

CentraleSupélec

Mineure CalHauI

# L'essentiel d'OpenMP

Stéphane Vialle

Stephane.Vialle@centralesupelec.fr  
http://www.metz.supelec.fr/~vialle

CentraleSupélec

# Programmation OpenMP (par partage de mémoire)

1. Principes d'OpenMP
2. Détails de syntaxe et de sémantique
3. Optimisations
4. Exemples de parallélisation
5. Bilan d'OpenMP
6. Mesures et représentation de performances

CentraleSupélec

Programmation OpenMP - principes

## Principes de base

**Développer un code séquentiel :**

- conception
- implantation
- mise au point

↓

**Ajouter des directives de compilation parallèles**

- **parallélisation incrémentale**
- peu de code supplémentaire
- limité au parallélisme présent dans le code initial

Exemple utilisant une « directive » OpenMP

```
#include <omp.h>
Initialisation();
#pragma omp parallel for private(i)
for (i=0; i<N; i++)
    Calcul(i);
Autre_calcul();
```

CentraleSupélec

Programmation OpenMP - principes

## Principes de base

**OpenMP : basé sur des threads et soumis aux mêmes limites**

Exploite une mémoire partagée, mais :

- pb de synchronisation
- pb de contention
- pb de *false sharing*

→ Utiliser OpenMP facilite (souvent) l'implantation, mais ne dispense pas de résoudre les problèmes d'algorithmique parallèle en mémoire partagée.

CentraleSupélec

Programmation OpenMP - principes

## Régions parallèles

```
main() {
    .....
    #pragma omp parallel
    {
        .....
    }
    .....
}
```

1th : code seq.

3th : code répliqué

1th : code seq.

**Ex sur une machine à 3 cœurs (!!) :**

- Création et destruction de 3 threads en début et fin d'une région parallèle
- « Join » (synchro) automatique sur la mort des 3 threads en sortie de région parallèle
- Syntaxe très simple et concise

CentraleSupélec

Programmation OpenMP - principes

## Ctrl du parallélisme par directives

```
main() {
    .....
    #pragma omp parallel
    {
        #pragma omp for private(i)
        for (i=0; i<N; i++){
            .....
        }
        #pragma omp single
        {
            .....
        }
        #pragma omp critical
        {
            .....
        }
        .....
        #pragma omp barrier
        .....
    }
    .....
}
```

Code seq.

Code répliqué

Calculs répartis de même nature

Calcul séq.

Calculs « mutexés »

Code répliqué à durée variable -- Synchro -- Code répliqué

Code seq.

Programmation OpenMP - principes

### Ctrl du parallélisme par directives

```

main() {
    .....
    #pragma omp parallel
    {
        .....
        #pragma omp sections
        {
            #pragma omp section
            {
                .....
            }
            #pragma omp section
            {
                .....
            }
        }
    }
    .....
}

```

Code seq.

région parallèle

Code répliqué

Calculs répartis de natures différentes

Code répliqué

Code seq.

Programmation OpenMP - principes

### Ctrl du parallélisme par directives

```

main() {
    .....
    #pragma omp parallel
    {
        #pragma omp sections
        {
            #pragma omp section
            {
                for (...) {
                    #pragma omp task
                    {
                        .....
                    }
                }
            }
            #pragma omp single
            {
                for (...) {
                    #pragma omp task
                    {
                        .....
                    }
                }
            }
        }
    }
    .....
}

```

Code seq.

région parallèle

threads

tasks

Calculs répartis : ensemble de « tâches » traitées au mieux par un ensemble de threads

Code seq.

Programmation OpenMP - principes

### Ctrl explicite du parallélisme

Parallélisation d'un appel de fonction séquentielle :

```

main() {
    .....
    f_lib(0, N, SharedTable);
    .....
}

```

Code parallèle

```

main() {
    #pragma omp parallel
    {
        f_lib(N/omp_get_num_threads()*
            omp_get_thread_num(),
            N/omp_get_num_threads()*
            (omp_get_thread_num()+1),
            SharedTable);
    }
}

```

Code séquentiel

→ code répliqué MAIS avec des paramètres spécifiques à chaque thread

Rmq : il faut que le code de la fonction soit « ré-entrant »

Programmation OpenMP - principes

### Ctrl explicite du parallélisme

```

main() {
    .....
    #pragma omp parallel
    {
        switch (omp_get_thread_num()) {
            case 0 :
                // calcul sur le GPU
                break;
            default :
                // calcul sur les cœurs CPU
                break;
        }
    }
}

```

Hyp : 3 threads OpenMP créés sur une machine à 3 cœurs CPU... et l'un des cœurs CPU est dédié au pilotage du GPU

Faire accomplir au thread 0 (qui existe toujours) une tâche spéciale

Ex : pilotage d'un GPU et calculs sur les autres cœurs CPU...  
recouvrement d'IO et de calculs sur les autres cœurs CPU...

Programmation OpenMP - principes

### Région parallèles de directives orphelines

```

main() {
    int i, j;
    #pragma omp parallel
    {
        #pragma omp for private(i)
        for (i=0; i<N; i++)
            .....
        #pragma omp for private(j)
        for (j=0; j<Q; j++)
            .....
    }
}

```

Région parallèle explicite

Région parallèle d'une directive « orpheline »

```

main() {
    int i, j;
    #pragma omp parallel for private(i)
    for (i=0; i<N; i++)
        .....
    #pragma omp parallel for private(j)
    for (j=0; j<Q; j++)
        .....
}

```

Directive orpheline :

- plus simple, plus compacte,
- amène sa propre région parallèle minimale,
- provoque la création et la mort automatique de threads à chaque exécution (possible pb de perf, voir plus loin)...

Programmation OpenMP (par partage de mémoire)

- Principes d'OpenMP
- Détails de syntaxe et de sémantique
- Optimisations
- Exemples de parallélisation
- Bilan d'OpenMP
- Mesures et représentation de performances

Programmation OpenMP - principes

## Parallel for

```
main() {
  .....
  #pragma omp parallel
  {
    .....
    #pragma omp for private(i)
    for (i=0; i<N; i++){
      .....
    }
  }
  .....
}
```

OpenMP peut paralléliser des boucles de calculs **ssi les itérations sont indépendantes**.

Sinon, l'algorithme n'est pas parallélisable, et il faut en changer !

Algorithme et code séquentiels

```
for (i = 1; i < N; i++) {
  tab[i] = 1 + (tab[i-1])2
}
```

Algorithme et code parallélisables

```
for (i = 1; i < N; i++) {
  tab2[i] = 1 + (tab1[i-1])2
}
```

Programmation OpenMP - principes

## Parallel for

### Création de variables privées aux threads : clause « private »

```
#define N 1000
double Tab1[N], Tab2[N];
main() {
  int i;
  double alpha = 2.0;
  .....
  #pragma omp parallel for private(i) \
                          shared(Tab1,Tab2) \
                          shared(alpha)
  for (i = 0; i < N; i++) {
    double coef;
    coef = pow(Tab1[i],alpha);
    Tab2[i] *= coef;
  }
}
```

Les compteurs de boucles déclarés en amont des boucles des threads doivent être transformés en variables privées.

Rmq : fait par le compilateur en théorie...

Programmation OpenMP - principes

## Parallel for

### Création de variables privées aux threads : def. de variables locales

```
#define N 1000
double Tab1[N], Tab2[N];
main() {
  double alpha = 2.0;
  .....
  #pragma omp parallel for shared(Tab1,Tab2) \
                          shared(alpha)
  for (int i = 0; i < N; i++) {
    double coef; // var locale : privée
    coef = pow(Tab1[i],alpha);
    Tab2[i] *= coef;
  }
}
```

Les compteurs de boucles déclarés dans les boucles sont automatiquement privés à chaque thread

Programmation OpenMP - principes

## Parallel for

### Propagation de valeur aux variables privées : clause « firstprivate »

```
#define N 1000
double Tab2[2][N];
main() {
  int i, c;
  int idx = 0;
  double a = 2.0;
  #pragma omp parallel \
    private(i,c,idx) \
    shared(Tab) \
    shared(a)
  {
    idx = 0; // NE PAS OUBLIER
    for (c = 0; c < NbC; c++){
      #pragma omp for
      for (i = 0; i < N; i++){
        double coef =
          pow(Tab[idx][i],a);
        Tab[1-idx][i] *= coef;
      }
      idx = 1 - idx;
    }
    printf("%d",idx); // → 0
  }
}
```

```
#define N 1000
double Tab2[2][N];
main() {
  int i, c;
  int idx = 0;
  double a = 2.0;
  #pragma omp parallel \
    private(i,c) \
    firstprivate(idx) \
    shared(Tab) \
    shared(a)
  {
    for (c = 0; c < NbC; c++){
      #pragma omp for
      for (i = 0; i < N; i++){
        double coef =
          pow(Tab[idx][i],a);
        Tab[1-idx][i] *= coef;
      }
      idx = 1 - idx;
    }
    printf("%d",idx); // → 0
  }
}
```

Voir aussi « lastprivate »

Programmation OpenMP - principes

## Parallel reduce

**Def :** une « réduction » passe d'un vecteur de dimension  $n$  à un vecteur de dimension  $m$  ( $< n$ ). Ex : un vecteur  $\rightarrow$  un scalaire.

La « **parallel for** » d'OpenMP permet aussi de faire des réductions :

```
double x[N], y[N];
double Sx = 0.0, Sy = 0.0;
double MoyX, MoyY;
int i;

#pragma omp parallel for private(i) \
                          shared(x, y) \
                          reduction(+: Sx, Sy)
for (i = 0; i < N; i++) {
  Sx = Sx + x[i]; // local Sx
  Sy = Sy + y[i]; // local Sy
}
// global Sx = sum of all local Sx (idem Sy)
MoyX = Sx/N; // global Sx
MoyY = Sy/N; // global Sy
```

Cohérence de l'opérateur et des opérations : à la charge du développeur

Programmation OpenMP - principes

## Contrôle de l'ampleur du parallélisme

Par défaut OpenMP *inonde* le nœud : un thread par cœur logique ! Mais on peut spécifier le nbr de threads créés

### Sol 1 : spécifier le nbr de threads à chaque entrée en région parallèle

```
#pragma omp parallel num_threads(10)
{
  .....
}

#pragma omp parallel for num_threads(10)
for ...

.....

#pragma omp parallel for num_threads(2)
for ...
```

Impose le nombre de threads créés **juste sur une portion de code** OpenMP

Commande à re-spécifier à chaque région parallèle (non robuste)

Programmation OpenMP - principes

## Contrôle de l'ampleur du parallélisme

Par défaut OpenMP *inonde* le nœud : un thread par cœur logique !  
Mais on peut spécifier le nbr de threads créés

**Sol 2 : spécifier le nbr de threads jusqu'à une nouvelle spécification**

```

omp_set_num_threads(10);
#pragma omp parallel {
  .....
}
.....
#pragma omp parallel for
for ...
.....
omp_set_num_threads(2);
#pragma omp parallel for
for ...

```

Impose le nombre de threads pour tout le reste du programme  
Mais une nouvelle spécification efface la précédente

Programmation OpenMP - principes

## Contrôle de l'ampleur du parallélisme

Par défaut OpenMP *inonde* le nœud : un thread par cœur logique !  
Mais on peut spécifier le nbr de threads créés

**Sol 3 : les deux types de spécifications sont compatibles**

```

omp_set_num_threads(10);
#pragma omp parallel {
  .....
}
.....
#pragma omp parallel for
for ...
.....
#pragma omp parallel for num_threads(2)
for ...

```

Impose le nombre de threads pour tout le reste du programme  
Mais une nouvelle spécification efface la précédente

Programmation OpenMP - principes

## Qu'imprime ce programme ?

```

omp_set_num_threads(10);
printf("Thread %d/%d\n",
      omp_get_thread_num(),
      omp_get_num_threads());

#pragma omp parallel num_threads(2)
{
  printf("Thread %d/%d\n",
        omp_get_thread_num(),
        omp_get_num_threads());
  #pragma omp for private(i,j)
  for (i = 0; i < 4; i++)
    for (j = 0; j < 2; j++)
      print("%d-%d-%d\n",
            omp_get_thread_num(), i, j);
}

printf("Thread %d/%d\n",
      omp_get_thread_num(),
      omp_get_num_threads());

```

Thread 0/1

Thread 0/2 Thread 1/2  
ou bien

Thread 1/2 Thread 0/2

$th = 0 :$	$th = 1$
0-0-0	1-2-0
0-0-1	1-2-1
0-1-0	1-3-0
0-1-1	1-3-1

Thread 0/1

Programmation OpenMP - principes

## Mesure du temps écoulé

```

start = omp_get_wtime();
#pragma omp parallel \
  private(cycle,i,j)
{
  ..... // PARALLEL COMPUTATIONS
}
finish = omp_get_wtime();
duration = finish - start;
gigaflops = NbrOPs/duration/1E9;
.....

```

Début de la mesure du temps

Fin de la mesure de temps

Déduction de la vitesse de calcul

**omp\_get\_wtime() :**

- Portable sous Linux et Windows
- Mesure le temps qui passe (le « wall clock »)
- Est assez précise
- Est très facile à utiliser

Programmation OpenMP - principes

## Synchronisation par « locks » explicites

**Exemple d'utilisation des fonctions d'OpenMP :**

```

int compteur = 0;
omp_lock_t Lock;
omp_init_lock(&Lock);
#pragma omp parallel
{
  .....
  omp_set_lock(&Lock);
  compteur++ // accès à une rsrc critique
  omp_unset_lock(&Lock);
  .....
  omp_destroy_lock(&Lock);
}

```

Déclaration d'un verrou

Initialisation du verrou

Utilisation du verrou

Libération du verrou

Permet de réaliser une synchronisation par verrous, qui est portable entre Windows et Linux.

Programmation OpenMP - principes

## Fonctions disponibles en OpenMP

**Execution Environment Functions**

```

omp_set_num_threads
omp_get_num_threads
omp_get_max_threads
omp_get_thread_num
omp_get_num_procs

```

**omp\_in\_parallel**  
omp\_set\_dynamic  
omp\_get\_dynamic  
omp\_set\_nested  
omp\_get\_nested

**Lock Functions**

```

omp_init_nest_lock
omp_destroy_nest_lock
omp_set_nest_lock
omp_unset_nest_lock
omp_test_nest_lock

```

**omp\_init\_lock**  
omp\_destroy\_lock  
omp\_set\_lock  
omp\_unset\_lock  
omp\_test\_lock

**Timing Routines**

```

omp_get_wtime
omp_get_wtick

```

Programmation OpenMP - principes

## Evolution d'OpenMP

OpenMP-1 vs OpenMP-2 (ou 2.5 ou 3.1 ou 4.0)

OpenMP-1.0	OpenMP-2.0	OpenMP-2.5	OpenMP-3.1	OpenMP-4.0
- 1998	- 2002			
- Régions parallèles	- Régions parallèles			
- <b>Parallèle for</b>	- <b>Parallèle for</b>			
- <b>Parallèle sections</b> avec des « options »	- <b>Parallèle sections</b> ... nouvelles « options »			
- Peu de composition possible des directives	- Beaucoup de compositions possibles des directives			
- <b>Simple</b>	- <b>Devient plus compliqué !</b>			

De plus en plus de fonctionnalités ...

Evolution de la documentation de l'API :

OpenMP-1.0	OpenMP-2.0	OpenMP-2.5	OpenMP-3.0	OpenMP-3.1	OpenMP-4.0
1998	2002	2005	2008	2011	2012
85p	106p	250p	326p	354p	380p

OpenMP utilisé au maximum est-il plus simple que les P-Threads ?

Programmation OpenMP (par partage de mémoire)

1. Principes d'OpenMP
2. Détails de syntaxe et de sémantique
3. Optimisations
4. Exemples de parallélisation
5. Bilan d'OpenMP
6. Mesures et représentation de performances

Programmation OpenMP - principes

## Réutilisation des threads

Définition d'une région parallèle qui évite de re-créeer les threads

```

main() {
    .....
    for (c = 0; c < NbCycle; c++){
        #pragma omp parallel for private(i),
        for (i = 0; i < N; i++)
    }
    .....
}

main() {
    #pragma omp parallel private(c)
    {
        for (c = 0; c < NbCycle; c++){
            #pragma omp for private(i)
            for (i = 0; i < N; i++)
        }
    }
    .....
}

```

Programmation OpenMP - principes

## Suppression des synchro inutiles

Suppression de barrières de synchronisation systématiques :

```

#pragma omp sections nowait
#pragma omp for nowait

```

Par défaut : un wait est présent à la fin de chaque directive OpenMP

On peut l'enlever (nowait) :

- si les threads n'ont pas besoin d'être resynchronisés à cet endroit du code !
- si il y a matière à gagner du temps : enchaîner avec des calculs de tailles différentes et espérer gagner au final

Programmation OpenMP - principes

## Optimisation de l'ampleur du parallélisme

Eviter les créations de threads inutiles :

- 1 - Limitation au nombre de tâches à exécuter (< nbr de rsres)

```

..... // code séquentiel
omp_set_num_threads(2);
#pragma omp sections
{
    #pragma omp section
    .....
    #pragma omp section
    .....
}

```

Ex: 4 cœurs disponibles

Seulement 2 threads créés

- 2 - Optimisation du parallélisme selon le couple calcul/machine

```

#pragma omp parallel for num_threads(nth)
for (int i = 0; i < N; i++) {
    ..... // Accès données et calculs
}

```

Selon les calculs et les accès aux données, le nbr optimal de tâches peut varier d'une architecture à l'autre

Programmation OpenMP - principes

## Distribution de boucle équilibrée

On veille à l'équilibrage de charge

```

void ActStock(double sqrtDt)
{
    int StkIdx, yIdx, xIdx; // Loop indexes
    #pragma omp parallel private(StkIdx,yIdx,xIdx)
    {
        #pragma omp for
        for (StkIdx = 0; StkIdx < NbStocks; StkIdx++) {
            Parameters t *parPt = &par[StkIdx];
            for (yIdx = 0; yIdx < Ny; yIdx++)
                for (xIdx = 0; xIdx < Nx; xIdx++) { // "trajectory"
                    float call;
                    // - First pass // Calcul de Monte Carlo
                    call = .....;
                    // - The passes that remain
                    for (int stock = 1; stock <= StkIdx; stock++)
                        call = .....; // Calcul de Monte Carlo
                    // Copy result in the global GPU memory
                    TabStockCPU[StkIdx][yIdx][xIdx] = call;
                }
            }
        }
    }
}

```

Quelle boucle paralléliser dans ce « nid de boucles » ?

On tente de paralléliser la boucle la plus externe (corps plus conséquent)  
 Mais la boucle interne à une taille fonction de l'itération de la boucle externe  
 → les premières itérations de la boucle externe durent moins longtemps

Programmation OpenMP - principes

## Distribution de boucle équilibrée

On veille à l'équilibrage de charge

Quelle boucle paralléliser dans ce « nid de boucles » ?

```

void ActStock(double sqrtdt)
{
  int StkIdx, yIdx, xIdx; // Loop indexes
  #pragma omp parallel private(StkIdx,yIdx,xIdx)
  {
    for (StkIdx = 0; StkIdx < NbStocks; StkIdx++) {
      Parameters t *parPt = &par[StkIdx];
      #pragma omp for
      for (yIdx = 0; yIdx < Ny; yIdx++) // Process each "trajectory"
        for (xIdx = 0; xIdx < Nx; xIdx++) {
          float call;
          // - First pass
          call = ..... // Calcul de Monte Carlo
          // - The passes that remain
          for (int stock = 1; stock <= StkIdx; stock++)
            call = ..... // Calcul de Monte Carlo
          // Copy result in the global GPU memory
          TabStockCPU[StkIdx][yIdx][xIdx] = call;
        }
      }
    }
  }
}
  
```

On tente de paralléliser la boucle la plus externe (corps + conséquent)  
 Mais ici, pour un bon équilibrage de charge statique : il faut paralléliser la 2<sup>ème</sup> boucle (et non pas la première)

Programmation OpenMP - principes

## Distribution de boucle équilibrée

Réglage du *scheduling* des `#pragma omp for` :

- taille des tâches : nombre d'itérations de boucle prises en charge
- type de répartition des tâches : `static`, `dynamic`, `guided`, `auto`, `runtime`

tâches 1   tâches 2   tâches 3

`schedule (static, T)`

tâches 1

`schedule (static)`

**Calculs réguliers équilibrés**

tâches 1

`schedule (dynamic, T)`

tâches 1

`schedule (dynamic)`

**Calculs irréguliers déséquilibrés**

Programmation OpenMP - principes

## Distribution de boucle équilibrée

Réglage du *scheduling* des `#pragma omp for` :

- taille des tâches : nombre d'itérations de boucle prises en charge
- type de répartition des tâches : `static`, `dynamic`, `guided`, `auto`, `runtime`

**schedule (guided, chunk\_size) :**  
 le nombre d'itérations de chaque tâche est fixé (sauf pour la dernière), mais par le mode d'affectation des tâches (static/dyna.)

**schedule (auto) :**  
 le découpage des boucles en tâches est délégué au compilateur

**schedule (runtime) :**  
 le découpage des boucles en tâches, et leur affectation aux threads se fera à l'exécution seulement

Programmation OpenMP (par partage de mémoire)

- Principes d'OpenMP
- Détails de syntaxe et de sémantique
- Optimisations
- Exemples de parallélisation**
- Bilan d'OpenMP
- Mesures et représentation de performances

Programmation OpenMP - exemples

## Parallélisation de la relaxation de Jacobi

Calcul des lignes de potentiel dans une plaque diélectrique :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0$$

- Discretisation et équation aux différences
- Itération jusqu'à la convergence ( $V^{n+1}_{ij} - V^n_{ij} < \epsilon$ )

$$V^{n+1}_{ij} = \frac{V^n_{i-1,j} + V^n_{i+1,j} + V^n_{i,j-1} + V^n_{i,j+1}}{4}$$

« stencil »

Condition aux limites : V fixé

Programmation OpenMP - exemples

## Parallélisation de la relaxation de Jacobi

**Principe de parallélisation :**

- Partitionnement des données et des calculs
- 2 tables ( $V_n$  et  $V_{n+1}$ ) en ShM

Ex : avec 4 *threads* de calcul

**Implantation OpenMP :**

- Parallélisation de la boucle sur les lignes
- Utilisation d'une région parallèle plus globale (plus efficace)

```

#pragma omp parallel private(c,...)
{
  for (c = 0; c < NbCycle; c++){
    int current = c%2
    int futur = (c+1)%2;
    #pragma omp for private(i,j)
    for (i = 0; i < N; i++)
      for (j = 0; j < N; j++)
        V[futur][i][j] = ... ..
  }
}
  
```

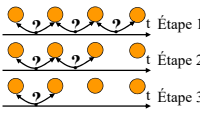
Programmation OpenMP - exemples

## Parallélisation du bubble-sort

**Principe du bubble-sort « odd-even » :**

Pb : l'algorithme de base du *bubble-sort* est fortement séquentiel !

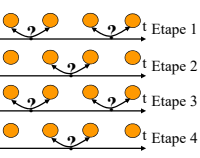
→ Modifier l'algorithme pour qu'il contienne du parallélisme potentiel !



↓

→ Bubble-sort « odd-even » :

- Même complexité
- Comparaisons indépendantes



Programmation OpenMP - exemples

## Parallélisation du bubble-sort

**Implantation du bubble-sort « odd-even »**

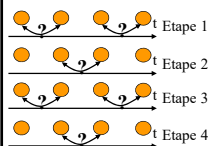
- Définition d'une région globale (+ efficace)

- Parallélisations distinctes des 2 boucles de tri.

```

#pragma omp parallel private(step)
{
  for (step = N; step > 0; step--) {
    if (step % 2 == 0) {
      #pragma omp for private(i, buff)
      for (i = 0; i < N-1; i += 2)
        if (Tab[i] > Tab[i+1]) {
          buff = Tab[i];
          Tab[i] = Tab[i+1];
          Tab[i+1] = buff;
        }
    } else {
      #pragma omp for private(i, buff)
      for (i = 1; i < N-1; i += 2)
        if (Tab[i] > Tab[i+1]) {
          buff = Tab[i];
          Tab[i] = Tab[i+1];
          Tab[i+1] = buff;
        }
    }
  }
}

```



Programmation OpenMP - exemples

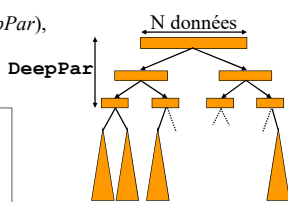
## Parallélisation du quick-sort

**Principe de parallélisation simple du Quick-Sort**

Appels récursifs → Créations récursives de *sections* parallèles

→ « *nested parallelism* » nécessaire

→ limiter la profondeur de la parallélisation (variable *DeepPar*), sinon trop de *threads*!



Algorithme parallèle peu efficace !

→ Il existe des algorithmes de quick-sort parallèle beaucoup plus performants

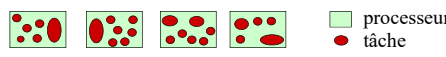
Programmation OpenMP - exemples

## Parallélisation du quick-sort

**Optimisation :**

- Pb d'équilibrage de charge :
  - selon les pivots .... les *sections* sont plus ou moins importantes
  - solution possible : équilibrage statistique !

Nb Sections >> Nb Processeurs



- Il faut donc créer beaucoup plus de *threads* qu'il n'y a de processeurs mais sans saturer les processeurs de *threads* !

Programmation OpenMP - exemples

## Parallélisation du quick-sort

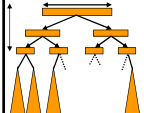
**Implantation d'une parallélisation simple du Quick-Sort**

Test & Région parallèle & Sections (OpenMP-1)

```

void quicksort(int q, int r, int deep)
{
  if (q < r) {
    // split the table ...
    // classic quick-sort op
    if (deep < DEEPPAR) {
      #pragma omp parallel
      {
        #pragma omp sections nowait
        {
          #pragma omp section
          { quicksort(q, s-1, deep+1); }
          #pragma omp section
          { quicksort(s+1, r, deep+1); }
        }
      }
    } else {
      quicksort(q, s-1, deep+1);
      quicksort(s+1, r, deep+1);
    }
  }
}

```



Programmation OpenMP - exemples

## Parallélisation du quick-sort

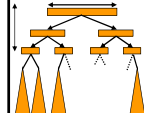
**Implantation d'une parallélisation simple du Quick-Sort**

Région parallèle & Clause conditionnelle & Sections (OpenMP-2)

```

void quicksort(int q, int r, int deep)
{
  if (q < r) {
    // split the table ...
    // classic quick-sort op
    #pragma omp parallel if(deep < DEEPPAR)
    {
      #pragma omp sections nowait
      {
        #pragma omp section
        { quicksort(q, s-1, deep+1); }
        #pragma omp section
        { quicksort(s+1, r, deep+1); }
      }
    }
  }
}

```



CentraleSupélec

## Programmation OpenMP (par partage de mémoire)

1. Principes d'OpenMP
2. Détails de syntaxe et de sémantique
3. Optimisations
4. Exemples de parallélisation
5. **Bilan d'OpenMP**
6. Mesures et représentation de performances

CentraleSupélec

Programmation OpenMP

## Bilan

Stratégies :

I - Algorithmes réguliers contenant un fort parallélisme naturel :

- conserver l'algorithme classique
- compléter l'implantation séquentielle
- $T_{dev}$  faible, Performances élevées

OK

II - Algorithmes irréguliers ou contenant peu de parallélisme naturel :

- conservation de l'algorithme  
ajouts au code séquentiel  
→  $T_{dev}$  faible, Perfs moyennes
- conception d'un nouvel algo  
nouvelle implantation  
→  $T_{dev}$  élevé, Perfs élevées

**OpenMP ne dispense pas de connaître l'algorithmique parallèle !**

CentraleSupélec

## Programmation OpenMP (par partage de mémoire)

1. Principes d'OpenMP
2. Détails de syntaxe et de sémantique
3. Optimisations
4. Exemples de parallélisation
5. Bilan d'OpenMP
6. **Mesures et représentation de performances**

CentraleSupélec

Programmation OpenMP - performances

## Méthodologie de mesures

Mesures externes :

```
>time myAppli
>/usr/bin/time myAppli
>times myAppli
>timex myAppli
.....
```

12.002u user  
0.128s system  
12.150 total

Nom et fonctionnement variables selon le système utilisé !!

Fréquemment : total > user + system !!

Simple à utiliser  
Pas de modifications des codes sources

Peu précis: ± 0.5s

CentraleSupélec

Programmation OpenMP - performances

## Méthodologie de mesures

Mesures internes :

```
time ()
clock ()
gettimeofday ()
omp_get_wtime ()
```

Compte les clicks d'horloge

Compte le temps écoulé en s

- Toutes ces routines ne sont pas toujours disponibles !
- "gettimeofday" est en général une bonne solution.
- Parfois il existe des outils plus précis pour mesurer de petites durées.

Plus précis que les mesures externes

Besoin de modifier le code source  
Pas toujours totalement portable

CentraleSupélec

Programmation OpenMP - performances

## Méthodologie de mesures

Précision des outils et des mesures :

123456789012.1234567890123456

Capacité maximale de l'outil de mesure

Précision théorique (cf. doc)

Précision expérimentale, vu la fluctuation des exécutions

- Ne pas tenir compte de trop de décimales!
- Faire attention à ne pas déborder la capacité de mesure!



CentraleSupélec Programmation OpenMP - performances

## Méthodologie de mesures

**Problème fréquent :**

Test en mode exclusif (mono-user).  
Outil de mesure à 1ms de précision.

Fluctuation de 500ms d'une exécution à l'autre !!

Et plus encore avec la montée en fréquence automatique des procs. (effet de "chauffe")

**Démarche conseillée :**

- Mesurer les fluctuations, ne pas les ignorer (le *warm up* des processeurs peut perturber les premières)
- Ne pas donner que les valeurs moyennes
- Mesurer des temps > 10s si possible

CentraleSupélec Programmation OpenMP - performances

## Méthodologie de mesures

**Stocker des meta-données sur les conditions de mesure :**

- Date de l'exécution**
- Auteur(s) du test**
- Outil(s) de mesure utilisé(s)
- Caractéristiques de la machine : RAM, Cache, Processeurs, ...
- OS utilisé (nom et version)
- Compilateur utilisé (nom et version)
- Options de compilation utilisées
- Test en multi-user/mono-user ?
- Présence d'IO dans le test ?
- Configuration du programme de test : taille des données, ...

On oublie souvent (et rapidement) à quel benchmark se réfère une série de mesures !

On manque souvent de détail sur les conditions de réalisation d'une série de mesures !

CentraleSupélec Programmation OpenMP - performances

## Choix de la représentation

**Quelle courbe présenter ?**

- Avoir une idée de l'allure de la courbe attendue et/ou de son expression
- Choisir une représentation qui permet de visualiser "des droites" ou des formes géométriques simples, détectables par l'oeil (droite, cercle, angle droit...)

**Exemple d'un temps d'exécution parallèle :**

Cas idéal :  $T(P) = T(1)/P \rightarrow$  une hyperbole

- l'hyperbole est mal identifiée par l'oeil
- on la confond facilement avec une courbe qui décroît en tendant vers une asymptote

Obtient-on des mesures proches du cas idéal ? ... difficile à dire!

CentraleSupélec Programmation OpenMP - performances

## Choix de la représentation

**Quelle courbe présenter ?**

- Avoir une idée de l'allure de la courbe attendue et/ou de son expression
- Choisir une représentation qui permet de visualiser "des droites" ou des formes géométriques simples, détectables par l'oeil (droite, cercle, angle droit...)

**Exemple d'un temps d'exécution parallèle :**

$\log(T(P)) = \log(T(1)) - \log(P)$

- en échelle log une hyperbole est très rapidement identifiée : droite de pente -1
- on détecte facilement un écart au cas idéal

Matrix-product

CentraleSupélec

## L'essentiel d'OpenMP

**Questions ?**