

# Travaux Pratiques - Travaux Dirigés - Systèmes multitâches



Nous ne cherchons pas à faire dans ce TP une application temps réel. Les APIs que vous allez manipuler, les phénomènes que vous allez observer et la conception que vous allez mettre en œuvre dans ce TP seraient reproductibles sur un système d'exploitation dit « Temps Réel ».

## Objectifs

Les objectifs de ce TP sont multiples :

- Concevoir des applications multitâche (non temps réel) avec une approche dirigée par les événements
- Manipuler les mécanismes POSIX d'un système d'exploitation Linux

et

- Manipuler les mécanismes C11
- Concevoir une application multitâche avec une approche dirigée par le temps

## Sources

Le code source pour ce tp est présent à l'adresse suivante :

[https://github.com/fthomasfr/multitasking\\_training\\_practical\\_work](https://github.com/fthomasfr/multitasking_training_practical_work)

Pour le récupérer vous pouvez le télécharger directement ou utiliser git :

```
git clone https://github.com/fthomasfr/multitasking_training_practical_work.git
```

L'ensemble des informations et codes d'exemples concernant la programmation multitâche sont disponibles dans votre cours.

## Préambule

L'objectif de ce préambule est de vous faire découvrir la création d'une tâche et d'un sémaphore en utilisant les APIs POSIX. Ces APIs seront utilisées dans l'exercice principal.

Pour compiler le programme de ce preambule, un makefile est proposé avec les règles suivantes:

- `make preambule` permet de compiler le programme de préambule incluant le fichier `preamble.c`
- `make runpreamble` compile et exécute le programme de préambule incluant le fichier `preamble.c`
- `make clean` supprime les executables et l'ensemble des fichiers et artefacts de compilation

1. Ouvrez le fichier `preamble.c` avec l'éditeur de votre choix.



Pour visualiser la documentation d'une API POSIX `man [nom de la méthode]` dans une ligne de commande

A l'aide de la partie 3 de votre cours présentant les APIs POSIX:

2. Identifiez dans le programme le nom du thread.
3. Identifiez dans le programme le nom du sémaphore.
4. Identifiez dans le programme le nom du mutex.
5. Identifiez la création du thread.
6. Identifiez dans le programme le point d'entrée du thread.
7. Identifiez l'attente de la fin du thread pour terminer le processus courant.



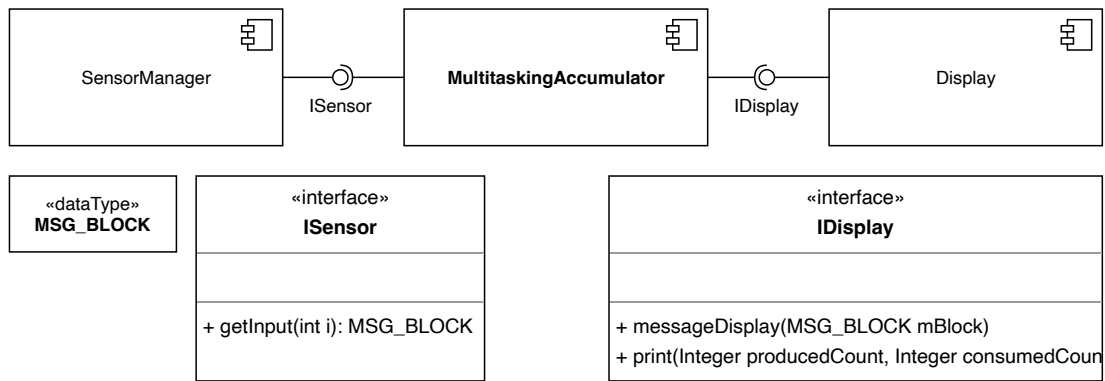


Figure 1: Architecture Système. La description de l'architecture système dans laquelle notre logiciel est intégré.

Depuis cette architecture système les exigences suivantes ont été assignées à `MultitaskingAccumulator` :

- **Exigence 1 :** `MultitaskingAccumulator` doit acquérir quatre entrées et produire en sortie le cumul des entrées dès qu'une entrée est acquise. Le cumul correspond à la production d'un tableau de 256 entiers dont le ieme élément de ce tableau est la somme des iemes éléments des tableaux d'entrée.
- **Exigence 2 :** `MultitaskingAccumulator` doit acquérir toutes les données d'entrées.
- **Exigence 3 :** `MultitaskingAccumulator` doit garantir que les données d'entrée sont correctement formées avant de les sommer.
- **Exigence 4 :** `MultitaskingAccumulator` doit sommer et produire une sortie au plus vite, c'est-à-dire dès qu'une entrée est présente sans attendre une nouvelle valeur sur chacune des entrées.
- **Exigence 5 :** Le logiciel doit produire sur la sortie diagnostic pour chaque opération de cumul, combien d'entrées ont été acquises, combien ont été sommées et combien restent à sommer.

**Note:** Pour l'exigence 1, nous cherchons à développer un accumulateur. Il est donc inutile d'attendre les quatres entrées pour produire une somme. Au fur et à mesure des valeurs en entrée, le logiciel doit sommer et cela indépendamment de l'entrée. Nous devons sommer deux valeurs successives de la première entrée si elles arrivent avant une valeur sur la deuxième entrée par exemple.

Un architecte logiciel a décrit dans un Software Architecture Document (SAD), l'architecture de `MultitaskingAccumulator` à mettre en œuvre :

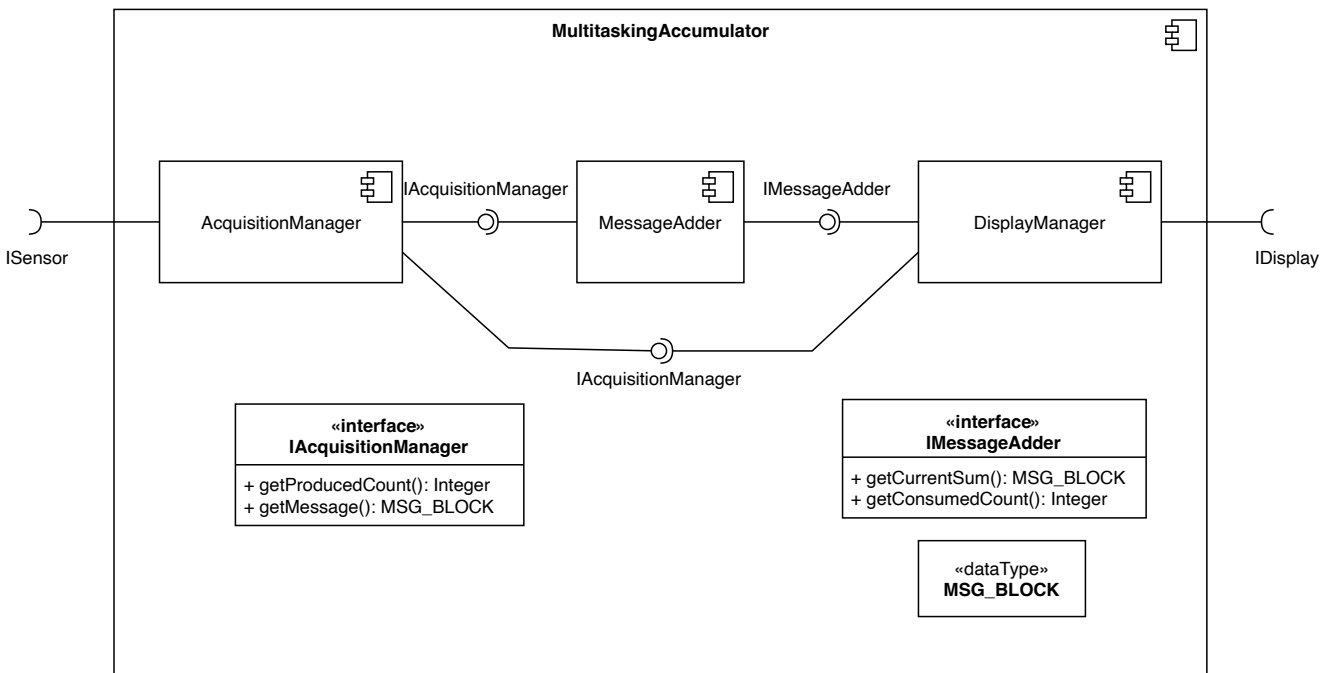


Figure 2: Architecture Logicielle de `MultitaskingAccumulator`. La description de l'architecture logicielle à mettre en oeuvre.

AcquisitionManager acquiert les entrées depuis l'interface ISensor. MessageAdder somme ces entrées. DisplayManager pilote la sortie. MessageAdder obtient un nouveau message produit par la méthode getMessage d'AcquisitionManager. MessageAdder et DisplayManager peuvent obtenir le nombre de messages produits par la méthode getProducedMessage. De même, DisplayManager obtient le nombre de messages consommés et la somme courante par les méthodes getConsumedCount et getCurrentSum fournies par MessageAdder.

1. Complétez cette architecture logicielle en allouant les exigences de la spécification précédente sur les composants de MultitaskingAccumulator. Un exemple d'allocation à compléter et à modifier est illustré en figure 3. Pour cela, les sources de ce diagramme à compléter sont rangées dans le fichier `diagrams/conception.drawio` editable avec le programme en ligne [draw.io](https://draw.io) (Importez ce fichier dans l'éditeur en ligne pour gagner du temps). (0,5 POINT)

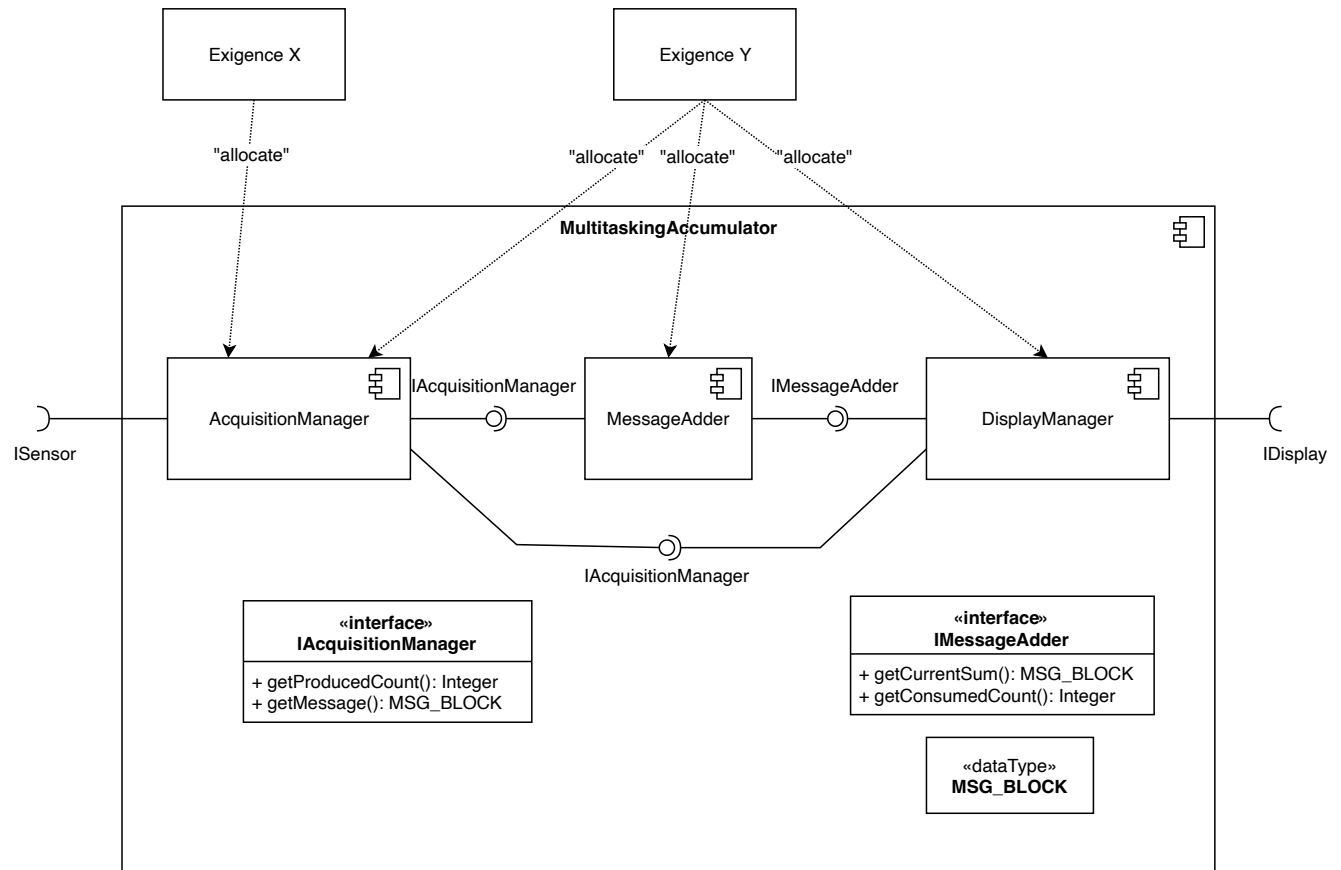


Figure 3: Architecture Logicielle avec allocation des exigences. Un exemple d'allocation d'exigence sur les composants logiciels à modifier/compléter.

L'objectif de ce TP est de décrire l'architecture détaillée multitâche et de proposer plusieurs implémentations.

## Conception Détaillée en utilisant une approche dirigée par les événements

2. Une approche dirigée par les événements est-elle une approche synchrone ou asynchrone ? (1 POINT)

Plusieurs conceptions détaillées peuvent exister. Nous proposons de guider votre conception en suivant les choix de conception suivants:

- Utilisation de tâches où la mémoire est partagée entre les tâches;
- Partage d'un tableau de messages. Un message est de type `MSG_BLOCK`. C'est une entrée acquise;
- Utilisation d'événements sans transmission de données pour synchroniser les tâches;
- Utilisation d'un checksum pour satisfaire l'exigence 3;
- L'utilisation des bibliothèques de messages simulant les entrées (`SensorManager`) et l'affichage (`Display`). La fonction `getInput` permet de simuler la production d'une entrée. La fonction `messageDisplay` permet d'afficher le message. La fonction `print` permet d'afficher le nombre de messages produits, consommés et la différence entre les deux.
- L'utilisation du module `msg.h/msg.c` qui fournit des fonctions utilitaires pour sommer deux messages et vérifier le checksum d'un message. Le checksum d'un message est calculé grâce à ou logique bit à bit sur chaque entier stocké dans le message (les 256 entiers d'un message).

Nous proposons une architecture détaillée préliminaire en figure 2 et un squelette d'implémentation de cette architecture dans les .h et .c fournis. Etudiez le squelette d'implémentation .h et .c fournis et l'architecture logicielle détaillée ci-dessous pour en comprendre les structures de données et les APIs.

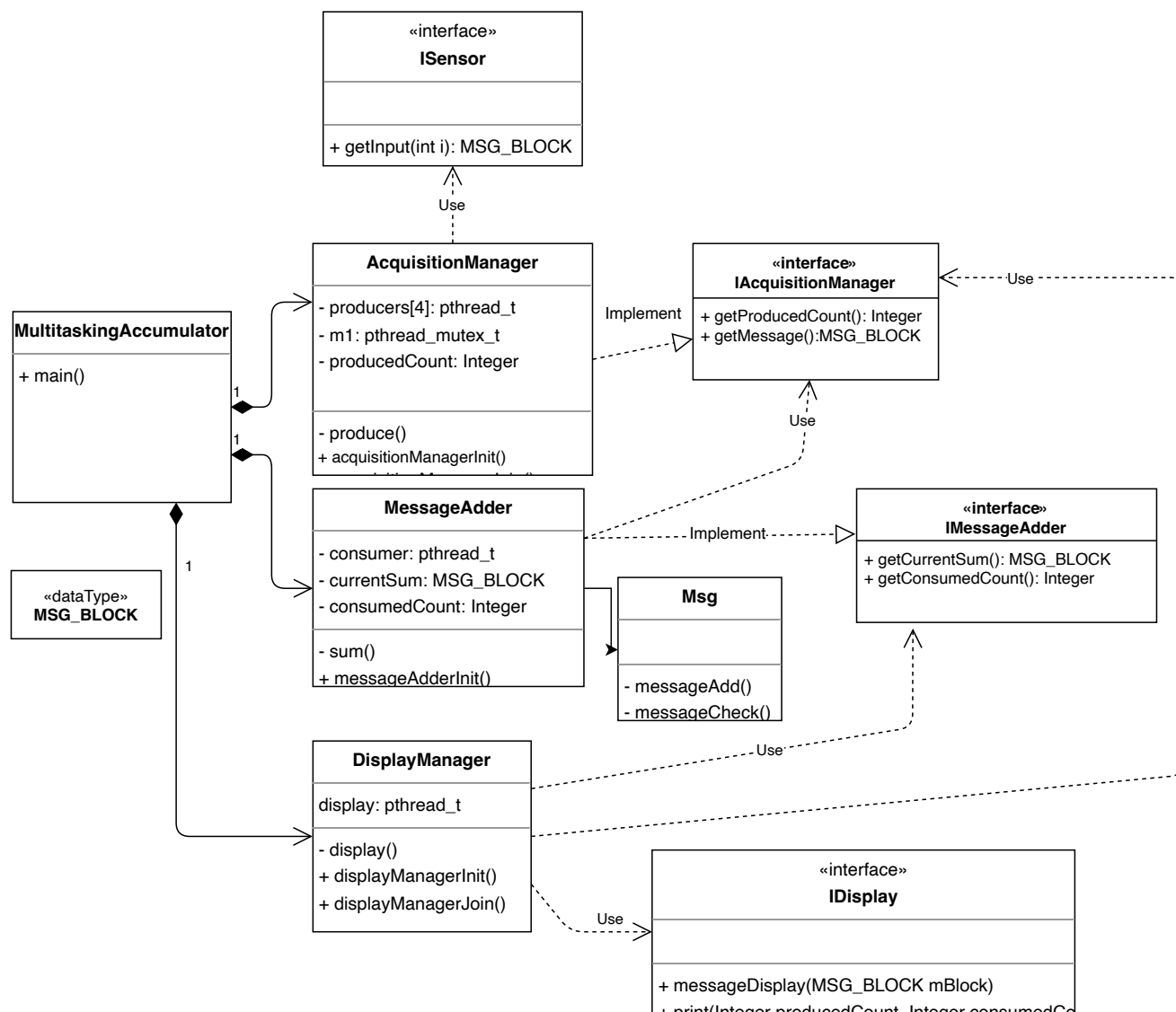


Figure 4: Architecture Logicielle Détaillée de MultitaskingAccumulator. La description de l'architecture logicielle détaillée mise en oeuvre.

3. A quelle stratégie de sûreté la méthode messageCheck répond-t-elle ? (1 POINT)
4. A ce stade de l'implémentation squelette proposée, combien y a-t-il de processus (process) et de fil d'exécution (thread) POSIX dans ce programme ? (0,5 POINT)
5. Complétez cette architecture logicielle détaillée par l'analyse des tâches à mettre en oeuvre, des échanges de données et des synchronisations entre les tâches en satisfaisant les choix de conception précédents. (3 POINTS)

Cette conception devra donc détailler l'architecture dynamique et par conséquent utiliser des diagrammes de séquences pour expliquer et démontrer la causalité des traitements. Un exemple de diagramme de séquence est illustré en figure 5. Vous pouvez repartir de cet exemple et du formalisme plantuml que nous avons vu en préambule. Vous devrez mettre à jour le diagramme de classes pour y ajouter les APIs dont vous avez besoin et que vous utilisez dans le diagramme de séquence. Vous devrez fournir dans votre rapport ce diagramme de classes et le diagramme de séquence.

Pour rappel, nous souhaitons suivre les bonnes pratiques de conception notamment celle "Acquire and release synchronization primitives in the same module, at the same level of abstraction" vue en cours. Si vous avez besoins de sémaphore et mutex par exemple, cela implique de créer des accesseurs pour limiter l'utilisation de ces sémaphores et mutex au seul module C qui les

déclare (voir `getMessage` dans la figure 5). Il vous faudra à minima les fonctions `incrementProducerCount` et `getProducerCount` dans l'`AcquisitionManager` pour la suite du TP. La fonction `incrementProducerCount` pourra rester locale au module. `getProducerCount` devra être publique.

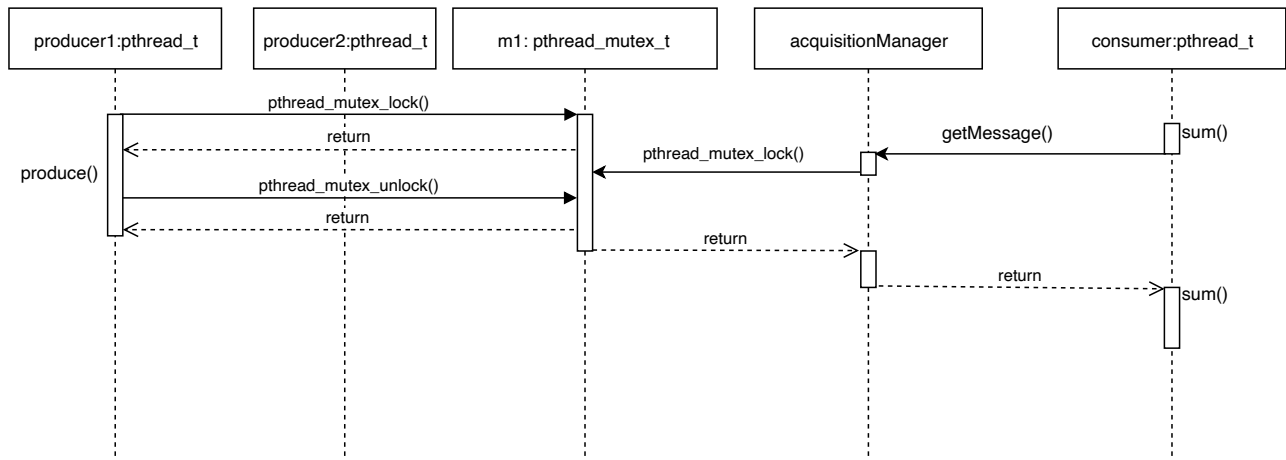


Figure 5: Diagramme de séquence exemple pour illustrer le comportement dynamique de `MultitaskingAccumulator`. Un exemple de description du comportement dynamique à compléter/modifier.

## Implémentation dirigée par les événements

6. Implémentez votre conception (Implémentation + Exécution) et montrez un résultat d'exécution. (2 POINTS)
7. Pourquoi certaines variables sont-elles considérées comme des variables C volatiles dans l'implémentation proposée ? (1 POINT)

## Pour aller plus loin en conception et implémentation dirigées par les événements

8. Nous avons orienté l'architecture détaillée avec l'utilisation des tâches. Nous aurions pu utiliser des processus POSIX. Citez les caractéristiques intéressantes des processus pour une conception orientée « sûreté de fonctionnement » ? Citez également celles qui ne sont pas satisfaites ? Auriez-vous pu utiliser les mêmes choix de conception que ceux-ci-dessus ? (1 POINT)
9. Proposez une solution pour protéger de manière efficace entre les tâches et sans utiliser des apis POSIX, le compteur permettant compter le nombre de messages produits ? (1 POINT)
10. Implémentez cette solution dans la méthode `incrementProducerCount` et `getProducerCount` dans le fichier `acquisitionManagerAtomic.c` et montrez un résultat d'exécution. (1 POINT)

Pour compiler votre programme, deux règles dans le makefile est proposée :

- `make atomic`: compile le programme incluant le fichier `acquisitionManagerAtomic.c`
- `make runatomic`: compile le programme incluant le fichier `acquisitionManagerAtomic.c`

11. Proposez une autre solution pour que ces méthodes `incrementProducerCount` et `getProducerCount` en vous basant sur la méthode `atomic_compare_exchange_weak` ? (1 POINT)
12. Implémentez cette solution dans la méthode `incrementProducerCount` et `getProducerCount` en définissant deux méthodes `pCountLockTake()` et `pCountLockRelease()`. Montrez un résultat d'exécution. (1 POINT)

- `make testandset`: compile le programme incluant le fichier `acquisitionTestAndSet.c` utilisé en question 13
- `make runtestandset`: compile le programme incluant le fichier `acquisitionTestAndSet.c` utilisé en question 13

Nous avons exécuté plusieurs fois chacun des programmes précédents (`MultitaskingAccumulatorPosix` utilisant les mutex POSIX, `MultitaskingAccumulatorAtomi` utilisant une implémentation C11 Atomic et `MultitaskingAccumulatorTestA` utilisant la méthode C11 `atomic_compare_exchange_weak`). Nous avons mesuré le nombre d'appel à `getProducerCount`, son temps total d'exécution et son temps moyens d'exécution. Les résultats sont présentés ci-dessous.

Process	NbCalls	TotalExecTime	AvgExecTime
MultitaskingAccumulatorPosix[8193]	8 times,	866us total,	108us avg
MultitaskingAccumulatorPosix[8247]	8 times,	199us total,	24us avg
MultitaskingAccumulatorPosix[8215]	8 times,	393us total,	49us avg

```

MultitaskingAccumulatorPosix[8270] 8 times, 235us total, 29us avg
MultitaskingAccumulatorPosix[8143] 8 times, 163us total, 20us avg
MultitaskingAccumulatorPosix[8239] 8 times, 646us total, 80us avg
MultitaskingAccumulatorPosix[8262] 8 times, 149us total, 18us avg
MultitaskingAccumulatorPosix[8159] 8 times, 344us total, 43us avg
MultitaskingAccumulatorPosix[8176] 8 times, 498us total, 62us avg
MultitaskingAccumulatorPosix[8278] 8 times, 182us total, 22us avg

```

```

MultitaskingAccumulatorAtomi[9092] 8 times, 123us total, 15us avg
MultitaskingAccumulatorAtomi[9116] 8 times, 124us total, 15us avg
MultitaskingAccumulatorAtomi[9100] 8 times, 278us total, 34us avg
MultitaskingAccumulatorAtomi[8905] 8 times, 144us total, 18us avg
MultitaskingAccumulatorAtomi[8819] 8 times, 116us total, 14us avg
MultitaskingAccumulatorAtomi[8897] 8 times, 169us total, 21us avg
MultitaskingAccumulatorAtomi[9083] 8 times, 113us total, 14us avg
MultitaskingAccumulatorAtomi[8889] 8 times, 116us total, 14us avg
MultitaskingAccumulatorAtomi[9108] 8 times, 180us total, 22us avg
MultitaskingAccumulatorAtomi[9067] 8 times, 118us total, 14us avg

```

```

MultitaskingAccumulatorTestA[9783] 8 times, 377us total, 47us avg
MultitaskingAccumulatorTestA[9732] 8 times, 234us total, 29us avg
MultitaskingAccumulatorTestA[9757] 8 times, 226us total, 28us avg
MultitaskingAccumulatorTestA[9723] 8 times, 715us total, 89us avg
MultitaskingAccumulatorTestA[9748] 8 times, 131us total, 16us avg
MultitaskingAccumulatorTestA[9773] 8 times, 148us total, 18us avg
MultitaskingAccumulatorTestA[9793] 8 times, 878us total, 109us avg
MultitaskingAccumulatorTestA[9740] 8 times, 635us total, 79us avg
MultitaskingAccumulatorTestA[9801] 8 times, 541us total, 67us avg
MultitaskingAccumulatorTestA[9765] 8 times, 167us total, 20us avg

```

13. Concluez sur les différentes mesures et identifiez une des causes dès que l'on utilise des APIs POSIX (1 POINT)

## Conception détaillée en utilisant une approche dirigée par le temps

14. Une approche dirigée par le temps est-elle une approche synchrone ou asynchrone ? (1 POINT)

Nous souhaitons ajouter des exigences liées au temps et définir une conception utilisant le modèle Psy vue en cours (Logical Execution Model). Les exigences supplémentaires sont les suivantes:

- **Exigence 6** : Le logiciel doit acquérir les entrées toutes les 100 ms.
- **Exigence 7** : Le délai de bout en bout entre l'acquisition d'une entrée et la sortie affichée incluant cette entrée est de maximum 600 ms.

15. En reprenant la représentation par ligne de temps et par messages illustrée dans la figure suivante, proposez une conception dirigée par le temps simplifiée de ce même programme MultitaskingAccumulator. (1 POINT)

Une première ligne horizontale sera celle de l'horloge. Les ticks d'horloge seront des points. Ensuite, une ligne par tâche sera représentée. Les points de synchronisation temporels sur ces tâches seront représentés par des lignes verticales.

La représentation des fonctions entre les points de synchronisation temporels seront représentés par des rectangles (il n'est pas nécessaire de détailler le nom des fonctions et leurs nombres). Les messages produits entre les tâches seront représentés par des enveloppes à l'instant où ces messages sont visibles des consommateurs (voir exemple ci-dessous et celui vu en cours en fin de partie 2).

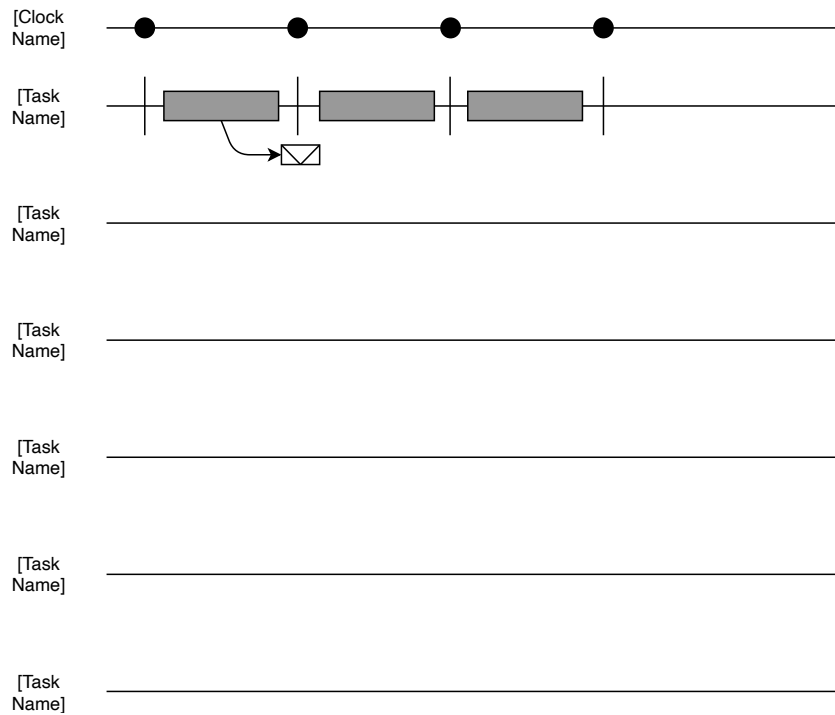


Figure 6: Diagramme de temps de MultitaskingAccumulator dans une approche dirigée par le temps. Description d'une conception dirigée par le temps à compléter/modifier.

## Second Exercise

Il y a très longtemps, un riche philanthrope fonda un collège pour y accueillir d'éminents philosophes. Chacun d'eux disposait d'une pièce où il pouvait s'adonner à son activité professionnelle : penser. Il y avait aussi une salle à manger commune, dotée d'une table circulaire et d'autant de chaises que de philosophes présents. A la gauche de chaque place, était posée une fourchette d'or, tandis qu'au centre de la table trônait un grand plat de spaghettis, continuellement approvisionné.

Un philosophe devait passer le plus clair de son temps à penser, mais, quand il avait faim, il venait dans la salle à manger, s'asseyait à sa place, prenait sa propre fourchette à sa gauche et la plongeait dans le plat. Mais les spaghettis sont d'une nature si récalcitrante qu'il faut une deuxième fourchette pour les amener jusqu'à la bouche. Le philosophe devait donc aussi prendre la fourchette située à sa droite. Quand il avait fini, il devait poser ses deux fourchettes, se lever et retourner penser. Bien sûr, une fourchette ne pouvait servir qu'à un seul philosophe à la fois. Celui qui la voulait devait attendre qu'elle soit libre. »

On suppose qu'il y a au plus 5 philosophes qui peuvent être assis à la table de repas du collège. On considère qu'un processus principal gestionnaire est chargé de mettre en place initialement et de détruire l'environnement d'exécution (e.g. les sémaphores).

A chaque philosophe est associé une même tâche fille : chaque tâche philosophe possède le même code exécutable lancé depuis le processus père. Le processus philosophe est contrôlé par l'utilisateur. Un philosophe peut soit penser, soit être à table, soit manger.

Lorsque le processus est lancé, par défaut, le philosophe pense. Il peut alors choisir entre manger ou quitter (par une séquence prédéfinie dans le programme).

Lorsque la séquence demande à ce que le philosophe aille manger alors qu'il est en train de penser, le programme doit alors choisir un numéro de place à la table (les numéros vont de 0 à 4). Le philosophe prend alors sa propre fourchette à sa gauche puis celle à sa droite. Pour chaque saisie de fourchette, si elle est déjà prise, le philosophe doit attendre qu'elle soit libérée par son détenteur avant de continuer.

Enfin, lorsqu'un philosophe est en train de manger, il peut quitter la table pour retourner penser.

1. Quelles sont les ressources partagées qui synchronisent le repas des philosophes ? (0,5 POINT)
2. Mettez en évidence une configuration d'interblocage avec les 5 philosophes présents à chaque place de la table. Donnez le scénario qui permet d'atteindre cet interblocage. (1 POINT)
3. Proposez une solution pour éviter l'interblocage. (0,5 POINT)