  - Erreurs : EINVAL, EBUSY, (EAGAIN, EDEADLK)

- Déverrouiller un mutex (opération V)

```
int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex);
```

  - Erreurs : (EINVAL, EPERM)

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Sémaphores avec compteurs POSIX : sem_t

Sémaphores Posix avec compteurs

- **Sémaphores Posix (1003.1b)**
  - #include <semaphore.h>
  - Type « opaque » : sem_t
- **Créer et initialiser un sémaphore Posix**

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

  - sem : identificateur du sémaphore créé
  - pshared : 0 ➔ partage entre threads, > 0 ➔ partage entre processus (si supporté)
  - value : Valeur initiale
  - Succès : 0. Échec : -1 + errno : EINVAL, ENOSYS
- **Détruire un sémaphore Posix**
  - Succès : 0. Échec : -1 + errno : (ENOSYS)

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

Sémaphores Posix : opérations P

Opération P bloquante

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

- Demande un ticket sur le sémaphore référencé
- Succès : 0. Échec : -1 + errno : EINVAL, EINTR, ENOSYS

Opération P non bloquante

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

- Succès : 0. Échec : -1 + errno : EAGAIN

Opération P temporisée

```
int sem_timedwait (sem_t *sem, const struct timespec *abs_timeout);
```

- Succès : 0. Échec : -1 + errno : ETIMEDOUT

Sémaphores Posix : opération V

Opération V

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

- Dépose un ticket dans le sémaphore référencé
- Succès : 0. Échec : -1 + errno : EINVAL

Variante d'implantation

- **Principe**
  - Le compteur est systématiquement décrémenté lors d'une opération P
- **La sémantique du compteur est alors la suivante :**
  - S'il est positif, le compteur indique le nombre de jetons disponibles
  - S'il est négatif, la valeur absolue du compteur indique le nombre de processus en attente derrière le sémaphore
- **Invariant**
  - S.C = S_C_Initial + Nombre_Total_V(S) – Nombre_Total_P(S)
- **Obtenir la valeur du compteur d'un sémaphore Posix**

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

  - Succès : 0. Échec : -1 + errno : EINVAL
  - sVal ne reflète pas forcément la réalité !

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Communication et synchronisation entre processus
InterProcess Communication (IPC) UNIX System V

Pour aller plus loin qu'en TP…

en faisant se synchroniser des processus

Les IPC UNIX System V - Généralités

- **Permettent à des processus sans lien de parenté**
  - De partager des données (via des segments de mémoire partagée – *shared memory*)
  - De communiquer par des échanges de messages (via des files de messages – *queues*)
  - De se synchroniser (via des sémaphores généraux)
- **Bibliothèques de base**
  - #include <sys/types.h>
  - #include <sys/ipc.h>
- **Un IPC possède**
  - Un identificateur externe ou clé (unique sur la machine) de type key_t
  - Un identificateur interne (unique au sein d'un processus) de type int
  - Des droits d'accès (user/group/others)
  - La possibilité de restreindre son utilisation à la descendance de son créateur (clé : IPC_PRIVATE)

Les IPC UNIX System V – Gestion des ressources

- **Un IPC est une ressource persistante sur une machine**
  - **Le nombre d'IPC est limité**
    - **Globalement**
    - **Pour chaque utilisateur**
- **Nécessité de détruire un IPC quand il n'est plus utilisé**
  - **Par commande Unix (voir le man)**
    - **ipcrm [-m id] [-q id] [-s id]**
      - **-m : détruire le segment de mémoire partagée identifié par id**
      - **-q : détruire la file de messages identifiée par id**
      - **-s : détruire l'ensemble de sémaphore identifié par id**
  - **Par programmation**
    - **Primitive associée à chaque type d'IPC**
      - **shmctl, msgctl, semctl**
- **Visualisation des IPC existant sur une machine**
  - **Commande UNIX ipcs (voir le man)**

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Partager des variables entre processus
Segments de mémoire partagée
UNIX System V

Un IPC = une zone de mémoire partagée

- #include <sys/shm.h>

- Avant de manipuler un segment de mémoire partagée, un processus doit
  - Le créer ou l'ouvrir (si un autre processus l'a déjà créé) afin d'obtenir un identificateur interne pour ce segment
  - « L'attacher » à son espace d'adressage i.e. obtenir une adresse référençant ce segment
    - Par exemple, pour une zone de mémoire partagée représentant un entier, il attache le segment à l'adresse int *p
- Il accède ensuite à cette zone partagée via cette adresse
  - Il peut consulter ou modifier la valeur de la zone de mémoire partagée
    - Par exemple : printf("Valeur partagée = %d\n", *p); ou : (*p)++; ou : *p = *p * 10;
- Quand il ne veut plus manipuler ce segment, il libère l'adresse le référençant en « détachant » ce segment

Création d'un segment de mémoire partagée

```
int shmget(key_t key, size_t size, int shmflg);
```

- **key = nom externe associé à ce segment de mémoire partagée**
  - Unique, obtenu notamment par ftok() [voir man], si des processus non parents veulent y accéder
  - Privé, égal à IPC_PRIVATE, si l'utilisation du segment est restreinte aux seuls descendants du créateur du segment
- **size = taille en octets allouée à ce segment**
  - Dépend de l'information à partager
    - Exemple : sizeof(int) pour partager une variable entière
    - Exemple : sizeof(struct maStructure) pour partager différentes informations regroupées dans une structure
- **shmflg = indicateur, suite de bits comprenant**
  - IPC_CREAT : création d'un nouveau segment
  - IPC_EXCL : indique si une éventuelle création doit échouer ou non
    - 1 : la création échoue si le nom externe est déjà utilisé
    - 0 : le processus obtient le numéro interne d'un segment déjà créé (ouverture)
  - 9 bits de faible poids spécifiant les droits d'accès au segment si on le crée

❑ **Retourne l'identificateur interne ou -1 (+ errno) si erreur**

Ouverture d'un segment de mémoire partagée

```
int shmget(key_t key, size_t size, int shmflg);
```

- key = nom externe associé au segment
  - Le segment doit exister
- size = taille en octets
  - Peu importe, fixé à la création
- shmflg = indicateur
  - Droits fixés à la création, doivent permettre à l'appelant d'utiliser le segment
  - IPC_EXCL et IPC_CREAT ne doivent pas être tous les deux positionnés

- Retourne l'identificateur interne ou -1 (+ errno) si erreur

Contrôle d'un segment de mémoire partagée (1)

- Changer les droits d'accès, le propriétaire, le groupe . . .
- Consulter les caractéristiques
  - Propriétaire, groupe
  - Droits
  - Dernière modification
  - Taille . . .
- Verrouiller / déverrouiller le segment en mémoire centrale
- Détruire le segment de mémoire partagée

```
int shmctl(int shmid, int cmd, struct shmid_ds *buf);
```

Contrôle d'un segment de mémoire partagée (2)

```
int shmctl(int shmid, int cmd, struct shmid_ds *buf);
```

- shmid = identificateur interne du segment
- cmd = action de contrôle
  - IPC_STAT : récupérer le descripteur du segment (et donc ses caractéristiques) dans la zone pointée par buf
  - IPC_SET : modifier les caractéristiques du segment à partir du descripteur à l'adresse buf
  - SHM_LOCK : verrouiller le segment en mémoire centrale
  - SHM_UNLOCK : déverrouiller le segment en mémoire centrale
  - IPC_RMID : détruire le segment de mémoire partagée
  - . . .

- Retourne 0 si succès, -1 sinon + errno

Attacher un segment de mémoire partagée

```
void *shmat(int shmid, const void *shmaddr, int shmflg);
```

- shmid = identificateur interne du segment
- shmaddr = adresse à laquelle attacher le segment ou NULL si on laisse choisir le système
- shmflg = indicateur (les 2 valeurs sont possibles : |)
  - SHM_RND : arrondir ou non l'adresse
  - SHM_RDONLY : segment en lecture seule ou non

- Retourne l'adresse d'attachement ou -1 (+ errno) en cas d'échec

- On peut voir cette étape d'attachement comme un « malloc » : le processus doit obtenir une adresse (dans son espace d'adressage) référençant le segment de mémoire partagée (situé en mémoire centrale) avant de pouvoir le manipuler

Détacher un segment de mémoire partagée

```
int shmdt(const void *shmaddr);
```

- shmaddr : adresse d'attachement

- Retourne 0 en cas de succès, -1 (+ errno) sinon

- On peut voir cette étape de détachement comme un « free » : le processus libère l'adresse (dans son espace d'adressage) référençant le segment de mémoire partagée (situé en mémoire centrale) car il n'a plus d'accès à y faire

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Synchronisation de processus par sémaphores
IPC UNIX System V

Un IPC = un ensemble de sémaphores

- #include <sys/sem.h>

- Un IPC représente un ensemble de sémaphores et non un unique sémaphore !

- Économie de ressources
  - Regrouper tous les sémaphores utiles à une même application dans un seul IPC

- Un sémaphore dans cet ensemble est identifié par le couple :
  (numéro interne de l'ensemble, numéro du sémaphore dans l'ensemble)

  - Le 1er sémaphore de l'ensemble porte le numéro 0

Création d'un ensemble de sémaphores

```
int semget(key_t key, int nsems, int semflg);
```

- **key = nom externe associé à cet ensemble de sémaphores**
  - Unique, obtenu notamment par ftok() [voir man], si des processus non parents veulent y accéder
  - Privé, égal à IPC_PRIVATE, si l'utilisation de l'ensemble est restreinte aux seuls descendants du créateur
- **nsems = nombre de sémaphores dans cet ensemble**
  - Dépend de la synchronisation à mettre en place pour l'application
    - Exemple : 4 pour la version de base du modèle producteurs/consommateurs
- **semflg = indicateur, suite de bits comprenant**
  - IPC_CREAT : création d'un nouvel ensemble de sémaphores
  - IPC_EXCL : indique si une éventuelle création doit échouer ou non
    - 1 : la création échoue si le nom externe est déjà utilisé
    - 0 : le processus obtient le numéro interne d'un ensemble déjà créé (ouverture)
  - 9 bits de faible poids spécifiant les droits d'accès à l'ensemble si on le crée

- **Retourne l'identificateur interne ou -1 (+ errno) si erreur**

Ouverture d'un ensemble de sémaphores

```
int semget(key_t key, int nsems, int semflg);
```

- key = nom externe associé à l'ensemble de sémaphores
  - L'ensemble doit exister
- nsems = nombre de sémaphores
  - Peu importe, fixé à la création
- semflg = indicateur
  - Droits fixés à la création, doivent permettre à l'appelant d'utiliser l'ensemble
  - IPC_EXCL et IPC_CREAT ne doivent pas être tous les deux positionnés

❑ Retourne l'identificateur interne ou -1 (+ errno) si erreur

Contrôle d'un ensemble de sémaphores

```
int semctl(int semid, int semnum, int cmd, union semun arg);
```

- semid = identificateur interne de l'ensemble de sémaphores
- semun = numéro d'un sémaphore de l'ensemble
- cmd = action de contrôle
  - SETVAL : Initialiser la valeur du sémaphore de numéro semnum de l'ensemble de sémaphores
  - SETALL : Initialiser les valeurs des différents sémaphores de l'ensemble (la valeur de semnum importe peu)
  - IPC_RMID : Détruire l'ensemble de sémaphores
  - IPC_STAT, IPC_SET, GETALL : cf. man
- arg = union de types à définir *(à recopier du man)*

```
union semun {
  int              val;    /* Type utilisé si SETVAL              */
  struct semid_ds *buf;    /* Type utilisé si IPC_STAT & IPC_SET */
  ushort_t        *array;  /* Type utilisé si GETALL & SETALL     */
}
```

- Retourne >0 si succès (dépend de cmd) ou -1 (+ errno) si échec

Initialiser les valeurs d'un ensemble de sémaphores

```
int semctl(int semid, int semnum, int cmd, union semun arg);
```

- **Initialiser la valeur d'un sémaphore d'un ensemble**
  - cmd = SETVAL
  - Initialiser la valeur de arg.val avec le nombre de jetons voulu
  - arg.val sera affectée à la valeur du sémaphore identifié par (semid, semnum)
- **Initialiser les valeurs des différents sémaphores d'un ensemble**
  - cmd = SETALL
  - Réserver la place mémoire pour le tableau arg.array (malloc en fonction du nombre de sémaphores de l'ensemble)
  - Initialiser ses valeurs (ce doivent être des entiers courts non signés) avec les nombres de jetons voulus (dans l'ordres des sémaphores de l'ensemble)
  - Les valeurs de arg.array seront affectées aux valeurs des sémaphores de l'ensemble

Description d'une opération de blocage / déblocage

```
struct sembuf {
    u_short_t sem_num; /* Numéro du sémaphore dans l'ensemble */
    short     sem_op;  /* Opération à réaliser sur ce sémaphore */
    short     sem_flg; /* Indicateurs */
}
```

- Le champ sem_op décrit l'opération à réaliser
  - sem_op > 0 : dépôt de sem_op jetons supplémentaires dans le sémaphore sem_num
    jetons éventuellement consommés par des processus bloqués en attente
    ➔ opération V
  - sem_op < 0 : retrait de |sem_op| jetons du sémaphore de numéro sem_num
    blocage éventuel tant que tous les jetons ne sont pas disponibles
    ➔ Opération P
  - sem_op = 0 : blocage de l'appelant tant que le nombre de jetons n'est pas nul

Opérations P & V

```
int semop (int semid, struct sembuf *array, size_t nops);
```

- semid = identificateur interne de l'ensemble de sémaphores
- array = tableau dont chacune des nops cases décrit une opération (P ou V) à réaliser sur l'ensemble
- nops = nombre d'opérations (P ou V) à réaliser (sans ressortir du mode noyau)

❑ Retourne 0 si succès, -1 (+ errno) sinon

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Les files de messages
Ou
boîtes aux lettres
IPC UNIX System V

Un IPC = une file de messages

- #include <sys/msg.h>

- Permet d'échanger, de manière synchronisée, des messages via une file
- Une file de messages possède une capacité limitée
  - Fixée à MSGMNB octets par défaut
  - Pouvant être modifiée par une opération de contrôle
- Un processus qui veut « poster » un message est bloqué s'il n'y a pas la place
- Un processus qui veut « retirer » un message d'un certain type est bloqué si aucun message de ce type n'est disponible
- Possibilité de rendre non bloquante, les opérations de dépôts et de retrait (IPC_NOWAIT)

Création / Ouverture d'une file de messages

```
int msgget(key_t key, int msgflg);
```

- key = nom externe associé à cette file
  - Unique, obtenu notamment par ftok() [voir man], si des processus non parents veulent y accéder
  - Privé, égal à IPC_PRIVATE, si l'utilisation de la boîte à lettres est restreinte aux seuls descendants du créateur
- msgflg = indicateur, suite de bits comprenant
  - IPC_CREAT : création d'une nouvelle file de messages
  - IPC_EXCL : indique si une éventuelle création doit échouer ou non
    - 1 : la création échoue si le nom externe est déjà utilisé
    - 0 : le processus obtient le numéro interne d'une boîte à lettres déjà créée (ouverture)
  - 9 bits de faible poids spécifiant les droits d'accès à la file si on la crée

- Retourne l'identificateur interne ou -1 (+ errno) si erreur
- Pour l'ouverture
  - La file de messages doit avoir été créée
  - IPC_EXCL et IPC_CREAT ne doivent pas être tous les deux positionnés

Contrôle d'une file de messages

```
int msgctl(int msgid, int cmd, struct msgid_ds *buf);
```

- msgid = identificateur interne de la file de messages
- cmd = action de contrôle
  - IPC_RMID : Détruire la file de messages
  - IPC_STAT, IPC_SET, IPC_INFO, MSG_INFO, MSG_STAT : cf. man
- Buf = adresse d'un descripteur de file de messages pour récupérer ou positionner des caractéristiques pour la file identifiée par msgid

- Retourne >0 si succès (dépend de cmd) ou -1 (+ errno) si échec

Définition d'un message

- Message défini par
  - Un pointeur sur le premier octet de la suite (texte du message)
  - La longueur du message
  - Le type du message…
- Exemples de structures légales

```
struct msgbuf {
        long mtype;          /* type du message  */
        char mtext[ ];       /* texte du message */
}
struct msgbuf {
        long mtype;          /* type du message  */
        int n;
        char mtext[5];
}
```

Dépôt d'un message dans une file

```
int msgsnd(int msgid, const void *msgp, size_t msgsz, int msgflg);
```

- msgid = identificateur interne de la file de messages
- msgp = adresse du message à envoyer (structure définie par l'utilisateur)
- msgsz = taille du message (en octets)
- msgflg = indicateur
  - IPC_NOWAIT = 0 : Bloquer l'appelant jusqu'à ce que le dépôt soit effectué
  - IPC_NOWAIT = 1 : Laisser l'appelant poursuivre son exécution en l'avertissant que son message n'a pas été déposé (errno = EAGAIN)

- S'il n'y a assez de place dans la file pour déposer, l'appelant est bloqué (sauf si IPC_NOWAIT positionné) jusqu'à ce qu'il y ait assez de place
- Retourne 0 si succès, -1 (+ errno) sinon

Retrait d'un message dans une file (1)

```
ssize_t msgrcv(int msgid, void *msgp, size_t msgsz,
               long msgtyp, int msgflg);
```

- msgid = identificateur interne de la file de messages
- msgp = adresse du message récupéré
- msgsz = taille maximale du message attendu (en octets)
- msgtyp = type du message attendu
  - 0 : premier message de la file
  - > 0 : premier message de la file du type msgtyp
  - < 0 : premier message de la file d'un type inférieur ou égal à msgtyp
- msgflg = indicateur
  - IPC_NOWAIT : non bloquant si pas de message du bon type disponible
  - MSG_EXCEPT : Premier message qui diffère de msgtyp si msgtyp > 0
  - MSG_NOERROR : Tronquer le message s'il est plus long que msgsz

Retrait d'un message dans une file (2)

```
ssize_t msgrcv(int msgid, void *msgp, size_t msgsz,
               long msgtyp, int msgflg);
```

- S'il n'y a assez de message du bon type disponible, l'appelant est bloqué jusqu'à ce qu'un message puisse être retiré
  - En tenant compte des indicateurs positionnés dans msgflg
- Retourne la taille effective du message retiré si succès, -1 (+ errno) sinon
- Remarque
  - Si on récupère le message dans une variable du type struct msgbuf *
    - Le champ mtype contient le type du message
    - Le champ mtext contient le texte du message