Programmation Parallèle

Le calcul intensif en fonction des architectures

Sophie Robert

UFR ST Pôle info

Le déroulement du module

Le contenu

- 12h CM Intro, Mémoire partagée (OpenMP), Mémoire distribuée (MPI)
- 20h de TP (utilisation de EasyPAP pour aider à comprendre)
  - 2 chargés de TP : Sébastien Rivault et Sophie Robert

La modalité d'évaluation

- 1 projet (probablement sur une journée)
- 1 devoir sur la semaine des examens

Programmation Parallèle ?

Calcul Intensif

De nombreuses applications nécessitent du calcul intensif avec une contrainte de temps pour obtenir les résultats.

Une puissance de calcul sans cesse accrue

04/10/2021

Début 2021, Météo-France a déployé son nouveau système de calcul intensif. La solution retenue repose sur la plateforme Sequana XH2000, développée par Bull (filiale du groupe Atos) et fabriquée à Angers. Le facteur de gain de puissance de calcul est de 5,5, permettant des prévisions météorologiques plus précises géographiquement et dans le temps.

Des progrès à différents niveaux

La mise en œuvre de ce nouveau supercalculateur est un enjeu majeur pour Météo-France en tant que centre météorologique national et international de référence. Cette acquisition va notamment permettre progressivement :

- d'améliorer la prévision des phénomènes dangereux avec un gain de 1 à 2 heures d'échéance sur les prévisions ;
- d'améliorer la précision géographique et donc mieux déterminer les risques, en descendant à une échelle infra-départementale (résolution horizontale amenée à 1,3 km) ;
- de prendre en compte un nombre croissant d'observations et de nouveaux types d'observations tels que les objets connectés ;

Programmation Parallèle ?

Calcul Intensif

De nombreuses applications nécessitent du calcul intensif avec une contrainte de temps pour obtenir les résultats.

Programmation Parallèle ?

Effectuer beaucoup de calculs en utilisant plusieurs cœurs ou processeurs

- Le principe du parallélisme est simple
  - Exécuter en même temps des instructions indépendantes
- La mise en œuvre nécessite de connaître
  - Les architectures des machines parallèles
  - Les techniques de parallélisation
  - Les techniques de programmation

Introduction à l'algorithmique et la programmation parallèles

- Savoir **paralléliser** un problème en fonction de la cible
- Savoir mettre en œuvre en fonction du paradigme de parallélisation

Applications d'aide à la décision

Data-mining

- Gestion d'énormes bases de données
- Exploration efficace de gros volumes de données Exemples : marketing, bio-informatique ...

⇒ **nécessitent de répartir les données**

Simulations

- phénomènes physiques
- phénomènes biochimiques
  Exemple : dynamique moléculaire pour la conception de molécules d'intérêt thérapeutique
- phénomènes environnementaux
  Exemples : météo, inondations, diffusion des pesticides

⇒ **nécessitent une grande puissance de calcul**

Introduction intuitive du parallélisme

Corrections de copies

- des copies : les données
- des exercices constitués de x questions à corriger : les tâches
- des enseignants capables tous de corriger 1 question par minute

Introduction intuitive du parallélisme

Les principes associés

- le processus
- l'équilibrage de charge, l'accélération et l'efficacité
- le parallélisme de tâches ou de données ?
- la mémoire et les coûts d'accès
- la mémoire partagée ou distribuée

Les modèles du parallélisme

Qu'est ce qui est indépendant ?

- Le parallélisme de contrôle
  - Faire plusieurs choses en même temps
- Le parallélisme de données
  - Répéter une action sur des données similaires
- Le parallélisme de flux
  - Travailler à la chaîne

La classification de Flynn

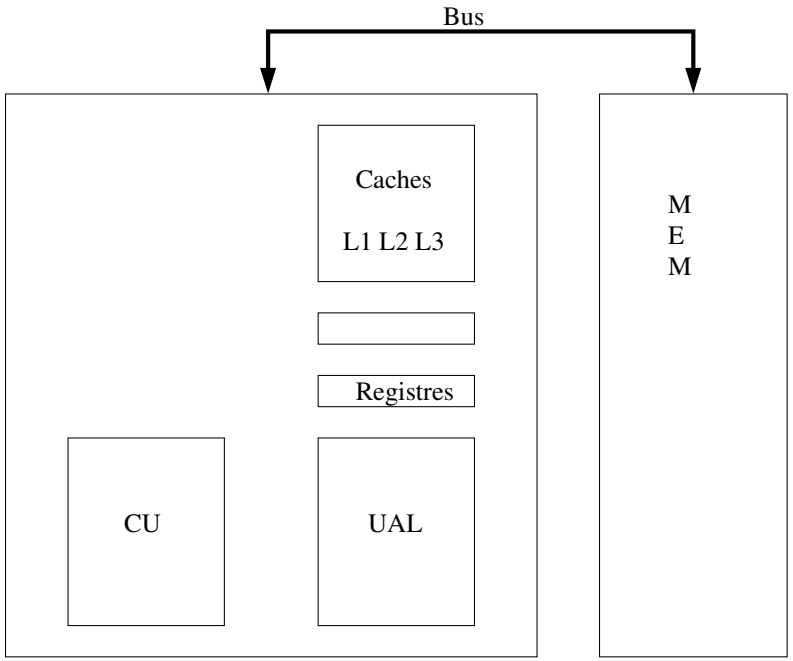
En fonction du flot d'instructions et de données

- Single Instruction Single Data (SISD)
- Single Instruction Multiple Data (SIMD)
- Multiple Instruction Multiple Data (MIMD)

La classification de Flynn

En fonction du flot d'instructions et de données

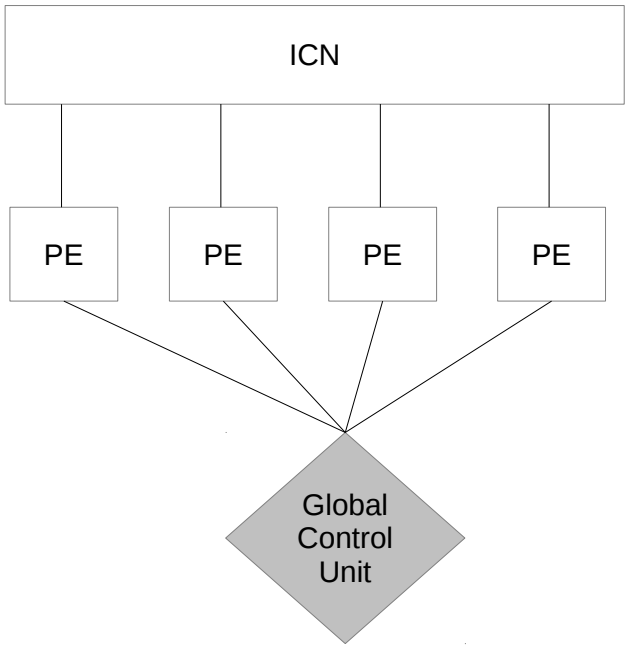
- Single Instruction Single Data (SISD)
- Single Instruction Multiple Data (SIMD)
- Multiple Instruction Multiple Data (MIMD)



La classification de Flynn

En fonction du flot d'instructions et de données

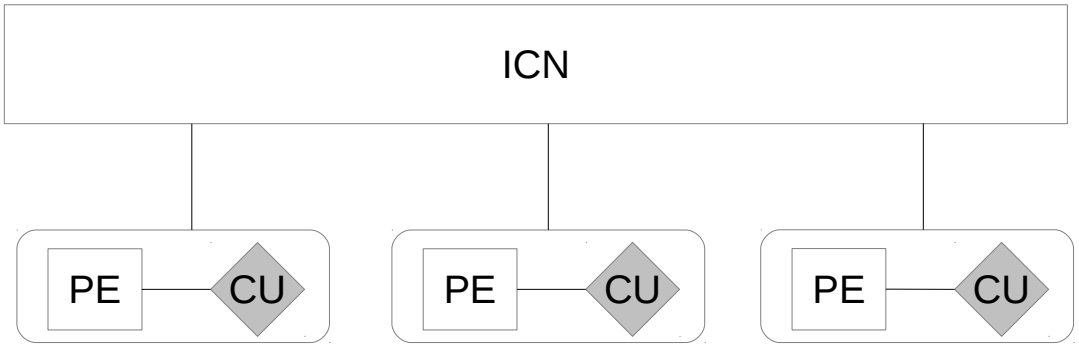
- Single Instruction Single Data (SISD)
- Single Instruction Multiple Data (SIMD)
- Multiple Instruction Multiple Data (MIMD)



La classification de Flynn

En fonction du flot d'instructions et de données

- Single Instruction Single Data (SISD)
- Single Instruction Multiple Data (SIMD)
- Multiple Instruction Multiple Data (MIMD)



L'Inter Connection Network

Accès à la mémoire

L'ensemble des mécanismes pour le transfert de données entre processeurs ou entre les processeurs et les modules de mémoire.

Espace d'adressage partagé

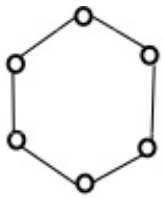
- Uniform Memory Access (UMA)
- Non Uniform Memory Access (NUMA)
  - Cache Coherent NUMA (ccNUMA)
  - noCache Coherent (ncNUMA)

Espace d'adressage distribué (Message Passing Platform)

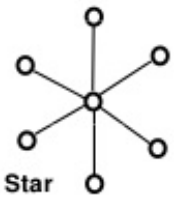
- Chaque processeur a son propre espace d'adressage
- Les échanges sont explicites par envoi/réception.

L'Inter Connection Network

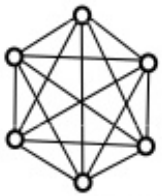
- static pour du point-à-point, tous les éléments sont reliés entre eux
  - * Completed Connected Networks (CCN)
  - * Limited Connected Networks (LCN)
- dynamic en utilisant des switchs
  - * exemple du crossbar



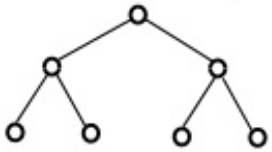
Ring



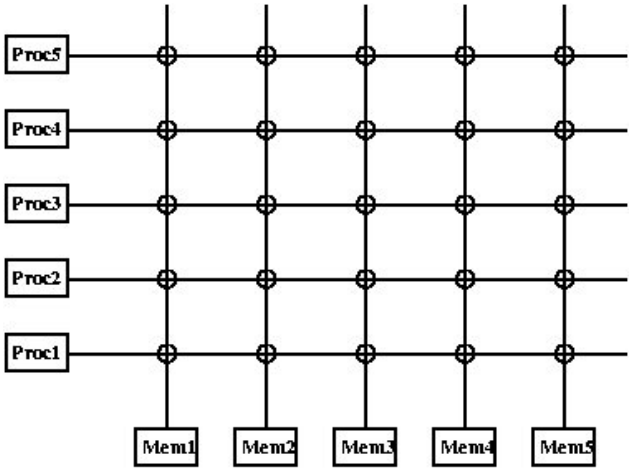
Star



Fully connected



Tree

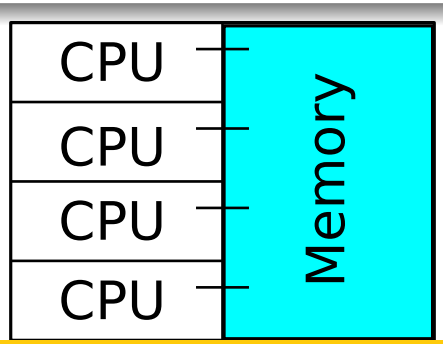


Classification simplifiée

- Architecture à mémoire partagée
- Architecture à mémoire distribuée
- Architecture hybride

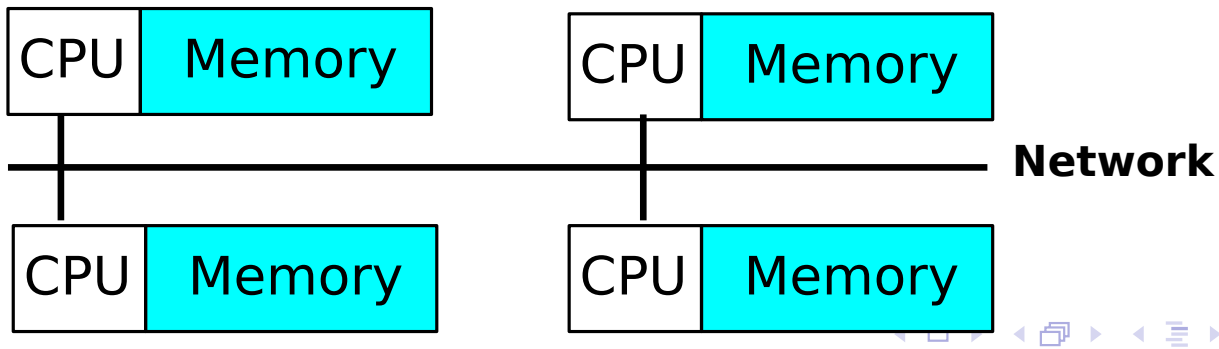
Classification simplifiée

- Architecture à mémoire partagée
  * Tous les processus partagent le même espace mémoire
  * Cela semble facile à programmer car on n'a pas à se soucier de ce que chaque processus peut voir
  * Cependant il faut gérer dans le code les accès concurrents en mémoire ce qui est complexe (synchronisations)
  * En pratique on a de grandes pertes de performances si les données ne sont pas bien gérées, c'est en fait très compliqué
- Architecture à mémoire distribuée
- Architecture hybride



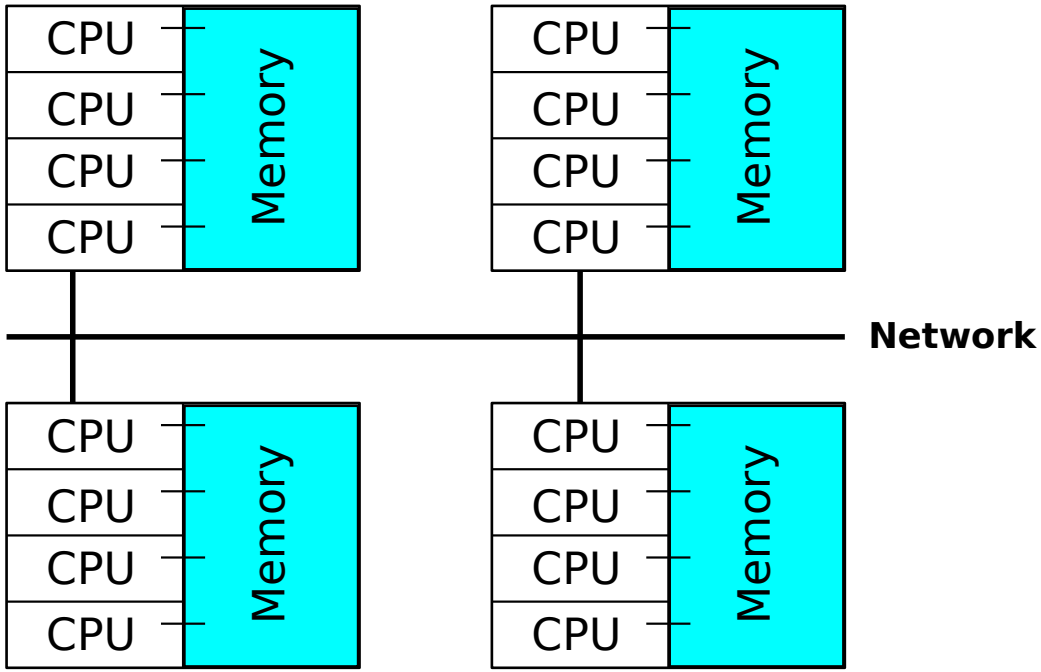
Classification simplifiée

- Architecture à mémoire partagée
- Architecture à mémoire distribuée
  * Chaque processus est indépendant en mémoire
  * Il faut gérer la distribution des données aux différents processus
  * Il faut éventuellement introduire des communications pour échanger des informations utiles entre processus
  * Le travail semble plus important, mais il est en réalité moins complexe dans des programmes de taille importante
- Architecture hybride



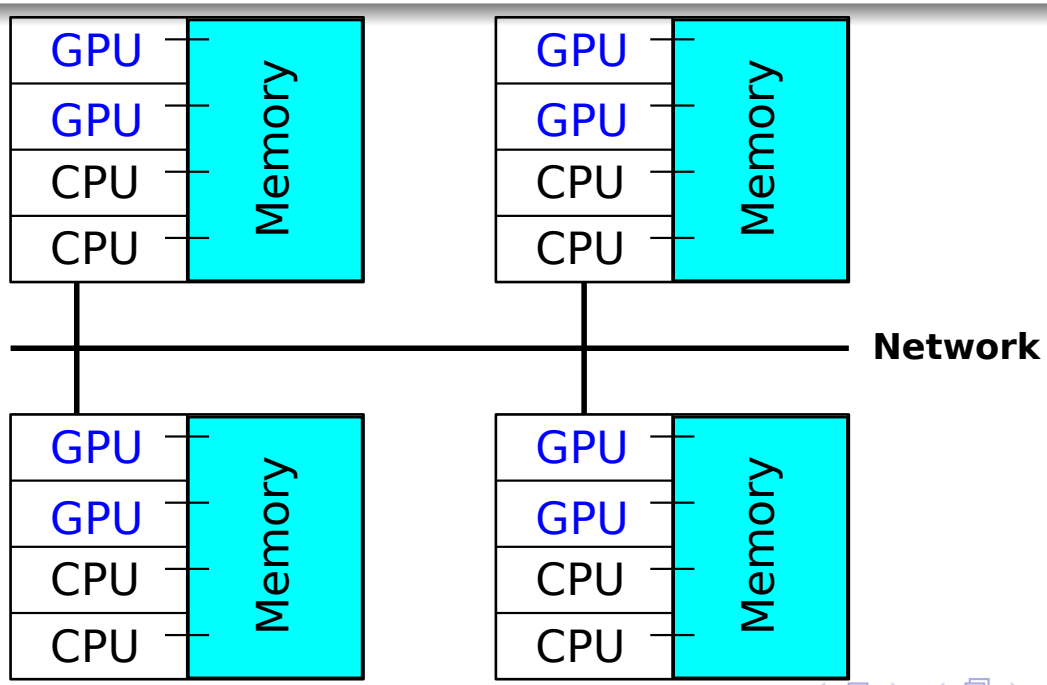
Classification simplifiée

- Architecture à mémoire partagée
- Architecture à mémoire distribuée
- Architecture hybride
  * C'est encore plus compliqué !



Classification simplifiée

- Architecture à mémoire partagée
- Architecture à mémoire distribuée
- Architecture hybride
  * On mélange la programmation sur architecture à mémoire partagée et distribuée !



Le présent et l'avenir c'est le parallélisme !

Comment obtenir plus de puissance ?

- Machines personnelles avec plus de processeurs et de cœurs
- Cluster : ensemble de machines homogènes et localisées
- Massively Parallel Processing(MPP) : Machine spécialisée à mémoire distribuée
- Grid : ensemble de ressources hétérogènes et dé-localisées (peut contenir des clusters)
- Cloud : un parc de machines, d'équipements de réseau et de logiciels maintenu par un fournisseur, que les consommateurs peuvent utiliser en libre service via un réseau informatique
- ...

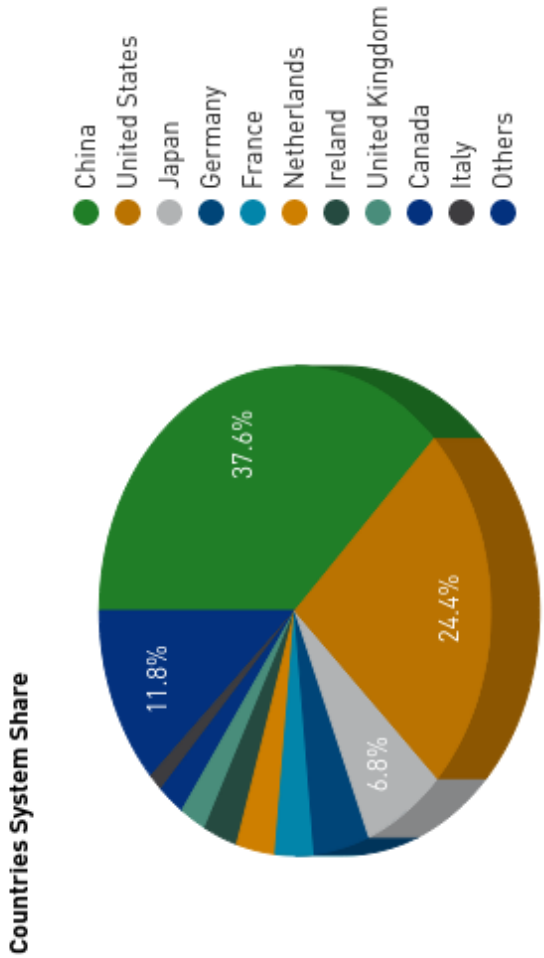
Le Top 500

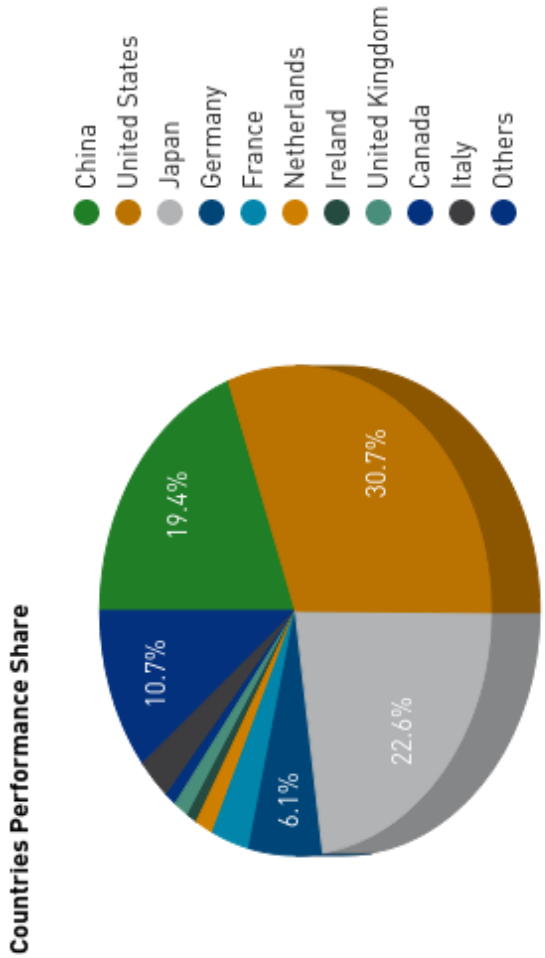
Le classement des 500 premières machines par rapport à leur puissance.

Le classement de Juin 2022

`https://top500.org/`

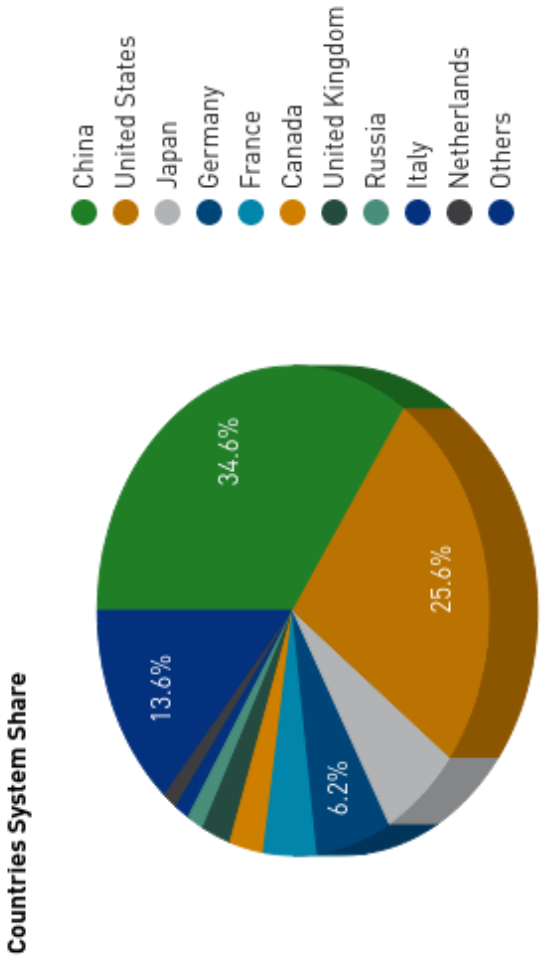
Le Top 500 par pays

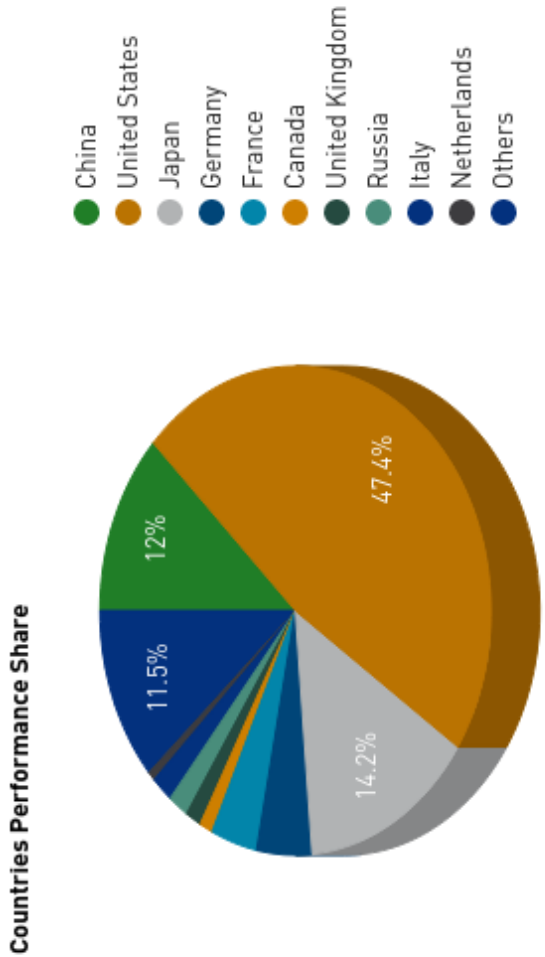




Juin 2021

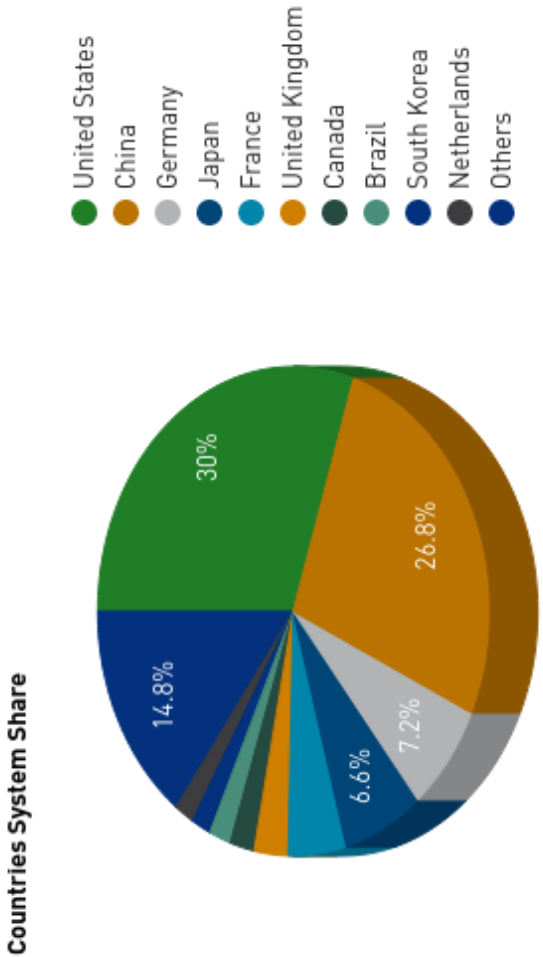
Le Top 500 par pays

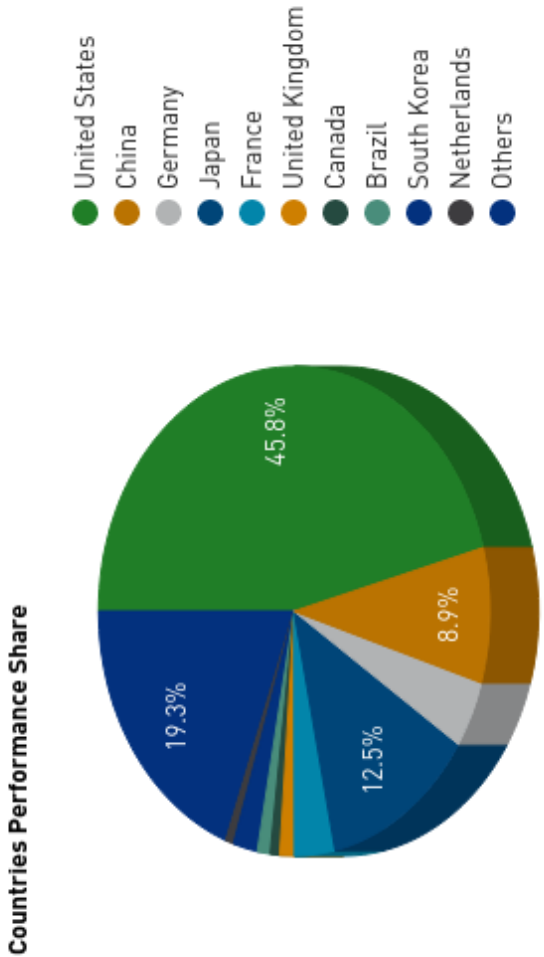




Juin 2022

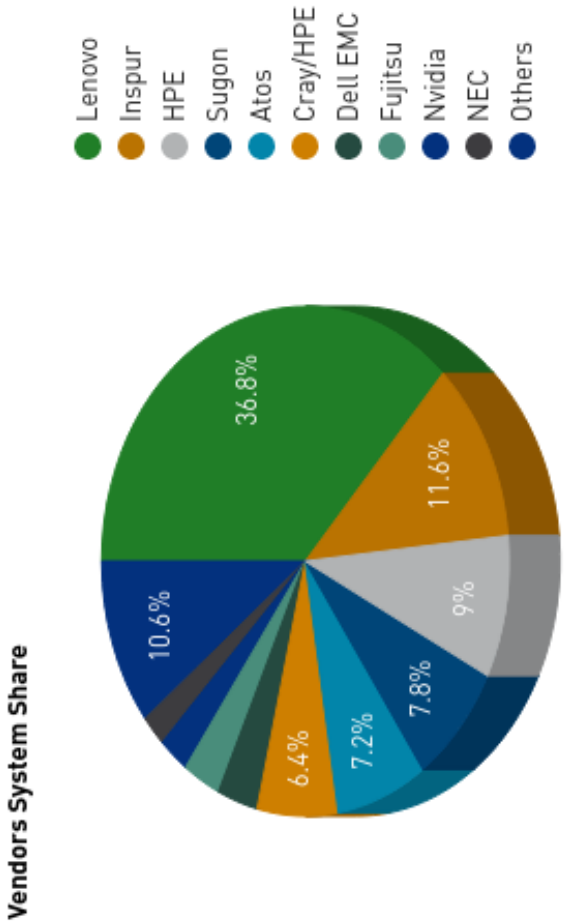
Le Top 500 par pays

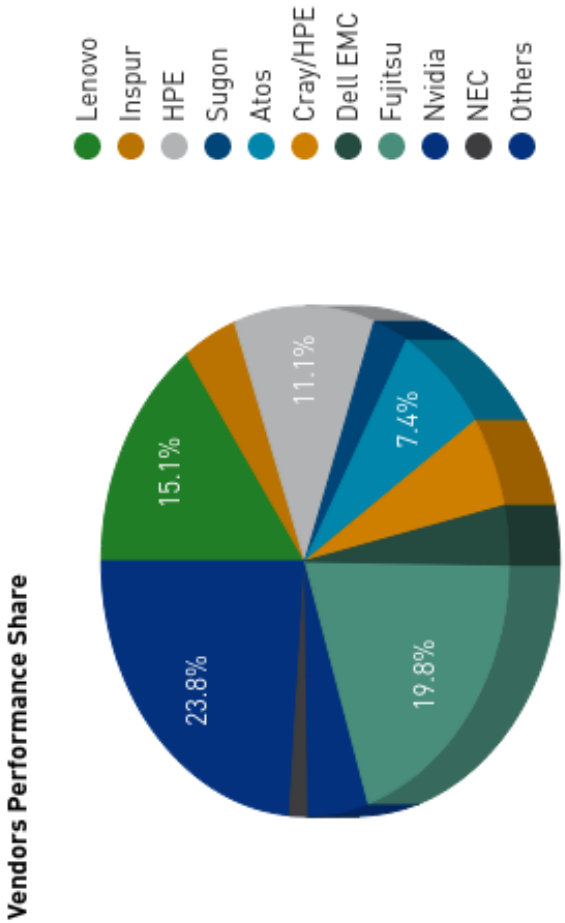




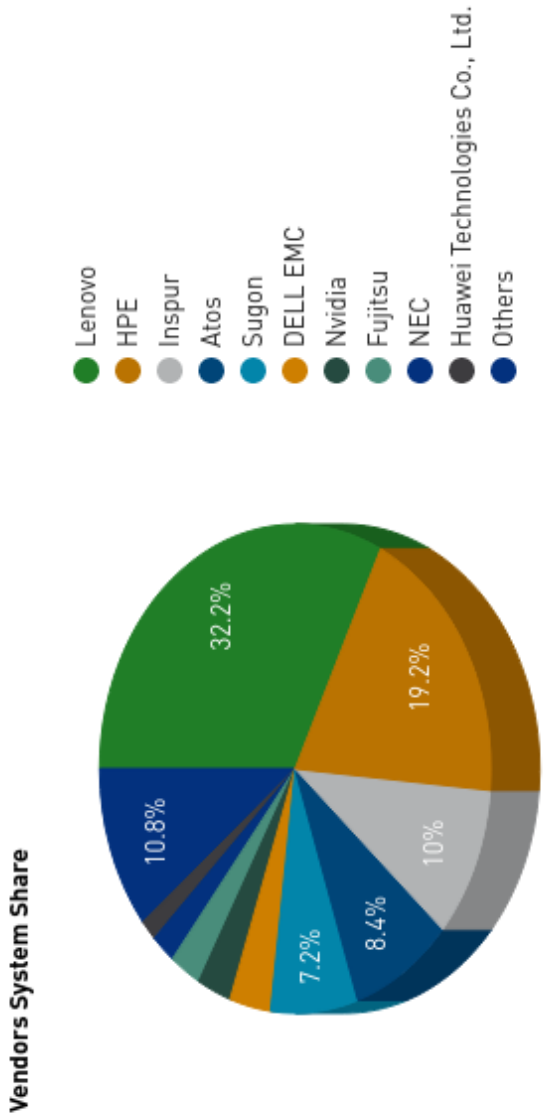
Juin 2023

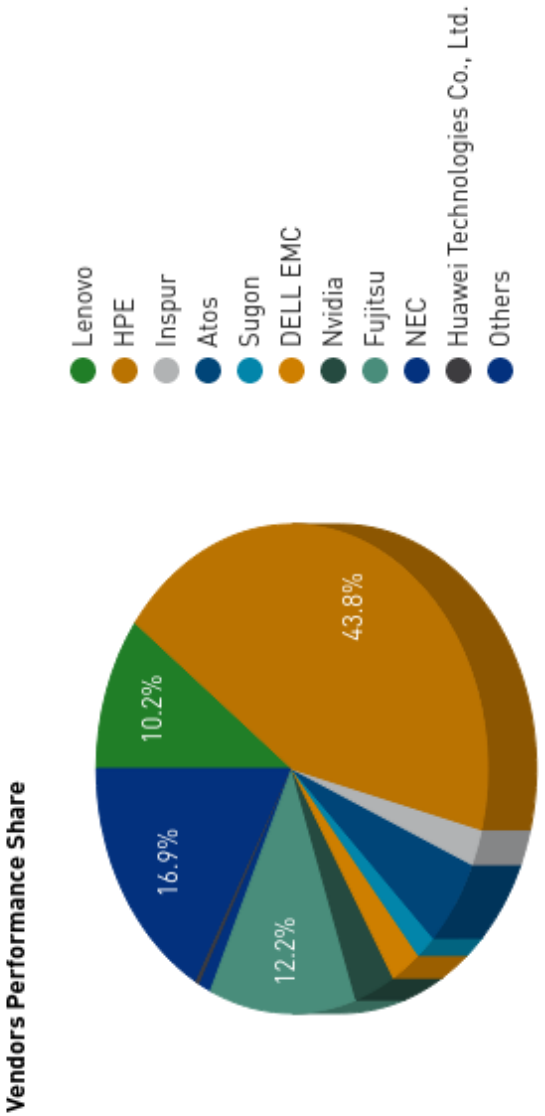
Le Top 500 par vendeur





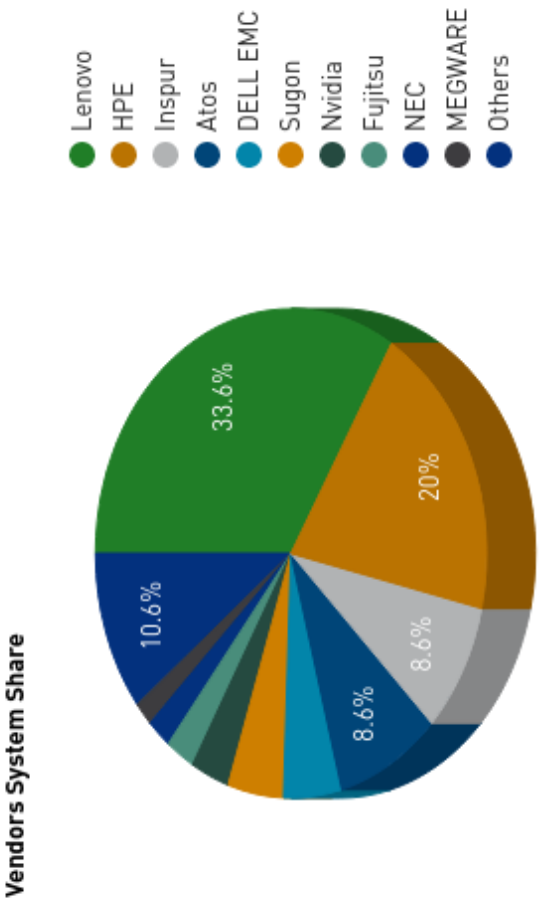
Le Top 500 par vendeur

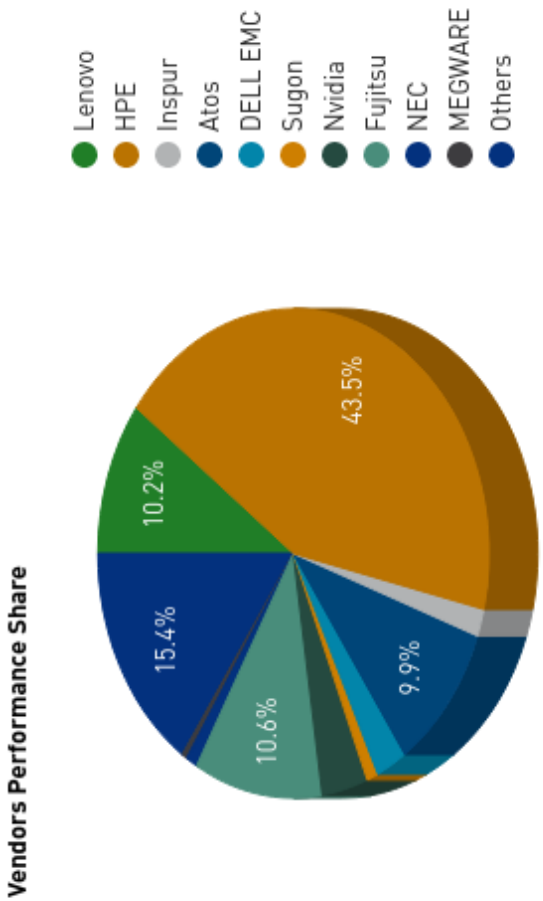




Juin 2022

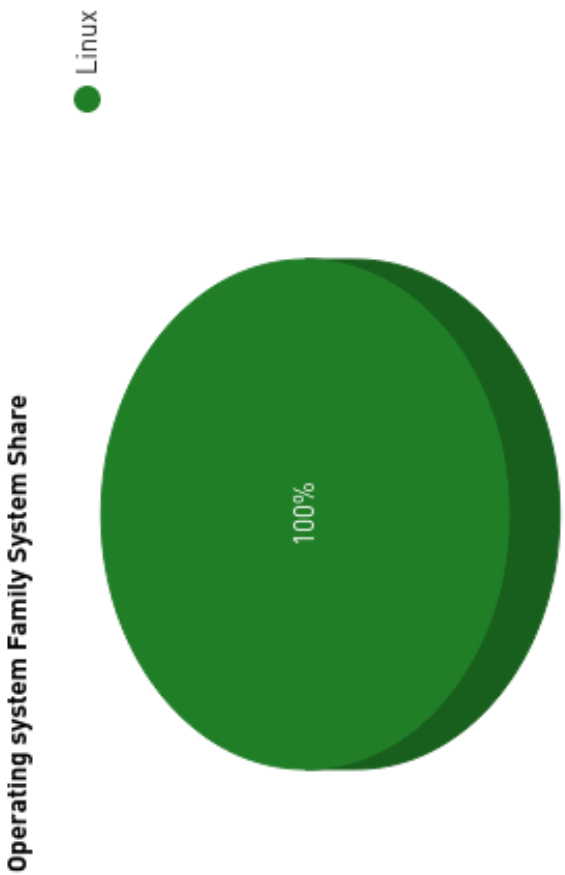
Le Top 500 par vendeur

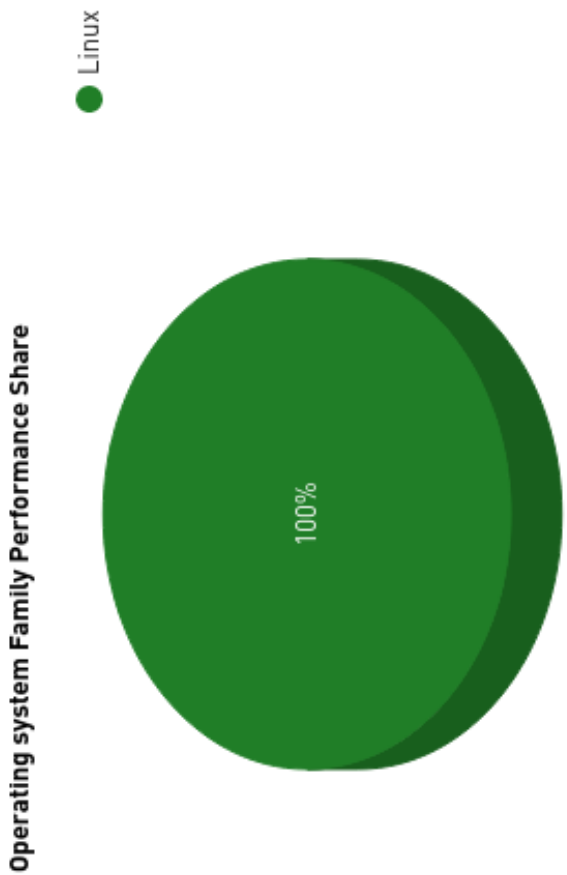




Juin 2023

Le Top 500 par OS





L'algorithme des k-moyennes

Les entrées

- le nombre de classes k
- un ensemble de n objets

Les sorties

- Un ensemble de k classes d'objets qui minimise le critère des moindres carrés

$$E = \sum_{i=1}^{k} \sum_{p \in C_i} d(p, m_i)^2$$

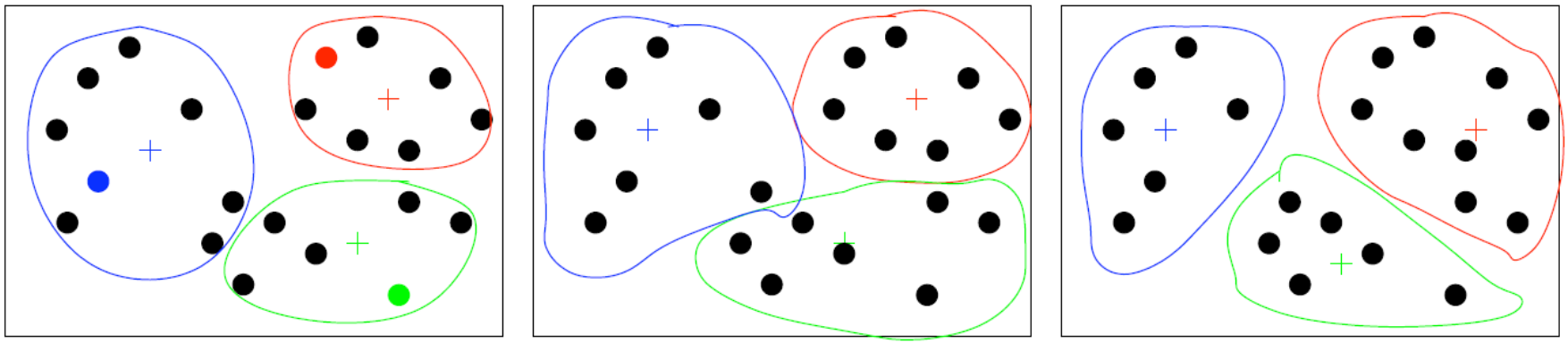
où $d(p, m_i)$ est la distance entre les points p et m_i le centre de la classe C_i.

Une application marketing

Algorithme des k-moyennes

- choisir arbitrairement k objets comme centres des classes
- répéter
  - affecter chaque objet à la classe dont il est le plus similaire au sens de la distance choisie.
  - calculer la valeur moyenne des objets pour chaque classe qui devient le nouveau centre

jusqu'à convergence



Données numériques

Suppositions sur les données

- 6 millions de clients dans la base de données
- un client caractérisé par un tableau de 500 nombres flottants

Objectif

Partitionner la base de données en 60 classes distinctes à partir desquelles les profils types seront construits.

Suppositions sur l'algorithme des $k-$moyennes

- le temps de calcul de la distance entre un profil type et un client nécessite 1000 opérations flottantes
- l'algorithme converge en 200 étapes.

Suppositions sur la machine "séquentielle"

Caractéristiques

- un processeur 1 cœur
  - 1 milliard d'opérations sur des nombres flottants par seconde (1 GFlop/s)
- un disque dur
  - 3,33 millions de nombres flottants par seconde entre la mémoire vive et le disque dur en lecture et écriture
- la mémoire vive
  - 1 milliard de nombres flottants (64bits) en plus du système d'exploitation et de l'application (environ 8 Go)

Suppositions sur la machine "séquentielle"

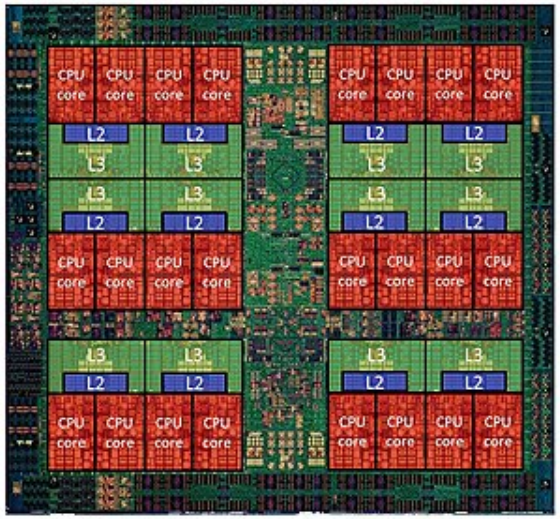
Caractéristiques

- FLOPS (Flop/s) : Nombre d'opérations à virgule flottante par seconde
  - FPU Floating-Point Unit
  - LINPACK comme référence
  - nombre de cœurs $\times$ fréquence $\times$ nombre de cycles pour une opération flottante

Processeurs multi-cœurs

Architecture à mémoire partagée

- Les processeurs actuels ont de 2 à 4 cœurs avec la possibilité d'avoir deux processeurs sur la même carte mère
- Ils partagent la mémoire vive
- Un programme classique (en Java, C, ADA, Ocaml) utilise un seul cœur, il faut une programmation spécifique pour qu'un programme utilise plusieurs cœurs



HPC / IA

Multi-cœurs : L'algorithme des $k-$moyennes ?

Une solution

- ??

Multi-cœurs : L'algorithme des $k-$moyennes ?

Une solution

- Chaque cœur s'occupe d'un sous-ensemble des éléments
- puisqu'on charge les éléments en trois fois depuis le disque, il faudra synchroniser les cœurs avant de faire le chargement 
- un seul cœur peut accéder au disque à la fois 

Grappe de calculs

Machine à mémoire distribuée

- Plutôt que d'avoir une machine avec plusieurs cœurs, on considère maintenant plusieurs machines connectées par un réseau
- Chaque processeur a sa propre mémoire qui ne peut être accédée directement par un autre processeur : on parle de machine à mémoire distribuée
- Un exemple : les grappes de PCs

Grappe : Configuration

Hypothèses

- La grappe est constituée de 8 machines séquentielles (mêmes caractéristiques)
- Le réseau est de type Gigabit Ethernet avec
  - une latence pour l'établissement d'une communication de $4 \times 10^{-5} s$
  - un débit pour une communication point-à-point de 10^7 float/s.
- Les données initiales se trouvent sur un seul disque.

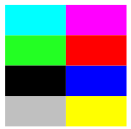
Grappe : Configuration

Problèmes à résoudre

- Machine à mémoire partagée :
  * comment répartir les calculs ?
  * comment limiter ou gérer les accès concurrents aux données
- Machine à mémoire répartie :
  * comment répartir les données ?
  * comment répartir les calculs ?

Grappe : L'algorithme des $k-$moyennes ?

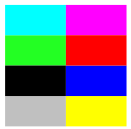
Où placer les données ?

les données clients  les k-centres ©

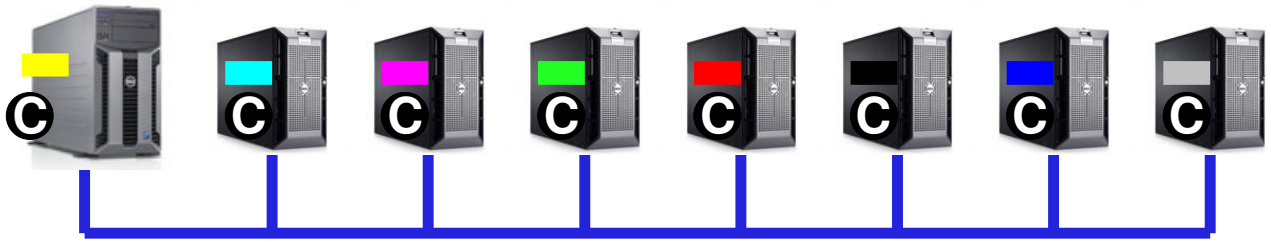
Avant le début du programme

Grappe : L'algorithme des $k-$moyennes ?

Où placer les données ?

les données clients  les k-centres C

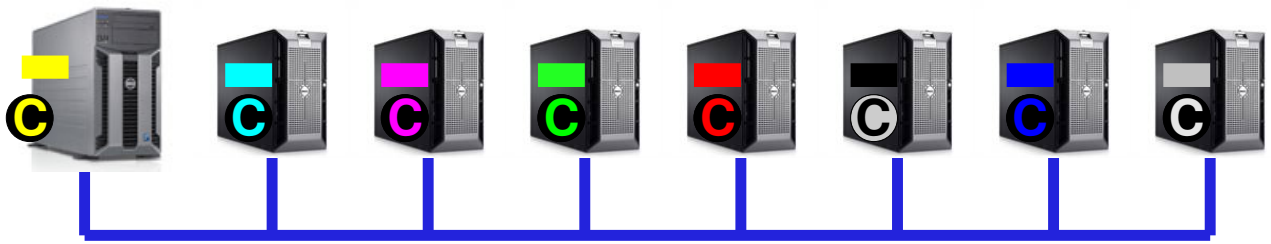
La répartition initiale



Mise à jour des k centres sur la grappe

Mise à jour des k-centres

- chaque processeur fait des moyennes partielles avec les clients qu'il a en mémoire
- on obtient ainsi sur chaque ordinateur un ensemble de 60 centres



- il faut faire ensuite les moyennes de ces moyennes partielles