

## Examen du cours I3

### Programmation hybride et multi-cœurs

Vendredi 15 février 2019 - durée 3 heures  
Supports de cours autorisés.

Dans les questions où on demande d'écrire des lignes de code, les erreurs de syntaxe ne seront pas prises en compte (ponctuation, nom exact des fonctions, ordre des arguments, etc.). Du moment que vous indiquez clairement ce que fait chaque ligne de code ajoutée pour répondre aux questions.

**Question n° 1** (2 points)

On suppose utiliser la machine qui contient 1 processeur avec 2 cœurs et chaque cœur possède une mémoire cache séparée:

**Question de cours n° 2** (2 points)

Dans le modèle de programmation hybride MPI-OpenMP, décrivez les principaux avantages espérés par rapport à une programmation purement MPI et une programmation purement OpenMP.

**Question de cours n° 3** (1 points)

Décrivez les quatre niveaux de compatibilité entre MPI et OpenMP.

**Question de cours n° 4** (2 points)

Définissez les notions de localité temporelle et localité spatiale. Donnez un exemple simple pour illustrer chacune de ces deux notions.

**Question de cours n° 5** (2 points)

Rappeler les différences principales entre la programmation OpenMP «grain fin» (fine-grain) et «gros grain» (coarse-grain).

---

**Problème n° 1 (parallélisation hybride)**

Le but de cet exercice est de calculer une valeur approchée de  $\pi$  par intégration numérique en modèle de programmation mixte MPI+OpenMP.

La machine de calcul dispose de  $N$  nœuds, chaque nœud étant composé de  $P$  processeurs (on considère ici que 1 cœur = 1 processeur). Le nombre total de processeurs (cœurs) est donc de  $N \times P$ .

Soit la formule suivante utilisée pour calculer la valeur du nombre  $\pi$  :

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

Le programme séquentiel suivant permet de calculer une valeur approchée de cette intégrale en utilisant la méthode du trapèze. Cette méthode simple consiste à remplir la surface sous la courbe par une série de petits rectangles. Lorsque la largeur des rectangles tend vers zéro, la somme de leur surface tend vers la valeur de l'intégrale (et donc vers  $\pi$ ).

```

1 #include <iostream>
2
3 int main() {
4     int lNumSteps = 1000000000;
5     double lStep = 1.0/lNumSteps;
6     double lSum = 0.0, x;
7
8     for (int i=0; i<lNumSteps ; ++i ) {
9         x = (i+0.5) * lStep;
10        lSum += 4.0/(1.0 + x*x);
11    }
12    double pi = lSum*lStep;
13
14    std::cout.precision(15) ;
15    std::cout << "pi=" << pi << std::endl;
16
17    return 0;
18 }
```

**Question n° 6** (2 points)

Ajouter une parallélisation OpenMP (type “grain fin”).

**Question n° 7** (4 points)

Ajouter une parallélisation MPI pour obtenir une parallélisation hybride.

---

### Problème n° 2 (parallélisation OpenMP “gros grain”, déséquilibre de charge)

Le but de cet exercice est de calculer la solution de

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(\kappa(u) \frac{\partial u}{\partial x})$$

où  $\kappa(u)$  est une fonction non-linéaire de  $u$  et **on suppose que le temps nécessaire pour calculer  $\kappa(u)$  est proportionnel à  $|u|$ .**

Le schéma numérique utilisé ici est explicite et aux différences finies, il calcule une approximation  $u_i^n$  de  $u(i\Delta x, n\Delta t)$ .

Il s'écrit

$$u_i^{n+1} = u_i^n + \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \left( -\kappa \left( \frac{u_i^n + u_{i-1}^n}{2} \right) (u_i^n - u_{i-1}^n) + \kappa \left( \frac{u_{i+1}^n + u_i^n}{2} \right) (u_{i+1}^n - u_i^n) \right)$$

pour calculer  $u_i^{n+1}, i = 1, \dots, N-1$  à partir de  $u_i^n, i = 0, \dots, N$  (on supposera  $u$  nul au bord du domaine).

On supposera que le schéma est stable et sa précision acceptable.

En langage C, le schéma pour passer de  $v[i] = u_i^n$  à  $w[i] = u_i^{n+1}$  s'écrit

```

1      w[0] = v[0];
2      w[N] = v[N];
3
4      for (i=1; i<N; i++)
5          w[i] = v[i] + dt/(dx*dx) * (
6              - k(0.5*(v[i] + v[i-1])) * (v[i] - v[i-1])
7              + k(0.5*(v[i+1] + v[i])) * (v[i+1] - v[i]))
8
```

#### Question n° 8 (3 points)

Paralléliser avec le modèle "gros grain".

#### Question n° 9 (1 points)

Qu'est-ce qui peut provoquer du déséquilibre de charge entre les différents threads ?

#### Question n° 10 (3 points)

Proposer une parallélisation type "gros grain" qui essaie de mieux répartir la charge.

---

Total : 22 points