

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

# Utilisation du Cloud Computing IaaS : Tests de clusters virtuels dans le cadre d'applications astroparticules

**Cécile Cavet,**

Maude Le Jeune, Fabrice Dodu, Michèle Detournay

Centre François Arago (FACe), Laboratoire APC, Université Paris Diderot

Ce travail est financé par le LabEx UnivEarthS

24 Octobre 2012



# Plan

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

## 1 Contexte

## 2 Applications HPC

## 3 Tests

## 4 Applications scientifiques

## 5 Conclusion

# Le Cloud computing

## Contexte

### Cloud computing

StratusLab  
 Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
 Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
 Résultats des tests  
 RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
 Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
 Perspectives  
 Références

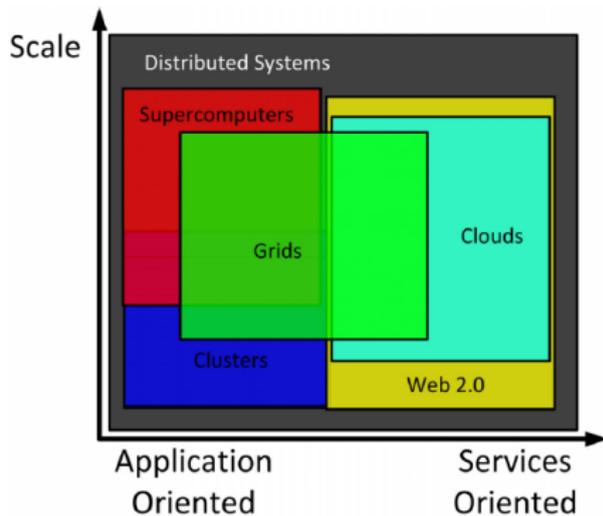


Figure: Les infrastructures de calcul distribué [1].

➔ Voir le poster de F. Dodu et al.

# Le Cloud computing

➔ Offre des ressources informatiques à la demande.

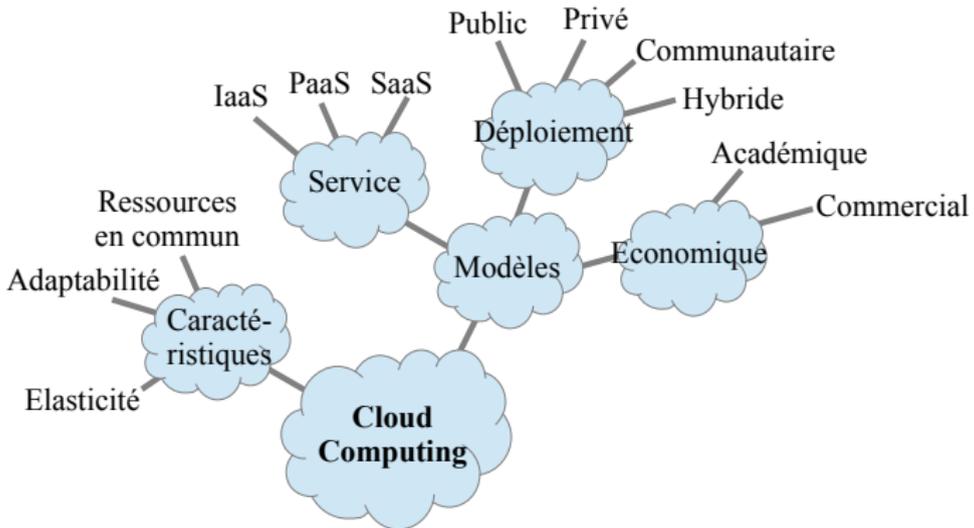


Figure: Les caractéristiques et les modèles de Cloud computing (d'après [8]).

**Contexte**

- Cloud computing
- StratusLab
- Infrastructures de calcul

**Applications HPC**

- Extensibilité forte
- Extensibilité faible

**Tests**

- Type de tests
- Résultats des tests
- RAMSES

**Applications scientifiques**

- BOSS
- Séisme de Tohoku

**Conclusion**

- Conclusion
- Perspectives
- Références

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

## Le Cloud StratusLab<sup>1</sup> [5] :

- Projet européen depuis 2010 et collaboration ouverte depuis 2012.
- Cloud académique :
  - IaaS (« Infrastructure-as-a-Service ») ➔ ressources informatiques : machine, cluster, stockage et réseau virtuel.
  - Public ➔ accès à tout utilisateur du monde académique.

---

<sup>1</sup>StratusLab : <http://stratuslab.eu/index.html>  
Marketplace : <http://marketplace.stratuslab.eu>

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

Machines physiques du LAL supportant le Cloud :

- 10 nœuds, 24 cœurs/nœud, 36 GB de RAM/nœud.
- Connexion inter-nœuds à 1 GbE/s.

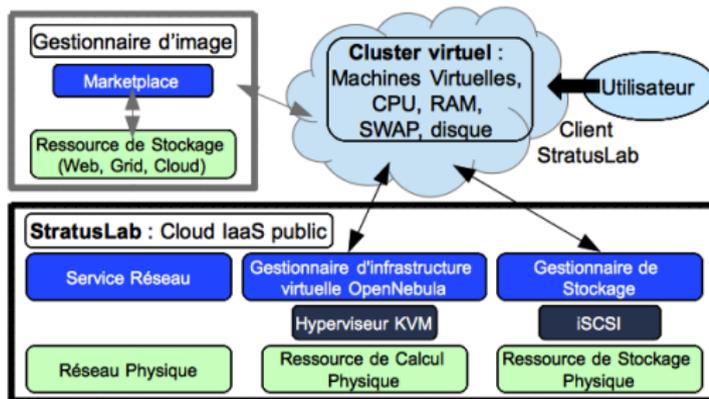


Figure: Le fonctionnement du Cloud StratusLab (d'après [4]).

➔ Voir les présentations de M. Puel et de G. Philippon.

# Les infrastructures de calcul

## Contexte

Cloud computing  
 StratusLab  
 Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
 Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
 Résultats des tests  
 RAMSES

## Applications scientifiques

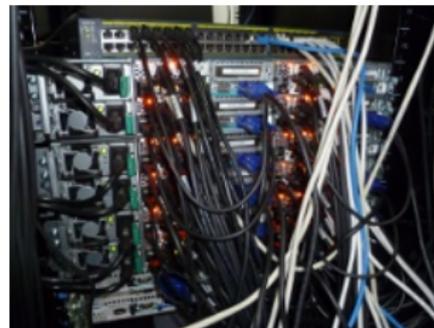
BOSS  
 Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
 Perspectives  
 Références

### ■ Cluster Arago :

- Au Centre François Arago (FACe) depuis mai 2012.
- 11 nœuds, 16 cœurs/nœud, 48 GB de RAM/nœud.
- Connexion inter-nœuds à 10 GbE/s.



### ■ Cluster Virtuel du Cloud StratusLab :

- Dans la mesure du possible, avec les mêmes caractéristiques que le cluster Arago.
- Instantiation d'un cluster Virtuel de **64 cœurs** maximum.

# Applications High Performance Computing (HPC)

## Contexte

Cloud computing  
 StratusLab  
 Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
 Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
 Résultats des tests  
 RAMSES

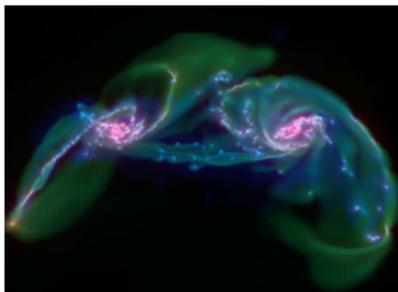
## Applications scientifiques

BOSS  
 Séisme de Tohoku

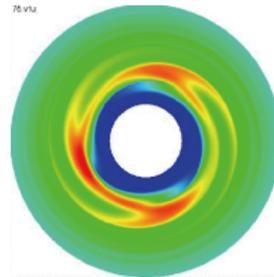
## Conclusion

Conclusion  
 Perspectives  
 Références

- Englobent la résolution des systèmes complexes : solveurs de LU, de Riemann...
- Contraignent fortement les infrastructures de calcul : ➔ faible latence et grande bande passante.
- Nécessitent les calculateurs les plus puissants.



**Figure:** Simulation de collision de galaxies avec le code RAMSES [6].



**Figure:** Simulation de disque d'accrétion avec le code AMRVAC [10].

# Quantification de la performance

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

## Extensibilité (« scalability ») d'une application HPC

Variations de l'efficacité avec le nombre d'éléments de calcul (processeurs, cœurs, « threads », etc.).

- Extensibilité forte :
  - Liée au CPU.
  - Taille de problème fixée **totale**.
  - **Diminution** du temps de calcul.
- Extensibilité faible :
  - Liée à la mémoire.
  - Taille de problème fixée **par élément de calcul**.
  - **Constance** du temps de calcul.

# Extensibilité forte : Accélération

$$A = \frac{\text{tps séquentiel}}{\text{tps parallèle}} \quad (1)$$

➔ Mesure du maximum d'éléments de calcul à utiliser pour un problème donné.

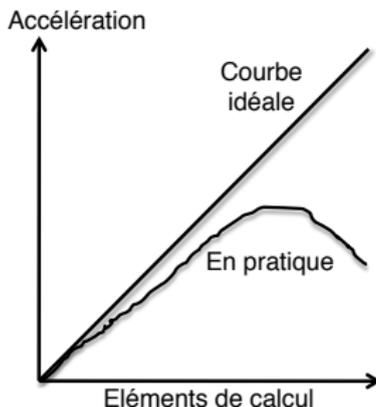


Figure: Tendance de l'accélération (d'après [7]).

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

# Extensibilité forte : Efficacité en métrique classique

## Contexte

Cloud computing  
 StratusLab  
 Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
 Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
 Résultats des tests  
 RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
 Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
 Perspectives  
 Références

$$E = \frac{A}{p} \quad (2)$$

Avec  $p$  élément de calcul.

➔ Mesure globale de la performance.

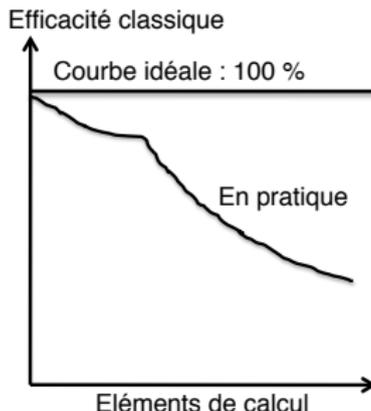


Figure: Tendence de l'efficacité en métrique classique (d'après [7]).

# Extensibilité forte : Efficacité en métrique de Karp-Flatt

$$e = \frac{\frac{1}{A} - \frac{1}{p}}{1 - \frac{1}{p}} \quad (3)$$

➔ Mesure de la performance par partie.

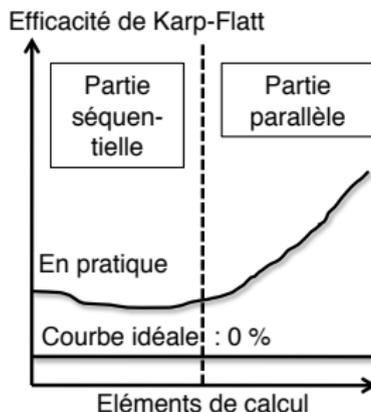


Figure: Tendance de l'efficacité en métrique de Karp-Flatt.

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

# Extensibilité faible : Efficacité

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

$$E = \frac{R_{max}}{R_{peak}} \quad (4)$$

Avec  $R_{max}$  performance mesurée pour une application et  $R_{peak}$  performance théorique au pic (caractéristiques matérielles).

- Performance théorique au pic (sans « Hyper-Threading ») :

$$R_{peak} = \frac{\text{nombre de FLOPS}}{1 \text{ cycle d'horloge}} \times \text{fréquence processeur} \quad (5)$$

- Pour une machine virtuelle de StratusLab :  
 $R_{peak}(8 \text{ cœurs}; 2,67 \text{ GHz}; 4 \text{ FLOPCC}) = 85 \text{ GFLOPS}$

# Extensibilité faible

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

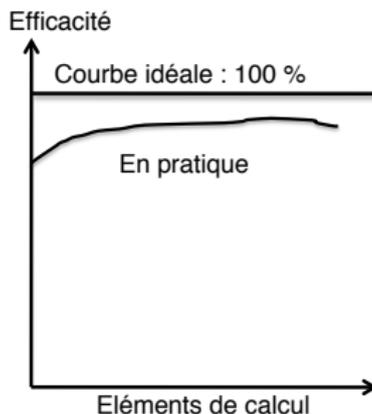


Figure: Tendence de l'efficacité.

- D'après [3],  $E > 60\%$  ➔ calculateur présente de bonnes performances aux applications HPC.



# Type de tests

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

### Type de tests

Résultats des tests  
RAMSES

### Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

### Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

- Bande-passante de la mémoire : **STREAM**
- Accès aux I/O : **IOzone**
- Communications MPI : Intel MPI Benchmark (**IMB**)
- Transfert de fichiers : Integrated Rule-Oriented Data System (**IRODS**)
- High Performance Computing (HPC) :
  - Applications HPC simples : NASA Parallel Benchmark (**NPB**)
  - Extensibilité faible : High Performance LINPACK (**HPL**)
  - Extensibilité forte : Code **RAMSES**

# Résultats des tests I

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

- Bande-passante de la mémoire : **STREAM**
  - 4 opérations : copy, scale, sum et triad.
  - Cluster Arago et cluster Virtuel ➔  $\sim 9$  GB/s pour 1 « thread » et même croissance + saturation jusqu'à 16 « threads ».
- Accès aux I/O : **IOzone**
  - 2 opérations : write et read.
  - Cluster Arago et cluster Virtuel ➔ mêmes débits I/O pour les fichiers de grande taille (de 2 GB à 4 GB dans `/home/user`) :  $\sim 300$  MB/s pour l'écriture et  $\sim 3$  GB/s pour la lecture.



# Résultats des tests II

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
**Résultats des tests**  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

## ■ Communications MPI : **IMB**

- Opération : ping-pong.
- Cluster *Arago* > cluster *Virtual* ➔ bande-passante du réseau avec un facteur  $\sim 13$  (cluster *Virtual* à  $\sim 52$  MB/s).
  - Interconnexion Ethernet.
  - Virtualisation du réseau.

## ■ Transfert de fichiers : **IRODS**

- Volume de données de  $\sim 120$  GB du CC-IN2P3 vers les clusters.
- Cluster *Arago* > cluster *Virtual* ➔ transfert avec un facteur  $\sim 4$  (cluster *Virtual* à  $\sim 25$  MB/s).
  - Trafic réseau dépend des utilisateurs.

# Résultats des tests III

## Contexte

Cloud computing  
 StratusLab  
 Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
 Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
**Résultats des tests**  
 RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
 Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
 Perspectives  
 Références

- Ensemble d'applications HPC simples : **NPB**
  - 8 opérations : BT, CG, EP, FT, IS, LU, MG, SP.
  - Etude sur plusieurs Clouds commerciaux [2].
  - Cluster Classique > cluster Virtuel des Clouds ➔ temps d'exécution.
    - Le réseau est le goulot d'étranglement.
- Extensibilité faible : **HPL**
  - TOP500
  - 1 opération : LU amélioré.
  - Etude sur plusieurs Clouds commerciaux [3].
  - Cluster Classique  $\gtrsim E = 60\% >$  cluster Virtuel des Clouds ➔ efficacité décroissante (cluster Virtuel à  $\sim 40\%$  pour 1 noeud).
    - Les performances des Cloud IaaS restent plus faibles que celles des infrastructures classiques.

# Extensibilité forte : Code RAMSES

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

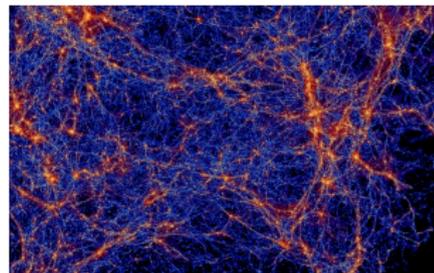
BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

- Application HPC réelle : étude de la distribution de la matière en cosmologie [9].
- Solveur hydrodynamique basé sur une grille.

➔ Voir la présentation de M. Labadens



**Figure:** Simulation de la formation des galaxies avec RAMSES (projet HORIZON, 2048 processeurs, ~500 h de calcul, 20 TB de données).

# Conditions initiales : test de Sedov

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests

## RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

- Test classique des solveurs hydrodynamiques.
- Grille cartésienne 2D :  $512^2$  cellules numériques.
- Parallélisation MPI.
- Pas de maillage adaptatif (AMR).

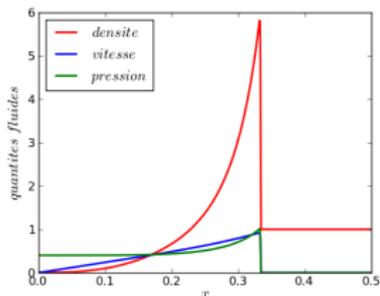


Figure: Simulation 1D.

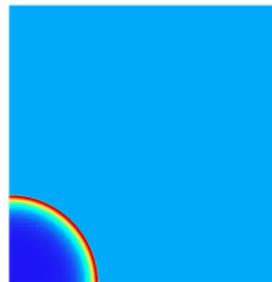


Figure: Simulation 2D.

# Accélération

## Contexte

Cloud computing  
 StratusLab  
 Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
 Extensibilité faible

## Tests

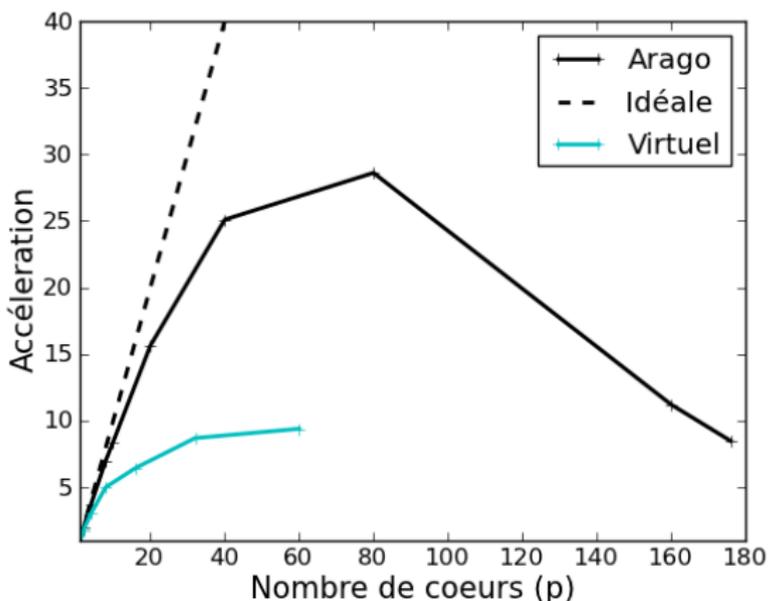
Type de tests  
 Résultats des tests  
 RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
 Séisme de Tohoku

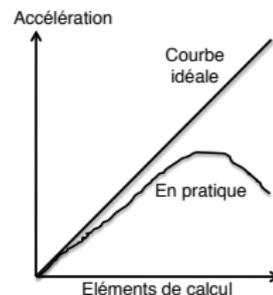
## Conclusion

Conclusion  
 Perspectives  
 Références



Maximum :

- Arago :  $\sim 80$  ♥
- Virtuel :  $\sim 60$  ♥
- saturation des communications MPI à partir de  $\max(A)$



# Efficacité en métrique classique

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests

## RAMESIS

## Applications scientifiques

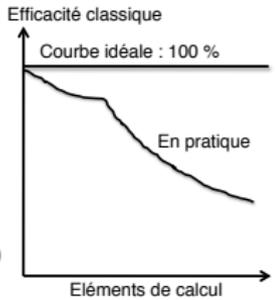
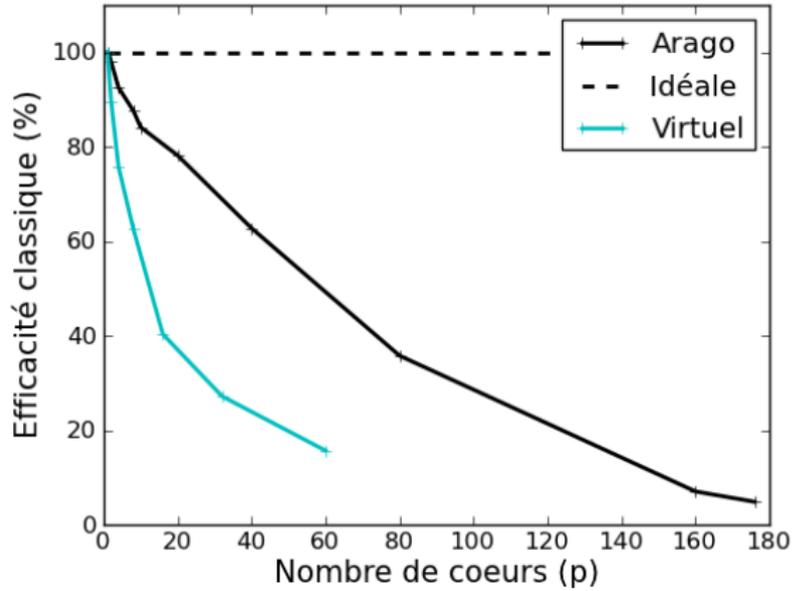
BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

Performance globale :

- Arago : effondrement à partir de ~20 ♥
- Virtuel : effondrement immédiat



# Efficacité en métrique de Karp-Flatt

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

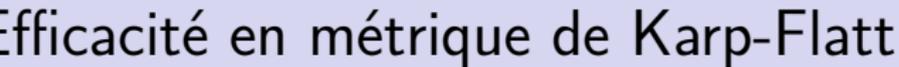
Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

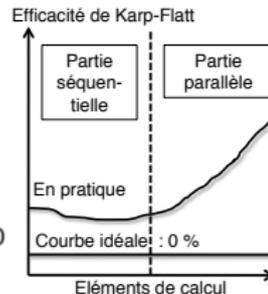
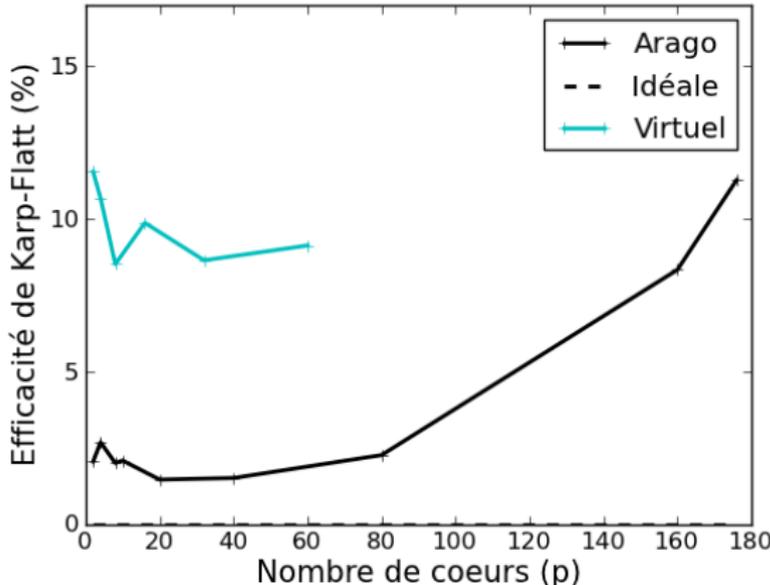
## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références



Performance par parties du code de calcul :

- Séquentielle : facteur  $\sim 4$  (architectures différentes : vitesse du bus du processeur)
- Parallèle : saturation communications MPI





# RAMSES : Résultats

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

- Extensibilité forte : applications HPC réelles passent à l'échelle avec l'augmentation du nombre de cœurs de calcul.
- Saturation des communications MPI.
- Comparaison de l'efficacité :  
Cluster Arago > cluster Virtuel
- L'utilisation en phase de production (c'est-à-dire, **en minimisant le temps de calcul**) d'une application HPC reste encore réservée aux supercalculateurs.

# Applications scientifiques : Astroparticules

## Contexte

Cloud computing  
 StratusLab  
 Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
 Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
 Résultats des tests  
 RAMSES

## Applications scientifiques

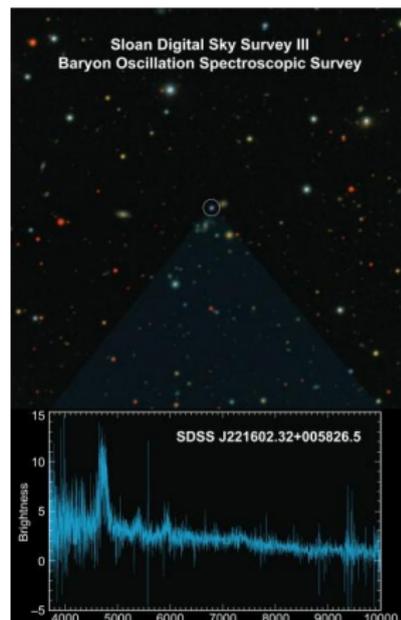
BOSS  
 Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
 Perspectives  
 Références

## BOSS

- Cosmologie : étude de l'énergie sombre
- Spectres de galaxies et de quasars
- Code de calcul :
  - Données  $\rightarrow$  FFT  $\rightarrow$  Spectre
  - 25 GB de RAM au minimum
  - Machine virtuelle : 28 GB de RAM (14 cœurs).



## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

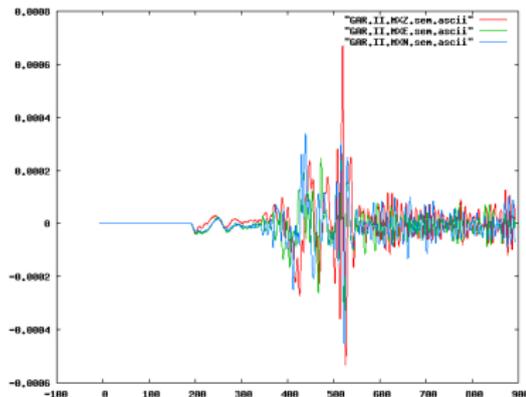
BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

## Séisme de Tohoku

- Physique du globe : étude de séisme
- Code SPECFM3D-GLOBE :
  - Meilleur → Solveur → ondes
  - 64 cœurs de calcul au minimum
  - Cluster Virtuel : 8 machines virtuelles, 8 cœurs/MV (8 GB de RAM/MV)





# Conclusion

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives  
Références

## Avantages du Cloud computing :

- Ressources dimensionnables à la demande
- Grande adaptabilité
- Accès facile et rapide ➔ Cluster Virtuel en 5 min

## Comparaison des performances des clusters classiques/virtuels :

- Similaires :
  - CPU
  - bande-passante de la mémoire
  - accès aux entrées/sorties
- Dans les conditions actuelles, faibles pour les applications mettant en jeu les communications MPI.

➔ Prototypages des applications HPC et utilisation en phase de production des autres applications scientifiques.



# Perspectives

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
**Perspectives**  
Références

- Test de plateformes de Cloud IaaS :
  - StratusLab : nouvelle interface VirtIO
  - Académique : testbed Future Grid, Cloud privé du CC-IN2P3...
  - Commercial : Amazon EC2...
- Etude du stockage sur le Cloud :
  - Rapprochement stockage/calcul
  - Performance du transfert
  - Adaptabilité du stockage
- Portage d'autres applications astroparticules sur le Cloud StratusLab

# Merci pour votre attention.

## Contexte

Cloud computing  
StratusLab  
Infrastructures de calcul

## Applications HPC

Extensibilité forte  
Extensibilité faible

## Tests

Type de tests  
Résultats des tests  
RAMSES

## Applications scientifiques

BOSS  
Séisme de Tohoku

## Conclusion

Conclusion  
Perspectives

## Références

## Références

- [1] Foster et al., IEEE Grid Computing Environments, p. 1-10 (2009)
- [2] He et al., Proc. of 19th ACM International Symposium on High Performance Distributed Computing, New York, p. 395-401 (2010)
- [3] Iosup et al., IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 22, 931-945 (2011)
- [4] Jouvin & Philippon, JRES (2011)  
<https://2011.jres.org/archives/166/index.htm>
- [5] Loomis et al., Chapitre de « European Research Activities in Cloud Computing », Cambridge Scholars Publishing, p. 271 (hal-00676252) (2012)
- [6] Teyssier et al., Astrophysical Journal Letters, 720, L149-L154 (2010)
- [7] Moebs, Cours de calcul parallèle avec MPI (2010)
- [8] Rapport sur le Cloud :  
<http://cordis.europa.eu/fp7/ict/ssai/docs/cloud-report-final.pdf>
- [9] Teyssier, Astronomy & Astrophysics, 385, 337-364 (2002)
- [10] Varnière et al., ArXiv, 1209.1958v1 (2012)