

CentraleSupélec  

Mineure HPC-SBD

## L'essentiel de MPI-1

**Stéphane Vialle**

 université Paris-Saclay 1912-2015  Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC)  

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentraleSupélec

## L'essentiel de MPI-1

- 1 – Principes de base
- 2 – Communications Pt-à-Pt bloquantes
- 3 – Exemple de programmation MPI (Jacobi)
- 4 – Communications de groupe
- 5 – Stratégie de déploiement
- 6 – Analyse de performances en MPI
- 7 – TP : produit de matrices denses sur un anneau de processeurs

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentraleSupélec

## L'essentiel de MPI-1

### 1 – Principes de base

---

---

---

---

---

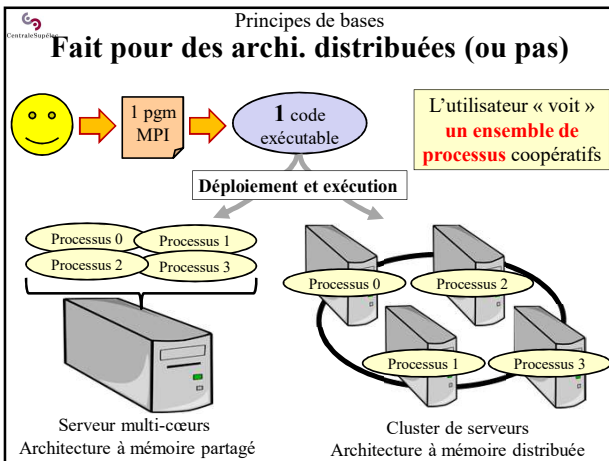
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

Principes de bases

## « Hello World »

Programme source :

```
#include <stdio.h>
#include "mpi.h"
main(int argc, char **argv) {
    int Me, NbPE;
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &NbPE);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &Me);
    printf("Hello World from process %d/%d\n", Me, NbPE);
    fflush(stdout);
    MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD);
    MPI_Finalize();
}
```

Le « groupe » de tous les process du pgm MPI

Pour afficher tous les msgs avant la fin du pgm

Exemple d'exécution avec 3 processus :

```
Hello World from process 0/3
Hello World from process 2/3
Hello World from process 1/3
```

Pas d'hypothèse sur l'ordre d'exécution ni d'affichage !

---

---

---

---

---

---

---

---

Principes de bases

## Principales instructions d'un code MPI

Instructions **incontournables** d'un programme MPI :

Inclusion du fichier d'entête MPI

```
#include "mpi.h"
```

Première instruction MPI du main(int argc, char \*\*argv)

```
MPI_Init(&argc, &argv);
```

Pour connaître le nombre de processus lancés

```
MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &NbPE);
```

Pour connaître le numéro du processus

```
MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &Me);
```

Dernière instruction MPI du main

```
MPI_Finalize();
```

Instructions de **communication** entre processus :

Comms. point-à-point	Comms. de groupe	Le parallélisme est très explicite en MPI !
Ex : ... MPI_Send(...); MPI_Recv(...);	Ex : ... MPI_Bcast(...); ...	

---

---

---

---

---

---

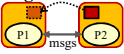
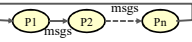
---

---

Principes de bases  
**Difficultés de développement en MPI**

**Objectifs :**  
 Concevoir un code MPI qui fonctionne (!) et qui soit efficace (!)

**Difficultés :**

- **Deux processus ne possèdent pas d'espace mémoire partagé**  
 Accéder à des données stockés/générées par un autre processus impose des **échanges de messages** avec lui 
- **Concevoir des schémas d'échange de données entre les processus**  
 Ex : **topologie virtuelle** en anneau de processus   
 topologie virtuelle en tore 2D de processus  
 .....
- **Fonctionner avec un nombre de processus le moins contraint possible**  
 Ex : topologie virtuelle en anneau (1D)  
 - fonctionner pour 1, 2, 3, 4, 5 ... processus : **TB**  
 - fonctionner pour 2, 4, 6, 8... processus : **inconfortable**  
 Fonctionner aussi avec un seul processus (très pratique!)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Principes de bases  
**Difficultés de développement en MPI**

**Objectifs :**  
 Concevoir un code qui fonctionne (!) et qui soit efficace (!)

**Difficultés :**

- **Eviter les inter-blocages**  
 Ex : tous les processus bloqués en attente de réception de données  
 → **Séquencer/Planifier** les opérations Send et Recv
- **Diminuer l'impact des temps de latence**  
 Envoyer 1 msg de 1000 données, plutôt que 1000 msg de 1 donnée.  
 → Sur chaque processus **regrouper** les communications à destination de la même cible
- **Diminuer l'impact des temps de communication**  
 Réaliser les communications dans des threads en parallèle des calculs  
*(la carte réseau n'utilise pas le CPU)*  
 → **Recouvrir** les communications par les calculs

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Principes de bases  
**Compilation d'une application MPI**

**Compilation MPI :**

- **MPI est perçu comme une simple bibliothèque**  

```
cc -I./include -L./libs
-O3 -o myAppli XXX.c YYY.c ...
-lmpi
```

 ou bien :  

```
mpicc -O3 -o myAppli XXX.c YYY.c ...
```

 → On obtient **un seul fichier exécutable** (comme en séquentiel)
- **MPI est compatible avec le multithreading**
  - Notamment compatible avec OpenMP (`mpicc -O3 -fopenmp ...`)
  - SI les appels à MPI sont toujours faits par un seul thread à la fois  
*(pas de parallélisation des appels)*  
 ALORS : aucun problème *(prêt à l'emploi)*  
 SINON : installer MPI en mode multithreads/thread safe.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Principes de bases

## Déploiement et exécution d'une appli. MPI

**Déploiement de l'application :**  
 déployer  $p$  processus sur  $m$  machines,  
 et exécuter l'ensemble des processus :  
 → tout se fait avec la commande « **mpirun** »

<code>mpirun -np &lt;#P&gt;</code>	Nb total de processus à créer
<code>-machinefile &lt;FileName&gt;</code>	Liste des machines disponibles
<code>-map-by ... -rank-by ... -bind-to ...</code>	Contrôle du déploiement (voir plus loin - important)
<code>&lt;Path/ExecName&gt; [args]</code>	Exécutable et ses arguments

Ex minimaliste : `mpirun -np 3 ./HelloWorld`  
 → lance 3 processus "HelloWorld"  
 sur la machine courante

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Principes de bases

## Démarche complète de parallélisation MPI

- Algorithmique parallèle** (optimisée)
- Programmation parallèle** (optimisée)  
 → code src avec : envoi de message + multithreading + vectorisation  
 ex : MPI + OpenMP + noyaux de calculs vectorisés
- Compilation**  
 → Production d'UN binaire (mpicc)
- Stratégie de déploiement**  
 → étude des caractéristiques des machines disponibles  
 → choix d'options de déploiement (-map-by / -rank-by / -bind-to)
- Déploiement et exécution**  
 → Copie du binaire sur chaque nœud ou montage d'un répertoire partagé  
 → Lancement du programme MPI suivant le déploiement prévu  
`mpirun -np <#P> -machinefile machines.txt .....`

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Principes de bases

## L'essentiel de MPI-1

### 2 – Communications point à point

- Communications disponibles
- Principes du Bsend/Recv
- Principes du Ssend/Recv
- Principes du Isend/Irecv
- Principes du Sendrecv
- Principes du Sendrecv\_replace

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Communications disponibles

Communications point-à-point disponibles :

Mode/Type	Not specified	Buffered	Synchronous	Ready
Bloquantes	<code>MPI_Send</code> <code>MPI_Recv</code>	<code>MPI_Bsend</code> <code>MPI_Recv</code>	<code>MPI_Ssend</code> <code>MPI_Recv</code>	<code>MPI_Rsend</code> <code>MPI_Recv</code>
Non - bloquantes	<code>MPI_Ibsend</code> <code>MPI_Irecv</code>	<code>MPI_Ibsend</code> <code>MPI_Irecv</code>	<code>MPI_Issend</code> <code>MPI_Irecv</code>	<code>MPI_Irsend</code> <code>MPI_Irecv</code>

+

<code>MPI_Sendrecv</code> <code>MPI_Sendrecv_replace</code>
--

Communications pt-à-pt combinées et bloquantes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Communications disponibles

Les types des données sont spécifiés dans les communications :

Ex : `MPI_Send(..., n, MPI_DOUBLE, ...)` ;

Type pré-existants :

<code>MPI_CHAR</code>	<code>MPI_SHORT</code>	<code>MPI_FLOAT</code>	<code>MPI_UNSIGNED_CHAR</code>
<code>MPI_BYTE</code>	<code>MPI_INT</code>	<code>MPI_DOUBLE</code>	<code>MPI_UNSIGNED_SHORT</code>
	<code>MPI_LONG</code>	<code>MPI_LONG_DOUBLE</code>	<code>MPI_UNSIGNED</code>
			<code>MPI_UNSIGNED_LONG</code>

Utilisé en TP

Définition possible de nouveaux types :

- des **tableaux** à une dimension :  
`MPI_Type_contiguous(count, old_type, new_type)`
- des **vecteurs extraits de tableaux** plus complexes :  
`MPI_Type_vector(count, blocklen, stride, old_t, new_t)`
- des **structures** de données :  
`MPI_Type_struct(count, blocklens, indices, old_t, new_t)`

Puis allocation du nouveau type avant usage :  
`MPI_Type_commit(datatype)`

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes du Bsend/Recv

Echanges de messages en mode *bloquant* et *bufferisé* : `Bsend/Recv`

**Bsend(...)** :

- rend la main dès que les données à expédier sont sauvegardées,
- on peut modifier sans délai les zones de données émises,
- la transmission réelle se fera plus tard (quand le dest. le demandera)

**Recv(...)** :

- demande la transmission et la réception des données
- rend la main seulement lorsque les données sont toutes arrivées
- les réceptions de données servent aussi à resynchroniser les processus

Ex. sur un anneau de processus :

Même code dans tous les processus :

```
.....
Bsend(Tab, Me+1) ;
Recv(Tab, Me-1) ;
.....
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes du Bsend/Recv

Echanges de messages en mode *bloquant* et *bufferisé* : Bsend/Recv

**Bsend(...)/Recv(...)** :

Quelle que soit la topologie des processus (anneau, tore, hypercube...)  
 → un même code de communication pour tous les processus

1. Exécuter tous les Bsend(...) de l'étape (dans n'importe quel ordre)
2. Exécuter tous les Recv(...) de l'étape (dans n'importe quel ordre)

Ex. sur un anneau de processus :

Même code dans tous les processus :

```
.....
Bsend(Tab, Me+1) ;
Recv(Tab, Me-1) ;
.....
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes du Bsend/Recv

Mode *bloquant* et *bufferisé* : MPI\_Bsend / MPI\_Recv

- Bsend : copie les données dans le buffer et rend la main
- Recv : se signale à l'émetteur, provoque le transfert des données, rend la main à la fin du transfert

```
MPI_Bsend(data_adr, count, datatype, destproc, tag, comm)
MPI_Recv(data_adr, count, datatype, srcproc, tag, comm, stts_adr)
```

Mode menant à des parallélisations simples à concevoir.  
 Parfois les plus efficaces, malgré les temps de recopie !

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes du Bsend/Recv

Mode *bloquant* et *bufferisé* : MPI\_Bsend / MPI\_Recv

Le développeur doit *allouer, attacher, détacher* et *libérer* son buffer :

```
// Buffer size comput
MPI_Pack_size(n, MPI_DOUBLE, MPI_COMM_WORLD, &sizeMsg);
sizeBuff = m*(sizeMsg + MPI_BSEND_OVERHEAD);
ptBuff = (double *) malloc(sizeBuff); // Buffer allocation
MPI_Buffer_attach(ptBuff, sizeBuff); // Buffer attachement
for (i=0; i<m; i++) { // Message sending
  tab = ...; // - tab update
  MPI_Bsend(tab, n, MPI_DOUBLE, suivant, ...); // - msg passing
  MPI_Recv(tab, n, MPI_DOUBLE, precedent, ...);
}
MPI_Buffer_detach(&ptBuff, &sizeBuff); // Buffer detachment
free(ptBuff); // Buffer dealloc.
```

Bloque jusqu'à ce que tous les msgs stockés dans le buffer soient délivrés

Un overhead par msg stocké dans le buffer

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes du Bsend/Recv

Mode *bloquant et bufferisé* : MPI\_Bsend / MPI\_Recv

Le développeur doit *allouer, attacher, détacher* et *libérer* son buffer :

```

// Buffer size comput
MPI_Pack_size(n, MPI_DOUBLE, MPI_COMM_WORLD, &sizeMsg);
sizeBuff = 1 * (sizeMsg + MPI_BSEND_OVERHEAD);
ptBuff = (double *) malloc(sizeBuff); // Buffer allocation
for (i=0; i<m; i++) { // Message sending
  MPI_Buffer_attach(ptBuff, sizeBuff); // - attachement
  tab = ...; // - tab update
  MPI_Bsend(tab, n, MPI_DOUBLE, suivant, ...); // - msg passing
  MPI_Recv(tab, n, MPI_DOUBLE, precedent, ...);
  MPI_Buffer_detach(&ptBuff, &sizeBuff); // - detachment
}
free(ptBuff); // Buffer dealloc.

```

Bloque jusqu'à ce que tous les msgs stockés dans le buffer soient délivrés

Un overhead par msg stocké dans le buffer

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes du Ssend/Recv

Mode *bloquant et synchrone* : Ssend/Recv

**Ssend(...)** :

- rend la main seulement lorsque les données sont toutes parties
- on ne doit PAS modifier les zones de données en cours d'émission

**Recv(...)** :

- demande la transmission et la réception des données
- rend la main seulement lorsque les données sont toutes arrivées

→ A chaque étape un Recv(...) doit correspondre à un Ssend(...)

Car les communications forment des *Rendez-Vous* entre processus → ↔

Certains buffers sont encore nécessaires pour éviter d'écraser des données

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes du Ssend/Recv

Mode *bloquant et synchrone* : Ssend/Recv

**Ssend(...)** / **Recv(...)** :

Quelle que soit la topologie des processus (anneau, tore, hypercube...)

→ il faut planifier précisément toute la séquence des Ssend et des Recv sur chaque processus (le *plan de communication*)

Ex. sur un anneau de processus :

```

if (processId % 2 == 0)
  1 : Ssend(Tab, Me+1);
  2 : Recv(Tab, Me-1);
else
  1 : Recv(buffer, Me-1);
  2 : Ssend(Tab, Me+1);
  3 : permut(buffer, Tab);

```

Le plan de communication sera plus long qu'avec Bsend(...)/Recv(...) !!

Ex : exécution de la moitié des comms (1), puis de l'autre moitié (2)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes du Ssend/Recv

**Mode bloquant et synchrone : MPI\_Ssend / MPI\_Recv**

- *Ssend* : se signale au récepteur, attend son ack., puis ne rend la main qu'à la fin de l'émission des données
- *Recv* : répond à l'émetteur et provoque le transfert, puis rend la main à la fin de la réception des données

MPI\_Ssend(data\_adr, count, datatype, destproc, tag, comm)  
 MPI\_Recv(data\_adr, count, datatype, srcproc, tag, comm, stts\_adr)

Mode rappelant les rendez-vous de CSP/Occam  
 Pbs de dead-lock si tous les processus émettent puis reçoivent

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes du Send/Recv

**Originalité du mode bloquant et standard MPI\_Send/MPI\_Recv**

Non spécifié en détail et optimisable par chaque constructeur pour :

- obtenir de bonnes perf. sur ses machines
- être simple d'emploi sur ses machines

**Mais fonctionnement non portable !**

Ex, par le passé :

- MPICH : *send* bufferisé (similaire Bsend)
- IBM SP : < seuil : *send* bufferisé (similaire Bsend)  
 > seuil : *send* synchrone (similaire Ssend)

**2 approches opposées :**

- Un pgm MPI ne doit pas utiliser de comms. *bloquantes-standard* : objectif de portabilité !
- Un pgm MPI doit utiliser des comms. *bloquantes-standards* optimisées par le constructeur : objectif de performances !

Cluster de PC  
 Super-calculateurs

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes du Rsend/Recv

**Mode bloquant et ready : MPI\_Rsend - MPI\_Recv**

- *Rsend* : recherche un récepteur signalé, si oui : débute le transfert et rend la main à la fin de l'émission, *sinon ? (erreur ? recopie ?)*
- *Recv* : se signale à l'émetteur (*ready*), et ne rend la main qu'à la fin de la réception des données

MPI\_Rsend(data\_adr, count, datatype, destproc, tag, comm)  
 MPI\_Recv(data\_adr, count, datatype, srcproc, tag, comm, stts\_adr)

Mode sensé être très rapide  
 Mais demande des « garantis » de synchro « impossibles » !

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



Communications point-à-point

## Communications disponibles

Communications point-à-point **fiables** et **portables** :

Mode/Type	Not specified	Buffered	Synchronous	Ready
Bloquantes	<code>MPI_Send</code>	<code>MPI_Bsend</code>	<code>MPI_Ssend</code>	<code>MPI_Rsend</code>
	<code>MPI_Recv</code>	<code>MPI_Recv</code>	<code>MPI_Recv</code>	<code>MPI_Recv</code>
Non - bloquantes	<code>MPI_Ibsend</code>	<code>MPI_Ibsend</code>	<code>MPI_Issend</code>	<code>MPI_Irsend</code>
	<code>MPI_Irecv</code>	<code>MPI_Irecv</code>	<code>MPI_Irecv</code>	<code>MPI_Irecv</code>

+

<code>MPI_Sendrecv</code>
<code>MPI_Sendrecv_replace</code>

Communications pt-à-pt combinées et bloquantes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes

Echanges de messages en mode **non-bloquant (asynchrone)**

- **Isend(...)** "lance un thread d'envoi de message" et rend la main
- **Irecv(...)** "lance un thread de réception de message" et rend la main
- Un **recouvrement** des comms avec la **suite des calculs** est alors possible
  - mais on ne doit plus utiliser les zones de stockage des données avant la fin des communications en cours
- **Wait(...)** resynchronise ensuite les calculs avec la fin des comms.
  - On peut alors réutiliser/exploiter les zones de stockage

```
// Ex de code d'UN process avec comm asynchrone
..... // calcul
1 : Isend(myTab, dest, &Srq); // lance thread de comm
2 : Irecv(otherTab, src, &Rrq); // lance thread de comm
3 : suite_calcul(...) // recouvrement calcul-comms
4 : Wait(&Srq); Wait(&Rrq); // resynchro calcul-comm
..... // fin des calculs
```

La programmation avec recouvrement se révèle toujours plus complexe...

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Principes

Echanges de messages en mode **non-bloquant (asynchrone)**

- Parfois **Isend(...)** / **Irecv(...)** créent des threads qui restent inactifs
  - le recouvrement calcul-comm ne se produit pas !

Autre solution :

- Créer des threads traditionnels (Posix, OpenMP...)
- Leur faire exécuter des comms bloquantes → comms non bloquantes
- Resynchroniser les calculs et les comms avec une barrière sur la mort des threads de comm.

```
// Ex de code d'UN process avec comm asynchrone
..... // calcul
1 : tids = thread(Send(myTab, dest)); // Thread de comm
2 : tidR = thread(Recv(otherTab, src)); // Thread de comm
3 : suite_calcul(...) // recouvrement calcul-comms
4 : threadJoin(tids, tidR); // resynchro calcul-comm
..... // fin des calculs
```

La programmation avec recouvrement se révèle toujours plus complexe...

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Communications disponibles

Communications point-à-point **fiables et portables** :

Mode/Type	Not specified	Buffered	Synchronous	Ready
Bloquantes	MPI_Send	MPI_Bsend	MPI_Ssend	MPI_Rsend
	MPI_Recv	MPI_Recv	MPI_Recv	MPI_Recv
Non - bloquantes	MPI_Ibsend	MPI_Ibsend	MPI_Issend	MPI_Irsend
	MPI_Irecv	MPI_Irecv	MPI_Irecv	MPI_Irecv

+

Communications bloquantes dans des threads explicites, pour réaliser des comms. non-bloquantes

+

MPI\_Sendrecv  
MPI\_Sendrecv\_replace

Communications pt-à-pt combinées et bloquantes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Sendrecv

Communications **bloquantes combinées** : MPI\_Sendrecv

- Adapté à des *échanges de frontières* dans une topologie
- Communications bloquantes
- Pas de Dead-Lock possible (gérés par le système)
- Compatible avec Send et Recv aux extrémités

MPI\_Sendrecv (send\_adr, sendcount, sendtype, destproc, sendtag, recv\_adr, recvcount, recvtype, srcproc, recvtag, comm, status\_adr)

Ex : échange de frontières avec MPI\_Sendrecv

→ Très pratique et très efficace ! Mais besoin de planifier le plan de comm. sur des topologies complexes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications point-à-point

## Sendrecv\_replace

Communications **bloquantes combinées** : MPI\_Sendrecv\_replace

- Adapté à des *circulation de données* dans une topologie
- Communications bloquantes
- Pas de Dead-Lock possible (gérés par le système)
- Pas d'écrasement de données (géré par le système)

MPI\_Sendrecv\_replace (data\_adr, count, datatype, destproc, sendtag, srcproc, recvtag, comm, status\_adr)

Ex : circulation avec MPI\_Sendrecv\_replace et 1 (seul) buffer par proc

→ Très pratique et très efficace ! Mais besoin de planifier le plan de comm. sur des topologies complexes

Pb avec opérateur modulo

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

Communications point-à-point

## Communications disponibles

Communications point-à-point fiables et portables :

Mode/Type	Not specified	Buffered	Synchronous	Ready
Bloquantes	MPI_Send	MPI_Bsend	MPI_Ssend	MPI_Rsend
	MPI_Recv	MPI_Recv	MPI_Recv	MPI_Recv
Non - bloquantes	MPI_Ibsend	MPI_Ibsend	MPI_Issend	MPI_Irsend
	MPI_Irecv	MPI_Irecv	MPI_Irecv	MPI_Irecv

+

Communications bloquantes dans des threads explicites, pour réaliser des comms. non-bloquantes

+

MPI\_Sendrecv  
MPI\_Sendrecv\_replace

Communications pt-à-pt combinées et bloquantes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

### L'essentiel de MPI-1

## 3 – Exemple de programmation MPI

- Communications Send/Recv
- Communications Bsend/Recv
- Communications Ssend/Recv
- Communications Sendrecv

---

---

---

---

---

---

---

---

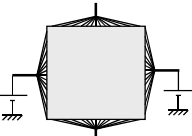
---

---

CentralesSupélec

### Exemple de programmation MPI

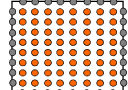
## Relaxation de Jacobi parallèle



Calcul des lignes de potentiel dans une plaque diélectrique :

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

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



- Condition aux limites : V fixé
- $V^{n+1}_{ij} = \frac{V^n_{i-1,j} + V^n_{i+1,j} + V^n_{i,j-1} + V^n_{i,j+1}}{4}$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

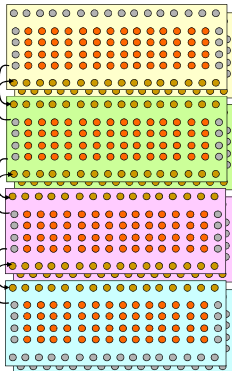
---

Exemple de programmation MPI

## Relaxation de Jacobi parallèle

Parallélisation par envoi de messages:

- **Partitionnement spatial des données**
- Ex : avec 4 processus de calcul



- 2 extraits des tables  $V^n$  et  $V^{n+1}$  dans chaque mémoire locale + les frontières
- **Parallélisation de la boucle principale**
- 1 barrière (implicite sur comm bloquantes)

---

---

---

---

---

---

---

---

Exemple de programmation MPI

## Implantation des initialisations

```

// Static parallelization: size and partitioning fixed
#define side      112      // Side of the Jacobi grid
#define small     28      // Need side = NbPE*small

int Me;           // Processor number
int NbPE;        // Number of processors

double V[2][small+2][side+2]; // Jacobi grids
int NI, OI;      // Indexes of new & old grids

main(int argc, char **argv) {

    ..... // Jacobi grid initialization and relaxation loop

}

```

---

---

---

---

---

---

---

---

Exemple de programmation MPI

## Implantation des initialisations

```

// Static parallelization: size and partitioning fixed
#define side      112      // Side of the Jacobi grid
#define small     28      // Need side = NbPE*small

int Me;           // Processor number
int NbPE;        // Number of processors

double V[2][small+2][side+2]; // Jacobi grids
int NI, OI;      // Indexes of new & old grids

main(int argc, char **argv) {
    MPI_Init(&argc, &argv); // MPI initializations
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &Me);
    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &NbPE);
    printf("Hello from PE%d/%d\n", Me, NbPE);

    ..... // Jacobi grid initialization and relaxation loop
    MPI_Finalize(); // End of MPI calls
}

```

---

---

---

---

---

---

---

---

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Send-Recv**

```

OI = 0; NI = 1;
for (c = 0; c < NbCycle; c++) {
  // - Computation loop
  for (i = 1; i <= small; i++) {
    for (j = 1; j <= side; j++) {
      V[NI][i][j] =
        (V[OI][i-1][j]+
         V[OI][i+1][j]+
         V[OI][i][j-1]+
         V[OI][i][j+1])/4.0;
    }
  }
  // - Frontier exchange
  if (NbPE > 1) {
    .....
  }
  // - Index switching
  OI = 1-OI; NI = 1-NI;
}

```

---

---

---

---

---

---

---

---

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Send-Recv**

```

OI = 0; NI = 1;
for (c = 0; c < NbCycle; c++) {
  // - Computation loop
  .....
  // - Frontier exchange
  if (NbPE > 1) {
    .....
  }
  // - Index switching
  OI = 1-OI; NI = 1-NI;
}

```

---

---

---

---

---

---

---

---

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Send-Recv**

```

OI = 0; NI = 1;
for (c = 0; c < NbCycle; c++) {
  // - Computation loop
  .....
  // - Frontier exchange
  if (NbPE > 1) {
    if (Me == 0) {
      MPI_Send(&V[NI][small][1], side, MPI_DOUBLE,
               Me+1, cycle, MPI_COMM_WORLD);
      MPI_Recv(&V[NI][small+1][1], side, MPI_DOUBLE,
               Me+1, cycle, MPI_COMM_WORLD, &status);
    } else if (Me == NbPE - 1) {
      .....
    } else {
      .....
    }
  }
  // - Index switching
  OI = 1-OI; NI = 1-NI;
}

```

---

---

---

---

---

---

---

---

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Send-Recv**

```

OI = 0; NI = 1;
for (c = 0; c < NbCycle; c++) {
  // - Computation loop
  .....
  // - Frontier exchange
  if (NbPE > 1) {
    if (Me == 0) {
      MPI_Send(&v[NI][small][1], ..., Me+1, ...);
      MPI_Recv(&v[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
    } else if (Me == NbPE - 1) {
      MPI_Send(&v[NI][1][1], ..., Me-1, ...);
      MPI_Recv(&v[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
    } else {
      .....
    }
  }
  // - Index switching
  OI = 1-OI; NI = 1-NI;
}

```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Send-Recv**

```

OI = 0; NI = 1;
for (c = 0; c < NbCycle; c++) {
  // - Computation loop
  .....
  // - Frontier exchange
  if (NbPE > 1) {
    if (Me == 0) {
      MPI_Send(&v[NI][small][1], ..., Me+1, ...);
      MPI_Recv(&v[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
    } else if (Me == NbPE - 1) {
      MPI_Send(&v[NI][1][1], ..., Me-1, ...);
      MPI_Recv(&v[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
    } else {
      MPI_Send(&v[NI][small][1], ..., Me+1, ...);
      MPI_Send(&v[NI][1][1], ..., Me-1, ...);
      MPI_Recv(&v[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
      MPI_Recv(&v[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
    }
  }
  // - Index switching
  OI = 1-OI; NI = 1-NI;
}

```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Send-Recv**

```

OI = 0; NI = 1;
for (c = 0; c < NbCycle; c++) {
  // - Computation loop
  .....
  // - Frontier exchange
  if (NbPE > 1) {
    if (Me == 0) {
      MPI_Send(...);
      MPI_Recv(...);
    } else if (Me == NbPE - 1) {
      MPI_Send(...);
      MPI_Recv(...);
    } else {
      MPI_Send(...);
      MPI_Send(...);
      MPI_Recv(...);
      MPI_Recv(...);
    }
  }
  // - Index switching
  OI = 1-OI; NI = 1-NI;
}

```

**MPI\_Send / MPI\_Recv : simple mais peu portable !**

- Optimisé sur chaque supercalculateur
- Mais peut fonctionner différemment !

Rappel : 2 stratégies

- Pour des codes génériques sur « clusters de PC » : ne pas utiliser
- Sur super-calculateur propriétaire : utiliser + portage du code à chaque changement de machine

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

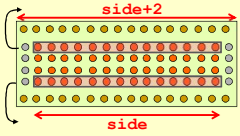
Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Bsend-Recv**

```

// Buffer size and pointer declaration
int sizeMsg, sizeBuff;
void *PtBuff;

// Buffer size computation and allocation
MPI_Pack_size(side, MPI_DOUBLE, MPI_COMM_WORLD, &sizeMsg);
sizeBuff = 2*(sizeMsg + MPI_BSEND_OVERHEAD);
PtBuff = (void *) malloc(sizeBuff);
if (PtBuff == NULL) .....
// Relaxation loop (with comms)
OI = 0; NI = 1;
for (c = 0; c < NbCycle; c++) {
    // - Computation loop
    .....
    // - Frontier exchange
    .....
    // - Index switching
    OI = 1-OI; NI = 1-NI;
}
// Buffer free
free (PtBuff);

```




---

---

---

---

---

---

---

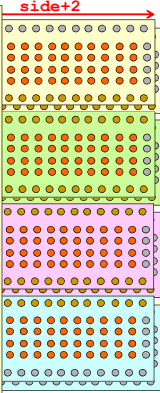
---

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Bsend-Recv**

```

// Buffer size computation and allocation
.....
// Relaxation loop (with comms)
OI = 0; NI = 1;
for (c = 0; c < NbCycle; c++) {
    // - Computation loop
    .....
    // - Frontier exchange
    if (NbPE > 1) {
        MPI_Buffer_attach (PtBuff, sizeBuff);
        if (Me == 0) {
            MPI_Bsend (...); MPI_Recv (...);
        } else if (Me == NbPE - 1) {
            MPI_Bsend (...); MPI_Recv (...);
        } else {
            MPI_Bsend (...); MPI_Bsend (...);
            MPI_Recv (...); MPI_Recv (...);
        }
        MPI_Buffer_detach (&PtBuff, &sizeBuff);
    }
    // - Index switching
    OI = 1-OI; NI = 1-NI;
}
// Buffer free
.....

```




---

---

---

---

---

---

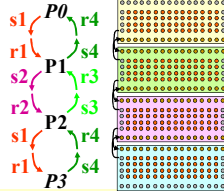
---

---

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Ssend-Recv**

**Avantage :**  
 On évite une recopie mémoire

**Inconvénient :**  
 Il faut planifier/séquencez les comms, sinon il y aura interblocage!



```

main (in argc, char ** argv) {
    ..... // MPI initialisations
    ..... // Non-MPI initialisations
    // RELAXATION LOOP
    for (cycle = 0; cycle < NbCycle; cycle++) {
        ..... // - Computation loop
        ..... // - Frontier exchange
        ..... // - Index switching
    }
    // Print results and end of MPI calls
    .....
}

```

---

---

---

---

---

---

---

---

CentraSudpice

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Ssend-Recv**

```
// - Frontier exchange
if (NbPE > 1) {
  if (Me == 0) {
    MPI_Ssend(&V[NI][small][1], ..., Me+1, ...);
    MPI_Recv(&V[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
  } else if (Me == NbPE - 1) {
    MPI_Recv(&V[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
    MPI_Ssend(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...);
  } else if (Me%2 == 0) {
    MPI_Ssend(&V[NI][small][1], ..., Me+1, ...);
    MPI_Recv(&V[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
    MPI_Ssend(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...);
    MPI_Recv(&V[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
  } else /* if (Me%2 == 1) */ {
    MPI_Recv(&V[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
    MPI_Ssend(&V[NI][small][1], ..., Me+1, ...);
    MPI_Recv(&V[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
    MPI_Ssend(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...);
  }
}
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentraSudpice

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Ssend-Recv**

Autre séquençage possible :

```
main(in argc, char ** argv) {
  ..... // MPI initialisations
  ..... // Non-MPI initialisations
  // RELAXATION LOOP
  for (cycle = 0; cycle < NbCycle; cycle++) {
    ..... // Computation loop
    ..... // - Frontier exchange
    ..... // - Index switching
  }
  // Print results and end of MPI calls
  .....
}
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentraSudpice

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Ssend-Recv**

```
// - Frontier exchange
if (NbPE > 1) {
  if (Me == 0) {
    MPI_Ssend(&V[NI][small][1], ..., Me+1, ...);
    MPI_Recv(&V[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
  } else if (Me == NbPE - 1) {
    if (Me%2 == 0) {
      MPI_Ssend(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...);
      MPI_Recv(&V[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
    } else {
      MPI_Recv(&V[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
      MPI_Ssend(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...);
    }
  } else if (Me % 2 == 0) {
    MPI_Ssend(&V[NI][small][1], ..., Me+1, ...);
    MPI_Ssend(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...);
    MPI_Recv(&V[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
    MPI_Recv(&V[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
  } else {
    MPI_Recv(&V[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
    MPI_Recv(&V[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
    MPI_Ssend(&V[NI][small][1], ..., Me+1, ...);
    MPI_Ssend(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...);
  }
}
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Rsend-Recv**

**Avantage :**  
 Pas de recopie mémoire  
 Emission rapide (suppression d'overhead)

**Inconvénient :**  
*Théoriquement* : nécessite que le recv soit fait avant !  
*sinon* : comportement non spécifié  
 Ne pas modifier la zone transmise avant fin de transmission

```

main(in argc, char ** argv) {
  ..... // MPI initialisations
  ..... // Non-MPI initialisations
  // RELAXATION LOOP
  for (cycle = 0; cycle < NbCycle; cycle++) {
    ..... // - Computation loop
    ..... // - Frontier exchange
    ..... // - Index switching
  }
  // Print results and end of MPI calls
  .....
}
  
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Rsend-Recv**

```

// - Frontier exchange
if (NbPE > 1) {
  if (Me == 0) {
    MPI_Rsend(&V[Ni][small][1], ..., Me+1, ...);
    MPI_Recv(&V[Ni][small+1][1], ..., Me+1, ...);
  } else if (Me == NbPE - 1) {
    MPI_Rsend(&V[Ni][1][1], ..., Me-1, ...);
    MPI_Recv(&V[Ni][0][1], ..., Me-1, ...);
  } else {
    MPI_Rsend(&V[Ni][1][1], ..., Me-1, ...);
    MPI_Rsend(&V[Ni][small][1], ..., Me+1, ...);
    MPI_Recv(&V[Ni][0][1], ..., Me-1, ...);
    MPI_Recv(&V[Ni][small+1][1], ..., Me+1, ...);
  }
}
  
```

**Implantation « douteuse » :**  
 fonctionne souvent correctement ...  
 ... mais sans garanti sur un simple cluster de PC !

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Sendrecv**

**Avantage :**  
 Pas de gestion de buffer mémoire  
 Deux opérations en une !

**Inconvénient :**  
 Planifier/séquencez les Sendrecv

	$P_0$	
	$s_1 \langle \rangle r_1$	
	$r_1 \langle \rangle s_1$	
	$P_1$	
	$s_2 \langle \rangle r_2$	
	$r_2 \langle \rangle s_2$	
	$P_2$	
	$s_1 \langle \rangle r_1$	
	$r_1 \langle \rangle s_1$	
	$P_3$	

```

main(in argc, char ** argv) {
  ..... // MPI initialisations
  ..... // Non-MPI initialisations
  // RELAXATION LOOP
  for (cycle = 0; cycle < NbCycle; cycle++) {
    ..... // - Computation loop
    ..... // - Frontier exchange
    ..... // - Index switching
  }
  // Print results and end of MPI calls
  .....
}
  
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Sendrecv**

```

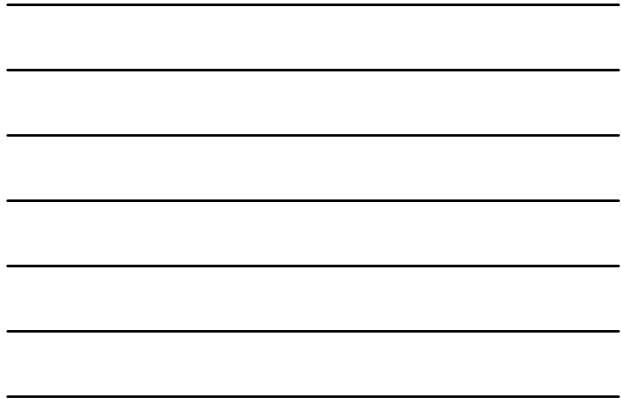
// - Frontier exchange
if (NbPE > 1) {
  if (Me == 0) {
    MPI_Sendrecv(&V[NI][small][1], ..., Me+1, ...,
                 &V[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...,
    } else if (Me == NbPE - 1) {
    MPI_Sendrecv(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...,
                 &V[NI][0][1], ..., Me-1, ...,
    } else if (Me % 2 == 0) {
    MPI_Sendrecv(&V[NI][small][1], ..., Me+1, ...,
                 &V[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...,
    MPI_Sendrecv(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...,
                 &V[NI][0][1], ..., Me-1, ...,
    } else /* if (Me % 2 == 1) */ {
    MPI_Sendrecv(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...,
                 &V[NI][0][1], ..., Me-1, ...,
    MPI_Sendrecv(&V[NI][small][1], ..., Me+1, ...,
                 &V[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
    }
}

```

r1() s1    r2() s2  
s1() r1    s2() r2

P0  
s1() r1  
P1  
s2() r2  
P2  
s1() r1  
P3  
s2() r2  
P4

0 .....  
1 .....  
small .....  
small+1 .....



Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Sendrecv**

Autre séquençement possible :

r1() s2  
s1() r2

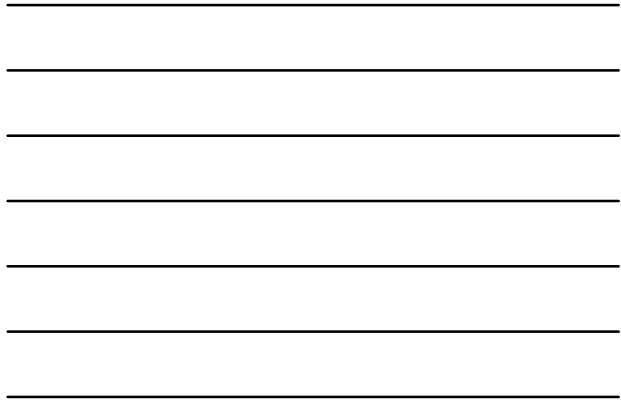
P0  
s1() r2  
P1  
s1() r2  
P2  
s1() r2  
P3

0 .....  
1 .....  
small .....  
small+1 .....

```

main(in argc, char ** argv) {
  ..... // MPI initialisations
  ..... // Non-MPI initialisations
  // RELAXATION LOOP
  for (cycle = 0; cycle < NbCycle; cycle++) {
    ..... // - Computation loop
    ..... // - Frontier exchange
    ..... // - Index switching
  }
  // Print results and end of MPI calls
  .....
}

```



Exemple de programmation MPI  
**Implantation en Sendrecv**

```

// - Frontier exchange
if (NbPE > 1) {
  if (Me == 0) {
    MPI_Sendrecv(&V[NI][small][1], ..., Me+1, ...,
                 &V[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
  } else if (Me == NbPE - 1) {
    MPI_Sendrecv(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...,
                 &V[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
  } else {
    MPI_Sendrecv(&V[NI][small][1], ..., Me+1, ...,
                 &V[NI][0][1], ..., Me-1, ...);
    MPI_Sendrecv(&V[NI][1][1], ..., Me-1, ...,
                 &V[NI][small+1][1], ..., Me+1, ...);
  }
}

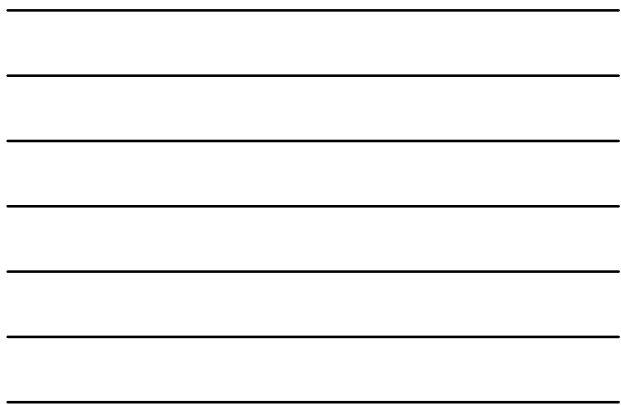
```

r1() s2  
s1() r2

P0  
s1() r2  
P1  
s1() r2  
P2  
s1() r2  
P3  
s1() r2  
P4

0 .....  
1 .....  
small .....  
small+1 .....

- Le séquençement des MPI\_Sendrecv est plus simple (moins de cas à différencier)
- Le MPI\_Sendrecv de chaque extrémité se conjugue avec deux autres MPI\_Sendrecv



L'essentiel de MPI-1

## 4 – Communications de groupe

- Principes des communications de groupe
- Broadcast
- Scatter
- Gather
- Reduce

---

---

---

---

---

---

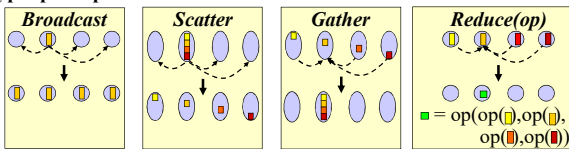
---

---

Communications de groupe

### Principes des comm. de groupe

5 types principaux :



+ les barrières !

**Principes :**

- Utilisent les *communicator* et les groupes de processus
- Opérations bloquantes
- Des variantes existent : *all-reduce*, *all-to-all*, *scatterv*, ...

**Intérêt dans un supercalculateur :**

Le routage est optimisé selon le réseau sous-jacent  
(arborescent – linéaire – sur bus – ...)

---

---

---

---

---

---

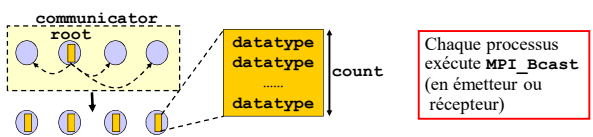
---

---

Communications de groupe

### Broadcast

```
int MPI_Bcast(buffer, count, datatype, root, comm )
void *buffer; // Starting address of buffer
int count; // Number of elts in buffer (integer)
MPI_Datatype datatype; // Data type of buffer
int root; // Rank of broadcast root (integer)
MPI_Comm comm; // Communicator
```



**Généralisation :**

MPI\_Alltoall et MPI\_Alltoallv

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications de groupe

## Scatter

```

int MPI_Scatter(sendbuf, sendcnt, sendtype,
               recvbuf, recvcnt, recvtype, root, comm)
void *sendbuf; // Address of send buffer
int sendcnt; // Nb of elements sent to each process
MPI_Datatype sendtype; // Data type of elt to send
void *recvbuf; // Address of receive buffer
int recvcnt; // Number of elements in receive buffer
MPI_Datatype recvtype; // Data type of elt to receive
int root; // Rank of the sending process
MPI_Comm comm; // Communicator
  
```

- Chaque processus exécute **MPI\_Scatter** (en émetteur ou récepteur)
- Le buffer d'émission n'a de sens que sur le processus **root**

**Généralisation :**  
**MPI\_Scatterv** (avec partitionnement explicite des données)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications de groupe

## Gather

```

int MPI_Gather(sendbuf, sendcnt, sendtype,
               recvbuf, recvcnt, recvtype, root, comm)
void *sendbuf; // Starting address of send buffer
int sendcnt; // Number of elements in send buffer
MPI_Datatype sendtype; // Data type of elts to send
void *recvbuf; // Address of receive buffer
int recvcnt; // Nb of elts to receive from each proc
MPI_Datatype recvtype; // Data type of elt to recv
int root; // Rank of the receiving process
MPI_Comm comm; // Communicator
  
```

- Chaque processus exécute **MPI\_Gather** (en émetteur ou récepteur)
- Le buffer de réception n'a de sens que sur le processus **root**

**Généralisation :**  
**MPI\_Gatherv, MPI\_Allgather, MPI\_Allgatherv**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Communications de groupe

## Reduce

```

int MPI_Reduce(sendbuf, recvbuf, count, datatype, op,
               root, comm)
void *sendbuf; // Address of send buffer
void *recvbuf; // Address of receive buffer
int count; // Number of elts in send buffer
MPI_Datatype datatype; // Data type of elts to send
MPI_Op op; // Reduce operation
int root; // Rank of the process hosting result
MPI_Comm comm; // Communicator
  
```

- Opérations de réduction disponibles :  
**MPI\_MAX, MPI\_MIN, MPI\_SUM, MPI\_PROD, MPI\_LAND, MPI\_BAND, MPI\_LOR, MPI\_BOR, MPI\_LXOR, MPI\_BXOR, MPI\_MINLOC**
- Définition de nouvelles opérations avec **MPI\_Op\_create()**

**Généralisation :**  
**MPI\_Allreduce, MPI\_Reduce\_scatter** : les res sont redistribués

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

L'essentiel de MPI-1

## 5 – Stratégie de déploiement

- Placement de processus sur cluster de multi-cœurs
- Processus et threads sur clusters de multicoeurs
- Meilleur déploiement ?

---

---

---

---

---

---

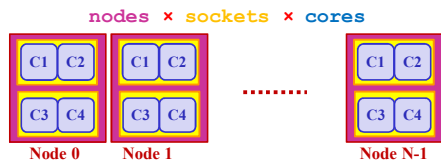
---

---

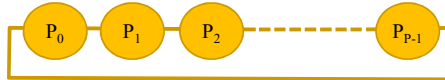
Stratégie de déploiement

### Processus sur clusters de multicoeurs (1)

Ressources matérielles:



Topologie virtuelle de l'algorithme (ex : anneau)



- Quel *mapping* de la topologie virtuelle sur les rsrsc matérielles ?
- Quel *ranking* des processus MPI sur la topologie matérielle ?
- Quel *binding* d'un process sur les rsrsc matérielles locales ?

---

---

---

---

---

---

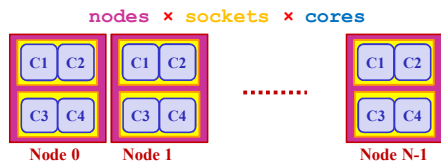
---

---

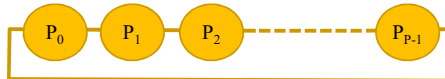
Stratégie de déploiement

### Processus sur clusters de multicoeurs (1)

Ressources matérielles:



Topologie virtuelle de l'algorithme (ex : anneau)



```

mpirun -np #P -machinefile machines.txt
  -map-by <node|socket|core...>
  -rank-by <node|socket|core...>
  -bind-to <none|socket|core...>
  --report-bindings .....
    
```

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

## Processus sur clusters de multicoeurs (1)

Ressources matérielles:  $\text{nodes} \times \text{sockets} \times \text{cores}$

Topologie virtuelle de l'algorithme (ex : anneau)

```

mpirun -np #P -machinefile machines.txt
--map-by ppr:N:<node|socket|core...>
--rank-by <node|socket|core...>
--bind-to <none|socket|core...>
--report-bindings .....

```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

## Processus sur clusters de multicoeurs (2)

**Sol 1 : un processus MPI par nœud**

- Chaque machine présente une fois dans le fichier des machines ciblées
- Nbr de machines listées  $\geq P$  (P : nbr de processus a créer)
- Utile si un processus nécessite toutes le cache ou toute la RAM d'un nœud / d'un socket

→ Reste un mode « luxueux »

machines.txt

```

Node 0
Node 1
....
Node P-1
....
Node max

```

Attention : le binding d'un process peut être limité à un socket...

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

## Processus sur clusters de multicoeurs (2)

**Sol 1 : un processus MPI par nœud**

- Chaque machine présente une fois dans le fichier des machines ciblées
- Nbr de machines listées  $\geq P$  (P : nbr de processus a créer)

```

mpirun -np #P -machinefile machines.txt
--map-by ppr:1:node
--rank-by node
--bind-to none|socket .....

```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

### Processus sur clusters de multicoeurs (3)

**Sol 2 : un processus MPI par cœur en « round robin »**

- Nbr de machines nécessaires =  $P / C$   
( $P$  : nbr de processus à créer,  $C$  : nb de cœurs/nœud)
- Simple, mais toutes les communications se font à travers le réseau.

machines.txt

```
Node 0
Node 1
....
Node P/C-1
....
Node max
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

### Processus sur clusters de multicoeurs (3)

**Sol 2 : un processus MPI par cœur en « round robin »**

- Nbr de machines nécessaires =  $P / C$   
( $P$  : nbr de processus à créer,  $C$  : nb de cœurs/nœud)

```
mpirun -np #P -machinefile machines.txt
-map-by ppr:#C:node
-rank-by node
-bind-to core .....
```

machines.txt

```
Node 0
Node 1
....
Node P/C-1
....
Node max
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

### Processus sur clusters de multicoeurs (4)

**Sol 3 : un processus MPI par cœur en « mode compact »**

- Nbr de machines nécessaires =  $P / C$   
( $P$  : nbr de processus à créer,  $C$  : nb de cœurs/nœud)
- Un maximum de communications se font au sein d'un même nœud : plus efficace!  
*Ce déploiement dépend de la topologie virtuelle et de l'architecture réelle.*

machines.txt

```
Node 0
Node 1
....
Node P/C-1
....
Node max
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

### Processus sur clusters de multicœurs (4)

**Sol 3 : un processus MPI par cœur en « mode compact »**

- Nbr de machines nécessaires =  $P / C$   
( $P$  : nbr de processus à créer,  $C$  : nb de cœurs/nœud)

```

mpirun -np #P -machinefile machines.txt
        -map-by ppr:#C:node
        -rank-by core
        -bind-to core .....
    
```

machines.txt

```

Node 0
Node 1
....
Node P/C-1
....
Node max
    
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

### Processus sur clusters de multicœurs (4)

**Sol 3 : un processus MPI par cœur en « mode compact »**

- Nbr de machines nécessaires =  $P / C$   
( $P$  : nbr de processus à créer,  $C$  : nb de cœurs/nœud)

```

mpirun -np #P -machinefile machines.txt
        -map-by ppr:1:core
        -rank-by core
        -bind-to core .....
    
```

machines.txt

```

Node 0
Node 1
....
Node P/C-1
....
Node max
    
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

### Processus et threads sur clusters de multicœurs

**Sol 4 : un processus MPI par node et C threads/process**

- Nbr de machines listées  $\geq P$   
( $P$  : nbr de processus à créer,  $C$  : nb de cœurs/nœud)
- Un processus/nœud, puis chaque processus créera  $C$  threads

```

mpirun -np #P -machinefile machines.txt
        -map-by ppr:1:node
        -rank-by node
        -bind-to none .....
    
```

machines.txt

```

Node 0
Node 1
....
Node P-1
....
Node max
    
```

Refuse parfois de binder sur le nœud entier

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



Stratégie de déploiement

## Processus et threads sur clusters de multicœurs

**Sol 5 : un processus MPI par Socket et C threads/processus**

- Nbr de machines listées  $\geq P / S$   
(P : nbr de processus à créer,  
S sockets/nœud, Cs : nb de cœurs/socket)
- Un processus/socket, puis chaque processus créera Cs threads

`mpirun -np #P -machinefile machines.txt`

`-map-by ppr:1:socket`  
`-rank-by socket`  
`-bind-to socket .....`

**Solution plus efficace sur nœuds modernes/NUMA**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

## Options de binding

Des options pour contrôler les ressources allouées à un processus multithreadé :

```
mpirun --bind-to < none | hwthread | core |
socket | numa | board |
11cache | 12cache | 13cache >
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

## Exemple de déploiement

**Cluster :** 16 nœuds ×  
4 sockets (processeurs) ×  
16 cœurs physiques ×  
2 threads (hyperthreading)

**Règles :**

- On alloue  $n$  nœuds ( $1 \leq n \leq 16$ )
- On cherche toujours à utiliser tous les cœurs des nœuds alloués

**Pb 1 :**

- Ressources allouées : 8 nœuds
- Stratégie de déploiement de l'application *myAppli* :
  - un processus MPI par cœur physique,
  - processus de numéros consécutifs sur un même nœud
  - un thread par cœur logique (hyp : option `-nt` de l'application)

**Question 1 :** combien de processus doit-on créer (option `-np` de *mpirun*) ?  
→  $8 \times 4 \times 16 = 512$  processus MPI

**Question 2 :** combien de *threads* doit créer chaque processus (option `-nt`) ?  
→ 2 threads

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

## Exemple de déploiement

<b>Cluster :</b> 16 nœuds × 4 sockets (processeurs) × 16 cœurs physiques × 2 threads (hyperthreading)	<b>Règles :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• On alloue <math>n</math> nœuds (<math>1 \leq n \leq 16</math>)</li> <li>• On cherche toujours à utiliser tous les cœurs des nœuds alloués</li> </ul>
--	---

**Pb 1 :**

- Ressources allouées : 8 nœuds
- Stratégie de déploiement de l'application *myAppli* :
  - un processus MPI par cœur physique,
  - processus de numéros consécutifs sur un même nœud
  - un thread par cœur logique (hyp : option *-nt* de l'application)

**Question 3 :** quelle commande *mpirun* doit-on entrer ?

→ `mpirun -np 512 -machinefile machines.txt  
-map-by ppr:1:core -rank-by core -bind-to core  
myAppli -nt 2`

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

## Exemple de déploiement

<b>Cluster :</b> 16 nœuds × 4 sockets (processeurs) × 16 cœurs physiques × 2 threads (hyperthreading)	<b>Règles :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• On alloue <math>n</math> nœuds (<math>1 \leq n \leq 16</math>)</li> <li>• On cherche toujours à utiliser tous les cœurs des nœuds alloués</li> </ul>
--	---

**Pb 2 :**

- Ressources allouées : 16 nœuds
- Stratégie de déploiement de l'application *myAppliOptim* :
  - un processus MPI par socket,
  - processus de numéros consécutifs sur un même nœud
  - un thread par cœur physique (hyp : option *-nt* de l'application)

**Question 1 :** combien de processus doit-on créer (option *-np* de *mpirun*) ?

→  $16 \times 4 = 64$  processus MPI

**Question 2 :** combien de *threads* doit créer chaque processus (option *-nt*) ?

→ 16 threads

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

## Exemple de déploiement

<b>Cluster :</b> 16 nœuds × 4 sockets (processeurs) × 16 cœurs physiques × 2 threads (hyperthreading)	<b>Règles :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• On alloue <math>n</math> nœuds (<math>1 \leq n \leq 16</math>)</li> <li>• On cherche toujours à utiliser tous les cœurs des nœuds alloués</li> </ul>
--	---

**Pb 2 :**

- Ressources allouées : 16 nœuds
- Stratégie de déploiement de l'application *myAppliOptim* :
  - un processus MPI par socket,
  - processus de numéros consécutifs sur un même nœud
  - un thread par cœur physique (hyp : option *-nt* de l'application)

**Question 3 :** quelle commande *mpirun* doit-on entrer ?

→ `mpirun -np 64 -machinefile machines.txt  
-map-by ppr:1:socket -rank-by socket -bind-to socket  
myAppliOptim -nt 16`

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

## Exemple de déploiement

**Cluster :** 16 nœuds ×  
4 sockets (processeurs) ×  
16 cœurs physiques ×  
2 threads (hyperthreading)

**Règles :**

- On alloue  $n$  nœuds ( $1 \leq n \leq 16$ )
- On cherche toujours à utiliser tous les cœurs des nœuds alloués

**Pb 3 :**

- Ressources allouées : 16 nœuds
- Stratégie de déploiement de l'application *myAppliOptim* :
  - 4 processus MPI par socket,
  - processus de numéros consécutifs sur des nœuds différents
  - un thread par cœur physique (hyp : option *-nt* de l'application)

**Question 1 :** combien de processus doit-on créer (option *-np* de *mpirun*) ?  
→  $16 \times 4 \times 4 = 256$  processus MPI

**Question 2 :** combien de *threads* doit créer chaque processus (option *-nt*) ?  
→ 4 threads

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

## Exemple de déploiement

**Cluster :** 16 nœuds ×  
4 sockets (processeurs) ×  
16 cœurs physiques ×  
2 threads (hyperthreading)

**Règles :**

- On alloue  $n$  nœuds ( $1 \leq n \leq 16$ )
- On cherche toujours à utiliser tous les cœurs des nœuds alloués

**Pb 3 :**

- Ressources allouées : 16 nœuds
- Stratégie de déploiement de l'application *myAppliOptim* :
  - 4 processus MPI par socket,
  - processus de numéros consécutifs sur des nœuds différents
  - un thread par cœur physique (hyp : option *-nt*)

**Question 3 :** quelle commande *mpirun* doit-on entrer ?

Sur chaque socket l'OS réparti 4×4 threads sur 16 cœurs

→ `mpirun -np 256 -machinefile machines.txt -map-by ppr:4:socket -rank-by node -bind-to socket myAppliOptim -nt 4`

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratégie de déploiement

## Rapport de binding

```
mpirun -np 4 -machinefile machsar.txt
-map-by ppr:1:socket -rank-by socket -bind-to socket
--report-bindings
./MatrixProduct -k 1 -klc 4 -nt 4
32 nodes × 2 sockets × 4 cores × hyperthreading
[sar01:85379] MCW rank 0 bound to
socket 0[core 0[hwt 0-1]], socket 0[core 1[hwt 0-1]],
socket 0[core 2[hwt 0-1]], socket 0[core 3[hwt 0-1]]:
[BB/BB/BB/BB][../../../../]
[sar01:85379] MCW rank 1 bound to
socket 1[core 4[hwt 0-1]], socket 1[core 5[hwt 0-1]],
socket 1[core 6[hwt 0-1]], socket 1[core 7[hwt 0-1]]:
[../../../../][BB/BB/BB/BB]
[sar02:78868] MCW rank 3 bound to
socket 1[core 4[hwt 0-1]], socket 1[core 5[hwt 0-1]],
socket 1[core 6[hwt 0-1]], socket 1[core 7[hwt 0-1]]:
[../../../../][BB/BB/BB/BB]
[sar02:78868] MCW rank 2 bound to
socket 0[core 0[hwt 0-1]], socket 0[core 1[hwt 0-1]],
socket 0[core 2[hwt 0-1]], socket 0[core 3[hwt 0-1]]:
[BB/BB/BB/BB][../../../../]
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Meilleur déploiement ?

**Dépend de plusieurs facteurs :**

- Schéma de communication (topologie des processus MPI)  
→ *Minimiser les communications inter-nœuds*
- Architecture NUMA des nœuds  
→ *Au moins un processus par sous-nœud NUMA*
- Bibliothèque de multithreading et d'envoi de messages disponibles  
→ *Toutes les implantations des bibliothèques de multithreading et de MPI ne sont pas équivalentes*

Quand on travaille toujours sur un même cluster on finit par savoir ce qui est le plus efficace sur lui !

---

---

---

---

---

---

---

---

L'essentiel de MPI-1

## 6 – Analyse de performances en MPI

- Jacobi sur (tout) petits clusters
- Produit de matrices
- Ce qui compte ....

---

---

---

---

---

---

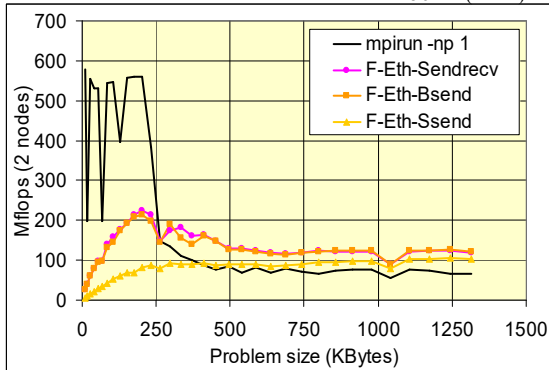
---

---

Analyse de performance en MPI

### Jacobi - Fast Ethernet

Fast-Ethernet – 1 server + 2 nodes – PIII-1GHz-256KB (cache)




---

---

---

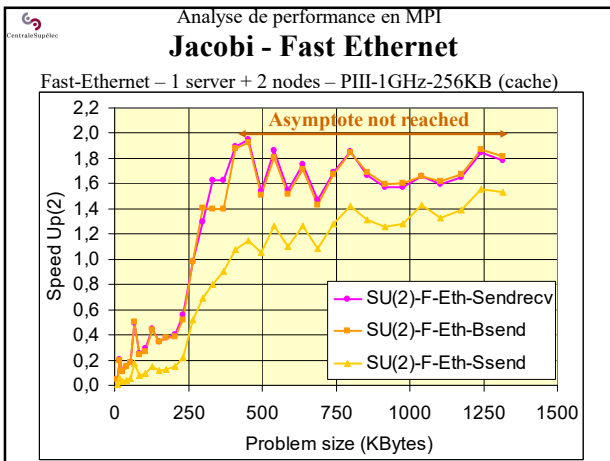
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

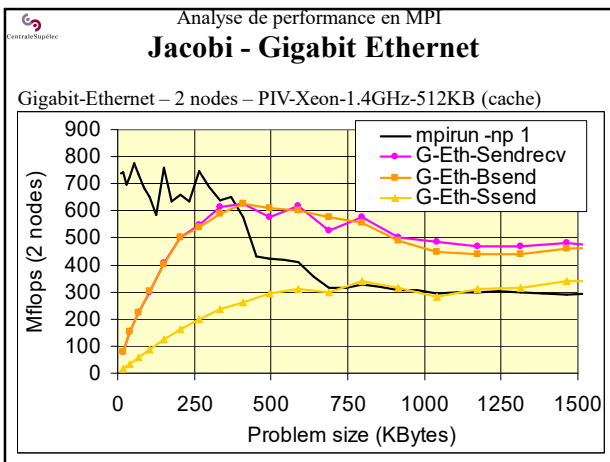
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

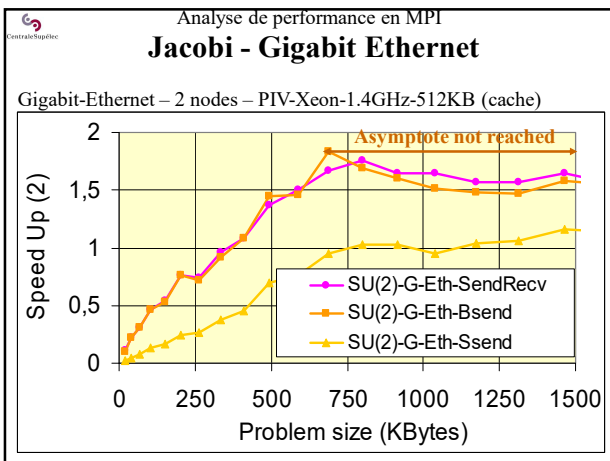
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

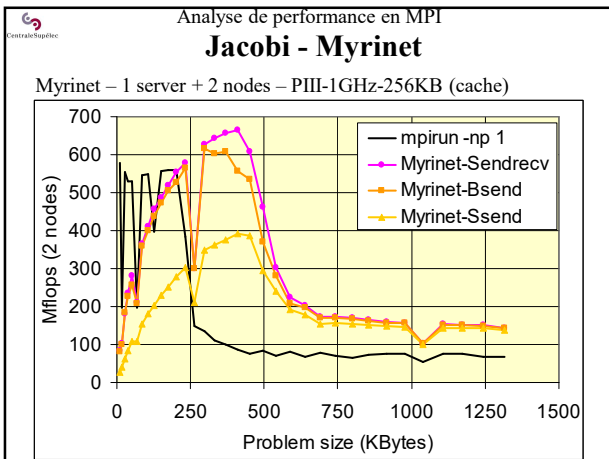
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

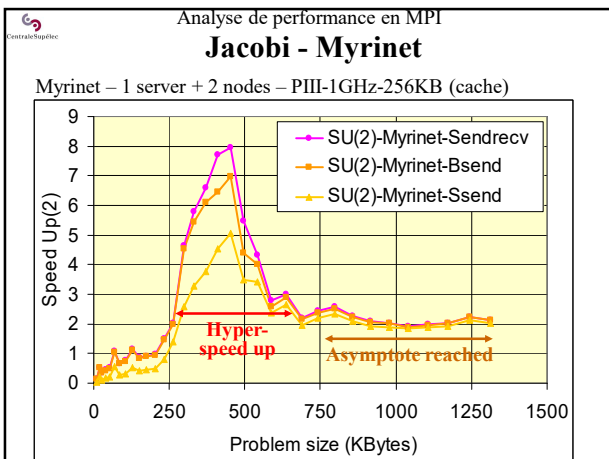
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

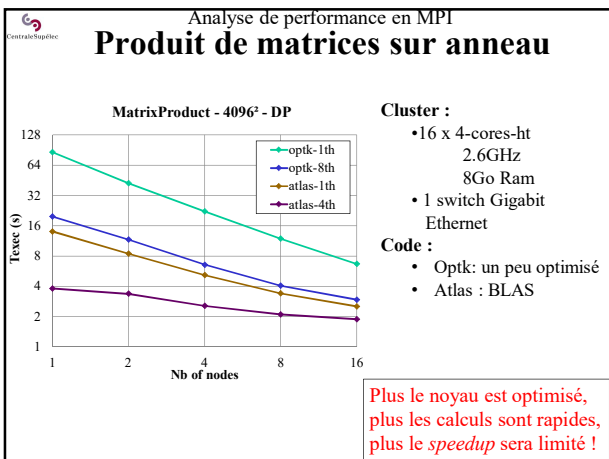
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

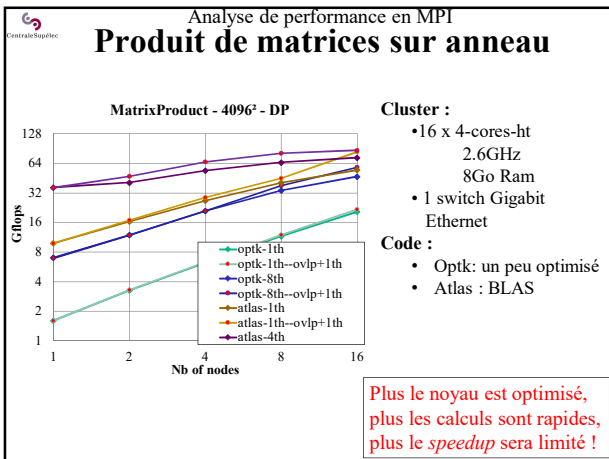
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

### Analyse de performance en MPI

## Il n'y a pas que le nbr de processeurs qui compte lors des choix

Mémoire et mémoire cache ...

- Optimisations sérielles ! (vaste)
- Stratégie de blocage en cache
- Recherche d'hyper-accélération.

Processeurs

- Nombre de processeurs
- Puissance des procs.
- Consommation électrique

Réseau d'interconnexion

- Bw ?
- Latence ?
- Capacité d'extensibilité ?

Equilibrage des ressources :

- Mémoire vs processeur
- Nbr de nœuds vs réseau
- Performances calculatoires vs énergétiques

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

### L'essentiel de MPI-1

## 7 – TP : Produit de matrices denses sur un anneau de processeurs

- Topologies virtuelles
- Algorithme distribué sur un anneau
- Modélisation des performances sans recouvrement

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Produit de matrices denses sur anneau

## Topologies virtuelles

**Principe du produit de matrices denses sur cluster :**

- Partitionnement initial des matrices A et B
- Boucle de calcul et de circulation des données :
  - Sans recouvrement des calculs et des communications  
**Loop {calcul ; circulation}**
  - Avec recouvrement des calculs et des communications  
**Loop {par{calcul; circulation}}**

**Différents algorithmes testés :**

- Circulation des données sur un anneau
- Circulation des données sur un tore

Quelle topologie virtuelle est supportable par le cluster réel ?

---

---

---

---

---

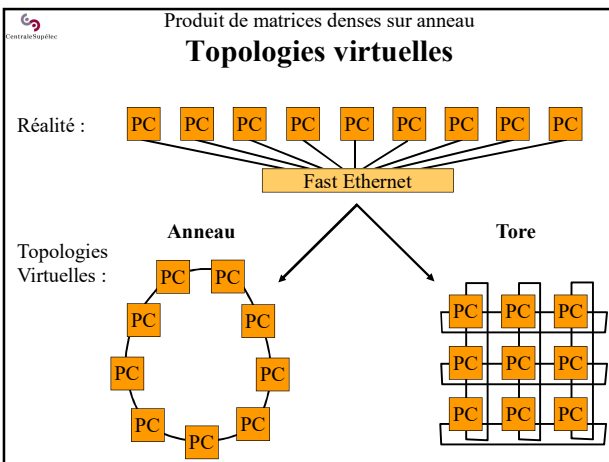
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Produit de matrices denses sur anneau

## Algorithme distribué

**Problème à résoudre :**  
 A, B, C :  $n \times n = N$  éléments

$$C = A \cdot B \quad c_{ij} = \sum_{k=1}^n (a_{ik} \cdot b_{kj}) \quad O(\text{Nbr d'opérations}) = O(N^3/2)$$

**Comment répartir les données ?**

Pb du **partitionnement**

Calculs déterministes localisés :

- Partitionnement statique

Calculs déterministes NON localisés :

- Duplication ?
- **Circulation ?**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



Produit de matrices denses sur anneau

### Algorithme distribué

**Partitionnement sur un anneau de processeurs :**

- A partitionnée en blocs de lignes
- B et C partitionnées en blocs de colonnes
- **Circulation de A**
- B et C statiques

**Etape 0**  
(état initial)

Topologie

Partitionnement et circulation de A

Partitionnement statique de B

Partitionnement statique de C

---

---

---

---

---

---

---

---

Produit de matrices denses sur anneau

### Algorithme distribué

**Partitionnement sur un anneau de processeurs :**

- A partitionnée en blocs de lignes
- B et C partitionnées en blocs de colonnes
- **Circulation de A**
- B et C statiques

**Etape 1**

Topologie

Partitionnement et circulation de A

Partitionnement statique de B

Partitionnement statique de C

---

---

---

---

---

---

---

---

Produit de matrices denses sur anneau

### Algorithme distribué

**Partitionnement sur un anneau de processeurs :**

- A partitionnée en blocs de lignes
- B et C partitionnées en blocs de colonnes
- **Circulation de A**
- B et C statiques

**Etape 2**

Topologie

Partitionnement et circulation de A

Partitionnement statique de B

Partitionnement statique de C

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

Produit de matrices denses sur anneau

## Algorithme distribué

**Partitionnement sur un anneau de processeurs :**

- A partitionnée en blocs de lignes
- B et C partitionnées en blocs de colonnes
- Circulation de A
- B et C statiques

**Déroulement de l'algorithme sur PE-2, avec  $P = 4$  :**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

Produit de matrices denses sur anneau

## Algorithme distribué

**Partitionnement sur un anneau de processeurs :**

- A partitionnée en blocs de lignes
- B et C partitionnées en blocs de colonnes
- Circulation de A
- B et C statiques

**Résultats à la fin des P étapes :**

Topologie  
Partitionnement statique de C

**Bilan :**

- Chaque PC a calculé un bloc de colonnes de C
- Les  $P$  PC ont travaillé en parallèle

→ Calcul de tous les blocs de colonnes en parallèle, en  $P$  étapes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

Produit de matrices denses sur anneau

## Algorithme distribué

**Stratégies d'implantation sur un anneau de P processeurs :**

<pre>// Sans recouvrement for (step=0; step&lt;P; step++) calcul(); barrier(); // si besoin circulation(); barrier(); // si besoin }</pre>	<pre>// Avec recouvrement for (step=0; step&lt;P; step++) thread{ calcul(); } thread{ circulation(); } barrier(); permutBuff(); }</pre>
--	---

↓

- Concevoir l'algorithme avec des barrières de (re)synchronisation potentielles
- Selon le mécanisme de communication utilisé :
  - Implanter des barrières explicites : synchronisation forte ou bien
  - Se contenter de la synchro des comms : synchronisation relaxée

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

Produit de matrices denses sur anneau

### Algorithme distribué

Stratégies d'implantation sur un anneau de P processeurs :

<pre> // Sans recouvrement for (step=0; step&lt;P; step++)   calcul();   barrier(); // si besoin   circulation();   barrier(); // si besoin } </pre>	<pre> // Avec recouvrement for (step=0; step&lt;P; step++)   thread{ calcul(); }   thread{ circulation(); }   barrier();   permutBuff(); } </pre>
--	---

↓

- Concevoir l'algorithme avec une barrière de (re)synchronisation
- Implanter la barrière de (re)synchronisation
- Permuter les buffers de calcul et de communication (quasi-obligatoire)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

Produit de matrices denses sur anneau

### Modélisation de performances

Performances sans recouvrement :

- Temps séquentiel :
 
$$T_{seq} = N \cdot (2\sqrt{N} - 1) t_{flop}$$

$$T_{seq} \approx 2 \cdot N \cdot \sqrt{N} t_{flop}$$
- Temps parallèle :
 
$$t_{1-calc} = \frac{\sqrt{N}}{P} \cdot \frac{\sqrt{N}}{P} \cdot (2\sqrt{N} - 1) t_{flop}$$

$$t_{1-calc} \approx 2 \cdot \frac{N\sqrt{N}}{P^2} t_{flop}$$

$$t_{1-circ} = t_s + \sqrt{N} \cdot \frac{\sqrt{N}}{P} t_w$$

$$t_{1-circ} \approx \frac{N}{P} t_w$$

Modèles & hypothèses !

- Speed up :
 
$$S_{no} = \frac{T_{seq}}{T_{par}^{no}} \approx P \cdot \frac{1}{1 + \frac{P t_w}{2\sqrt{N} t_{flop}}}$$
- $$T_{par}^{no} \approx P \cdot (t_{1-calc} + t_{1-circ})$$

$$T_{par}^{no} \approx 2 \cdot \frac{N\sqrt{N}}{P} t_{flop} + N t_w$$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

Produit de matrices denses sur anneau

### Modélisation de performances

Comparaison calculs-communications (sans recouvrement) :

- Calculs :
 
$$T_{par}^{calc} \approx 2 \cdot \frac{N^{3/2}}{P} t_{flop}$$

$$P \text{ fixé} \Rightarrow O(T_{par}^{calc}) = O(N^{3/2})$$
- Circulation :
 
$$T_{par}^{circ} \approx N t_w$$

$$O(T_{par}^{circ}) = O(N)$$

$O(T_{par}^{calc}) > O(T_{par}^{circ})$

A P fixé, quand N ↑ :  
 les calculs deviennent prépondérants sur les surcoûts  
 → les performances s'améliorent (asymptotes idéales)

Bon problème !

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

Produit de matrices denses sur anneau

## Modélisation de performances

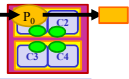
**Volume de communications sur le réseau d'interconnexion :**

Cluster :  $N_{nodes} \times N_{socket/node} \times N_{coeurs/socket} = N_n \times N_s \times N_c$

Déploiement : 1 processus/nœud et  $N_s \times N_c$  threads par processus

- $N_n$  processus et étapes
- Volume d'une tranche de matrice A :  $Q_{slice} = Q_s = Q_A / N_n$

A chaque étape : - chaque processus émet  $Q_s$  data  
- chaque nœud émet  $Q_s$  data vers un autre nœud



Au final :

Volume total de données traversant le réseau durant tout le calcul :

$$N_n \times (N_n \times Q_s) = N_n \times Q_A$$

Taille de chaque message :  $Q_A / N_n$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

Produit de matrices denses sur anneau

## Modélisation de performances

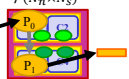
**Volume de communications sur le réseau d'interconnexion :**

Cluster :  $N_{nodes} \times N_{socket/node} \times N_{coeurs/socket} = N_n \times N_s \times N_c$

Déploiement : 1 processus/socket et  $N_c$  threads par processus et numérotation selon les sockets

- $N_n \times N_s$  processus et étapes
- Volume d'une tranche de matrice A :  $Q_{slice} = Q_s = Q_A / (N_n \times N_s)$

A chaque étape : - chaque processus émet  $Q_s$  data  
- chaque nœud émet  $Q_s$  data vers un autre nœud



Au final :

Volume total de données traversant le réseau durant tout le calcul :

$$(N_n \times N_s) \times (N_n \times Q_s) = N_n \times Q_A$$

Taille de chaque message :  $Q_A / (N_n \times N_s)$

Plus de plus petits msg, mais même volume total

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

Produit de matrices denses sur anneau

## Modélisation de performances

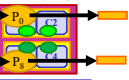
**Volume de communications sur le réseau d'interconnexion :**

Cluster :  $N_{nodes} \times N_{socket/node} \times N_{coeurs/socket} = N_n \times N_s \times N_c$

Déploiement : 1 processus/socket et  $N_c$  threads par processus et numérotation selon les nœuds

- $N_n \times N_s$  processus et étapes
- Volume d'une tranche de matrice A :  $Q_{slice} = Q_s = Q_A / (N_n \times N_s)$

A chaque étape : - chaque processus émet  $Q_s$  data  
- chaque nœud émet  $N_s \times Q_s$  data vers d'autres nœuds



Au final :

Volume total de données traversant le réseau durant tout le calcul :

$$(N_n \times N_s) \times (N_n \times (N_s \times Q_s)) = N_n \times N_s \times Q_A$$

Taille de chaque message :  $Q_A / (N_n \times N_s)$

Beaucoup plus de plus petits msg, et volume total plus important !  
→ Plus lent !

---

---

---

---

---

---

---

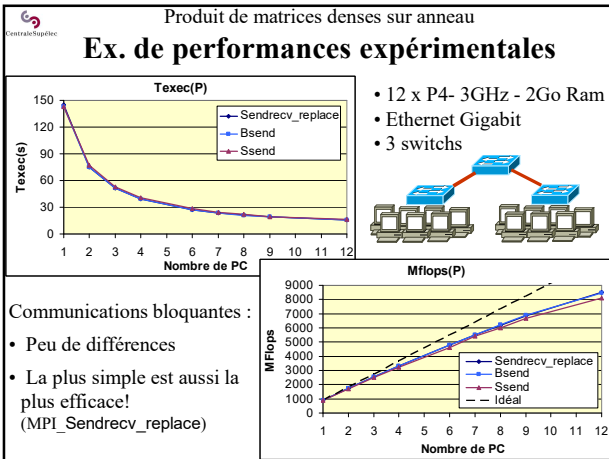
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

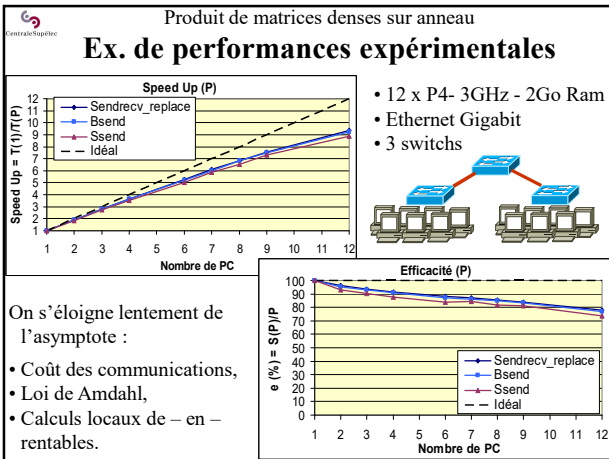
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

CentralesSupélec

### Produit de matrices denses sur anneau

## Développements et tests

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

L'essentiel de MPI-1

**Questions ?**

---

---

---

---

---

---

---

---