

Rédigé par : équipe pédagogique du cours de prog parallèle.

Ref : *ING2-PROGPAR-TP-MPI*

A l'intention de : Etudiants d'ING2 GSI/MI

Créé le : 25/3/2016

### Exercices 1 : MPI

Vérifier que la bibliothèque mpi est installée sur votre machine, sinon vous la téléchargez,

**su (entrez le password root)**  
**apt-get install mpich2**

### Gestion de l'environnement de MPI

#### Exercice 1 :

Ecrire un programme **qui\_suis\_je.c** qui affiche son rang parmi les processus actifs (sortie ci-dessous)

```
mpicc qui_suis_je.c -o qui_suis_je  
mpirun -np 4 path/qui_je_suis
```

```
Je suis le processus 3 parmi 4  
Je suis le processus 0 parmi 4  
Je suis le processus 1 parmi 4  
Je suis le processus 2 parmi 4
```

**Exercice 2 :** Ecrire un programme qui affiche un message par chacun des processus, mais différent selon qu'ils sont de rang pair ou impair

### Communication point à point

#### Exercice 1 :

Utiliser `MPI_ANY_SOURCE` et `MPI_ANY_TAG` pour écrire le programme suivant collecteur :

1. chaque processus envoie son rang au processus 0
2. le processus 0 reçoit le numéro et l'affiche

```
mpicc collecteur.c -o collecteur -std=c99  
mpirun -np 7 path/collecteur
```

#### Ecrire 2 : Token Ring

Ecrire un programme qui permet de définir une topologie de réseau en anneau:

Le processus 0 envoie un message qui contient une valeur numérique au processus 1, le processus 1 envoie la valeur reçue au processus 2 et ainsi de suite, jusqu'à réception de la valeur par le dernier processus.

Rédigé par : équipe pédagogique du cours de prog parallèle.

Ref : *ING2-PROGPAR-TP-MPI*

A l'intention de : Etudiants d'ING2 GSI/MI

Créé le : 25/3/2016

**Exercice 3 :** Ecrire un programme qui fait la même chose que l'exercice 2, mais cette fois ci le message est un vecteur, et est envoyé en pipeline (découpé en plusieurs morceaux).

**Exercice 4 :** Ecrire un programme qui calcule racine carrée de la somme des carrés d'un vecteur  $V$  de longueur  $n$

$$\text{sommeCarre} = (\text{Sum}(x_i * x_i))^{1/2}$$

- a- sur une communication point à point
- b- sur une architecture en anneau

**Exercice 5 :** Ecrire un programme qui calcule la distance entre deux points dans l'espace à  $n$  dimensions

$$\text{Distance} = (\text{Sum}(x_i - y_i)^2)^{1/2}$$

- c- sur une communication point à point
- d- sur une architecture en anneau

### Exercice 6 : différences finies 1D

La résolution numérique de l'équation de Laplace (ou équation de la chaleur).

Imaginons-nous une barre métallique illimitée à laquelle on applique une source de chaleur sur une section d'un bord. La chaleur va se propager le long de la barre en suivant une dynamique décrite par l'équation différentielle partielle suivante :

$$\partial_t \rho(x,t) = \nabla^2 \rho(x,t)$$

où " $\rho$ " est la température. Si la température aux bords est maintenue constante, la distribution de chaleur dans la barre tend vers un état stationnaire. Dans ce cas, la dérivée temporelle dans l'équation précédente disparaît, et on se retrouve avec l'équation de Laplace:

$$\nabla^2 \rho(x,t) = 0$$

On se propose de résoudre l'équation de Laplace en simulant l'équation de la chaleur. En commençant par une distribution de chaleur identiquement nulle, on applique une température à un

Rédigé par : équipe pédagogique du cours de prog parallèle.

Ref : *ING2-PROGPAR-TP-MPI*

A l'intention de : Etudiants d'ING2 GSI/MI

Créé le : 25/3/2016

des bords et fait évoluer l'équation de la chaleur jusqu'à ce que la dynamique se stabilise. Voici un schéma numérique qui permet de résoudre l'équation de la chaleur itérativement :

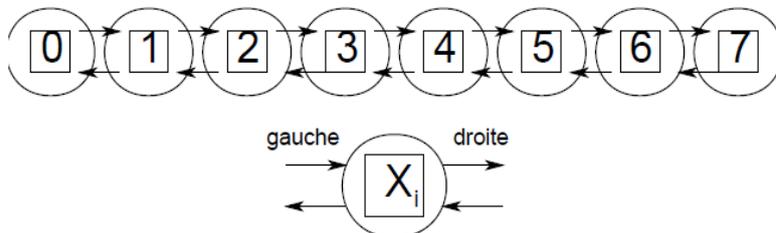
$$\rho(i,t+1) = 0.25( \rho(i+1,t) + \rho(i-1,t) + 2 * \rho(i,t) )$$

L'indice "i" sert à numéroter les points de l'espace discret. On considère un maillage (ou grille de calcul) composé de  $N + 1$  points  $x_i$  pour  $i = 0 \dots N$  régulièrement espacés avec un pas  $\Delta x$ . Les points  $x_i = i\Delta x$  sont appelés les nœuds du maillage.

- ▶ On dispose du vecteur  $X^{(0)}$  de taille  $N$  et on doit calculer  $X^{(T)}$  selon :

$$0 < i < N - 1, 0 \leq t < T : X_i^{(t+1)} = \frac{X_{i-1}^{(t)} + 2X_i^{(t)} + X_{i+1}^{(t)}}{4}$$

$$N=8 \quad \boxed{X_0} \boxed{X_1} \boxed{X_2} \boxed{X_3} \boxed{X_4} \boxed{X_5} \boxed{X_6} \boxed{X_7}$$



### Questions

1. Ecrivez un programme en C ou en C++ qui résout le problème de l'équation de la chaleur à une dimension, on choisit une discrétisation sur l'axe x de N et une discrétisation temporelle de T. Les conditions aux limites  $\forall t \rho(0)=0$  et  $\rho(L)=1$
2. OpenMP
  1. Parallélisez le programme par des directives OpenMP
3. MPI
  1. Donnez l'algorithme parallèle, en supposant que le nombre de processus est égal au nombre de subdivisions le long de la barre.
  2. Donnez le code de cette parallélisation avec MPI.
  3. Comparer et discuter la parallélisation OpenMP et MPI

Rédigé par : équipe pédagogique du cours de prog parallèle.

Ref : *ING2-PROGPAR-TP-MPI*

A l'intention de : Etudiants d'ING2 GSI/MI

Créé le : 25/3/2016

### Exercice 7 : Calcul de $\pi$ par les rectangles centrés

Il s'agit de calculer  $\pi$  par intégration numérique sachant que :

$$\int_0^1 \frac{4}{1+x^2} dx = \pi$$

Le calcul de la valeur de  $\pi$  par la méthode des rectangles. Soit  $f(x) = \frac{4}{1+x^2}$  la fonction à intégrer et N et  $h = 1/n$  respectivement le nombre de points et le pas de discrétisation de l'intervalle d'intégration  $[0, 1]$ . Dans notre cas :

$$\int_0^1 f(x) dx \approx \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left( f\left(\frac{i-1}{n}\right) + f\left(\frac{i}{n}\right) \right)$$

Le calcul de  $\pi$  est simple, il ne s'agit que d'une intégrale calculée par la méthode des rectangles. Le calcul est réalisé par une boucle sur un grand nombre d'éléments

Écrivez un algorithme permettant de calculer  $\pi$  de manière séquentielle en utilisant ces équations.

1. Écrivez un algorithme permettant de calculer  $\pi$  de manière séquentielle en utilisant ces équations.
2. Rédigez un programme séquentiel correspondant à votre algorithme. Vous comparerez le rapport précision/vitesse en utilisant d'abord des doubles, puis des *long double*.
3. Modifiez votre programme afin de calculer  $\pi$  de manière parallélisée en utilisant la bibliothèque MPI. Estimez le gain en utilisant la loi d'Amdahl puis déterminez le gain réel obtenu en fonction du nombre de processeurs utilisés.

### Aide à la parallélisation

```

: 3,141592653589793238462643383279502884197169399375105820974944592307816406286
208998628034825342117067982148086513282306647093844609550582231725359408128481
117450284102701938521105559644622948954930381964428810975665933446128475648233
786783165271201909145648566923460348610454326648213393607260249141273724587006
606315588174881520920962829254091715364367892590360011330530548820466521384146
951941511609433057270365759591953092186117381932611793105118548074462379962749
567351885752724891227938183011949129833673362440656643086021394946395224737190
702179860943702770539217176293176752384674818467669405132000568127145263560827
785771342757789609173637178721468440901224953430146549585371050792279689258923
542019956112129021960864034418159813629774771309960518707211349999998372978049
951059731732816096318595024459455346908302642522308253344685035261931188171010
003137838752886587533208381420617177669147303598253490428755468731159562863882
353787593751957781857780532171226806613001927876611195909216420198938095257201
065485863278865936153381827968230301952035301852968995773622599413891249721775
283479131515574857242454150695950829533116861727855889075098381754637464939319
255060400927701671139009848824012858361603563707660104710181942955596198946767

```

Rédigé par : équipe pédagogique du cours de prog parallèle.

Ref : *ING2-PROGPAR-TP-MPI*

A l'intention de : Etudiants d'ING2 GSI/MI

Créé le : 25/3/2016

```
837449448255379774726847104047534646208046684259069491293313677028989152104752
162056966024058038150193511253382430035587640247496473263914199272604269922796
782354781636009341721641219924586315030286182974555706749838505494588586926995
690927210797509302955321165344987202755960236480665499119881834797753566369807
426542527862551818417574672890977772793800081647060016145249192173217214772350
141441973568548161361157352552133475741849468438523323907394143334547762416862
518983569485562099219222184272550254256887671790494601653466804988627232791786
085784383827967976681454100953883786360950680064225125205117392984896084128488
626945604241965285022210661186306744278622039194945047123713786960956364371917
```

**Exercice 8** : passage de tableau à un processus (source d'un code séquentiel en ligne)

Ecrire un programme qui initialise un vecteur de taille L et repartit ce tableau sur N processus. Chaque processus va recevoir une tranche de ce tableau égale à la taille N divisée par le nombre de processus.

1. Le remplissage du tableau initial va se faire par le processus maître (TID=0).
2. Le processus maître distribue équitablement des tranches de tableau à chacun des N processus
3. Chaque processus calcule chaque élément de la tranche du tableau reçu selon une formule donnée, puis calcule la somme des éléments de sa tranche et renvoie les résultats au processus maître

Le processus maître collecte les données et affiche tout le tableau mis-à-jour et la somme globale

**Exercice 9** : correction d'un génome

Dans le cas d'une séquence d'ADN, le "texte" est une suite formée généralement de 4 lettres correspondant aux quatre nucléotides formant l'enchaînement de l'ADN :

**A** pour Adénine,  
**G** pour Guanine,  
**T** pour Thymine,  
**C** pour Cytosine

De temps en temps on peut trouver d'autres lettres telles que (**R** et **W**) qu'on va remplacer par :

**R** peut être remplacé par **A** ou **G**  
**W** peut être remplacé par **A** ou **T**  
**H** peut être remplacé par **A** ou **C**

Ecrire un programme qui initialise un vecteur de taille L contenant une suite aléatoire de nucléotides (**A, G, T, C, R, W, H**). Ce programme va repartir ce tableau sur N processus.

4. Le remplissage du tableau initial va se faire par le processus maître (TID=0).
5. Le processus maître distribue équitablement des tranches de tableau à chacun des N processus

Rédigé par : équipe pédagogique du cours de prog parallèle.

Ref : *ING2-PROGPAR-TP-MPI*

A l'intention de : Etudiants d'ING2 GSI/MI

Créé le : 25/3/2016

6. Chaque processus parcourt sa tranche de tableau est fait les remplacements si nécessaire, puis calcule le nombre des nucléotides **A** dans sa tranche et renvoie les résultats au processus maître (tranche modifiée et le nombre de A)
7. Le processus maître collecte les données et affiche tout le tableau mis-à-jour (uniquement les lettres **A, G, T, C**) et le nombre global de nucléotides **A** dans le tableau