



AMBASSADE DE FRANCE EN ALLEMAGNE
SERVICE POUR LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE

Berlin, le 3 septembre 2012

Rédacteur : Charles Collet, chargé de mission NTIC et nanotechnologies

Etat des lieux comparatif dans le domaine des supercalculateurs
– Une priorité scientifique de la recherche en Europe –

1. La compétition mondiale dans le domaine des supercalculateurs

Les supercalculateurs sont des ordinateurs conçus pour atteindre les plus hautes performances possibles en termes de vitesse de calcul et de parallélisme notamment, se basant sur les technologies connues au moment de leur conception et dont l'évolution est très rapide.

Les superordinateurs sont utilisés pour toutes les tâches qui nécessitent une très forte puissance de calcul comme les prévisions météorologiques, l'étude du climat, la modélisation moléculaire (calcul des structures et propriétés de composés chimiques...), les simulations physiques (simulations aérodynamiques, calculs de résistance des matériaux, simulation d'explosion nucléaire, étude de la fusion nucléaire...), les mathématiques, la cryptanalyse, etc. Les institutions de recherche civiles et militaires comptent parmi les plus gros utilisateurs de superordinateurs.

Depuis juin 2012, le supercalculateur le plus puissant est attribué aux Etats-Unis et son **Sequoia**. Développé par IBM pour le Département de l'Energie, il atteint aujourd'hui 16,3 Pétaflops, soit 16,3 millions de milliards d'opérations par seconde¹. Pour arriver à ces performances, plusieurs centaines de milliers de processeurs sont nécessaires, IBM ayant même pour la première fois dépassé la barre du million de cœurs de processeurs installés en parallèle. Depuis le classement de mi-2010 et la place de n°1 décroché à l'époque par la Chine avec l'ordinateur "TIANHE-1A", les Etats-Unis avaient annoncé leur intention de rattraper leur retard en présentant le projet "Blue Gene" conçu par IBM, qui promettait d'enregistrer une performance d'au moins 10 Pétaflops. En 2012, ce chiffre est donc atteint et dépasse même les 17 Pétaflops grâce au système Sequoia d'IBM. L'ordinateur japonais "K", installé à l'institut de recherche RIKEN, est ainsi passé à la deuxième place du classement mondial des machines, au sommet duquel il était pourtant arrivé depuis un an et le classement "Top500" de Juin 2011².

Les pays d'Europe se devaient d'investir dans ce domaine s'ils voulaient pouvoir rester en compétition avec les meilleurs supercalculateurs mondiaux situés en Asie et aux Etats-Unis, l'objectif étant pour tous d'arriver à l'"Exascale", soit une capacité de calcul de 1000 Pétaflops. Ainsi "SuperMUC", le nouveau supercalculateur du Centre de calcul Leibniz (LRZ) de l'Académie bavaroise des sciences (Munich) devient en 2012, avec 2,9 Pétaflops et plus de 3 Pétaflops en performance de pointe le quatrième superordinateur le plus rapide au monde et le numéro un en Europe³. SuperMUC fait partie

¹ FLOP : Floating Point Operations Per Second

² Voir : "2e place du Top500 pour le supercalculateur K", BE Japon n°620 - 29/06/2012 - <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/070/70419.htm>

³ Voir : "La Bavière possède le plus puissant supercalculateur d'Europe", BE Allemagne n°576 - 20/06/2012 - <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/070/70356.htm>

du Centre Gauss de Supercomputing (GCS), réseau national de calcul haute performance installé à Garching (Bavière) pour le LRZ, Jülich (Rhénanie du Nord-Westphalie) et Stuttgart (Bade-Wurtemberg). "Curie", le plus puissant supercalculateur français conçu par **BULL** et exploité par les équipes du **Très Grand Centre de Calcul (TGCC) du CEA** à Bruyères-le-Châtel (Essonne), atteint une performance de 1,4 Pétaflop et est mis à la disposition de la communauté scientifique française et européenne. CURIE a été conçu par Bull pour le compte de **GENCI (Grand Equipement National de Calcul Intensif)**, la société qui porte la politique nationale pour la recherche académique dans le domaine du calcul intensif. Avec ces 2 investissements, **la France et l'Allemagne tiennent leurs engagements auprès de l'infrastructure européenne de calcul intensif PRACE (Partnership for Advanced Computing in Europe), dont ils sont les membres fondateurs.** Le temps de calcul des infrastructures est ainsi réparti entre les projets européens de simulation (coordonnés par le PRACE) et des projets d'envergure nationale.

Le classement mondial officiel de référence des 500 supercalculateurs les plus puissants de la planète, "le TOP 500", est publié chaque semestre, en novembre et en juin. Pour réaliser ce classement, les experts internationaux (parmi lesquels Hans Meuer de Nuremberg, pionnier du supercomputing, à l'origine de cet événement) testent la vitesse de l'ordinateur sur la base d'un programme de résolution de systèmes d'équations. Ce programme, appelé High Performance LINPACK Benchmark, teste l'ensemble du système pendant plusieurs heures. Les premiers du classement de fin juin 2012 sont donc les suivants :

Rang mondial	Supercalculateur	Constructeur	Nombre de processeurs	Performance	Organisation & Pays
1	Sequoia	IBM	1 572 864	16,3 PFlops	Lawrence Livermore National Laboratory, DoE, USA
2	K Computer	Fujitsu	705 024	10 PFlops	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS), Japon
3	Mira	IBM	786 432	8,2 PFlops	Argonne National Laboratory, DoE, USA
4	SuperMUC	IBM	147456	2,9 PFlops	Centre de calcul Leibniz (LRZ), Bavière, Allemagne
5	TIANHE-1A	NUDT	186 368	2,6 PFlops	National Supercomputing Center in Tianjin, Chine
6	Jaguar	IBM	298 592	1,9 PFlops	Oak Ridge National Laboratory, DoE, USA
7	Fermi	IBM	163 840	1,7 PFlops	CINECA, Italie
8	JuQUEEN	IBM	131 072	1,4 PFlops	Centre de recherche de Jülich, RNW, Allemagne
9	Curie	BULL	77 184	1,4 PFlops	CEA/TGCC-GENCI, France
10	Nebulae	Dawning	120 640	1,3 PFlops	National Supercomputing Centre in Shenzhen, Chine
17	TERA - 100	BULL	138 368	1,05 PFlops	CEA, France

On comprend ainsi la rapidité d'évolution des technologies et donc du classement mondial des ordinateurs, celui présenté fin 2010 faisant état de :

Rang mondial	Supercalculateur	Pays
1	TIANHE-1A	Chine
2	JAGUAR	USA
3	NEBULAE	Chine
4	TSUBAME	Japon

5	HOPPER	USA
6	TERA-100	France
7	ROADRUNNER	USA
8	KRAKEN	USA
9	JUGENE	Allemagne
10	CIELO	USA

Au niveau du nombre de supercalculateurs par pays, les Etats-Unis arrivent en tête, suivis de la Chine et du trio Allemagne/France/Japon, comme le montre le tableau ci-dessous :

Rang mondial	Pays	Nombre de supercalculateurs
1	USA	274
2	Chine	41
3	France	27
3	Allemagne	27
3	Japon	27
4	Royaume-Uni	25
5	Russie	11

2. Les supercalculateurs en Allemagne

Le "**Gauss Center for Supercomputing**" (GCS), fondé le en avril 2007 sous l'impulsion de la Ministre de la recherche allemande Annette Schavan, représente ainsi l'infrastructure réunissant les compétences des trois plus grands centres informatiques allemands, à savoir le **FZJ** (Jülich), le **HLRS** (Stuttgart) et le **LRZ** (Garching - Bavière). Il est financé par le Ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche (BMBWF) à hauteur de 30 millions d'euros par an, en collaboration avec les Ministères de la recherche du Bade-Wurtemberg, de Bavière et de Rhénanie du Nord-Westphalie ainsi qu'avec la communauté des centres de recherche Helmholtz et Leibniz.

- au Centre de calcul Leibniz (LRZ) de Garching

"SuperMUC", le supercalculateur du Centre de calcul Leibniz (LRZ) à Garching (Bavière) devient en septembre 2012 le quatrième superordinateur le plus rapide au monde et le numéro un en Europe. Avec près de 150.000 coeurs de traitement et près de 3 Petaflops en pointe, IBM et le LRZ ont annoncé l'ouverture de ce centre en Bavière qui utilise un système innovant de refroidissement à l'eau chaude permettant la fixation de nouvelles normes en matière d'efficacité énergétique, problème majeur de ces machines ultra-gourmandes en électricité. Le résultat obtenu est le fruit d'un long projet coopératif entre IBM et le LRZ, ce dernier voulant se doter d'un équipement ultra-performant et écologique, et IBM cherchant le moyen technologique d'optimiser le refroidissement de ses serveurs et supercalculateurs. C'est la solution du refroidissement par "fluide calorporteur" qui fut retenue par les ingénieurs et chercheurs d'IBM. Ce système permet de tenir la charge de l'ensemble des coeurs de traitement tout en consommant 40% d'énergie en moins comparativement à un système basé sur un refroidissement à air. L'économie pour le LRZ représenterait près d'un million d'euros chaque année. Le LRZ note également que la chaleur en sortie du système, qui peut monter jusqu'à 70°C, sera également utilisée pour chauffer les espaces de travail et les bâtiments à proximité, ce qui réduira d'autant la facture énergétique du système.

- au Centre de Calcul de Jülich (FZJ)

Le dernier supercalculateur du *Forschungszentrum Jülich* (JuQUEEN, également construit par IBM et succédant à JUGENE) passe avec 1,4 Pflops à la 8^{ème} place du classement mondial 2012 des supercalculateurs. Au même moment, le FZJ et NVIDIA, leader américain des cartes graphiques, annoncent leur collaboration visant l'amélioration des simulations scientifiques via le développement de processeurs graphiques optimisés (GPU). Leur alliance a été annoncée fin juin 2012 à Hambourg lors du Salon européen des supercalculateurs (ISC'12), par la création du laboratoire d'application NVIDIA « NVIDIA Application Lab » au sein du centre de recherche. En plus de l'imagerie cérébrale, les experts de NVIDIA et du Centre de Calcul de Jülich viseront également à améliorer des

applications de simulation graphique dans d'autres domaines tels que l'astrophysique, la physique des particules et les sciences des matériaux. L'utilisation de processeurs graphiques optimisés permettra une accélération significative du traitement de données par les superordinateurs, ceux-ci étant basés sur des tâches hautement parallélisables tels que les calculs 3D, qui demandent en temps normal beaucoup de puissance. Afin d'améliorer leur performance pour les calculs scientifiques, des modèles de programmation spécifiques tels que les CUDA (Compute Unified Device Architecture) seront développés, et permettront d'exécuter des parties de programme directement sur le GPU.

- au Centre de Calcul Haute Performance de Stuttgart (HLRS)

Le système informatique HERMIT du Centre de Calcul Haute Performance de Stuttgart (HLRS), le troisième site du Centre Gauss de Supercomputing (GCS), avait également atteint en novembre 2011 une place de choix dans le classement des supercalculateurs. Au cours de la conférence semestrielle, le système informatique HERMIT de Stuttgart avait été classé 12e dans le classement général, ce qui en faisait l'ordinateur universitaire "civil" le plus rapide.

3. Les supercalculateurs en France

Dans le même classement de référence Top-500, la France arrive en 9^{ème} position mondiale grâce à l'ordinateur CURIE développé par BULL et le CEA. Le supercalculateur, qui succède au TERA-100 (1,2 Pétaflops) atteint une puissance théorique de 1,4 Pétaflops depuis mars 2012. Sa puissance de calcul est destinée au programme de simulation du CEA visant à garantir la fiabilité des armes de dissuasion nucléaire, à la conception des centrales nucléaires du futur et des grandes infrastructures liées au Cloud Computing (Informatique dans les nuages).

Depuis 2007, la France a adopté une politique d'ouverture en matière de calcul intensif en créant le **GENCI**. Il s'agit d'une société civile détenue à hauteur de 49 % par l'Etat (représenté par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche), 20 % par le CEA, 20 % par le CNRS, 10 % par les Universités et 1% par l'INRIA. Elle a pour mission de mettre en place et assurer la coordination des principaux équipements et de promouvoir l'organisation d'un espace européen du calcul intensif. Les équipements sont ainsi ouverts à toutes les communautés scientifiques intéressées, académiques ou industrielles, nationales, européennes ou internationales⁴.

4. Les projets coopératifs en Europe

Créé en avril 2010 sous la forme d'une association internationale à but non lucratif, **PRACE** (Partenariat pour le calcul de haute performance) est un projet qui regroupe 24 pays européens, dont la France et l'Allemagne. Son but est de promouvoir les infrastructures distribuées de calcul intensif. PRACE dispose aujourd'hui de trois sites haute performance : JuQUEEN installé à Jülich et ouvert à hauteur de 30 % dans le cadre de PRACE ; CURIE, installée au Très Grand Centre de Calcul du CEA à Bruyères-le-Châtel et mis à la disposition de PRACE à hauteur de 80 % depuis janvier 2011 ; et HERMIT, installée à HLRS (Stuttgart) et ouvert à hauteur de 30 % dans le cadre de PRACE. L'initiative comprendra à terme 4 centres et sera renforcée par des centres nationaux et régionaux avec lesquels des collaborations seront établies et soutenues par des technologies de grille (ou mise en réseau informatique intelligent, "Smart Grid", afin de mutualiser des performances). Le projet PRACE est financé par le 7^{ème} PCRD et publie régulièrement les résultats de ses appels à projets⁵. Le 5e "Project Access Call" de PRACE a été fermé le 30 mai 2012. Le 6 juin 2012, le Conseil de gestion de PRACE, qui comprend aujourd'hui 24 pays membres, a désigné Catherine Rivière, PDG de GENCI, comme son nouveau président pour deux ans.

Un accord de coopération de recherche sur les supercalculateurs a également été signé entre **l'Allemagne et la Russie**, en marge de la conférence de clôture de l'année germano-russe 2011-2012 pour l'enseignement, la science et l'innovation⁶. Du côté allemand sont associés les Centres Helmholtz de recherche en physique fondamentale DESY (synchrotron allemand d'électrons – Hambourg) et XFEL, ainsi que le Centre de recherche de Jülich. Du côté russe, cette coopération

⁴ Voir "Inauguration du supercalculateur CURIE", communiqué du CEA – 12.07.2012 – http://www.cea.fr/le_cea/actualites/inauguration_du_supercalculateur_curie-85101

⁵ A consulter sur le site du GENCI : <http://www.genci.fr/spip.php?article167>

⁶ "Lancement de l'année germano-russe 2011-2012 pour l'enseignement, la science et l'innovation", BE Allemagne 528 – 01/06/2011 – <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/66909.htm>

implique l'Institut Kurchatov de Moscou ainsi que l'entreprise T-Platform. Les thématiques de recherche communes concernent plus particulièrement l'accès, la gestion, le stockage et l'analyse de grandes quantités de données. En particulier, les implémentations open source mises à disposition par T-Platform doivent permettre d'augmenter à long terme les performances des applications en calcul des grappes de serveurs « JUROPA » de Jülich.

Annexe 1 : les supercalculateurs et centres en France et en Allemagne

En Allemagne :

Institut/Ville	Description du/des Supercalculateurs	Caractéristiques techniques
Stuttgart (HLRS) http://www.hlrs.de	Membre du centre GAUSS avec HERMIT. Autres ordinateurs mis à disposition au HLRS : Nec Asama, Nec Linux cluster, Cray XD1, Cray Opteron cluster, HP zx6000 cluster <u>Partenaires</u> : T-Systems Networks, Porsche Networks, DaimlerChrysler Networks	HERMIT : 113472 processeurs, 1 Pétaflop
Jülich (FZJ) http://www.fz-juelich.de/portal Institut central pour les mathématiques appliquées (ZAM) http://www.zam.de Institut informatique John von Neumann de Jülich (NIC) http://www.nic.de	Membre de la communauté Helmholtz des centres de recherche allemands Jülicher BlueGene/L – Superrechner (JuQUEEN et JUGENE), mise en service depuis l'automne 2007 NIC membre du centre GAUSS	JuQUEEN : 131 072 processeurs, 1,4 Pétaflops JUGENE Blue Gene/P 65000 processeurs, 294 912 cœurs Mémoire : 220Téraflopes
Leibniz Rechenzentrum (LRZ) http://www.lrz-muenchen.de	Membre du centre GAUSS Höchstleistungszentrum Bayern II (HLRB II) Mis à disposition des universités bavaroises	SuperMUC : 147456 processeurs, 2,9 Pétaflops SGI Altix 4700 9728 cœurs Vitesse : 62,3 Téraflopes mémoire : 39 Térabytes
Scientific Supercomputing Center (SCC) Karlsruhe http://www.rz.uni-karlsruhe.de/ssck/ssck.php	Calculateur universitaire parallèle, calculateur vectoriel parallèle	HP XC4000 750 France (4 cœurs chacun) vitesse : 15,6 Téraflopes mémoire : 12 Térabytes HP XC6000 vitesse : 1,9 Téraflopes mémoire : 2Térabytes NEC SX-8R vitesse : 563,2 Gigaflopes mémoire : 256 Gigabytes

<p>Norddeutscher Verbund für Hoch- und Höchstrechenleistung http://www.hlrn.de/ ZIB (Berlin) http://www.zib.de/ RRZN (Hannovre) http://www.rrzn.uni-hannover.de/</p>	<p>Conception commune des Länder de Berlin, Brême, Hambourg, Basse-Saxe, Mecklembourg-Poméranie occidentale et Schleswig-Holstein. Le supercalculateur du HLRN relie le centre Konrad Zuse de recherche sur les technologies de l'information de Berlin (ZIB) au centre régional de calcul de Hanovre (RRZN).</p>	<p>IBM pSeries690 768 processeurs 24 nœuds mémoire : 2 Térabytes vitesse : 166 Gigaflops</p>
--	---	--

En France :

<p>CNRS</p>	<p>Supercalculateur fabriqué par IBM constitué de deux systèmes : 10 armoires BlueGene/P et huit rack Power 6. Le premier permet l'interconnexion d'un grand nombre de processeurs travaillant simultanément et le deuxième assure le partage d'une grosse mémoire par nombre réduit de processeurs.</p>	<p>10 armoires BlueGene/P et 8 racks Power 6 Vitesse : 207 Téraflops (Juillet 2008)</p>
<p>Direction des Applications Militaires, CEA</p>	<p>Curie: supercalculateur français conçu et fabriqué par Bull, mis en service fin 2011 et devenu l'un des plus puissants supercalculateurs d'Europe et le 9^{ème} au monde.</p> <p>Il succède au supercalculateur Tera-100 qui atteint une puissance théorique de 1,25 Pétaflop depuis mai 2009.</p>	<p>CURIE : 77 184 processeurs, 1.4 Pétaflops</p> <p>TERA-100, Bull Mémoire : 300 Téaoctets Vitesse : 1,25 Pétaflops 4300 serveurs 140 000 cœurs Intel Xeon 20 Pétaoctets d'espace de stockage Débit de 500 Go/sec</p>
<p>CCRT-CEA Centre de Calcul Recherche et Technologie</p>	<p>Centre de calcul se composant de plate-formes vectorielles (Mercure) et scalaires (Platine, Tantale) afin de répondre à l'ensemble des besoins des utilisateurs. Les plate-formes vectorielles sont hébergées par un système de stockage "acier". Sa puissance de calcul dépasse aujourd'hui 50 Téraflops par association des supercalculateurs.</p>	<p>PLATINE, Bull 7680 processeurs Mémoire : 23,04 Térabytes Vitesse : 42,1 Téraflops MERCURE, NEC Vitesse : 2 Téraflops TANTALE, HP Vitesse : 2,4 Tflops</p>
<p>IDRIS (CNRS) http://www.idris.fr/</p>	<p>L'Institut du Développement et des Ressources en Informatique Scientifique fondé en novembre 1993, est le centre majeur du CNRS pour le calcul numérique intensif de très haute performance.</p>	<p>NEC SX-8 Vitesse : 1,28 Téraflopp Mémoire : 640 Gigabytes</p> <p>IBM Power4 1024 processeurs Vitesse : 6,55 Téraflopp Mémoire : 3,136 Térabytes</p>
<p>GENCI (Grand Equipement National de Calcul Intensif) http://www.genci.fr/</p>	<p>Le Grand Equipement National de Calcul Intensif a pour mission de mettre en place et assurer la coordination des principaux équipements et de promouvoir l'organisation d'un espace européen du calcul intensif.</p>	

Annexe 2 : Les acteurs de l'industrie

<p>IBM http://www.ibm.com/fr</p>	<p>International Business Machines Corporation (IBM) (Armonk, NY, USA) fabrique et vend le matériel de pointe, les logiciels, les services d'infrastructure et les services de conseil.</p>	<p>Exemples : Sequoia, SuperMUC, JUGENE, JUMP (FZJ), IBM pSeries690 (ZIB), IBM Power6 System (DKRZ), IBM Power4 (IDRIS)</p>
<p>HP http://www.hp.com</p>	<p>L'une des plus grandes sociétés de technologie de l'information au monde. En 2002, Hewlett-Packard a fusionné avec Compaq, une décision controversée prévue pour permettre à l'entreprise de devenir le chef de fil du calcul personnel.</p>	<p>Exemples : HP XC4000, HP XC6000 (SSC)</p>
<p>Dell http://www.dell.com</p>	<p>Compagnie américaine de matériel hardware. Il développe, fabrique un éventail de PC, serveurs, dispositifs de stockage de données, commutateurs de réseau, aides numériques personnels (PDAs), logiciel, périphériques.</p>	
<p>NEC http://www.nec.com</p>	<p>Compagnie multinationale de technologies de l'information siégeant au Japon. NEC fournit des solutions en matière de technologies (IT) et de réseau de l'information aux entreprises, aux fournisseurs de services de communications et au gouvernement</p>	<p>Exemples : NEC SX-8 (HLRS) NEC SX-6 (Earth simulator)</p>
<p>SGI http://www.sgi.com</p>	<p>Silicon Graphics, Inc. fournit des serveurs, supercalculateurs, cartes graphiques et clusters</p>	<p>Exemple : SGI Altix 4700 (LRZ Garching)</p>
<p>Cray http://www.cray.com</p>	<p>Fabricant de supercalculateur basé à Seattle (Washington). Cray Inc. a été constitué en 2000 après le rachat par Tera Computer Company de la branche recherche de SGI</p>	
<p>Bull http://www.bull.com</p>	<p>Fournisseur français de supercalculateurs, serveurs, systèmes de stockage d'information, logiciels...</p>	<p>Curie, Tera-100</p>
<p>Intel www.intel.com</p>	<p>Multinationale américaine leader sur le marché des microprocesseurs et circuits intégrés spécialisés</p>	
<p>AMD, Advanced Micro Devices, Inc. http://www.amd.com</p>	<p>Fabricant américain de circuits intégrés fondé en 1969, deuxième plus grand fournisseur de processeurs de x86-compatible, principal fournisseur de mémoire instantanée non-volatile/</p>	