

INF2610

TP #1 : Appels système, processus et threads

Groupe 04L

Polytechnique Montréal

Hiver 2025
Pondération: 10%

Dates de remise :

Section	Remise
Section 1	18 janvier à 18h00
Section 2	01 février à 18h00
Section 3	13 février à 23h59

Présentation

Ce travail pratique a pour but de vous familiariser avec l'environnement de programmation des laboratoires, les appels système de la norme POSIX liés à la gestion de fichiers et à la gestion des processus et threads (création, attente de fin d'exécution et terminaison).

Prise en charge du laboratoire

Prenez quelques instants pour vous familiariser avec la structure du répertoire sur lequel vous travaillerez durant ce TP. Vous trouverez dans le répertoire courant trois dossiers représentant chacun une section du TP. Chaque section vous sera présentée plus bas.

Il est conseillé de lire l'énoncé en entier avant de commencer le TP. Il n'est pas demandé de traiter les erreurs éventuelles liées aux appels système. Par contre, si besoin est, à chaque fois que votre programme effectue un appel système (directement ou via une fonction de bibliothèque), vous avez la possibilité d'afficher un message d'erreur explicite en cas d'échec de cet appel système. Pour ce faire, il vous suffit d'utiliser la fonction `perror` après l'appel système (ou l'appel de fonction de bibliothèque). Consultez sa documentation!

Section 1 : Environnement de programmation et appels système

Vous trouverez dans le répertoire:


- `systemcalls_part1.c, systemcalls_part2.c` → Ce sont les fichiers de code que vous allez progressivement compléter pour répondre aux questions de cette section;
- `systemcalls_output1.txt, systemcalls_output2.txt` → Ces fichiers serviront à récupérer les résultats d'exécution et de traçage;
- `Makefile` → Ce fichier contient les commandes de compilation. Attention, vous ne devez pas le modifier.

Environnement de programmation


Question 1.1 (Édition, Compilation et exécution des programmes) environ 30mn

Vous utiliserez, via un terminal, de simples commandes pour éditer et compiler des programmes. La commande `gcc` (GNU Compiler Collection) sera utilisée pour la compilation de programmes écrits en langage C et la génération de leurs fichiers exécutables. N'oubliez pas de **recompiler** un programme à chaque fois que vous le modifiez, sinon vos modifications n'auront aucun effet!

Pour lancer l'exécution d'un programme, il suffit de saisir le nom de son fichier exécutable, si celui-ci est dans l'un des répertoires enregistrés dans la variable d'environnement `PATH`. Si ce n'est pas le cas, vous devez spécifier le chemin absolu ou relatif du fichier. Une fois le fichier exécutable lancé, il faut attendre la fin de son exécution avant de pouvoir lancer une nouvelle commande. Cependant, il est possible de forcer sa terminaison en appuyant simultanément sur les touches `CTRL` et `C` (`^C`).

 1.1.1. Expérimentez, dans l'ordre, les commandes suivantes en prenant le soin d'enregistrer, dans le fichier `systemcalls_output1.txt`, les commandes exécutées ainsi que les résultats obtenus (pour remplir le fichier, vous pouvez utiliser la commande `echo` et les opérateurs de redirection `>` et `>>`) :

Commande	Description
<code>pwd</code>	affiche le chemin complet du répertoire courant
<code>cd [chemin]</code>	change de répertoire ([chemin] doit être remplacé par le chemin qui mène vers le répertoire du TP).
<code>ls</code>	affiche le contenu du répertoire courant
<code>ls sort</code>	affiche le contenu du répertoire courant trié
<code>echo "message1"</code>	affiche le texte "message1" à l'écran
<code>echo "message1" > foo.txt ; echo "message2" >> foo.txt ; cat foo.txt</code>	crée le fichier <code>foo.txt</code> , enregistre le texte "message1" dans le fichier, ajoute le texte "message2" à la fin du fichier, puis affiche le contenu du fichier
<code>unlink foo.txt ; ls</code>	supprime le fichier <code>foo.txt</code>
<code>uname</code>	affiche certaines informations concernant le système
<code>uname -s</code>	affiche le nom du noyau
<code>uname -r</code>	affiche la version du noyau
<code>uname -o</code>	affiche le nom de la combinaison noyau et interface utilisateur
<code>uname -m</code>	affiche le nom de l'architecture matérielle de la machine

 1.1.2. Exécutez les commandes appropriées pour réaliser chacun des traitements suivants :

- Afficher les chemins contenus dans la variable `PATH` avec la commande : `echo $PATH`.
- Déterminer dans quel répertoire se trouve le binaire `sleep` grâce à la commande `which`.
- Dormir pendant au plus 1 seconde (`sleep 1`) avec :
 - un chemin relatif au répertoire dans lequel se trouve l'exécutable `sleep`;
 - son chemin absolu;
 - un chemin relatif au répertoire courant.
- Dormir pendant au plus 1000 secondes (`sleep 1000`) et interrompre ensuite la commande (un arrêt forcé).

Ajoutez, au fichier `systemcalls_output1.txt`, les commandes exécutées ainsi que les résultats obtenus.

Appels système liés à la gestion de fichiers

Question 2.1 (*Appels système open, read, write et close*) environ 25mn

📄 Complétez le fichier `systemcalls_part1.c` pour qu'il réalise, en utilisant les appels système `open`, `read`, `write` et `close`, le traitement suivant :

- ouvrir le fichier nommé `systemcalls_output2.txt` en mode écriture et l'option `O_TRUNC`;
- afficher à l'écran le texte "Saisissez votre texte suivi de CTRL-D : \n". La combinaison des touches CTRL et D (^D) indique une fin de fichier;
- lire caractère par caractère des données à partir du clavier jusqu'à la rencontre d'une fin de fichier (^D);
- sauvegarder dans le fichier `systemcalls_output2.txt` chaque caractère lu à partir du clavier;
- fermer le fichier `systemcalls_output2.txt`.

N'oubliez pas d'ajouter les directives d'inclusion. Consultez le manuel en ligne pour les directives d'inclusion requises ainsi que les signatures des fonctions utilisées. Assurez-vous que l'appel système `open` ne retourne pas d'erreur en testant la valeur de retour. En cas d'erreur, vous devez afficher sur la sortie erreur un message du type "Appel système open a échoué" puis terminer le programme.

Pour compiler le programme, il suffit de lancer la commande :

```
gcc systemcalls_part1.c -o systemcalls_part1 ou encore make -B systemcalls_part1
```

La commande `./systemcalls_part1` permet de tester l'exécutable `systemcalls_part1`

Question 2.2 (*printf* ou *write*?) ⌚ environ 30mn

Par défaut, la fonction `fprintf` de la librairie `stdio.h` du langage *C* possède un tampon (buffer) dans lequel elle stocke temporairement les messages à écrire sur la sortie standard. Elle affiche, via un appel système `write`, le contenu du buffer, dès qu'une ligne (indiquée par un caractère de fin de ligne `\n`) est constituée ou encore le buffer est plein. Cela permet de faire l'économie d'appels système trop fréquents quand ce n'est pas nécessaire. Nous allons exploiter cette caractéristique pour afficher le message suivant:

```
77dbcb01f575f1c32s196c3a7d27f62e (printed using write)
77dbcb01f575f1c32s196c3a7d27f62e (printed using printf)
```

Les consignes à respecter sont les suivantes :

- La première ligne du message "77dbcb01f575f1c32s196c3a7d27f62e (printed using write)\n" doit être affichée en utilisant un seul appel système `write`.
- La deuxième ligne "77dbcb01f575f1c32s196c3a7d27f62e (printed using printf)" doit être affichée en utilisant la fonction `printf` **pour chaque caractère du message**.
- Dans votre code *C*, vous devez commencer par les appels `printf` **avant** l'appel système `write`. N'utilisez pas la fonction `fflush`. Vous devez obtenir le comportement voulu en utilisant le caractère de fin de ligne (`\n`) seulement.

🔧 2.2.1. Complétez la fonction `part21` du fichier `systemcalls_part2.c` pour obtenir le comportement voulu. Cette fonction est appelée lorsque le paramètre du programme `systemcalls_part2.c` est 1. Compilez le programme pour générer le code exécutable dans un fichier nommé `systemcalls_part2`.

Question 2.3 (*fprintf* sans *bufferisation*?) ⌚ environ 20mn

🔧 2.3.1. Complétez la fonction `part22` du fichier `systemcalls_part2.c` pour qu'elle débute par un appel à la fonction `setvbuf`, de la librairie `stdio.h`, avant de réaliser un traitement identique à celui de la fonction `part21`. L'appel à la fonction `setvbuf` doit rendre "non bufferisée" la sortie standard (`stdout`) de l'appelant. Consultez la documentation de la fonction `setvbuf` (`man setvbuf`) :

```
int setvbuf(FILE *stream, char buffer, int mode, size_t size);
```

La fonction `part22` est appelée, si l'exécutable `systemcalls_part2` est lancé avec comme argument la valeur 2.

Compilation et exécution

Pour compiler les fichiers `systemcalls_part1.c` et `systemcalls_part2.c`, vous pouvez utiliser le fichier `Makefile` fourni. Les commandes suivantes créent les fichiers exécutables correspondants :

Console

```
make -B systemcalls_part1
make -B systemcalls_part2
```

Lancez la commande `make` pour une compilation de tous les fichiers. Si la compilation se déroule sans erreur, vous pouvez ensuite exécuter l'un des programmes en saisissant `./` suivi du nom de l'exécutable du programme. Toutes vos solutions pour cette section doivent être écrites dans les fichiers `systemcalls_part1.c`, `systemcalls_part2.c` et `systemcalls_output1.txt`, `systemcalls_output2.txt`.

Remise de la section 1

Pour soumettre votre travail, créez d'abord l'archive de remise en lançant la commande dans le répertoire de la section 1:

```
Console
make handin
```

Cela va créer le fichier `handin.tar.gz` que vous devrez soumettre sur le site Moodle **après avoir ajouté au nom du fichier handin vos matricules**. Attention, vérifiez bien que tous les fichiers nécessaires à l'évaluation de votre travail sont bien inclus dans le fichier soumis.

Section 2 : Processus et Threads

Vous trouverez dans le répertoire:

- `processes_part1.c, processes_part2.c` → Ce sont les fichiers de code que vous allez progressivement compléter pour répondre aux questions de cette section;
- `processes_output.txt` → Ce fichier sert à récupérer les résultats d'exécution et de traçage;
- `Makefile, libprocesslab` → Ce fichier et ce répertoire contiennent les commandes et les codes qui font fonctionner secrètement cette section...! Attention, vous ne devez pas les modifier.

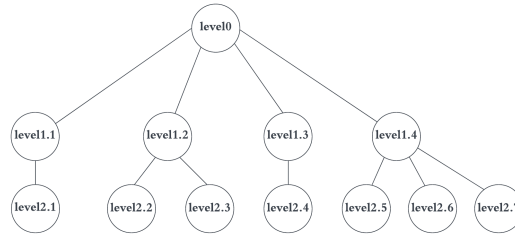


Figure 1: La hiérarchie des processus à recréer pour la partie 1.

Question 3.1 (Création de l'arbre des processus) ⌚ environ 40mn

Dans un premier temps, vous allez recréer l'arbre de processus décrit par la figure 1. **Le processus racine `level0` correspond au processus à partir duquel est exécutée la fonction `question1` du fichier `processes_part1.c`.**

📖 Complétez la fonction `question1` du fichier `processes_part1.c` afin de créer les processus selon la hiérarchie définie par la figure 1. A ce niveau, le traitement de chaque processus se limite à créer ses enfants (s'il en a) et à attendre leurs terminaisons.

📖 Utilisez l'utilitaire `strace` avec les options `-fe trace=clone` pour vérifier si votre code recrée bien l'arbre des processus décrit par la figure 1. Ces options de `strace` permettent de limiter le traçage aux appels système liés à la création des processus. L'appel système `fork` (de la norme POSIX) se traduit sous Linux en un appel système `clone`. Ce dernier ne fait pas partie de la norme POSIX. La commande `./processlab 1` permet de tester le code de la fonction `question1`. Le programme `processlab.c` a un paramètre qui indique le numéro de la question à tester. Pour son traçage, utilisez la commande suivante :

```
strace -s 1000 -o processes_output.txt -fe trace=clone ./processlab 1.
```



Attention : Il n'est pas du tout exigé que votre code comporte des boucles `for`. Faites au plus simple! L'ordre des processus décrit par la figure 1 importe! Par exemple, le processus `level1.1` doit être créé avant le processus `level1.2`, car il possède le même processus parent que `level1.2` mais il est situé plus à gauche dans la hiérarchie.

Un processus parent crée d'abord tous ses enfants avant de se mettre en attente de leurs terminaisons.

Question 3.2 (Enregistrement des processus) ⌚ environ 15mn

✎ Complétez le code précédent afin que chaque processus (y compris le processus *level0*) fasse appel une fois et une seule fois à la fonction `registerProc` fournie dans le fichier `libprocesslab.h`. Cet appel doit être effectué en premier par chacun des processus. La fonction `registerProc` a besoin de quatre arguments :

1. le PID du processus appelant,
2. le PID du parent du processus appelant,
3. le niveau du processus appelant (exemples 2 dans le cas de *level2.3* et 0 pour *level0*), et enfin
4. le numéro du processus appelant à ce niveau-là (exemples 3 dans le cas de *level2.3* et 0 pour *level0*).

✎ Complétez maintenant le code afin que le processus *level0* fasse appel une fois et une seule fois à la fonction `printProcRegistrations` fournie dans le fichier `libprocesslab.h`. Cet appel doit être effectué juste après la fin de tous ses processus enfants. Il permet d'afficher à l'écran les enregistrements réalisés par les processus (y compris le processus *level0*).



Attention : Avant l'enregistrement des processus, assurez-vous d'abord que l'arbre des processus de la figure 1 est bien reproduit par la question précédente, en consultant le fichier `processes_output.txt`.
Pour chaque processus, assurez-vous aussi que vous passez les bons arguments à la fonction `registerProc`. Le passage de mauvais paramètres pourrait nuire au bon déroulement de votre programme.

Question 3.3 (Communication `_exit` - `wait`) ⌚ environ 15mn

✎ Complétez le code précédent afin que chaque processus parent (y compris le processus *level0*) puisse récupérer, via l'appel système `wait`, le nombre total de processus enfants créés par ses descendants directs et indirects. Le processus *level0* doit afficher à l'écran le nombre total de enfants créés par lui et tous ses descendants, juste avant l'appel à la fonction `printProcRegistrations`.

Question 3.4 (Transformation de processus) ⌚ environ 10mn


✎ Modifiez votre solution pour que le processus *level0* se transforme pour exécuter la commande suivante, juste après l'appel à la fonction `printProcRegistrations` : `ls -l`.
Vous pouvez utiliser l'une des fonctions de la famille `exec`, mais soyez attentif à bien respecter la syntaxe de la fonction et la sémantique des arguments. En cas de doute, référez-vous aux *manpages* des fonctions concernées. La commande `whereis` permet de localiser certains exécutable (`whereis ls`).


Instructions pour la partie 2

Question 4.1 (Traitements séquentiels ou concurrents?) environ 40mn

Cette partie vous propose de calculer, en mettant à contribution nb threads POSIX, la somme des m premiers nombres naturels strictement positifs : $1 + 2 + \dots + m$, où nb et m sont des constantes définies dans le fichier `processes_part2.c`. Pour réaliser ce calcul, suivez les consignes suivantes :

- Les nb threads sont créés, l'un à la suite de l'autre, dans la fonction `question2` du fichier `processes_part2.c`.
- Chaque thread créé exécute la fonction `contribution` du fichier `processes_part2.c`. Cette fonction a un seul paramètre qui sert à récupérer le numéro d'ordre du thread qui l'exécute. Le numéro d'ordre est 0 pour le premier thread créé, 1 pour le second, et ainsi de suite.
- Si no est le numéro d'ordre du thread exécutant la fonction `contribution`, son traitement consiste à calculer la somme de tous les nombres entiers naturels figurant dans l'intervalle $[(no * m / nb) + 1, (no + 1) * m / nb]$. Le résultat de cette somme est récupéré dans `somme[no]`, où `somme` est un tableau, de nb entrées, défini dans le fichier `processes_part2.c`.
- Après la création des nb threads, la fonction `question2` se contente, dans l'ordre, d'attendre la fin des threads créés et d'afficher à l'écran un message indiquant les valeurs des expressions `somme[0] + ... + somme[nb - 1]` et $m * (m + 1) / 2$. Ces deux valeurs devraient être égales.

 Complétez les fonctions `question2` et `contribution` du fichier `processes_part2.c` pour obtenir le comportement voulu. Une fois que vous aurez recompilé cette partie, vous pourrez tester votre solution en exécutant la commande `./processlab 2`.

 Utilisez l'utilitaire `time` pour récupérer les temps d'exécution en mode utilisateur, en mode noyau et réel de la commande `./processlab 2` :

`time ./processlab 2` pour $nb = 1$, $nb = 4$ et $nb = 8$ (Rappel : nb est une constante définie dans le fichier `processes_part2.c`).

Le temps d'exécution en mode utilisateur (resp. noyau) est le temps CPU consommé en mode utilisateur (resp. noyau). Le temps réel est le temps entre l'invocation et la fin de la commande. N'hésitez pas à consulter le manuel en ligne (`man time`) pour plus d'informations.

Remarquez que le temps réel pourrait être inférieur à la somme des deux autres temps, lorsque plusieurs threads sont mis à contribution. Aucune remise n'est demandée pour ce test de l'utilitaire `time`.

Compilation et exécution

Toutes vos solutions pour cette section doivent être écrites dans les fichiers `processes_part1.c` et `processes_part2.c`. **Seuls ces deux fichiers et le fichier `processes_output.txt` seront pris en compte pour évaluer votre travail.** Pour la partie 1, le fichier `processes_output.txt` que vous allez soumettre est celui généré après avoir complété la question 1.1, 1.2, 1.3 ou 1.4.

Compiler et exécuter cette section

Pour compiler cette section (initialement et après chacune de vos modifications), tapez la commande suivante (dans le répertoire de la section 2) :

Console

```
$ make
```

Tapez `make mac` pour une compilation sans l'option `lrt`. Si la compilation se déroule sans erreur, vous pouvez ensuite exécuter le programme en tapant la commande :

Console

```
$ ./processlab n
```

Où `n` est 1 ou 2, selon la question à tester (`question1` ou `question2`).

Remise de la section 2

Pour soumettre votre travail, créez d'abord l'archive de remise en lançant la commande dans le répertoire de la section 2:

Console

```
make handin
```

Cela va créer le fichier `handin.tar.gz` que vous devrez soumettre sur le site Moodle **après avoir ajouté au nom du fichier** `handin` **vos matricules**. Attention, vérifiez bien que tous les fichiers nécessaires à l'évaluation de votre travail sont bien inclus dans le fichier soumis.

Section 3 : Défis

Dans cette dernière partie du TP, on vous demande de résoudre deux exercices en vous basant sur les notions que vous avez apprises dans les sections 1 et 2. Vous trouverez dans le répertoire:

- `challenges_part1.c`, `challenges_part2.c`, `challenges_part1.h`, `challenges_part2.h` → Ce sont les fichiers de code que vous allez progressivement compléter pour répondre aux questions de cette section;
- `generate_directory` → Ce fichier servira à générer une arborescence de répertoires (plus de détails seront fournis plus bas);
- `test_part2.o` → Ce fichier servira à tester votre solution de la partie 2;
- `Makefile` → Ce fichier contient les commandes de compilation et de remise. Attention, vous ne devez pas le modifier.

Instructions pour la partie 1

Question 5.1 (*Exploration d'un arbre*)

Dans cette partie, on vous demande de nous aider à explorer un arbre de processus. Utilisez l'exécutable `generate_directory` pour générer ce dernier en lui fournissant vos matricules étudiants. Voici un exemple: `./generate_directory 1234567 7654321`

Vous devriez maintenant apercevoir un répertoire root. Ce dernier est composé d'un nombre arbitraire de sous-répertoires et de fichiers texte. Votre mandat est le suivant:

- Vous devez trouver le nombre de fichiers texte présents dans l'ensemble de l'arborescence en utilisant des processus. À chaque nouveau sous-répertoire rencontré, un nouveau processus doit être créé. Une fois le nombre total de fichiers texte calculé, vous devez l'afficher dans le terminal.
- Nous souhaitons également avoir davantage d'information sur l'arborescence des répertoires. On vous demande de générer le fichier texte `challenges_output.txt`. Dans ce dernier, nous souhaitons récupérer les informations suivantes pour **chaque répertoire rencontré**:
 - L'emplacement du répertoire;
 - Le numéro d'identification du répertoire (Indice: on se souvient qu'à chaque répertoire rencontré, un nouveau processus est créé);
 - Le numéro d'identification du répertoire supérieur immédiat;
 - La liste des fichiers texte se trouvant dans le répertoire.

Attention! Le contenu du fichier `challenges_output.txt` doit être compréhensible. Les informations sur un répertoire donné doivent être regroupées ensemble. Toutefois, vous n'avez pas à vous soucier de l'ordre dans lequel l'écriture est réalisé (un répertoire d'un niveau inférieur pourrait apparaître avant celui d'un niveau supérieur et vice-versa). Voici à quoi devrait ressembler le fichier `challenges_output.txt` :

```
Data 1: <Data 1>
Data 2: <Data 2>
Data 3: <Data 3>
Files:
    <File 1>
    <File 2>
    <File 3>
    ...

Data 1: <Data 1>
Data 2: <Data 2>
Data 3: <Data 3>
Files:
    {Vide, car aucun fichier .txt}
    ...
```


🔧 Complétez la fonction `main` du fichier `challenges_part1.c` pour obtenir le comportement voulu. Vous pouvez compiler cette partie avec la commande `make`. Lancez ensuite l'exécution avec la commande `./challenges_part1`.

Instructions pour la partie 2

Question 6.1 (*Produit matriciel*)

Dans cette partie, on vous demande d'effectuer un produit matriciel. Vous devez implémenter la fonction `multiply` du fichier `challenges_part2.c`. Voici quelques informations supplémentaires:

- Vous ne pouvez pas changer la signature de la fonction;
- La fonction doit retourner une structure de type `MatrixInfos` qui contiendra le résultat du produit matriciel $A \times B$ (A et B étant passés en paramètre) ainsi que le taille de cette dernière;
- Lorsque que le produit matriciel est invalide, la fonction doit retourner `NULL`.

 Complétez la fonction `multiply` du fichier `challenges_part2.c` pour obtenir le comportement voulu. Durant votre implémentation, vous pouvez compiler cette partie avec la commande:

```
gcc -O0 -std=gnu11 -Werror -Wall -Wno-unused-result -Wno-unused-variable
-o challenges_part2 ./challenges_part2.c -lrt.
```

Vous devez d'abord décommenter la fonction `main` se trouvant dans le fichier. Lancez ensuite l'exécution avec la commande `./challenges_part2`.

Une fois confiant(e)s de votre implémentation, vous pouvez tester celle-ci avec la commande `make test` (n'oubliez pas de recommenter la fonction `main` d'abord). Lancez ensuite l'exécution des tests avec la commande `./test_part2`.



Attention! : Pour recevoir l'entièreté des points pour ce numéro, une condition nécessaire, mais non suffisante, est de passer tous les tests sur les **ordinateurs du laboratoire**. Nous évaluerons aussi le degré de **mobilité de la matière du cours**. En d'autres termes, réussir les tests ne garantit pas automatiquement l'attribution de points.

Remise de la section 3

Pour soumettre votre travail, créez d'abord l'archive de remise en lançant la commande dans le répertoire de la section 3:

Console

```
make handin
```

Cela va créer le fichier `handin.tar.gz` que vous devrez soumettre sur le site Moodle **après avoir ajouté au nom du fichier handin vos matricules**. Attention, vérifiez bien que tous les fichiers nécessaires à l'évaluation de votre travail sont bien inclus dans le fichier soumis.

Évaluation

Ce TP est noté sur 20 points répartis comme suit :

- /5.0 pts : Section 1;
- /5.0 pts : Section 2;
- /8.0 pts : Section 3;
- /2.0 pts : Code (clarté et respect des consignes).

Bonne chance!