



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ambassade de France au Japon

Service pour la Science et la Technologie

Rapport d'Ambassade

Calcul haute performance au Japon

Avril 2016

Version 1.0

Rédacteur :

Yan-Tarō Clochard

Chargé de mission, Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC)

Service pour la Science et la Technologie (SST)

Relecteur :

Evelyne Etchebéhère

Attachée, Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC)

Service pour la Science et la Technologie (SST)



**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

Résumé

Le Calcul haute performance (en anglais HPC : High Performance Computing), un levier de coopération stratégique et de création de valeur pour la France et le Japon

Depuis une trentaine d'années, la simulation joue un rôle clé dans la majorité des domaines scientifiques et secteurs industriels. Plus récemment, la multiplication des applications liées à l'analyse des données massives (*Big Data*) a fait apparaître également un extraordinaire potentiel de création de valeur à exploiter. Pour ces deux grandes applications, la maîtrise des technologies liées au Calcul haute performance est désormais critique. Les acteurs académiques, industriels, ou gouvernementaux qui auront investi dans ce domaine disposeront d'un avantage compétitif indéniable. Conscients de ces enjeux, plusieurs pays se sont lancés dans la course vers la prochaine génération de super-ordinateurs, l'échelle exaflopique¹. Les Etats-Unis, la Chine, le Japon et la France sont les seuls pays capables de maîtriser l'ensemble de la chaîne de valeur pour les technologies de Calcul haute performance.

Le Japon, avec des investissements considérables aussi bien en termes d'infrastructures que de recherche, souhaite rester compétitif face à la pression des Etats-Unis et de la Chine. L'archipel a décidé en 2014 d'initier le développement d'un superordinateur exaflopique, hébergé et opéré par le RIKEN, dans le cadre de sa stratégie *Flagship 2020* (programme *post-K computer*), afin de regagner le leadership mondial dans ce secteur.

Le Japon est un partenaire à privilégier pour la France du fait de la qualité de sa recherche académique (RIKEN, Université de Tsukuba, Université de Tokyo, Tokyo Institute of Technology..) et industrielle (Fujitsu, NEC, Hitachi, Pezy, Exascaler), ainsi que de l'excellence de ses infrastructures (le Japon possède 37 supercalculateurs au Top500 de novembre 2015² contre 18 pour la France et a mis en place un réseau national de supercalculateurs). Le Japon est également pionnier dans son approche du design de ses systèmes futurs en partenariat avec les parties prenantes utilisatrices (*co-design*) et son souhait de réaliser, grâce au HPC, des avancées scientifiques majeures pour la société (modélisation du génome, simulations de tremblements de terre, dynamique moléculaire pour les médicaments).

De plus, les deux pays partagent une approche commune sur le Calcul haute performance, en s'appuyant sur les partenariats public-privé, côté japonais avec la collaboration Fujitsu/RIKEN pour la conception du K computer et du futur supercalculateur exaflopique japonais et côté français avec Atos-Bull/CEA, ainsi que sur une forte volonté d'ouvrir les infrastructures nationales de Calcul haute performance au plus grand nombre d'acteurs (industriels, académiques, PME, etc.).

Si le Japon est traditionnellement proche des Etats-Unis (le partenariat MEXT-DoE est une référence pour la collaboration internationale du Japon dans le domaine), les convergences dans les choix technologiques et stratégiques entre la France et le Japon ouvrent la voie à une collaboration franco-japonaise à plus grande échelle. Des coopérations scientifiques existent entre les deux pays depuis une dizaine d'années (collaborations sur le *Earth simulator*, projets FP3C³ et MYX⁴ sur les

¹ Un milliard de milliards d'opérations en virgule flottante par seconde, soit une amélioration d'un facteur 30 des capacités actuelles maximales de calcul.

² Le Top500 est le classement, publié deux fois par an, des supercalculateurs les plus puissants dans le monde : <http://top500.org/>

³ <http://www.systematic-paris-region.org/fr/projets/fp3c>

⁴ <http://www.agence-nationale-recherche.fr/fileadmin/aap/2015/selection/sppexa-selection-2015.pdf>



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

environnements de programmation) et ont été renforcées avec la signature en 2014 du partenariat de recherche entre la Maison de la Simulation (CNRS, Inria, CEA et Université Paris-Saclay) et le RIKEN-AICS, à l'occasion du séminaire organisé par l'Ambassade de France au Japon⁵.

La prochaine étape consisterait à encourager des collaborations bilatérales impliquant également des acteurs privés, pour que la France et le Japon allient leurs forces afin d'assurer une compétitivité technologique et économique sur la scène internationale.

Plus particulièrement, les collaborations publiques et privées entre les deux pays gagneraient à être développées sur les thématiques suivantes, critiques pour relever le défi de l'échelle exaflopique.

D'une part au niveau des choix technologiques :

- Architecture matérielle de calcul, communication et mémorisation (processeurs, mémoire, interconnexions)
- Efficacité énergétique des calculateurs et des infrastructures associées, notamment sur les systèmes de refroidissement où le Japon fait figure de pionnier (travaux du Tokyo Institute of Technology, accélérateurs PEZY, systèmes de refroidissement Exascaler)
- Logiciels applicatifs optimisés, notamment pour le traitement des *Big Data*
- Environnements de programmation, paradigmes de programmation, mathématiques appliqués (notamment algèbre linéaire), langages

Et d'autre part sur les sujets plus transversaux pour le développement de l'utilisation du HPC :

- Approche en co-design et création d'équipes pluridisciplinaires
- Infrastructures distribuées et réseaux de communication (sur le modèle du HPCI)
- Mise en réseau des communautés d'utilisateurs HPC, initiation et formations

⁵ <http://www.ambafrance-jp.org/Conference-franco-japonaise-Calcul>



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Table des matières

Résumé.....	2
Introduction	5
I. Défis liés au développement du Calcul haute performance en vue de l'échelle exaflopique.....	7
1. Défis actuels du HPC	7
2. Domaines d'application en développement pour le Calcul haute performance	10
3. Vers les futurs supercalculateurs exaflopiques.....	12
II. Panorama japonais sur le Calcul haute performance.....	14
1. Stratégie gouvernementale à l'horizon exaflopique.....	15
a. Historique et soutien politique.....	15
b. Orientations stratégiques et financement	16
c. Programme « Flagship 2020 » ou « post K »	19
2. Les acteurs du Calcul haute performance au Japon	21
a. Acteurs industriels japonais.....	21
b. Acteurs académiques	31
3. Projets phares & coopérations entre mondes industriels et académiques	43
a. K computer	43
b. Infrastructure nationale de calcul haute performance au Japon (HPCI)	47
c. Le prochain défi du HPC au Japon : un supercalculateur exaflopique (projet « Flagship 2020 »).....	51
III. Panorama européen – panorama français.....	61
1. Contexte européen	61
a. Stratégie européenne	61
2. Contexte de la France	65
a. Stratégie française	65
b. Equipements pour le Calcul haute performance et programmes majeurs en France.....	67
c. Différentes initiatives fédératrices autour du Calcul haute performance.....	72
d. Les acteurs non-académiques du HPC français	77
IV. Collaborations internationales du Japon	82
1. Partenariat US / Japon	84
2. Coopération à l'échelle européenne et française	85
a. Coopération Europe-Japon	85
b. La collaboration S&T franco-japonaise	86
3. Coopérations multilatérales.....	89
a. Joint Laboratory for Extreme Scale Computing (JLESC)	89
b. Projets G8	89
Conclusions et futures actions	91
Liste des annexes	93



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Introduction

Le Calcul haute performance (en anglais *HPC : High Performance Computing*) est un domaine clé pour la compétitivité d'un pays, que ce soit en termes d'excellence scientifique ou de développement économique.

La simulation joue un rôle décisif dans différents domaines scientifiques, comme la modélisation moléculaire (calcul des structures et des propriétés des composés chimiques, etc.), ou de phénomènes physiques (aérodynamisme, combustion, résistance des matériaux, fusion nucléaire, etc.), la recherche fondamentale (physique des particules, cosmologie), mais également sur des domaines à fort impact sociétal, dont celui de l'environnement (simulation de l'évolution du climat, modélisation de catastrophes naturelles), ou de la santé (analyse génomique pour la thérapie génique, analyse protéomique pour la conception de nouveaux médicaments, modélisation du cerveau). Pour ce dernier secteur, la simulation devient incontournable avec l'augmentation des restrictions légales limitant les expérimentations *in vivo* (par exemple en biologie ou en médecine). Il s'agit également d'un outil incontournable pour les développements industriels dans différents secteurs, comme l'aéronautique, les transports, l'énergie, la conception de nouveaux matériaux, la sécurité, le multimédia, la finance et l'assurance, etc.

Par ailleurs, le Calcul haute performance ouvre la voie à de nouvelles applications en exploitant la science des données massives (*Big Data*) qui révolutionne le domaine industriel et constitue un extraordinaire potentiel de création de valeur (7 milliards de dollars en 2016 d'après IDC⁶). Enfin, les progrès réalisés pour développer le calcul intensif sont à l'origine des améliorations progressives de l'industrie informatique grand public. Les entreprises, les pays et les diverses organisations qui se seront préparés en investissant dans les centres de calcul et les superordinateurs bénéficieront donc d'un avantage économique indéniable.

Conscients de ces enjeux, plusieurs pays se sont lancés dans la course vers la prochaine génération de superordinateurs, l'échelle exaflopique : 1 milliard de milliards d'opérations en virgule flottante par seconde, ce qui correspond à un changement d'échelle d'un facteur 30 environ par rapport aux capacités maximales actuelles de calcul.

Le Japon, est très fortement impliqué dans cette course à une simulation informatique aux performances extrêmes, que ce soit en termes d'infrastructures que de recherche. L'archipel désire rester compétitif face à la pression des Etats-Unis, dont le Président Obama a annoncé par décret en juillet 2015 un plan ambitieux pour renforcer la compétitivité américaine sur le HPC, et de la Chine, qui détient depuis 2013 la première place des supercalculateurs les plus puissants au monde avec le Tianhe-2, dont la capacité de calcul est de 33,86 petaflops devant l'américain Titan (17,59 petaflops) (le K computer, en tête du classement entre juin 2011 et juin 2012, est désormais 4ème avec 10,51 petaflops).

⁶ http://www.hpcwire.com/2013/07/09/idc_forecasts_7_percent_annual_growth_for_global_hpc_market/



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Avec ces trois pays, la France est le seul pays capable de maîtriser l'ensemble de la chaîne de valeur pour les technologies de Calcul haute performance et est impliqué de longue date dans le domaine, à travers ses institutions de recherche et la présence de l'unique constructeur européen pour le Calcul haute performance (Atos-Bull). La France bénéficie aussi de l'environnement dynamique européen sur le HPC, comprenant plusieurs initiatives visant à synchroniser les positions, besoins et challenges du Calcul haute performance en Europe.



I. Défis liés au développement du Calcul haute performance en vue de l'échelle exaflopique

1. Défis actuels du HPC

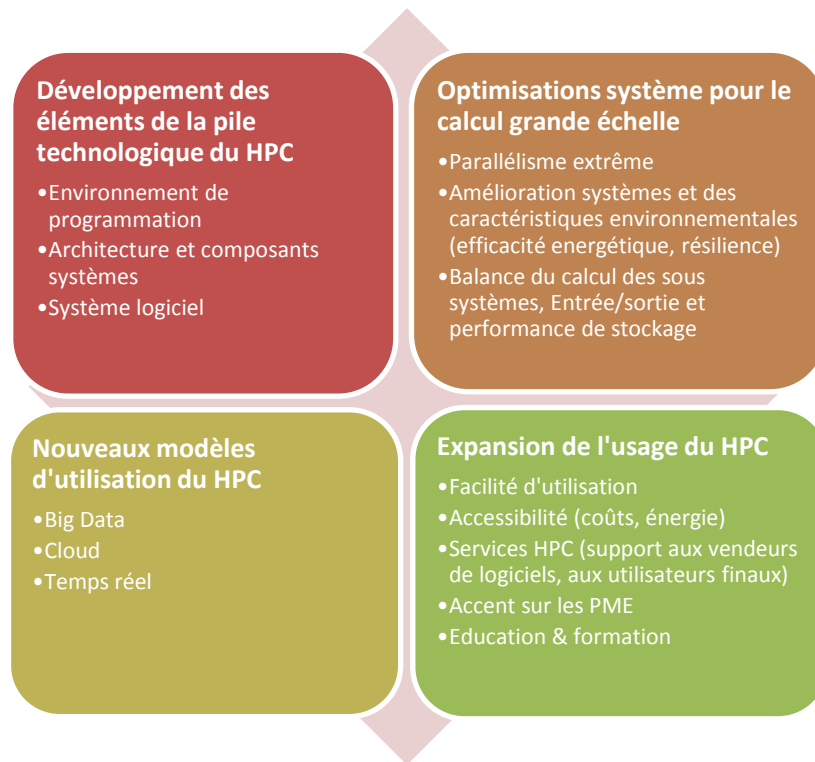
Un supercalculateur comprend des composants performants, notamment processeurs, mémoire, stockage et réseaux d'interconnexion et se base sur des logiciels permettant de diminuer drastiquement les temps d'exécution à travers des architectures parallèles ainsi que des services spécialisés pour la conception, l'installation, l'exploitation, la supervision et la maintenance des systèmes.

Les supercalculateurs sont conçus spécifiquement pour effectuer un certain type de tâches (le plus souvent des calculs numériques scientifiques : calcul matriciel ou vectoriel) et leur architecture doit donc être optimisée en conséquence. L'architecture mémoire des supercalculateurs est étudiée pour fournir en continu les données à chaque processeur afin d'exploiter au maximum sa puissance de calcul. Leur système d'entrée/sortie est ainsi conçu pour fournir une large bande passante. Enfin, les développeurs d'applications de superordinateurs consacrent une partie de leurs efforts à rendre parallélisables autant que possible les différentes parties des algorithmes.

Nous nous trouvons actuellement à un carrefour technologique du développement des nouvelles générations de supercalculateurs. En effet, le rythme des améliorations sur les technologies classiques a clairement ralenti, conduisant à une stagnation des fréquences des processeurs. Cette stagnation est désormais compensée par une augmentation de l'intégration des transistors (qui tend à atteindre les limites physiques possibles), du nombre de cœurs et du parallélisme interne aux cœurs (*multithreading*, vectorisation). Par conséquent, il devient indispensable de contenir la consommation électrique et la dissipation thermique dans des valeurs acceptables, notamment en matière de coûts d'exploitation,

De manière générale, les acteurs du monde du Calcul haute performance sont confrontés à quatre défis majeurs :

- Le développement des technologies sur l'ensemble des briques technologiques du Calcul haute performance (incluant les logiciels de simulation)
- L'optimisation des systèmes de calcul à grande échelle via notamment la conception d'architectures et de paradigmes de programmation adaptés.
- La diffusion de l'utilisation du HPC (éducation et formation, facilité de prise en main, support, etc.)
- La prise en compte de modèles émergents d'accès ou d'usage pour le HPC (intégration du *Cloud*, temps réel, *Big Data*)



Au niveau technologies et architectures, les grands défis actuels portent sur les domaines suivants⁷ :

- Architecture des systèmes
- Logiciel système et de gestion
- Environnement de programmation, exploitation du parallélisme massif, programmation répartie et parallèle, graphes de tâches
- Energie et résilience
- Equilibre des performances entre calcul, entrée/sortie, stockage
- *Big Data* et modèles d'utilisation du HPC

⁷Source : Agenda stratégique de recherche sur le HPC de l'ETP4HPC :
<http://www.etp4hpc.eu/strategy/strategic-research-agenda/>

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

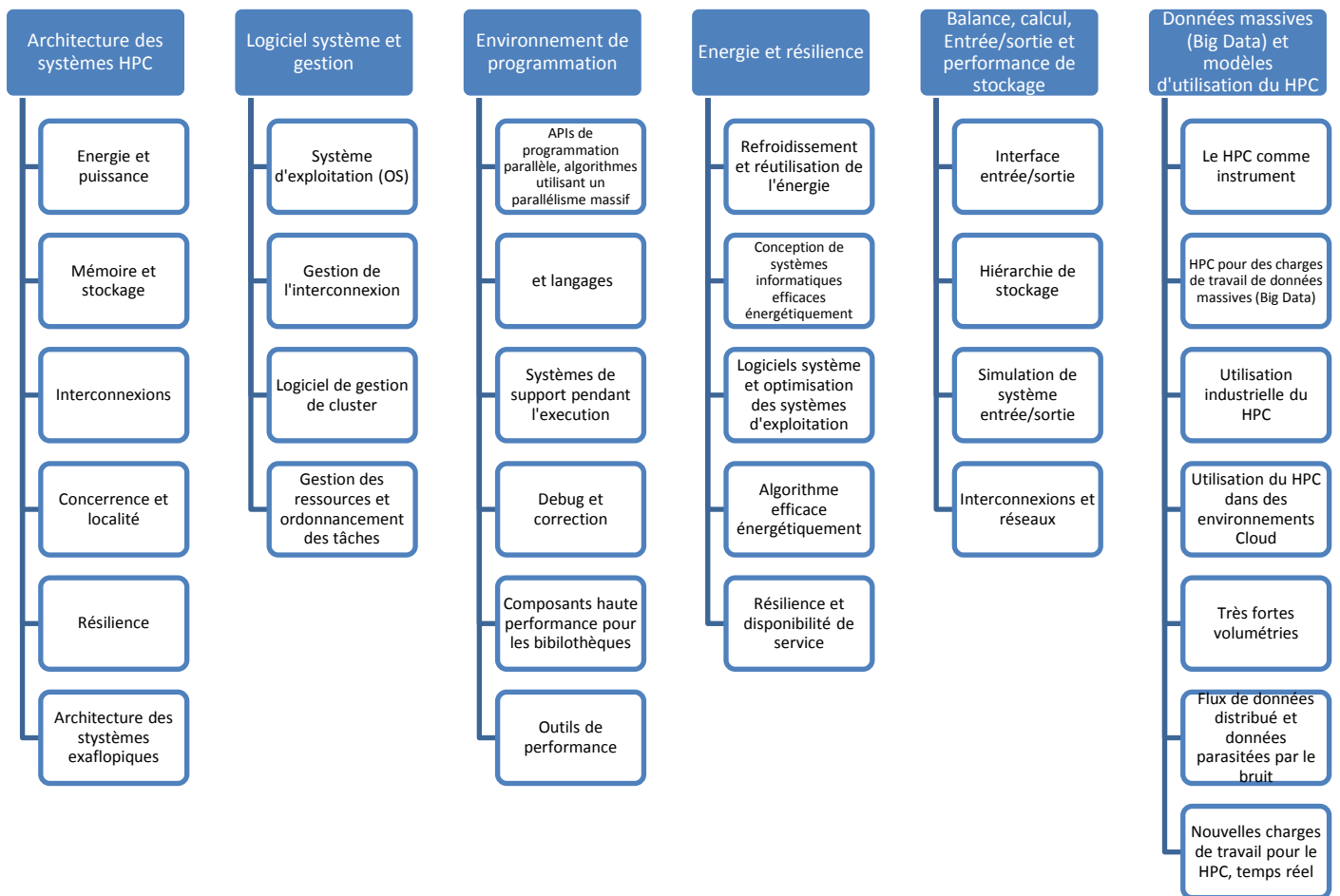


Figure 1 : Déclinaison détaillée des thèmes de recherche pour les grands défis posés par l'exascale - vision des experts européens d'ETP4HPC - Strategic research agenda 2013



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

2. Domaines d'application en développement pour le Calcul haute performance

Simulation numérique

La simulation numérique permet de contourner lorsque cela est possible les limitations de l'expérimentation, à savoir les difficultés à mettre en place des infrastructures de test et les coûts induits, ou encore l'impossibilité légale de réaliser des expérimentations réelles (nucléaire, médical). Elle permet à titre d'exemple :

- La réduction, voire la suppression des prototypes matériels au profit de prototypes virtuels en aéronautique ou en automobile, réduisant coût et délais tout en accroissant qualité et innovation
- La conception de nouvelles offres innovantes dans les secteurs très porteurs de l'industrie des services (finance, transports, télécommunications, multimédia,...)
- La modélisation de nouvelles technologies dans le secteur de l'énergie, notamment dans le domaine de la fusion nucléaire ou de la combustion
- La modélisation de risques naturels et industriels
- La conception de nouvelles molécules et la mise au point d'instruments d'analyse dans le domaine de la santé, en particulier dans l'imagerie médicale ; mais également la médecine (analyse des symptômes pour le traitement du cancer par exemple)
- La simulation dans le domaine de la défense, permettant ainsi de remplacer des tests dangereux, coûteux et/ou interdits (dans le cas des armes nucléaires).

Convergence Big Data-HPC

La convergence du calcul intensif et des sciences des données massives, avec notamment l'utilisation du HPC pour réaliser de l'analyse de données haute performance, devient une réalité, avec la nouvelle vague d'entreprises fournissant des services d'analyse de données basés sur des systèmes de calcul intensif. En 2015 au Japon, 67% des sites HPC sont utilisés en partie pour réaliser de l'analyse de données à haute performance (*fast data* ou *high performance data analysis*). L'analyse de données constitue en moyenne 30% des cycles actuels de calcul⁸.

L'utilisation pour les *Big Data* des technologies HPC requiert une large bande passante et des capacités importantes pour le traitement de données, avec des systèmes de mémoires de nouvelle génération.

⁸ <http://www.hpcwire.com/2015/06/18/japan-preps-for-hpc-big-data-convergence/>



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

L'émergence du *Cloud*

Une partie croissante des sites de HPC proposent désormais des accès en mode *Cloud* (c'est-à-dire la possibilité d'accéder à distance à des ressources mutualisées). Pour limiter les inconvénients liés aux environnements en *Cloud*, comme la latence, un effort particulier est mené sur l'augmentation des débits de bande passante, les possibilités d'optimisation des réseaux et la maîtrise des environnements virtualisés.

Le nombre d'offres de solutions dans le *Cloud*, leur variété et leur adoption se développent graduellement. On observe d'un côté l'émergence de systèmes généralistes, comme celui d'Amazon (complété par les outils du MIT), qui propose ainsi un service de HPC dans le *Cloud*, sans garantie sur les processeurs et les interconnexions et, d'autre part, la mise en place de services et d'infrastructures dédiés au HPC. Microsoft s'est également positionné ou encore OVH, en partenariat avec Oxalya. Colt, un hébergeur et fournisseur d'infrastructure pour les entreprises, s'est allié avec HP et Intel pour fournir des services de HPC. Un segment très actif se situe au niveau des offres autour de Hadoop⁹. En France, Outscale se tourne principalement vers les applications de modélisation et de conception avec, en option, des possibilités de visualisation de haut niveau. Bull-Atos, avec son offre « *Extreme Factory* », permet aux entreprises de toutes tailles et de tous secteurs de disposer de ressources de Calcul haute performance (« *HPC as a Service* »).

⁹ Hadoop est un framework open source destiné à faciliter la création d'applications distribuées (au niveau du stockage des données et de leur traitement) et échelonnables, leur permettant de travailler avec des volumes de données importants



**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

3. Vers les futurs supercalculateurs exaflopiques

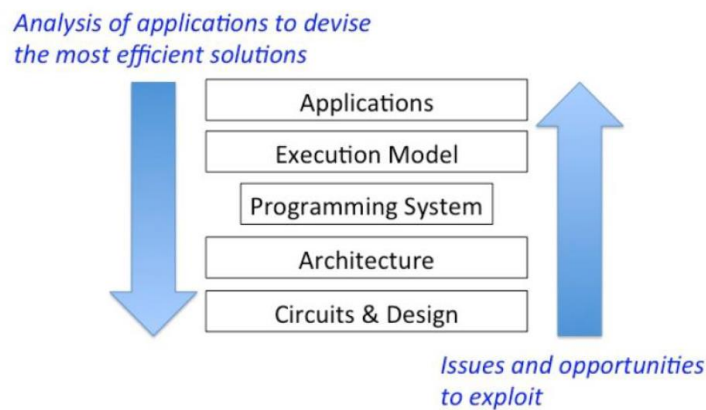
Pour atteindre l'échelle exaflopique, les conceptions de systèmes devront relever les défis suivants :

- Architecture du processeur : au niveau matériel, la tendance est à l'augmentation toujours plus importante du parallélisme (multicœurs, mémoire, stockage, ...) et aux architectures hétérogènes, associant processeurs « conventionnels » et accélérateurs.
- Consommation énergétique du système : c'est une des principales barrières actuelles du Calcul haute performance, la consommation des supercalculateurs étant en augmentation continue avec l'amélioration des performances de calcul. Ainsi, pour générer 1 exaflop, avec des performances similaires aux meilleurs supercalculateurs du Green500¹⁰ en 2010 il faudrait environ 5 GW, soit la puissance de trois centrales nucléaires. Avec les technologies actuelles, il faudrait pour atteindre l'échelle exaflopique une puissance de 200MW¹¹ (pour les supercalculateurs les plus performants du Green 500), ce qui n'est toujours pas viable aussi bien du point de vue des infrastructures qu'économiquement. La cible actuelle est une efficacité de 20-40 MW pour un exaflop, soit une amélioration d'un facteur 10 à 20 de l'efficacité énergétique, ce qui est un objectif très ambitieux au regard de l'évolution des technologies. L'optimisation énergétique passe par la réduction de la consommation des équipements informatiques, l'optimisation de la consommation des servitudes (refroidissement notamment par l'air, l'eau, l'huile ou des fluides diélectriques) ou encore la réutilisation de la chaleur produite.
- Bande passante et capacité mémoire : les technologies actuelles ne progressent pas aussi vite que l'augmentation des performances en opérations par seconde. Ainsi, la mémoire allouée par processeur risque rapidement de ne pas être suffisante et de limiter les bénéfices de l'amélioration de la vitesse de calcul.
- Modèles de programmation : des modèles optimisés seront nécessaires. Les compilateurs ne seront pas capables de tirer automatiquement avantage de tout le potentiel de parallélisme du matériel au regard du haut niveau de concurrence des applications. L'enjeu est de trouver des modèles de programmation portable entre les différentes solutions hardware, prenant en compte les différents niveaux de parallélisme : mémoire distribuée (MPI), mémoire partagée (OpenMP), accélérateurs (Cuda, OpenACC) et mémoire vectorisation.
- Fiabilité et la résilience : ces facteurs seront critiques à cette échelle. Les erreurs « silencieuses » causées par les dysfonctionnements au niveau des composants et la variabilité de la qualité de leur production (ce qui aura des conséquences sur l'environnement logiciel également), affecteront plus fortement les résultats des ordinateurs exaflopiques que les ordinateurs actuels, du fait, d'une part, d'une technologie plus fine, donc plus sensible aux perturbations extérieures, et, d'autre part, de l'augmentation du nombre de composants élémentaires.

¹⁰ Le Green 500 classe les supercalculateurs les plus efficaces énergétiquement par leur performance par watt. Littéralement il mesure le taux de calcul qui peut être effectué en utilisant 1 watt de puissance (les machines classées sont en général expérimentales et assez loin d'une production à grande échelle) <http://www.green500.org/?q=lists/green201511>

¹¹ <http://science.energy.gov/ascr/research/scidac/exascale-challenges/>

Enfin, pour développer un système permettant d'atteindre des capacités de calcul supérieur, il est nécessaire d'impliquer les utilisateurs et concepteurs de logiciels applicatifs pour dimensionner et concevoir le système en bonne adéquation avec les applications qui l'utiliseront : c'est le concept du « *co-design* ». Le schéma ci-après illustre la nécessité de ce « *co-design* » et les interactions et itérations nécessaires entre le monde applicatif et le monde matériel pour réaliser une conception adaptée.



- **Figure 2 : Modèle de réflexion pour le design des futurs supercalculateurs**¹²

¹² Richard F. BARRETT, et.al. « *On the Role of Co-design in High Performance Computing* », *Transition of HPC Towards Exascale Computing* »

II. Panorama japonais sur le Calcul haute performance

Sur les cinq dernières années, le Japon est le 7^{ème} pays en termes de publications scientifiques sur le HPC, à la fois pour les publications restreintes au domaine informatique (i.e. concernant le développement de technologies HPC), et pour les publications élargies à tous les domaines (i.e. couvrant également les applications scientifiques utilisant le HPC).

Nombre de publications sur le HPC couvrant tous les domaines ¹³	237 758		
Pays principaux	1	USA	57723 (24,3%)
	2	Chine	55138 (23,2%)
	3	Allemagne	15269 (6,4%)
	4	Royaume-Uni	13119 (5,5%)
	5	France	11149 (4,7%)
	6	Inde	10518 (4,4%)
	7	Japon	9528 (4,0%)

Nombre de publications sur le HPC restreintes au domaine informatique	109 988		
Pays principaux	1	USA	26235 (23,9%)
	2	Chine	25735 (23,4%)
	3	Allemagne	6133 (5,6%)
	4	Inde	5844 (5,3%)
	5	Royaume-Uni	5112 (4,6%)
	6	France	5086 (4,6%)
	7	Japon	4310 (3,9%)

¹³ Source : outil Scival®, recherche sur la période 2010-2014 effectuée en mars 2016 avec les mots clés suivants : multicore, distributed algorithms, data parallelism, exaflop, high performance computing

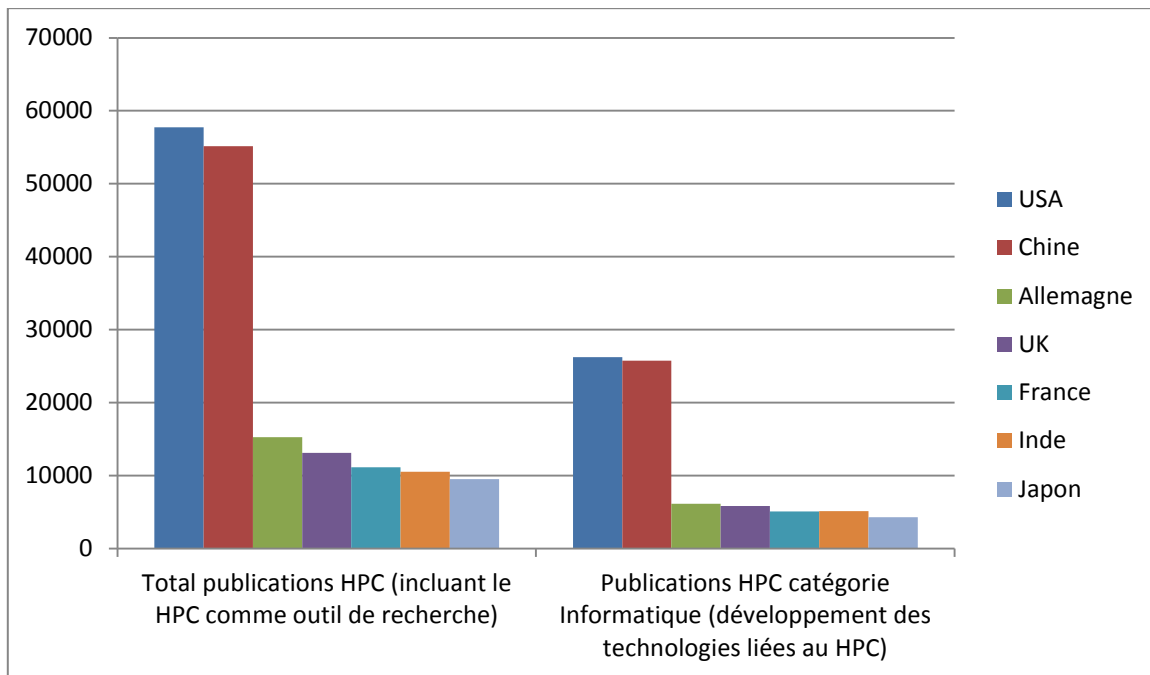


Figure 3 : Principaux pays pubicateurs dans le domaine du HPC

1. Stratégie gouvernementale à l’horizon exaflopique

a. Historique et soutien politique

Comme dans la plupart des zones les plus avancées technologiquement (notamment Etats-Unis, Chine, Union Européenne), le Calcul haute performance est considéré comme un outil de souveraineté indispensable et une condition majeure à la conservation du statut de grande puissance technologique internationale. De plus, c’est un levier économique majeur, étant donné l’impact du Calcul haute performance dans le futur de la recherche et dans l’industrie. C’est pourquoi le gouvernement japonais soutient aussi bien politiquement que financièrement le développement de supercalculateurs.

Le Japon souhaite garder une position de précurseur dans le domaine; il est souvent souligné que le Japon a possédé le superordinateur le plus puissant du monde par deux fois. Tout d’abord avec le *Earth Simulator* (NEC), qui a contribué à étudier la cause du réchauffement climatique par le GIEC (ultérieurement récipiendaire du Prix Nobel de la Paix en 2007), qui est resté en tête pendant trois ans, puis avec le *K computer*¹⁴ (Fujitsu), qui a été le premier supercalculateur à dépasser les 10 Pétaflops. Le projet *Flagship 2020* est la nouvelle stratégie du Japon pour reprendre le leadership mondial dans ce domaine.

¹⁴ Vient de 京, qui se lit « kei » et a le sens de 10^{16} . Description en annexe.

Le 18 décembre 2015, a été adopté en Conseil des Ministres le « 5^{ème} Programme Cadre pour la Sciences et la Technologie »¹⁵ pour la période 2016-2020. Ce plan, qui trace les grandes lignes de la stratégie japonaise en termes de science et technologie, montre le soutien du gouvernement pour l'utilisation commune par les universités, les industries et le gouvernement d'installations de recherche avancée (tels que les supercalculateurs), le développement d'un système d'utilisation commun pour ces installations, leur amélioration régulière et les développements techniques qui leur sont liés. Le plan cadre précédent (le 4^{ème}, pour la période 2011-2015), évoquait quant à lui à plusieurs reprises la nécessité de développer des supercalculateurs japonais capables de rivaliser avec ceux des Etats-Unis et de la Chine. Ce plan en parlait d'ailleurs comme étant un « fondement de la subsistance de l'Etat » et « une technologie clé de la garantie de la sécurité de l'Etat »¹⁶.

b. Orientations stratégiques et financement

Le gouvernement japonais contribue fortement au développement des technologies et des infrastructures de HPC et à la démocratisation de son usage.

Il a, au début des années 2010, très largement subventionné (à hauteur de près de 1 milliard d'euros, comme le montre le tableau¹⁷ ci-après) le développement du K computer de Fujitsu, considéré alors comme le superordinateur étendard du Japon :

Financement du K computer (en milliards de yens)	
Infrastructure du K computer	19,3
K computer	79,3
Software	12,6
Coût total du K computer	112
Dont	Somme investie par le gouvernement
	102 (dont 66,5 en investissement dans Fujitsu)
	Fonds d'origine privée
	10

Afin de définir la stratégie japonaise post K computer, le Japon a engagé en 2012 une étude préliminaire comprenant trois équipes système et une équipe applicative:

- L'équipe réunissant l'Université du Tohoku, NEC et la JAMSTEC vérifiaient la faisabilité d'une architecture multi-vectorielle et multi-cœur avec une grande largeur de bande passante mémoire

¹⁵第4期科学技術基本計画

¹⁶ http://www.aics.riken.jp/aicssite/wp-content/uploads/2013/05/mext_hishiyama.pdf, page 31

¹⁷ Source : Cabinet Office



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

- L'Université de Tokyo et Fujitsu explorait la faisabilité de l'inclusion du K Computer dans une infrastructure distribuée géographiquement
- L'Université de Tsukuba et Hitachi étudiaient la faisabilité d'une architecture basée sur des accélérateurs sans mémoire partagée
- Le RIKEN et le Tokyo Institute of Technology (en charge des applications) analysaient les directions des demandes sociales et scientifiques et préparaient la roadmap sur les applications cibles à l'horizon 2020

Cette étude a notamment débouché sur la concrétisation de l'Infrastructure nationale de calcul haute performance au Japon (HPCI) (partie II.3.b) - *High Performance Computing Infrastructure*, dont le K computer est l'élément central. Le HPCI consiste en une infrastructure de HPC distribuée au niveau national (supercalculateurs des principaux organismes de recherche mis en réseau via des réseaux de communication très haut débit).

Le MEXT (Ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie) décrit le HPCI en ces termes¹⁸:

« Afin que le Japon puisse continuer à être un leader mondial dans les domaines des Sciences et Technologie, de la recherche, de l'agriculture, de la médecine ; en prenant le K computer comme base et en répondant aux besoins du plus grand nombre de personnes, nous allons investir dans un HPCI révolutionnaire, encourager son utilisation et contribuer à la diminution des dégâts dus aux séismes/tsunami, et aux innovations green life. »

Le MEXT a grandement contribué au financement du développement du [HPCI](#) (4,2 milliards de yens entre 2012 et 2013), ainsi qu'à la promotion de son utilisation (4,7 milliards de yens).

Au-delà des fonds apportés par les entreprises et les ministères, les agences de financement japonaises sont également très impliquées dans le financement de la recherche sur le HPC.

Les deux agences principales de financement de la recherche japonaise sont notamment très présentes : la *Japan Science and Technology Agency* (JST, plutôt orientée vers les sciences appliquées) et la *Japan Society for the Promotion of Science* (JSPS, plutôt orientée vers la recherche fondamentale).

La JST est impliquée depuis longtemps sur le thème du HPC et a financé un grand nombre de projets depuis les années 90-2000. L'agence a notamment dédié un de ses programmes stratégiques CREST¹⁹ (ou « *Core Research for Evolutionary Science and Technology* », programmes phare de la JST et consacrés aux thématiques prioritaires scientifiques et technologiques possédant un fort impact sociétal) au HPC. Ce programme « *Development of System Software Technologies for post-Peta Scale High Performance Computing* » coordonné par Akinori Yonezawa (Co-director, RIKEN Advanced Institute for Computational Science) est doté d'un budget sur la période 2010-2018 d'environ 60 millions de dollars (55 millions d'euros). Il fait suite à d'autres programmes CREST sur le HPC, notamment celui « *Technology Innovation and Integration for Information Systems with Ultra Low Power* » (à partir de 2005)²⁰, « *High Performance Computing for Multi-Scale and Multi-Physics*

¹⁸ http://www.aics.riken.jp/aicssite/wp-content/uploads/2013/05/mext_hishiyama.pdf (traduction de l'auteur)

¹⁹ http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/en/crest_eng_pamph.pdf

²⁰ http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/en/research_area/ongoing/area04-5.html



**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

Phenomena » (à partir de 2005)²¹, « *New High-Performance Information Processing Technology Supporting Information-Oriented Society* » (à partir de 2001)²²

Ce nouveau programme vise à développer les technologies de logiciels systèmes qui permettront d'exploiter au maximum l'efficacité et la fiabilité des prochaines générations de supercalculateurs, composés de processeurs multicœurs de calcul générique, ainsi que de processeurs dédiés (GPGPU, soit *general-purpose computing on graphics processing units*, ou calcul générique sur un [processeur graphique](#)). Il soutient également les recherches sur les langages de programmation, les compilateurs, les systèmes d'exécution, les systèmes d'exploitation, les middlewares de communication, les systèmes de fichiers, les systèmes support de développement d'applications, les systèmes de traitement de très grands volumes de données ainsi que les logiciels systèmes dans les différentes couches de la pile logicielle.

Dans le cadre de ce programme, 5 projets ont été lancés en 2010 :

- « [Development of an Eigen-Supercomputing Engine using a Post-Petascale Hierarchical Model](#) », piloté par Tetsuya Sakurai de l'Université de Tsukuba
- « [System Software for Post Petascale Data Intensive Science](#) », piloté par Osamu Tatebe de l'université de Tsukuba
- « [ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post-Peta-Scale Supercomputers with Automatic Tuning \(AT\)](#) », piloté par Kengo Nakajima de l'Université de Tokyo.
- « [Parallel System Software for Multi-core and Many-core](#), piloté par Atsushi Hori du RIKEN
- « [Highly Productive, High Performance Application Frameworks for Post Petascale Computing](#) », piloté par Naoya Maruyama du Tokyo Institute of Technology

5 projets ont ensuite été lancés en 2011 :

- « [Development of a Numerical Library based on Hierarchical Domain Decomposition for Post Petascale Simulation](#) », piloté par Ryuji Shioya, de l'Université de Tokyo
- « [An evolutionary approach to construction of a software development environment for massively-parallel heterogeneous systems](#) », piloté par Hiroyuki Takizawa, de l'Université du Tohoku
- « [Software development for post petascale super computing - Modularity for Super Computing](#) », piloté par Shigeru Chiba, du Tokyo Institute of Technology
- « [Development of Scalable Communication Library with Technologies for Memory Saving and Runtime Optimization](#) », piloté par Takeshi Nanri, de l'Université du Kyushu
- « [Advanced Computing and Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers](#) », piloté par Katsuki Fujisawa, de l'Université de Chuo

Enfin, 4 projets ont été lancés en 2012 :

- « [Software Technology that Deals with Deeper Memory Hierarchy in Post-petascale Era](#) », piloté par Toshio Endo du Tokyo Institute of Technology.
- « [Power Management Framework for Post-Petascale Supercomputers](#) », piloté par Masaaki Kondo, Graduate School of Information Systems, University of Electro-Communications.

²¹ <http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/ryoikiarchive/multi/en/index.html>

²² http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/en/research_area/completed/completed-area31.html



**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

- « [Framework for Administration of Social Simulations on Massively Parallel Computers](#) », piloté par Itsuki Noda, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST, Tsukuba.
- « [Research and Development on Unified Environment of Accelerated Computing and Interconnection for Post-Petascale Era](#) », piloté par Taisuke Boku de l'Université de Tsukuba pour un total de 2,7M€)

Un autre programme CREST de la JST « *Advanced Core Technologies for Big Data Integration* », piloté par Masaru Kitsuregawa du National Institute of Informatics a été lancé en 2013 pour développer les technologies de base pour le traitement des données massives. Certains des projets soutenus dans ce cadre, comme le projet EBD : « *Extreme Big Data – Convergence of Big Data and HPC for Yottabyte Processing* », piloté par Satoshi Matsuoka du Tokyo Institute of Technology, sont à l'interface entre HPC et Big Data.

La **JSPS** est également active. Elle ne possède pas de programme dédié au HPC, mais a par exemple financé le programme « *Billion-Scale Supercomputer Resilience* ». Via son programme « *A3 Foresight* » (avec ses équivalents coréens et chinois), la JSPS a également lancé en 2014 un programme de financement de la recherche sur le HPC pour un budget de 50 million de yens (environ 370k€) sur 5 ans. L'agence a également organisé des événements sur le sujet, notamment en 2006 via son bureau à Washington. Elle a également lancé des projets dans le cadre de l'initiative *G8 Research Councils* regroupant les institutions similaires dans les pays du G8 (l'ANR pour la France), avec un axe sur le HPC (15 millions de yens~110k€/an sur 2-3 ans).

Pour le nouveau programme étendard du Japon, visant à regagner le leadership mondial dans le domaine du Calcul haute performance, le Japon va engager une somme équivalente à celle utilisée pour le K computer, soit 110 milliards de yens (environ 850 millions d'euros), incluant le financement de la recherche et du développement, l'acquisition du système post K, ainsi que le financement du développement des applications principales qui l'utiliseront.

c. Programme « Flagship 2020 » ou « post K »

Avec le K computer, le Japon a détenu jusqu'en juin 2012 le leadership mondial dans le calcul intensif pour la deuxième fois, après l'avoir détenu pendant trois ans jusqu'en 2004 avec le Earth Simulator, un supercalculateur vectoriel de NEC, d'une puissance de 40 TéraFlops qui, au moment de sa sortie, était dix fois plus performant que le deuxième supercalculateur du Top500.

Après la fin du règne du K computer, le Japon a entamé pour l'horizon 2020 la réalisation d'une nouvelle machine, étendard de la qualité technologique japonaise, afin de reprendre le leadership mondial sur le HPC. Un projet dédié « *Exascale Supercomputer Project* » du MEXT y est consacré, dont la maîtrise d'œuvre est assurée par le RIKEN AICS (*Advanced Institute for Computational Science*, voir II.2.b. Acteurs académiques japonais). L'objectif de ce projet, mené par le professeur Yutaka Ishikawa et le professeur Mitsuhsa Sato du RIKEN, est de construire une machine pour succéder au K



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

computer et de développer de nouvelles applications qui permettront une utilisation maximale de la performance de ce nouveau système. Suivant une procédure d'appel à projet ouvert, la société Fujitsu, qui a déjà fourni le K computer, a été sélectionnée pour travailler avec le RIKEN, afin de développer ce futur superordinateur.

La nouvelle machine sera, comme son prédécesseur, installée dans les locaux du RIKEN AICS à Kobe (préfecture de Hyōgo). La conception de la machine devrait être achevée en 2015-2016, date à laquelle commencera la production. Pour Fujitsu, c'est une nouvelle victoire sur son compatriote et rival NEC. Comme pour le K Computer, le choix s'est porté sur l'architecture massivement parallèle au détriment du calcul vectoriel que NEC est le dernier au monde à promouvoir.

Les autorités japonaises souhaitent que le système post-K ait un impact au-delà du RIKEN, et engendre des retombées économiques plus importantes pour le Japon que le K computer, qui n'a eu que peu d'impact commercial durable.

Les premiers éléments de design du système post K sont présentés dans la partie dédiés [aux projets japonais principaux](#).

2. Les acteurs du Calcul haute performance au Japon

La plupart des développements japonais dans le domaine du Calcul haute performance sont soutenus par les pouvoirs publics (projets JST-CREST, projets NEDO, projets JSPS) et certains ont été réalisés dans le cadre de partenariats publics-privés (par exemple, la collaboration emblématique RIKEN-Fujitsu). Il est à noter que de nombreux centres de recherche possèdent leurs propres équipements de simulation.

a. Acteurs industriels japonais

Au niveau des publications scientifiques, les acteurs industriels les plus actifs (seuls ou en collaboration avec des académiques japonais) sont présentés dans le schéma ci-dessous. Sans surprise on retrouve Fujitsu, NEC et Hitachi, ainsi que l'américain IBM.

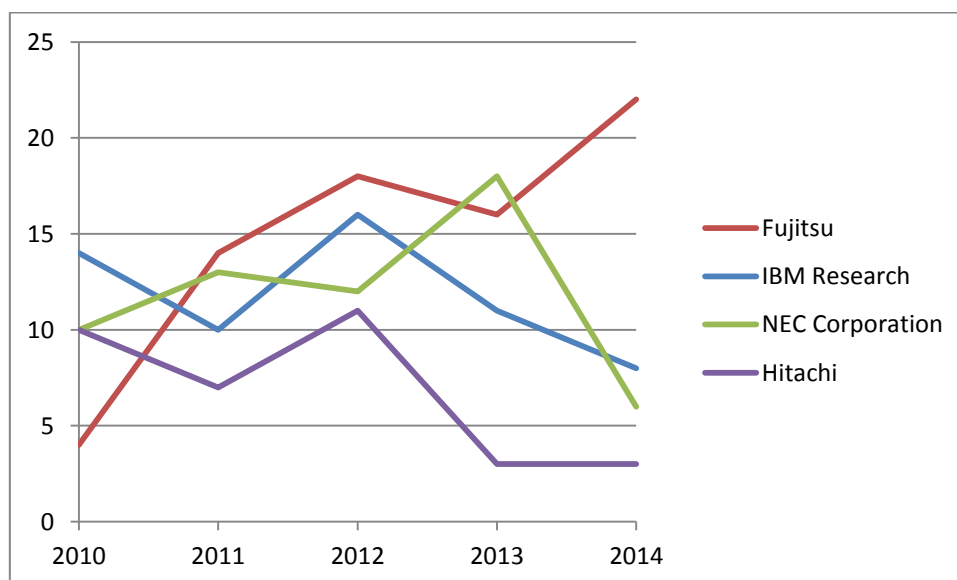


Figure 4 : Nombres de publications scientifiques sur les technologies HPC par des industriels au Japon (ou en collaboration avec des académiques japonais)²³

En considérant les publications scientifiques sur le HPC de manière globale (incluant le HPC comme outil), on retrouve, en plus de ces industriels constructeurs, les industriels japonais utilisateurs du HPC comme Toyota, Nippon Steel, Mitsubishi Heavy Industries, Tokyo Electric Power, etc.

²³ Source : outil Scival®, recherche sur la période 2010-2014 effectuée pour le Japon en mars 2016 avec les mots clés suivants : multicore, distributed algorithms, data parallelism, exaflop, high performance computing ; pour les revues du domaine Informatique

Intégrateurs

Les trois principaux constructeurs japonais sont Fujitsu, Hitachi et NEC. Ces trois entreprises sont des géants de l'électronique, ce qui leur permet de fournir la plupart des sous parties de ces systèmes et de maîtriser une grande partie de la chaîne de valeur.

Au niveau des choix de conception, deux courants se sont affrontés : les machines vectorielles et les machines parallèles. Les industriels japonais ont, jusqu'aux années 1990, penché plutôt pour l'approche vectorielle, avant de progressivement s'orienter vers l'approche parallèle, à l'exception de NEC.

- **Fujitsu** a pris une position de leader parmi les constructeurs japonais, grâce au développement du [K computer](#). L'entreprise entretient des liens étroits avec le gouvernement japonais et le RIKEN AICS, avec lesquels elle a co-développé le K computer.



Figure 5 : Le K-computer, développé par Fujitsu et le RIKEN

Fujitsu développe des solutions HPC globales, matérielles et logicielles à destination des entreprises industrielles comme des PME. Fujitsu souhaite également démocratiser l'accès au HPC pour les particuliers. L'entreprise a ainsi lancé une solution basée sur les machines Fujitsu PRIMEFLEX pour HPC où les utilisateurs peuvent accéder depuis leur PC à des infrastructures de HPC (via le logiciel HPC Gateway, pour lequel Fujitsu a inauguré un centre de démonstration en France, à Toulouse²⁴).

En novembre 2011, en utilisant le savoir-faire acquis grâce au développement du K computer, Fujitsu a commercialisé son PRIMEHPC FX100²⁵ (puissance de calcul supérieure à 20 petaflops). Fujitsu sera également l'intégrateur du futur supercalculateur japonais dans le cadre du programme Flagship 2020.

²⁴ <http://www.fujitsu.com/fr/about/resources/news/press-releases/2015/fr-150925-hpc-gateway-vf.html>

²⁵ Spécifications du FX100 : Rack : 96 node, CPU : SPARC64 ixfx 16 core 1.650GHz (ou 1.848GHz 211.2GFLOPS ou 236.544GFLOPS), Mémoire : 1CPU (32GB ou 64GB), Bande passante : 85GB/s, Performance max : 23.2petaflops, 6Po de mémoire



Figure 6 : Le FX100 de Fujitsu

Ce supercalculateur est notamment utilisé depuis mars 2015 par l'institut japonais de recherche météorologique (*Meteorological Research Institute (MRI)*)²⁶.

En 2013, Fujitsu était le septième constructeur mondial, avec environ 1,25% du marché mondial, outrageusement dominé par les constructeurs américains²⁷.

- **NEC**, leader pour les solutions vectorielles²⁸ de haute qualité, s'est spécialisé sur la performance des applications sur les systèmes de clusters informatiques basés sur des machines x86, des systèmes d'accélération par GPU et sur des systèmes vectoriels.



Figure 7 : un superordinateur NEC série SX

La gamme SX-ACE, sortie en 2013 affiche une puissance de calcul par rack de 16 téraflops, dix fois celle de la génération précédente SX-9 lancée en 2008. Dans la même puce, NEC a développé un système sur puce propriétaire composé d'un processeur vectoriel multicœurs (4 cœurs de calcul), de contrôleurs de mémoire et d'interfaces d'entrées-sorties. Les puces sont intégrées sur des cartes nœuds de 11 x 37 cm²⁹. Chaque cœur offre une puissance de calcul record de 64 gigaflops.

²⁶http://www.mri-jma.go.jp/Facility/supercomputer_en.html

²⁷ <http://www.hpcwire.com/2014/04/10/idc-details-hpc-market-momentum/>

²⁸ Le calcul vectoriel utilise une seule unité de calcul, dite vectorielle pour réaliser la même opération sur une multitude de données en parallèle.

²⁹ http://www.nec.com/en/press/201311/global_20131115_01.html

Le calcul vectoriel conserve un marché de niche, détenu aujourd'hui exclusivement par NEC. Selon IDC, NEC est tombé en 2013 à la neuvième place du marché mondial des supercalculateurs avec seulement 0,7%, juste derrière le français Bull (0,75%)³⁰.



Figure 8 : Earth simulator, utilisant le supercalculateur SX-9 de Nec

NEC souhaite développer le successeur du SX-9 installé en mars 2002 au *Earth Simulator Centre*, près de Yokohama, qui avec sa puissance de 40 téraflops, a été le supercalculateur le plus puissant au monde pendant deux ans (puissance de calcul dix fois plus élevée que le deuxième au classement du Top500 de l'époque). Son supercalculateur SX-ACE multiplie la puissance de calcul par rack par un facteur dix par rapport au SX-9, tout en réduisant la surface occupée au sol de 20% et la consommation d'énergie de 90%³¹.

Le Japon, grâce à NEC, est le seul pays au monde à maîtriser les technologies du calcul intensif vectoriel, ce qui pourrait lui donner un avantage compétitif sur le long terme.

- **Hitachi** est un spécialiste des systèmes de stockage de données (*data centers*) et des systèmes de calcul haute performance via sa branche Hitachi Data System, ainsi que des logiciels associés.

Hitachi propose notamment une solution « Lustre » (tournant sur des serveurs Linux) pour le HPC, qui est un système de fichiers parallèles permettant de remplacer les systèmes NFS³² (issus du monde IT traditionnel) quand ceux-ci ne peuvent supporter le débit, la taille des fichiers systèmes ou le nombre d'actions parallèles nécessaires. Il peut s'étendre facilement jusqu'à 50 Petaoctet dans un seul fichier système et fournir jusqu'à 1TB/seconde ou plus de bande passante d'accès tout en maintenant un accès pour des milliers d'utilisateurs et des centaines de serveurs de stockage.

Hitachi a également développé des systèmes de blocs réutilisables pour pouvoir construire des solutions HPC :

³⁰ <http://www.hpcwire.com/2014/04/10/idc-details-hpc-market-momentum/>

³¹ <http://www.usine-digitale.fr/article/les-supercalculateurs-vectoriels-ne-sont-pas-has-been-l-allemande-en-met-trois-nouveaux-en-service.N366734>

³² Network File System (ou **NFS**, système de fichiers en réseau) est à l'origine un protocole développé par Sun Microsystems en 1984 qui permet à un ordinateur d'accéder à des fichiers via un réseau.

**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

- Un *framework* commun, consistant en des commutateurs (*switchs*) réseau, une infrastructure optique et un nœud de gestion dédié utilisant Intel Manager et la suite de commande Hitachi, dans un rack 42U
- Un serveur de métadonnées haute disponibilité (2*1U x86 Hitachi servers, un Hitachi Unified Storage (HUS) 110 avec 900Go de capacité sur un disque 10K RPM)
- Un serveur de stockage haute disponibilité, incluant une paire de serveurs 2U Hitachi x86, un HUS 150 et deux disques amovibles 5U avec 84 x 3To de disques grande capacité

Les autres solutions Hitachi pour le HPC sont des modules de stockage réseau joint (NAS³³), des systèmes d'organisation de clusters, des modules d'accélération matérielle (utilisant des FPGA³⁴) et un système de virtualisation de systèmes de stockage tiers (Universal migrator)³⁵.

Processeurs

Le défi pour les constructeurs japonais est de construire des processeurs performants à des coûts raisonnables vis-à-vis de leurs compétiteurs américains, qui s'orientent (notamment Intel) vers des puces duales processeur/accélérateur, tandis que les japonais restent sur une approche plus traditionnelle.

Fujitsu se distingue également par l'utilisation de l'architecture SPARC, compétitive de l'architecture x86 d'Intel et par les réalisations de circuits l'utilisant, dont le design est résolument orienté vers le HPC (par exemple le processeur FX 100 de Fujitsu a 34 cœurs³⁶, 32 cœurs de calcul et 2 cœurs assistants), ce qui leur donne un avantage compétitif par rapport aux produits non spécifiquement pensés pour cet usage.

Dans ces processeurs, Fujitsu utilise les dernières technologies disponibles, notamment une nouvelle technologie de superposition de puces en couches 3D (*Hybrid Memory Cube* - HMC) ou des fonctionnalités très développées de RAS (*Reliability, Availability, Serviceability*) qui les rendent très compétitifs.

Hitachi, contrairement à Fujitsu et NEC, ne construit plus ses propres processeurs et s'est notamment allié à d'autres constructeurs (IBM notamment, puis Intel actuellement pour le Big Data et l'IoT³⁷), afin de construire des systèmes de haute qualité.

³³ Un serveur de stockage en réseau NAS (Network Attached Storage) est un serveur de fichiers autonome, relié à un réseau dont la principale fonction est le stockage de données en un volume centralisé pour des clients réseau hétérogènes.

³⁴ FPGA (Field programmable gate array) ou circuit logique programmable : circuit intégré logique qui peut être reconfiguré après sa fabrication.

³⁵ <https://www.hds.com/assets/pdf/evolution-of-high-performance-computing-storage-architectures-in-commercial-environments.pdf>

³⁶ <http://www.fujitsu.com/global/products/computing/servers/supercomputer/primehpc-fx100/>

³⁷ <https://www.hds.com/en-us/partners/alliances.html>

Accélérateurs

Un accélérateur est un élément matériel qui remplit des fonctions spécifiques plus rapidement (en général) qu'un processeur « traditionnel » (CPU – *Central Processing Unit*)³⁸ et qui est utilisé en complément des CPU dans les architectures hétérogènes. L'utilisation des accélérateurs permet d'économiser de l'énergie et d'accélérer certains algorithmes.

Deux exemples d'accélérateurs sont : les processeurs graphiques (GPU – *Graphic Processing Unit*), qui vont exécuter des algorithmes de graphisme informatique pour traduire une image et les co-processeurs, qui vont fournir des fonctions supplémentaires au processeur principal, comme l'arithmétique, le cryptage ou le traitement du signal.

Concernant les accélérateurs japonais, la société **PEZY Computing**³⁹ se distingue particulièrement. Créée en 2010, basée à Tokyo et lancée par un projet de la NEDO, cette société fournit notamment des modules « *manycore* » et des modules d'accélération graphique (GPU) « *manycore* » avec des modules de mémoire.









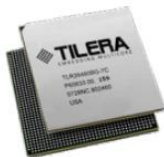

Graphical Processing Unit	Coprocessor	Accelerated Processing Unit	Tile	Manycore Processor
				
				
NVIDIA K20x	Intel Xeon Phi 31S1P	AMD Fusion	Tile-Gx	Pezy-SC
Titan (#2 Top500)	Tianhe-2 (#1 Top500)	Small clusters	Cloud environments	Suiren (#2 Green500)

Figure 9 : Les principaux accélérateurs du marché, avec leur position au Top 500 de Juin 2015⁴⁰

³⁸ <http://coco.sam.pitt.edu/~emeneses/wp-content/uploads/2013/11/accelerator.pdf>

³⁹ <http://pezy.co.jp/en/products/index.html>

⁴⁰ <http://coco.sam.pitt.edu/~emeneses/wp-content/uploads/2013/11/accelerator.pdf>

Son dernier processeur (PEZY-SC), embarque 1024 cœurs. Ces modules permettent d'accélérer fortement certaines applications et de gagner dans certains cas en vitesse de calcul⁴¹ mais aussi en efficacité énergétique.

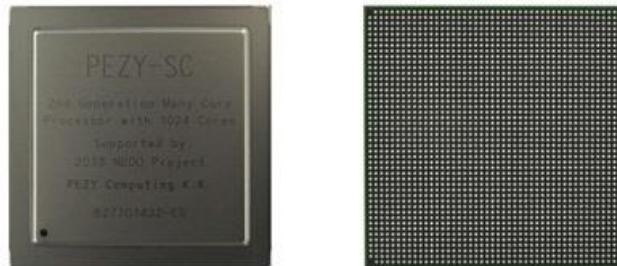


Figure 10: la puce PEZY issue des projets portés par la NEDO

Refroidissement

Exascal⁴² est un acteur plus récent sur la scène japonaise, créé en 2014 et basé à Tokyo, avec seulement 9 salariés en novembre 2015. Exascal base son offre sur son système initial de refroidissement par immersion liquide ayant une grande efficacité et permettant des systèmes de haute densité. Elle utilise des liquides avec une forte résistance diélectrique, peu de pertes d'évaporation, une température d'ébullition et une performance de refroidissement hautes.

L'entreprise a élargi son offre à des systèmes de calcul à grande échelle et efficaces énergétiquement. Elle travaille notamment sur des cartes systèmes, cartes d'accélération spécialement adaptées à l'immersion dans des liquides, et développe pour le compte de tiers des systèmes HPC et des systèmes de refroidissement pour les *data centers*. Exascal a notamment contribué à la réalisation de l'ordinateur Shoubu, en tête du Green500 de novembre 2015 (et à celle des trois premiers superordinateurs en tête de la liste du Green500 en juin 2015), avec la startup partenaire PEZY (le PDG de PEZY, Motoaki Saito, est également co-CEO de la société Exascal).

Exascal et PEZY43 font partie des startups japonaises considérées comme les plus innovantes du domaine du HPC (les accélérateurs de PEZY Computing ne sont à l'heure actuelle intégrés uniquement sur des machines japonaises).

Depuis Août 2014, Exascal travaille sur des projets de recherche collaborative avec *l'Inter – University Research Institute Corporation - High Energy Accelerator Research Organization*⁴⁴, qui est un groupement de recherche inter-universités/institut de recherche travaillant sur des sujets semblables. Depuis Octobre 2014, Exascal collabore également avec l'Université de Tokyo.

⁴¹ <http://www.nvidia.com/content/tesla/pdf/gpu-accelerated-applications-for-hpc.pdf>

⁴² <http://www.exascal.co.jp/en/>

⁴³ <http://www.nextplatform.com/2015/07/13/9-small-companies-poised-to-reshape-hpc-hardware/>

⁴⁴ <http://www.mext.go.jp/english/relatedsites/1303440.htm>



Figure 11: Un système de refroidissement par immersion de PEZY/ExaScaler utilisant un fluide diélectrique 3M™ Fluorinert™ (supercalculateur Shoubu)⁴⁵

Enfin en août 2015, la société Cyberdyne (située à Tsukuba), dirigée par le Dr. Yoshiyuki Sankai, professeur de l'Université de Tsukuba, très renommé pour ses activités en robotique avec notamment l'exosquelette HAL, a annoncé avoir investi au capital d'Exascalers dans l'optique d'un partenariat industriel pour le traitement des données massives collectées par les systèmes IoT de Cyberdyne. Les deux sociétés opéreront ensemble un *datacenter* bénéficiant des meilleures technologies mondiales qui sera construit dans cette optique au centre mondial d'innovation en cybernétique de Cyberdyne, situé dans la ville de Kawasaki, dans la préfecture de Kanagawa (sud de Tokyo)⁴⁶.

Groupement industriel japonais pour le HPC : ICSP

Le Comité industriel pour la promotion du calcul à haute performance (ICSP, *Industrial Committee for Supercomputing Promotio*, créé en 2005) est en charge de la réflexion, la promotion et le soutien de la compétitivité du secteur HPC au Japon. Ce groupement mène des activités de lobbying pour le supercomputing au Japon auprès des acteurs politiques japonais et représente les utilisateurs du HPCI. Son président actuel, Takeshi Uchiyamada, est le PDG de Toyota.

Il est composé à la fois des acteurs impliqués dans la construction des infrastructures de calcul à haute performance (Fujitsu, NEC, Hitachi) mais également des fabricants de logiciels ou encore les utilisateurs de ces infrastructures de grande capacité de calcul, comme Nippon Steel et Sumitomo

⁴⁵ <http://www.businesswire.com/news/home/20150922005240/en/3M-Fluorinert-Helps-PEZYExaScaler-Rise-Top-Green500>

⁴⁶ http://www.cyberdyne.jp/english/company/PressReleases_detail.html?id=3427

**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

Metal (métallurgie), Kawasaki Heavy Industry (industrie lourde), Mitsubishi chemical (industrie chimique), le Railway Technical Institute de Toyota (automobile), etc⁴⁷.

Positionnement des industriels japonais du calcul intensif

La liste des 500 ordinateurs les plus performants du monde (Top 500), éditée deux fois chaque année (juin/novembre), montre l'importance du Japon dans ce domaine : il possède en effet 37 supercalculateurs, dont 12 parmi les 100 premiers mondiaux (données de novembre 2015).

A titre de comparaison, les Etats-Unis possèdent 35 supercalculateurs dans le Top 100, la Chine 11, la France 5.

La France possède toutefois avec Total le supercalculateur détenu par un industriel le plus performant au monde (6,7 petaflops). Total a d'ailleurs annoncé une augmentation des performances de son supercalculateur, le plaçant théoriquement parmi les dix plus puissants au monde⁴⁸.

Ci-après un comparatif du nombre de supercalculateurs classés pour les principaux pays équipés⁴⁹:

Pays	Nombre d'ordinateurs dans le Top 500	Nombre d'ordinateurs dans le Top 100
Etats-Unis	199 (233 en juin 2015)	35 (34)
Japon	37 (40)	12 (14)
Allemagne	32 (37)	10 (10)
Chine	109 (37)	11 (7)
Royaume-Uni	18 (29)	6 (7)
France	18 (27)	5 (6)

Puissance de calcul installée au Japon

On observe toutefois que la majorité des supercalculateurs japonais (plus de 60%) ont été produits par des fournisseurs étrangers :

- Constructeurs : Cray (8), SGI (6), HP (3), IBM (2), Bull-Atos (1), Supermicro (1)

⁴⁷ La liste complète de ces acteurs est disponible en Annexe 5

⁴⁸<http://www.total.com/fr/medias/actualite/communiqués/le-supercalculateur-de-total-devient-le-1er-calculateur-mondial-de-lindustrie>

⁴⁹ Un panorama général du dernier classement est disponible Annexe 1 : Panorama général du Top 500 (novembre 2015).



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

- Microprocesseurs : Intel (ultra majoritaire), AMD, IBM
- Accélérateurs : NVIDIA, Intel, AMD, PEZY

15 machines seulement ont été réalisées par des constructeurs nationaux : Fujitsu (9), PEZY-Exascaler (2), Hitachi (1), NEC (1), NEC-HP(1), Hitachi-Fujitsu (1).

Les constructeurs japonais restent donc, même sur leur sol, loin derrière les plus importants acteurs que sont Cray et SGI. La tendance de domination majeure américaine est similaire pour les processeurs et les accélérateurs. Il n'y a par contre aucune machine chinoise parmi les supercalculateurs installés au Japon.

A noter la présence (#456) d'un supercalculateur Atos-Bull au Japon (*International Fusion Energy Research Centre (IFERC), EU(F4E) - Japan Broader Approach collaboration*, voir la partie sur la Coopération Europe-Japon), à l'initiative de l'Europe.

Les superordinateurs construits par les fabricants japonais dans le monde

La liste des superordinateurs construits par les fabricants japonais dans le Top 500 et leurs détails est disponible en Annexe 4.

Les constructeurs japonais ont fourni 19 supercalculateurs dans le Top 500, dont la majorité se trouve au Japon :

- Fujitsu (12 supercalculateurs sur 500) : 9 au Japon, 1 en Australie, 1 en Espagne, 1 en Arabie Saoudite
- Hitachi (1) : 1 au Japon
- Hitachi/Fujitsu (1) : 1 au Japon
- NEC (2) : 1 au Japon et 1 en Allemagne
- NEC/HP (1) : 1 au Japon
- PEZY/Exascaler Inc. (2) : 2 au Japon

b. Acteurs académiques

Acteurs japonais de la recherche sur le HPC

Au niveau des publications, les principales institutions japonaises actives dans le domaine du HPC sont présentées ci-après :

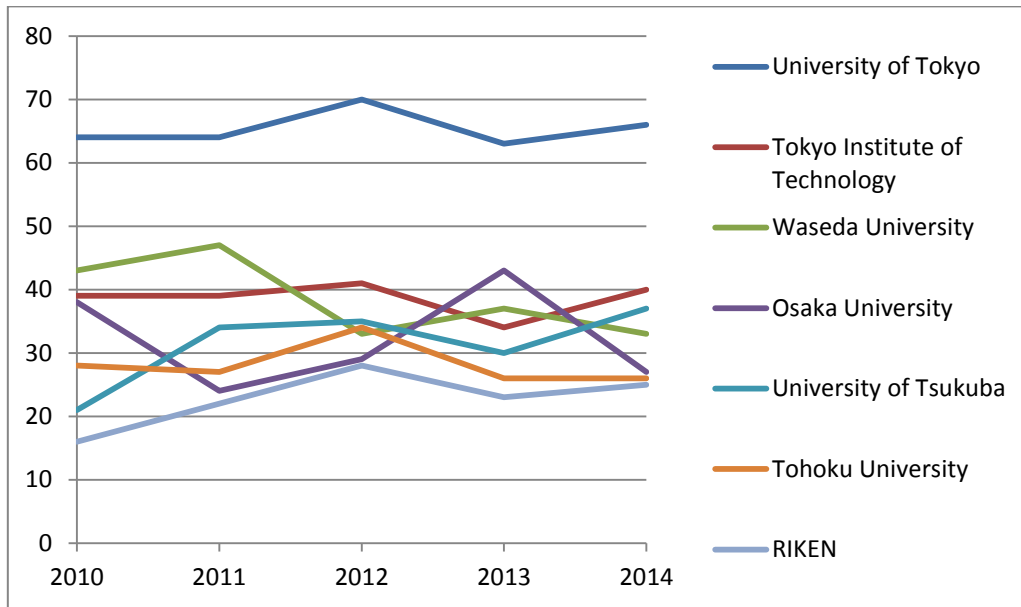


Figure 12 : Principales institutions académiques japonaises publiant dans le domaine HPC dans la catégorie informatique (i.e. concernant le développement de technologies HPC)⁵⁰

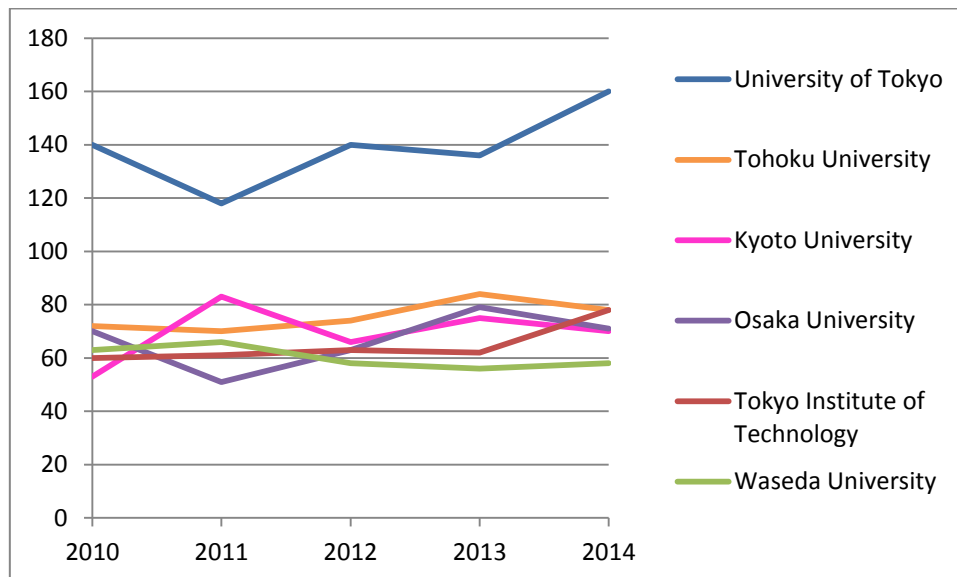


Figure 13 : Principales institutions académiques japonaises réalisant des publications liées au HPC (i.e. couvrant également les applications scientifiques utilisant le HPC)

⁵⁰ Source : outil Scival®, recherche sur la période 2010-2015 effectuée pour le Japon en mars 2016 avec les mots clés suivants : multicore, distributed algorithms, data parallelism, exaflop, high performance computing

RIKEN AICS

Le principal acteur académique japonais est la division des sciences computationnelles au RIKEN : RIKEN AICS (*Advanced Institute for Computational Science*). Fondée en 2010 et située à Kobe, elle compte 248 personnes au 1^{er} novembre 2015. Elle traite à la fois les développements technologiques du HPC, mais également des applications et possède un rôle de coordinateur de la recherche académique japonaise sur le HPC. Le directeur du RIKEN AICS (en mars 2016) est le professeur Kimihiko Hirao.



Figure 14 : RIKEN AICS

L'AICS est l'un des instituts du RIKEN, l'un des centres de recherche les plus importants du Japon avec 3400 employés et un budget de 80 G yens en 2013, avec la particularité d'être très bien doté en grandes infrastructures de recherche (K computer à Kobe, synchrotron SPring-8, SACLA X-ray laser à électron libre à Harima, faisceau radioisotope à Wako, BioResource Center à Tsukuba...)

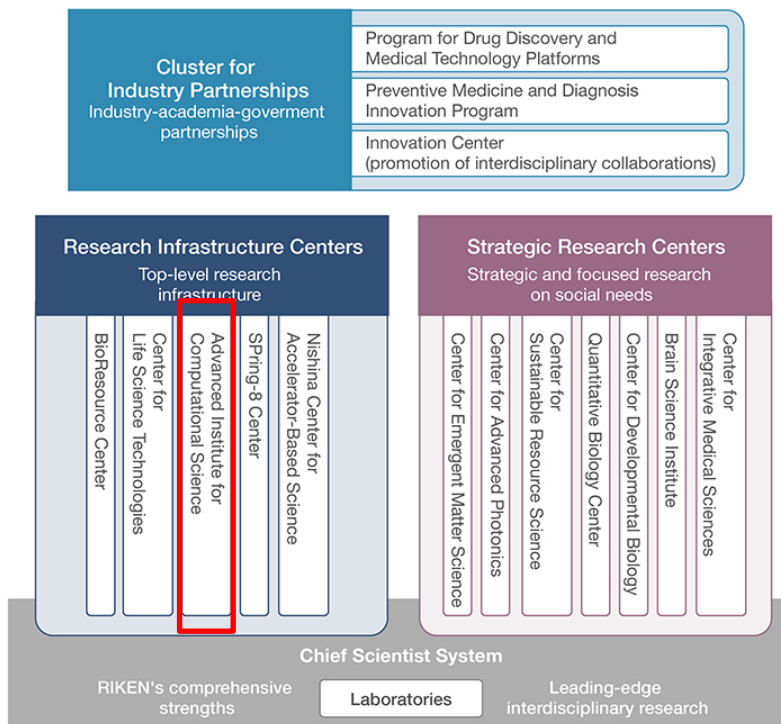


Figure 15 : Le système de recherche du RIKEN

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

La structure du RIKEN AICS est adaptée aux défis technologiques du calcul haute performance : ainsi, sa direction de recherche possède des divisions en charge des systèmes logiciels, processeurs ou de la programmation adaptée au HPC, mais également des divisions dédiées à des applications particulières (sciences des matériaux, des molécules, etc.) ainsi qu'une division dédiée à la réalisation du projet Exascale.

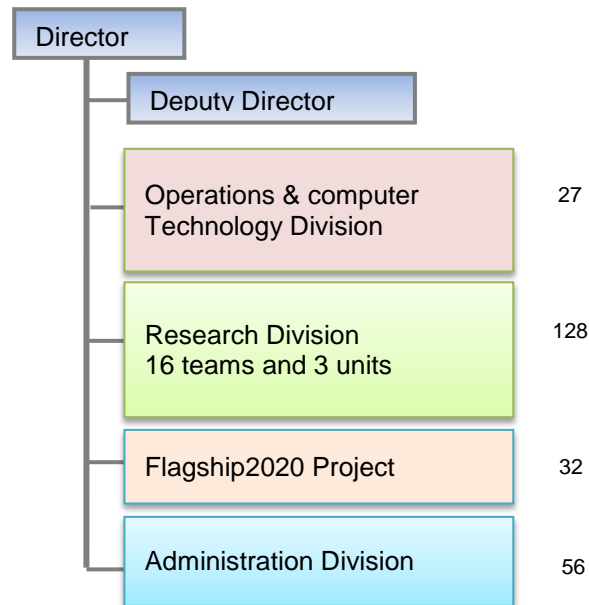


Figure 16: Organisation générale du RIKEN AICS et effectifs associés

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

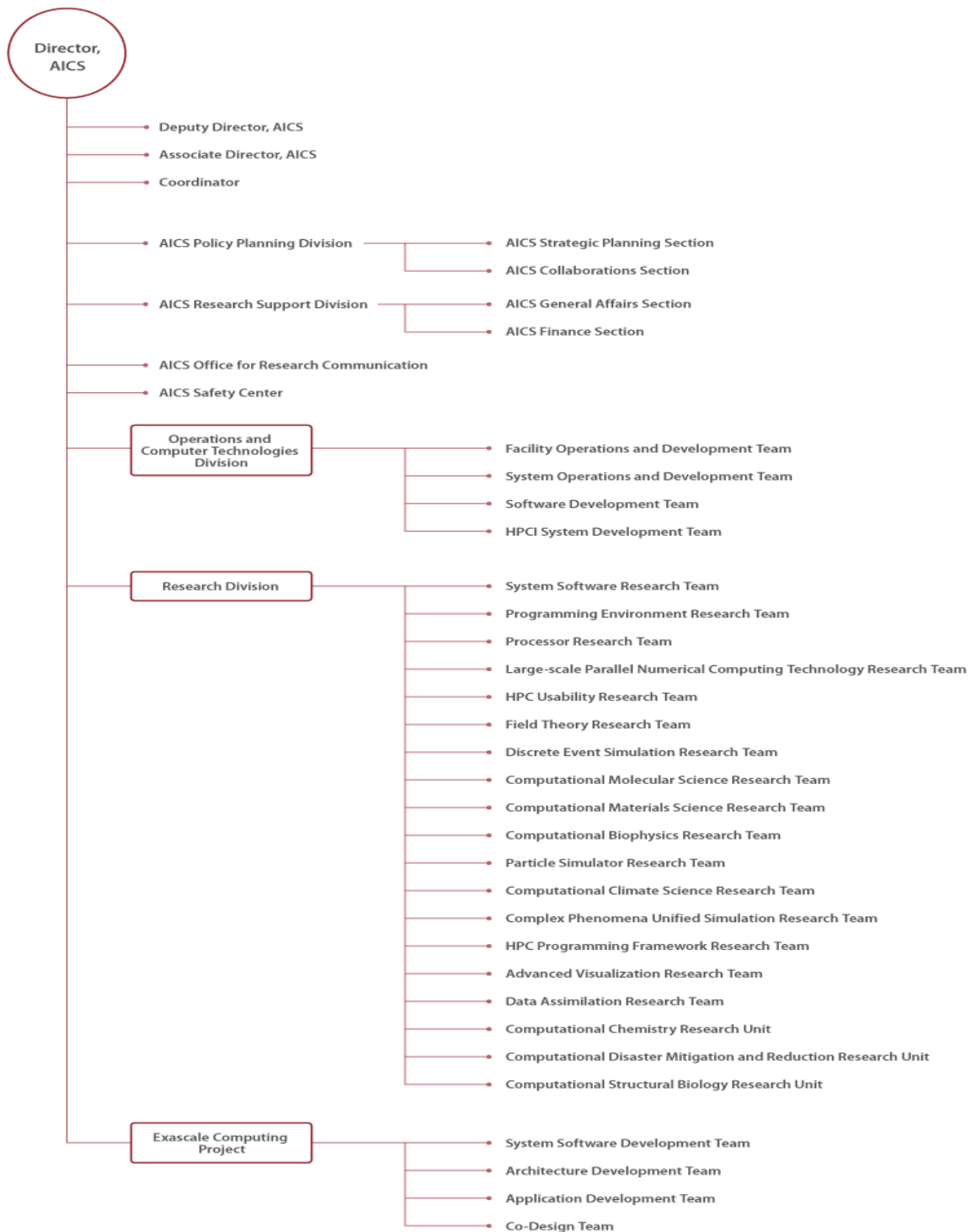


Figure 17: Détails de l'organisation de l'AICS

Les premiers éléments de design pour le système post-K et des exemples de projets sur lesquels travaillent les chercheurs de l'AICS sont présentés par la suite.



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Les partenaires internationaux principaux du RIKEN AICS sont :

The Joint-Laboratory for Extreme-Scale Computing (JLESC)	USA Europe
Argonne Leadership Computing Facility	USA
National Center for Supercomputing Applications(NCSA)	
University of Maryland	
Julich Supercomputing Center	Germany
National Computational Infrastructure	Australia
Maison de la Simulation (MDLS), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	France
The Scuola Internazionale Superiore Di Studi Avanzati (SISSA)	Italia

Les autres acteurs académiques du domaine HPC au Japon sont les institutions académiques travaillant sur les sciences de l'informatique et leurs différentes composantes, principalement les universités de Tsukuba, Tokyo, Kyoto, Tohoku et le Tokyo Institute of Technology.

Université de Tsukuba

L'Université de Tsukuba a effectué des travaux particuliers sur le HPC pour le développement de ses machines HA-PACS (rang 371 dans le Top500 de Novembre 2015) et COMA. Elle figure parmi les premiers acteurs du HPC à effectuer du co-design et à mettre en place des équipes multidisciplinaires. Elle a possédé, il y a de cela une quinzaine d'années, la machine numéro 1 au top 500.

Le département des sciences informatiques de l'Université de Tsukuba se penche en particulier sur l'usage des accélérateurs dans le HPC pour les nouvelles générations de supercalculateurs, notamment pour lever la limitation des capacités de mémoire, en développant des modèles de co-design (notamment pour la performance, la bande passante et la capacité).

L'Université de Tsukuba travaille notamment sur des architectures d'accélérateurs permettant une optimisation des communications avec/entre accélérateurs (*Tightly Coupled Accelerators - TCA*), notamment le processeur Peach2⁵¹, actuellement réalisé dans un FPGA.

⁵¹ <http://www.ccs.tsukuba.ac.jp/files/ex-review/Kodama.pdf>

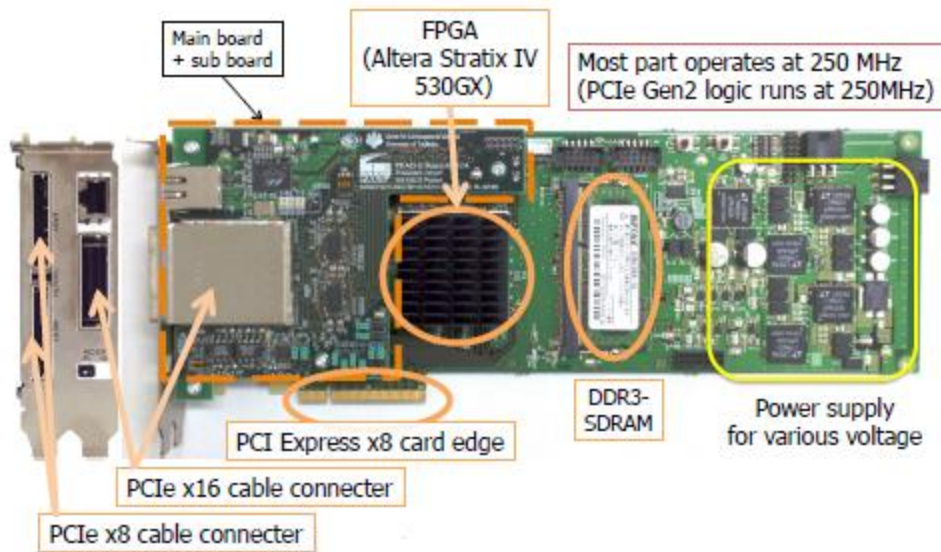


Figure 18 : Carte Peach2

L'Université de Tsukuba a intégré la technologie TCA dans son projet HA-PACS (*Highly Accelerated Parallel Advanced System for Computational Sciences*), qui constitue un environnement de test idéal pour sa carte Peach2 et permet surtout des communications plus rapides entre GPU (en testant le gain au niveau algorithmique).



Figure 19 : le cluster HA-PACS et la partie TCA (depuis le 1er Novembre 2013)

Le projet HA-PACS (2011-2013), consiste en un cluster de base comprenant des GPU classiques et une partie dédiée à l'expérimentation de la technologie TCA et des cartes Peach2.

La partie cluster de base consiste en 268 nœuds de calcul avec les caractéristiques suivantes :

- Processeur Intel SandyBridge CPU x 2 + GPU NVIDIA M2090 (Fermi) x 4
- Dual rail InfiniBand QDR

La partie TCA (64 nœuds) comprend :



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

- Des processeur Intel IvyBridge CPU x 2 + GPU NVIDIA K20X (Kepler) x 4
- Des cartes Peach2 installées dans chaque nœud et connectées par son réseau

La capacité du cluster est de 1.2 petaflops, décomposée de la façon suivante :

- HA-PACS Base Cluster = 2.99 teraflops x 268 = 802 teraflops
- HA-PACS/TCA = 5.69 teraflops x 64 node = 364 teraflops

La partie TCA a permis des avancées importantes en termes de gain d'efficacité énergétique et a figuré au 3ème rang du (#3 au Green500 de novembre 2013). Le Green500 est un classement édité deux fois par an, visant à évaluer la performance énergétique des supercalculateurs (exprimée en Mflops/W, voir Figure 30 : Classement du Green 500 en novembre 2015).

Les machines en tête du classement du Green500 doivent être néanmoins considérées d'avantage comme des démonstrateurs de recherche que comme des machines de production.

L'Université de Tsukuba est également impliquée dans projet « environnement de calcul accéléré et interconnexions pour l'ère post-pétaflopique » du programme JST-CREST « *Development of System Software Technologies for post-Peta Scale High Performance Computing* », voir II.1.b Orientations stratégiques et financement.

La partie développement logiciel dans ce projet porte sur les sujets suivants :

- Logiciels systèmes (microprogramme et driver pour effectuer la copie de mémoire directe GPU-GPU, API utilisateurs pour la copie de mémoire GPU asynchrone)
- XcalableMP/TCA avec OpenACC (compilateur pour les accélérateurs basé sur OpenACC en langage XcalableMP sur module de communication TCA)
- Logiciel applicatif (bibliothèque de calcul QUDA-QCD en partenariat avec NVIDIA), optimisation avec TCA pour la physique des particules, l'astrophysique, méthodes SpMV et CG sur TCA)
- Amélioration des modules hardware TCA

Le deuxième supercalculateur de l'Université de Tsukuba est COMA - *Cluster Of Many-core Architecture* (PACS-IX)⁵², qui est rentré en opération en Avril 2014, à la suite du système T2K-Tsukuba (supercalculateur entre Tokyo, Tsukuba et Kyoto)⁵³.

⁵² <http://www.hpctoday.fr/best-practices/comment-construire-un-supercalculateur-1pflops-avec-des-processeurs-many-core/>

⁵³ <http://www.open-supercomputer.org/>



Figure 20 : La machine COMA

Les caractéristiques de la machine sont les suivantes :

- Vendeur : Cray Inc.
- 393 Nœuds de calcul : CPU classique + many-core (MIC)
- Configuration des nœuds :
 - o CPU x 2: Intel Xeon E5-2670v2 (IvyBridge)
 - o MIC x 2: Intel Xeon Phi 7110P
 - o Memory: CPU=64GB MIC=16GB
 - o Network: InfiniBand FDR Full-bisection b/w Fat Tree
- Interconnexion : Fat-tree full-bisection bandwidth (2,75 TB/s)
- Système de partage de fichier : Lustre (Hitachi)
- Performance crête : CPU=157.2 teraflops MIC=843.8 teraflops pour un Total de 1001 teraflops = 1.001 petaflops

Tokyo Institute of Technology

Le Tokyo Institute of Technology est de son côté particulièrement visible pour ses travaux sur les différentes générations de sa machine TSUBAME, notamment sous la conduite du professeur Satoshi Matsuoka (TSUBAME 2.0 était classé 4^{ème} du Top500 en Novembre 2010).

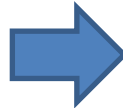
Le Tokyo Institute of Technology mène plusieurs projets dans le cadre de son programme post petascale, notamment :

- « *Billion - Way Parallel System Fault Tolerance* », 2011-15 (financé par la JSPS pour un montant de 1,8 M€) avec Franck Cappello (*Argonne National Laboratory*) et Bronis de Spinski (*Lawrence Livermore National Laboratory*)
- « *Ultra Green Supercomputing* », 2011-15 (financé par le MEXT pour un montant de 2,7M€) TSUBAME - KFC (TSUBAME3.0 Prototype)
- « *Extreme Big Data* », 2013 - 2017 (dans le cadre du programme JST/CREST « *Core technologies for Big Data Integration* » cf. II.1.b Orientations stratégiques et financement)

**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

Le projet TSUBAME-KFC (*Kepler Fluid Cooling*) vise à développer de nouvelles technologies de refroidissement (notamment dans l'huile). Ces travaux ont déjà permis à TSUBAME d'être classé au 2^{ème} rang du Green500 en novembre 2015

La prochaine version de TSUBAME : TSUBAME 4.0, surnommée « *K in a box* » ou « *Golden Box* », consiste à miniaturiser la puissance de calcul équivalente au K computer.



Université de Tokyo

L'Université de Tokyo est également un acteur essentiel de la recherche dans le domaine HPC. C'est l'institution qui produit le plus grand nombre de publications scientifiques dans le domaine.

En particulier, certains chercheurs de l'Université travaillent sur le défi énergétique que représente l'objectif de l'échelle exaflopique, dans le cadre de plusieurs projets :

- « *Power Management framework for Post-Petascale supercomputers* » (PomPP-project), financé dans le cadre du programme JST/CREST « *Development of System Software Technologies for post-Peta Scale High Performance Computing* » (cf. II.1.b Orientations stratégiques et financement)
 - « *Development of System Software Technologies for post-Peta Scale High Performance Computing* » (financé par la JST, programme CREST)
 - « *R&D of a software framework for power aware code optimization and holistic power management* »
 - « *Adaptively controls power-performance knobs equipped in hardware devices to maximize effective performance within a power constraint* »
 - « *Worst case design power-constraint adaptive design* »
 - « *Power-Constraint Adaptive System* » (P-CAS)⁵⁴ : permet des pics de puissance supérieurs à ce que permettent les contraintes normales de puissance (*over-provisioning*), permet de contrôler le réglage de la puissance pour rester sous les contraintes de puissance et d'améliore la performance en allouant un budget de puissance à chaque composant

⁵⁴ http://www.exascale.org/bdec/sites/www.exascale.org.bdec/files/whitepapers/position-paper-Kondo_0.pdf

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

La plupart des institutions principales de recherche japonaise possède par ailleurs sa propre feuille de route de développement pour ses supercalculateurs. L'illustration ci-dessous montre la feuille de route des 9 principales machines japonaises des universités (hors RIKEN).

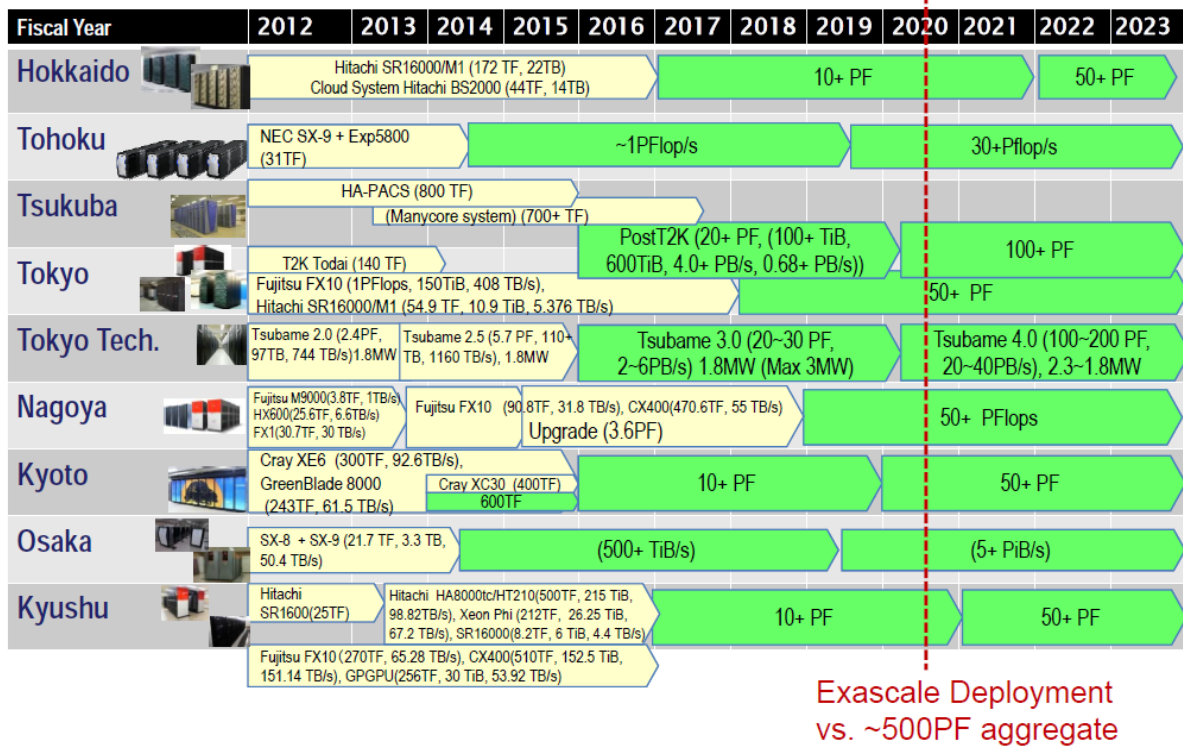


Figure 21 : planning de développement des principaux centres de calculs japonais (hors K et post K computer)

Enfin, ces acteurs collaborent fortement. Ainsi, une équipe conjointe du RIKEN, de l'Université de Tsukuba, de l'Université de Tokyo, et de Fujitsu a été récompensée du très prestigieux prix Gordon Bell en 2011 pour la performance crête de leurs calculs effectués sur le K computer.



**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

Les principaux utilisateurs académiques japonais du HPC

Les principaux acteurs académiques utilisateurs par thèmes sont les suivants :

1. Biosciences prédictives, assistance médicale, design de médicaments : RIKEN
2. Nouveaux matériaux et nouvelles énergies : *Institute for Solid State Physics*, Université de Tokyo
3. Prédiction environnementale pour la prévention et la mitigation des désastres : JAMSTEC
4. Industrie nouvelle génération : *Institute for Industrial Sciences*, Université de Tokyo
5. Origine et structure de la matière et de l'Univers : *Center for Computational Sciences*, Université de Tsukuba
6. Aérospatial (JAXA)

De plus en plus de centres de recherche s'équipent, pour le bénéfice de leurs chercheurs, de leur propre supercalculateur. Dans certains cas, ces infrastructures sont également mises en commun avec les chercheurs du même domaine à l'échelle nationale.

Quelques exemples récents (principalement équipés de machines américaines):

- OIST à Okinawa, fournisseur Supermicro (USA)⁵⁵
- ISSP (Institut pour la Physique des solides, Université de Tokyo), fournisseur SGI⁵⁶
- Earthquake Research Institute (ERI), Université de Tokyo⁵⁷, fournisseur SGI
- Université de Nagoya⁵⁸, fournisseur SGI
- Université de Kyoto, pour les sciences de la vie, fournisseur SGI⁵⁹

Par ailleurs, au-delà du K computer, le RIKEN possède également une infrastructure de Calcul haute performance mettant en commun plusieurs calculateurs pour permettre à ses chercheurs de disposer de moyens de simulation et de calcul : le RICC (*RIKEN Integrated Cluster of Clusters*)⁶⁰.

Le projet a vu le jour en 2009, à la suite du RIKEN Super Combined Cluster (RSCC), premier système au Japon combinant en un seul système une multitude de ressources informatiques.

Les clusters principaux constituant le RICC sont :

- *Massively Parallel PC Cluster* (8384 cœurs) - NVIDIA C1060 Graphics Processing Unit (performance maximale : 9.3 teraflops + 93.3 teraflops [en précision simple])
- *Multi-purpose Parallel PC Cluster* (800 cœurs) - 512 Go de mémoire

⁵⁵ <http://insidehpc.com/2015/08/supermicro-deploys-sango-supercomputer-at-oist-in-japan/>

⁵⁶ <http://insidehpc.com/2015/06/sgi-ships-2-65-petaflop-ice-xa-supercomputer-to-issp-in-japan/>

⁵⁷ <http://insidehpc.com/2015/04/sgi-powers-earthquake-research-in-japan/>

⁵⁸ <http://insidehpc.com/2014/11/sgi-japan-delivers-large-scale-visualization-system-nagoya-university/>

⁵⁹ <http://insidehpc.com/2015/10/kyoto-university-orders-sgi-uv-supercomputer-for-life-sciences/>

⁶⁰ Description du [RIKEN Integrated Cluster of Clusters \(RICC\)](#):



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

- *MDGRAPE-3 cluster* (256 cœurs) - (un ordinateur spécialement développé par le RIKEN pour la dynamique moléculaire) avec une performance de pic de 3.0 teraflops + 64 teraflops, développé par l'équipe du professeur Makino
- *Large Memory Capacity Server* (36 cœurs)

Ces clusters sont interconnectés par un réseau InfiniBand DDR (*Double Data Rate*) installé avec un module de disque magnétique à haute vitesse de 550TB et un système de librairie de 2 Petaoctets pour le stockage. La performance globale LINPACK du RICC était d'environ 98 teraflops (en 2012).

Le RIKEN propose à ses utilisateurs (les chercheurs du RIKEN) des services, de formation, d'installation d'applications, de support pour l'accélération/la parallélisation des programmes, pour la programmation et pour la visualisation des résultats. Un service de maintenance est également disponible.

3. Projets phares & coopérations entre mondes industriels et académiques

Les principaux projets d'envergure au Japon sont pour la plupart issus de la coopération entre acteurs industriels et académiques, avec le soutien de l'Etat japonais.

Ainsi, ces dernières années, deux projets phares pour le Calcul haute performance ont particulièrement mis le Japon sur le devant de la scène internationale : la réalisation du K computer, issu du partenariat entre Fujitsu et le RIKEN, et la réalisation de l'infrastructure partagée nationale HPCI, mettant en commun les principaux supercalculateurs japonais (dont le K computer) et dont l'utilisation est ouverte aux académiques et aux entreprises. Enfin le dernier projet en date vise le retour du Japon sur le devant de la scène mondiale du calcul haute performance d'ici 2020 : le projet Flagship 2020.

a. K computer

Fujitsu a construit, en partenariat avec le RIKEN, le K Computer⁶¹, le superordinateur phare du Japon, qui affiche une puissance de calcul de 10 pétaflops. Il est installé depuis 2011 à l'institut RIKEN/ AICS. Sa fabrication a coûté plus de 110 milliards de yens (légèrement moins d'un milliard d'euros). Il figure maintenant en quatrième position du Top500 au bénéfice de deux supercalculateurs américains : Sequoia fabriqué par IBM (n°3) et du Titan fabriqué par CRAY (n°2) et enfin du Tianhe-2 développé par la NUDT (*National University of Defense Technology*) et hébergé au *National Supercomputing Center* à Canton en Chine (n°1) occupant à présent les deux premières places. Il possède 88 128 processeurs de 2 GHz composés de 8 cœurs chacun, soit un total de 705 024⁶². A noter que le K computer n'utilise pas d'accélérateur.



Figure 22 : Le K computer à Kobe

⁶¹ http://132.247.174.60/super/20150610_Fujitsu-TechnocalComputingSolutions.pdf?bcsi_scan_76859af71b923077=1&bcsi_scan_1fe59ba8c561fa18=0&bcsi_scan_filename=20150610_Fujitsu-TechnocalComputingSolutions.pdf

⁶² http://www.aics.riken.jp/en/wp-content/uploads/system_handout.pdf

Le K computer a été réalisé via un partenariat entre le RIKEN et Fujitsu, dans le cadre duquel plus de 1000 personnes ont travaillé à son développement.

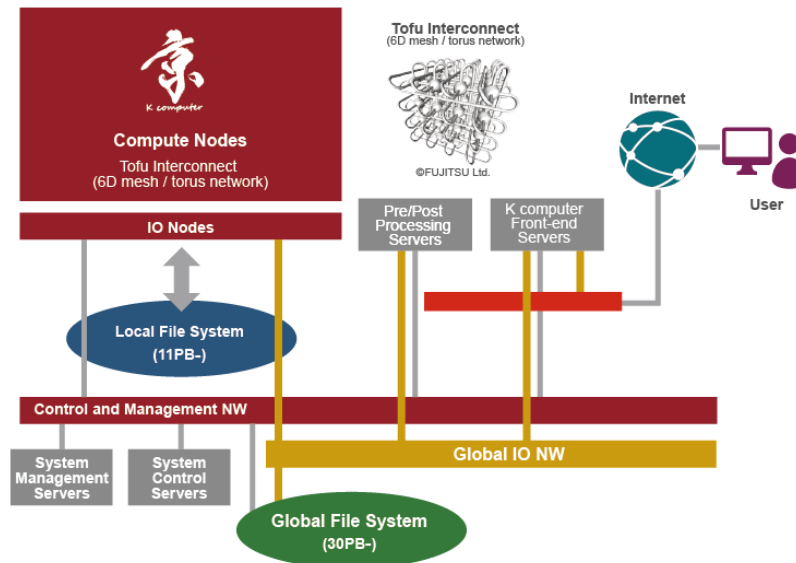


Figure 23 : organisation du K computer

Le K computer a certes été dépassé sur le plan de la vitesse de calcul mais reste à l’heure actuelle une référence mondiale pour sa capacité à traiter un volume de données très important, illustré par la première place du consortium entre le RIKEN, Tokyo Institute of Technology, University College Dublin, Kyushu University, et Fujitsu Limited pour le K computer **au dernier classement du Graph 500⁶³ de novembre 2015** et ce, pour la deuxième année consécutive⁶⁴. Le classement du Graph500 a été édité pour la première fois en 2010. et cherche à évaluer la performance des superordinateurs sur des charges de données importantes, plutôt que leur vitesse simple, dans le but d’améliorer le traitement de problèmes de données complexes dans les domaines comme la cybersécurité, l’informatique médicale, les réseaux sociaux, la modélisation des circuits neuronaux du cerveau, etc.

Au niveau des travaux utilisant le K computer, outre sa participation au réseau HPCI (voir ci-après), le Japon (via le MEXT) a identifié cinq domaines stratégiques pour les applications cibles visant à produire des résultats scientifiques pour résoudre les défis sociétaux (2011). Des groupes dédiés promeuvent la R&D utilisant le K computer et la mise en place de structures de recherche dédiées pour leur domaine spécifique.

Ils sont listés dans les projets SPIRE (« *Strategic Programs for Innovative Research* ») et possèdent chacun un professeur (et un institut de recherche) de supervision:

- Sciences du vivant/développement de nouveaux médicaments (professeur Toshio Yanagida – RIKEN)
- Nouveaux matériaux / création d’énergie (professeur Shinji Tsuneyuki – Université de Tokyo)

⁶³ <http://www.graph500.org/>

⁶⁴ http://www.riken.jp/en/pr/topics/2015/20151118_1/

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

- Prédiction des changements globaux pour la prévention/mitigation des désastres (professeur Shiro Imawaki – JAMSTEC)
- Technologies pour l'industrie et la production (professeur Chisachi Kato – Université de Tokyo)
- Origine de la matière et de l'Univers (Shinya Aoki – Université de Tsukuba)

50% des ressources du K computer sont dédiées à ces domaines stratégiques, le reste du temps étant destiné à un usage public (notamment pour les autres types de recherche, l'usage industriel ou la maintenance), pour lequel la sélection se fait via les appels à projets de l'infrastructure nationale HPCI (voir ci-après).

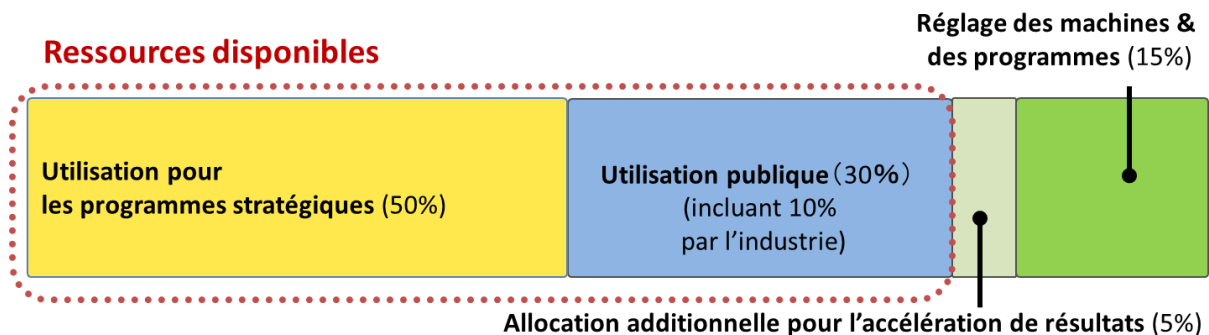


Figure 24: Allocation des ressources du K computer

Pour promouvoir l'usage public (notamment industriel), différents systèmes de valorisation et de services ont été mis en place, tels qu'une phase d'essai, la possibilité de ne pas dévoiler ses résultats (ce qui induit des frais supplémentaires), un système d'utilisation prioritaire (pour éviter le temps d'attente, de mise en file des tâches), etc. La construction du K computer a permis d'augmenter de manière significative l'usage du HPC dans le monde industriel japonais.

Au niveau de ses performances, le taux d'utilisation moyen du K computer est d'environ 70-80%, et il n'a subi depuis sa mise en service que très peu de pannes majeures entraînant l'arrêt complet du système.

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

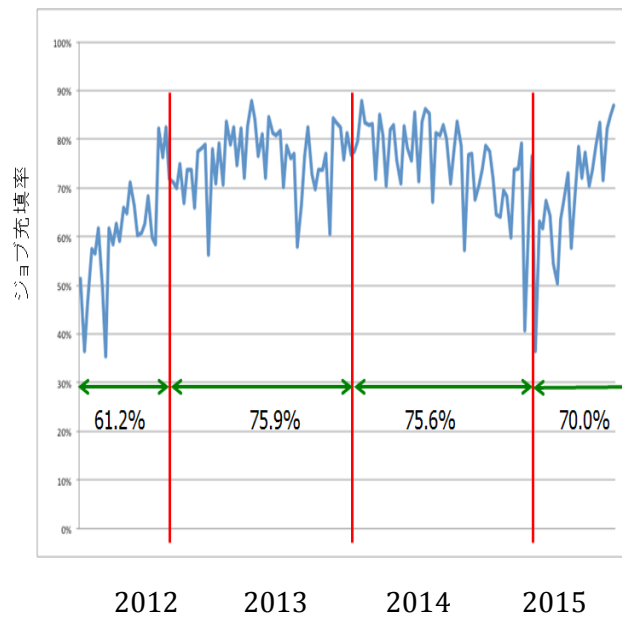


Figure 25: Taux d'utilisation du K computer

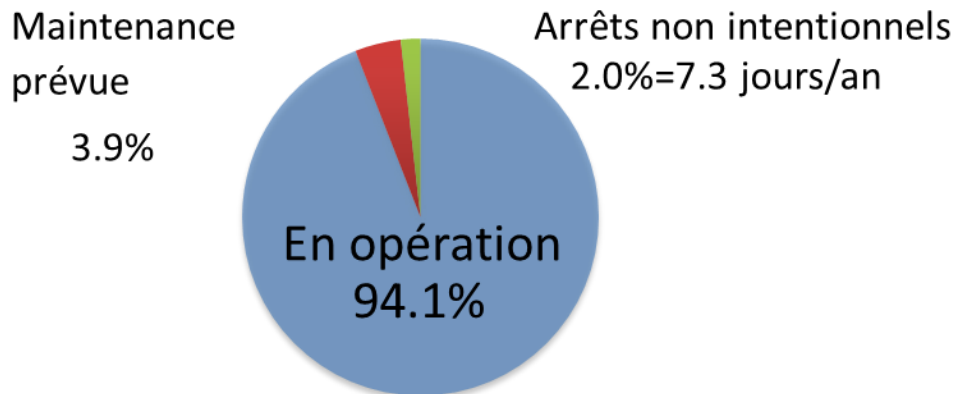


Figure 26: Niveau de stabilité du K computer

La consommation électrique du K computer est environ de 12.7 MW/h⁶⁵, ce qui correspond globalement à la consommation de 30 000 foyers (si on considère une consommation typique d'un foyer d'environ 400 W/h). Le K computer faisait partie au moment de sa conception des ordinateurs dotés de la meilleure efficacité par unité d'énergie.

⁶⁵ <http://www.fujitsu.com/global/about/businesspolicy/tech/k/qa/#qa12>

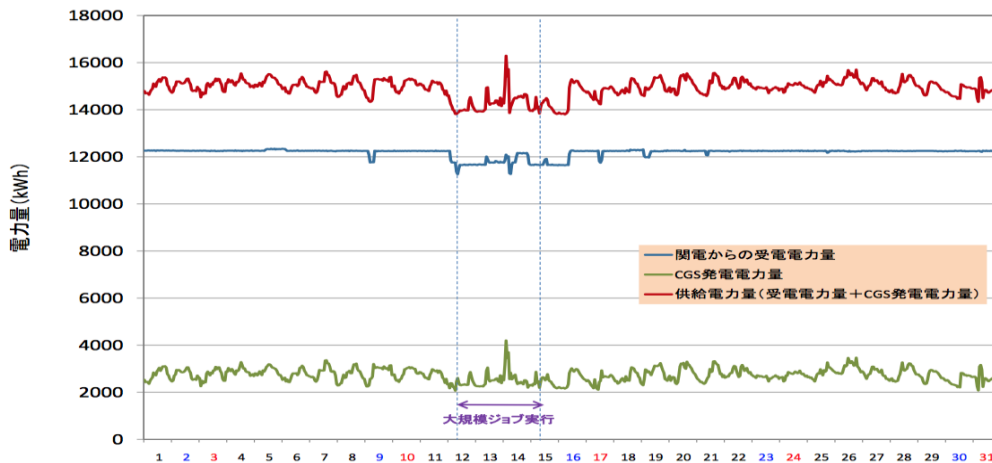


Figure 27: Consommation électrique mensuelle du K computer

b. Infrastructure nationale de calcul haute performance au Japon (HPCI)

Afin de permettre au Japon de bénéficier d'une capacité de calcul lui permettant de jouer un rôle central sur la scène scientifique mondiale, le MEXT (*Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology*) a engagé en 2010 une étude sur la faisabilité d'une infrastructure distribuée au niveau national permettant de fournir un cadre et une structure de calcul haute performance pour permettre aux utilisateurs isolés des centres majeurs de calcul de bénéficier d'une ressource nationale de haute performance.

Suite à cette étude, l'infrastructure HPCI (*High Performance Computing Infrastructure*⁶⁶) a été mise en opération en septembre 2012. Elle vise à promouvoir une plus vaste utilisation du Calcul à haute performance depuis la recherche exploratoire jusqu'au traitement de données à grande échelle et la recherche appliquée, afin d'élargir et d'encourager la communauté scientifique de la simulation et de mettre en lien l'offre et la demande en infrastructures de calcul.

⁶⁶ http://www.prace-ri.eu/IMG/pdf/pd15-K07-Presentation-by-RIST-for-PRACEdays15_v1.1.pdf



Figure 28 : les douze institutions participant au HPCI

Cette infrastructure (au total environ 25 petaflops⁶⁷ dont 10 pour le K computer, capacité de stockage de 20 Petaoctets de disques mémoire partagés et 60 Petaoctets de bande magnétique de stockage) consiste en la mise en connexion des principaux supercalculateurs japonais par une infrastructure réseau à très haut débit (appelée SINET4, opéré par le NII ([National Institute of Informatics](http://www.nii.ac.jp/en/)⁶⁸), à savoir :

- [RIKEN Advanced Institute for Computational Science](http://www.aics.riken.jp/) (K computer)
- [Information Initiative Center, Université de Hokkaido](http://www.iiic.hokudai.ac.jp/)
- [Cyberscience Center, Université du Tohoku](http://www.csc.tohoku.ac.jp/)
- [Center for Computational Sciences, Université de Tsukuba](http://www.csc.tsukuba.ac.jp/)
- [Information Technology Center, Université de Tokyo](http://www.ityc.u-tokyo.ac.jp/)
- [Global Scientific Information and Computing Center, Institut de Technologie de Tokyo \(Tokyo Institute of Technology\)](http://www.gscic.tokyo.ac.jp/)
- [Information Technology Center, Université de Nagoya](http://www.ityc.nagoya-u.ac.jp/)
- [Academic Center for Computing and Media Studies, Université de Kyoto](http://www.acm.kyoto-u.ac.jp/)
- [Cybermedia Center, Université d'Osaka](http://www.cmc.osaka-u.ac.jp/)
- [Research Institute for Information Technology, Université de Kyushu](http://www.rit.kyushu-u.ac.jp/)

⁶⁷ <http://www.icri2014.eu/sites/default/files/presentations/Satoshi%20MATSUOKA.pdf>

⁶⁸ <http://www.nii.ac.jp/en/>

- [Center for Earth Information Science and Technology, Agence japonaise pour les sciences et technologies marine et de la Terre \(Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology\)](#)
- [Center for Engineering and Technical Support, The Institute of Statistical Mathematics](#)

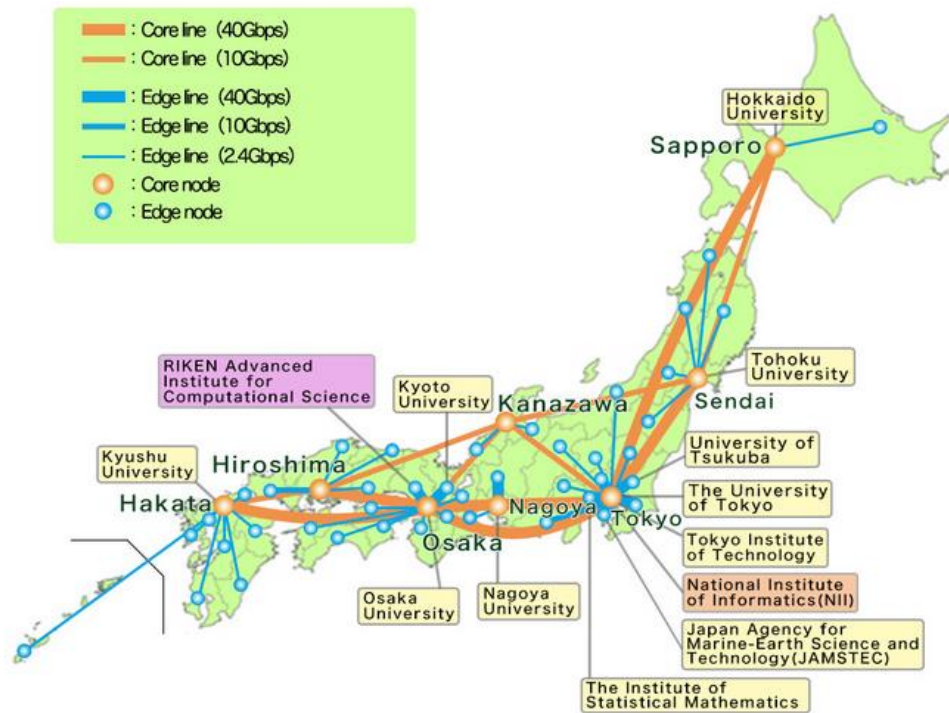


Figure 29 : Liens de communication entre les principaux noeuds du réseau (réseau SINET 4)

L'approche pour la promotion du HPC entre le Japon et l'Europe est similaire, puisque le Japon met l'accent sur la mise à disposition des infrastructures publique de HPC non seulement pour les acteurs de la recherche, mais également pour les entreprises et, notamment, les PME.

Dans ce contexte d'ouverture aux entreprises, le HPCI lance des appels à projet annuellement à destination des entreprises / organisations pour pouvoir utiliser cette infrastructure⁶⁹. Le HPCI met à disposition des ressources informatiques, mais aussi de stockage, et des ressources humaines, à la fois pour former ses utilisateurs et assurer le support utilisateur, par l'intermédiaire du RIST (*Research Organization for Information Science and Technology*, président: Masahiro Seki), chargé depuis 2012 de la promotion de l'utilisation partagée du K computer et des autres supercalculateurs du système HPCI au Japon, depuis son siège à Kobe⁷⁰.

⁶⁹ Lien vers la page de l'appel à projets : http://www.hpci-office.jp/pages/e_h28_boshu

⁷⁰ http://www.prace-ri.eu/IMG/pdf/pd15-K07-Presentation-by-RIST-for-PRACEdays15_v1.1.pdf

A titre d'exemple, le coût d'utilisation d'un nœud par heure du K computer est de 14,53 yen⁷¹ (0,11€).

La liste de l'ensemble des publications des travaux ayant utilisé les infrastructures est publiée sur le site du HPCI, par catégorie. Au 18 novembre 2015, 3208 publications ont été réalisées⁷².

L'infrastructure HPCI est désormais également reliée à l'international via des liens à 10Gbit/s (réseau SINET5).

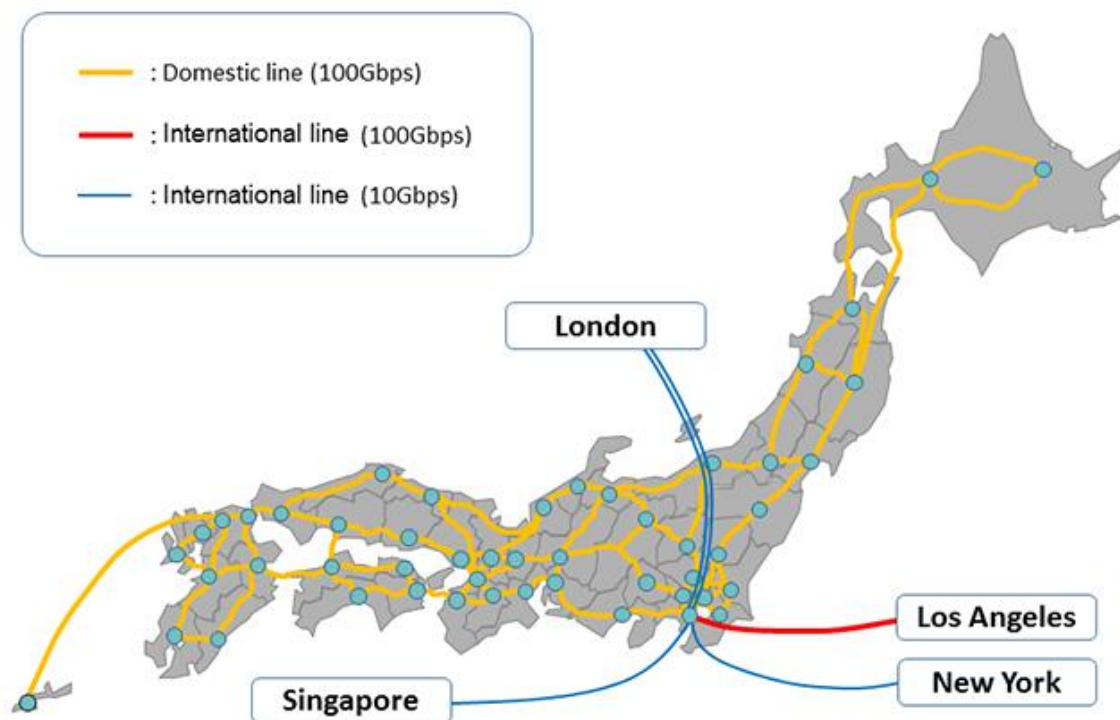


Figure 30: l'infrastructure réseau SINET5 et ses connexions internationales

⁷¹ http://www.hpci-office.jp/pages/e_h26_boshu_hpci_charge?parent_folder=286

⁷² <https://www.hpci-office.jp/hpcidatabase/publications/search.html?lang=en>

c. Le prochain défi du HPC au Japon : un supercalculateur exaflopique (projet « Flagship 2020 »)

Le nouveau grand projet stratégique japonais, nommé « Flagship 2020 » ou projet « post-K », vise la réalisation d'un supercalculateur ayant pour objectif d'atteindre une puissance de calcul exaflopique.

Il s'agit également de développer de nouvelles applications qui permettront une utilisation maximale de la performance de ce nouveau système et de résoudre ainsi des problèmes scientifiques à fort impact sociétal.

Le procédé de développement utilisé sera le *co-design*, c'est-à-dire une approche selon laquelle le design du système et les applications seront développées de manière collaborative.

Pour ce faire, le gouvernement japonais s'appuiera sur le partenariat principal entre Fujitsu (fournisseur partenaire) et le RIKEN-AICS (en charge du développement), comme pour le K computer, et encouragera une approche en *co-design*, basées sur de fortes interactions avec les parties prenantes sur les grands thèmes applicatifs ciblés.

Les prérequis notables dans l'appel d'offres pour ce système étaient :

- La puissance requise : environ 30 MW
- L'espace pour l'installation du système (dans le bâtiment de l'AICS à Kobe)
- Le budget pour le développement et la production
- Une compatibilité avec le K computer actuel

Planning de développement

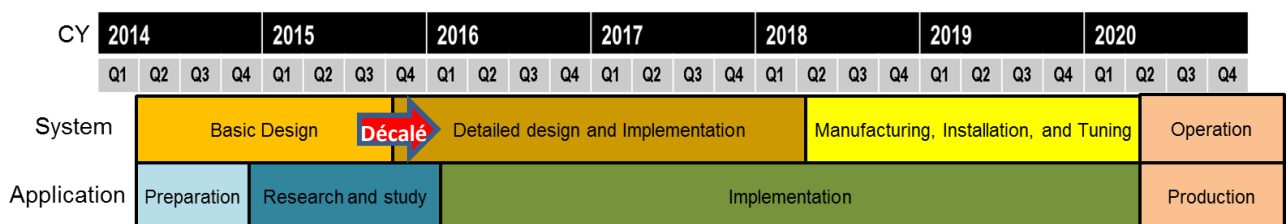


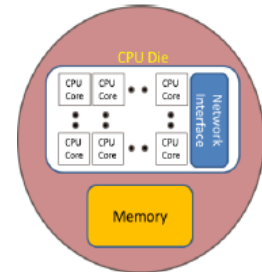
Figure 31 : Planning de développement du projet Flagship

Le design de l'architecture de base et les performances cibles des applications devaient être annoncés en fin d'année 2015 mais seront finalement révélés dans la première moitié 2016.

Premiers éléments de design

- Architecture des nœuds et du stockage
 - Architecture *many-core* avec une interface d'interconnexion intégrée sur la puce
 - Pour économiser de l'énergie, mise en œuvre d'une fonction similaire à un interrupteur pour interrompre l'alimentation d'une partie des processeurs⁷³
 - Système de stockage avec une hiérarchie à trois niveaux
 - Disque de silicone
 - Disque magnétique
 - Stockage d'archives

- Interconnexions
 - TOFU (réseau maillé/tore)



TOFU est une technologie propriétaire de Fujitsu qui consiste en une interconnexion en tore (torus) à 6 dimensions (par exemple la technologie des américains IBM ou Cray consiste en une interconnexion à 5 dimensions)

Une interconnexion en tore peut être vue comme une interconnexion maillée (*mesh*) avec des nœuds arrangés de manière rectiligne dans 2,3 ou plus dimensions.

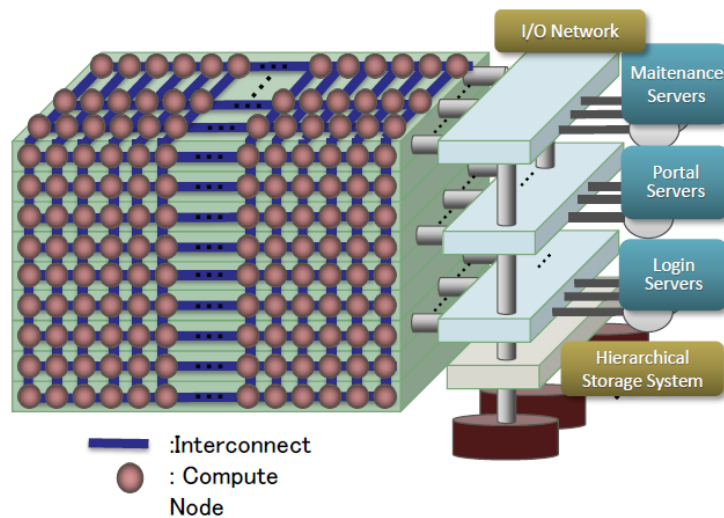


Figure 32 : Interconnexion TOFU

⁷³ http://www.vi-hps.org/upload/program/espt-sc14/vi-hps-ESPT14-Maruyama.pdf?bcsi_scan_76859af71b923077=1&bcsi_scan_1fe59ba8c561fa18=0&bcsi_scan_filename=vi-hps-ESPT14-Maruyama.pdf

- Architecture du logiciel système

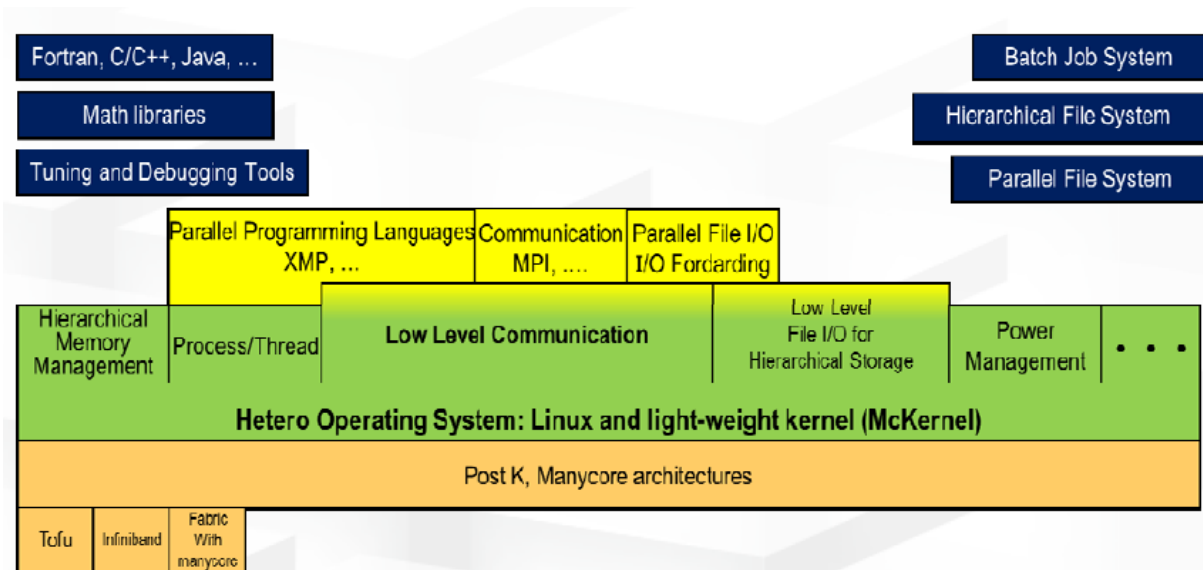


Figure 33: Eléments d'architecture pour le logiciel système

- Co-design

Le procédé de *co-design*, qui sera utilisé pour développer une grande partie du supercalculateur, consistera à échanger sur le design du système avec les utilisateurs finaux afin d'établir des caractéristiques optimisées pour les applications qui tourneront sur la plateforme. De la même manière, les applications devront être codées et réfléchies pour utiliser au mieux les possibilités offertes par l'architecture offerte.

- Au niveau de l'architecture matérielle et du stockage, les questions suivantes seront abordées pour le *co-design* :
 - Architecture des nœuds (nombre de cœurs, dimensionnement des unités SIMD (*Single Instruction, Multiple Data*), etc.
 - Gestion du cache (taille et bande passante)
 - Réseau (typologies, latence et bande passante)
 - Technologie de mémoire (HBM et HMC,...)
 - Matériel spécialisé
 - Nombre de nœuds
 - Stockage, système de fichiers
 - Interconnexion des nœuds, réseaux I/O (entrée/sortie)
 - Configurations systèmes
 - ...
- Au niveau de l'environnement de programmation :
 - Modèles de programmation et langages
 - Bibliothèques mathématiques, bibliothèques spécifiques
- Enfin, au niveau logiciel système, les questions suivantes seront abordées pour le *co-design* :

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

- Système d'opération pour une architecture *manycore*
- Librairies de communication (couche bas niveau, MPI, PGAS⁷⁴)
- Fichier I/O (entrée/sortie) (I/O asynchrone, mise en mémoire tampon/cache)

Plus précisément, pour le logiciel système, on peut décomposer les éléments qui seront utilisés pour le *co-design* de la manière suivante :

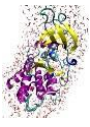

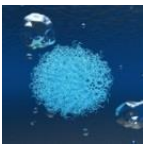
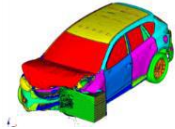
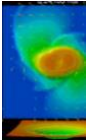
		Elément de <i>co-design</i>
Système d'opération (OS Kernel)	Applications	Gestion de la mémoire
		Charge de travail in-situ (visualisation)
		Aide à l'exécution efficace des tâches consécutives
		Modèles PGAS
	Architecture des nœuds	Allocation spéciale de mémoire pour la gestion de domaine NUMA
		Exécution MPI intra-nœud efficace (thread vs process)
Communication	Application	Transfert de données via Internet, par exemple dans le cas de séquenceurs de génome, données radar, satellites, XFEL
	Architecture des nœuds	Optimisation pour un grand nombre de domaines NUMA
		Applicabilité des communications basées sur RDMA
Entrée/sortie (I/O)	Application	Extension d'API netCDF pour des domaines d'application pour réduire la pression sur le système de fichiers
		Echange de données entre applications (couplage)
		Emplacement des fichiers temporaires basés sur les charges de travail et la disponibilité de la mémoire (dans la RAM potentiellement)
	Architecture des nœuds	Entrée/sortie asynchrone, Cache/Mise en mémoire tampon pour réduire la pression sur le réseau entrée/sortie et le système de fichier
		Méthodes pour les fichiers massifs

De plus, 9 applications correspondant aux domaines thématiques cibles principaux, ont été sélectionnées pour permettre le *co-design* du système (voir ci-après).

⁷⁴ *Partitioned Global Address Space : modèle de programmation parallèle*

Utilisation du système « post-K »

Concernant le système « post-K », sur le même modèle que ce qui a été fait pour le K computer avec [les projets SPIRE](#), un comité formé d'académiques et d'industriels a été chargé par le gouvernement japonais d'identifier des « domaines de recherche prioritaires » et des « domaines de recherche exploratoire » qui utiliseront de manière prioritaire le « post- K computer ». Il a donc été choisi **neuf domaines de recherche prioritaires et quatre domaines de recherche exploratoires**.

Catégorie	Domaines de recherche prioritaires
Santé et longévité 	(1) Infrastructure pour la découverte de nouveaux médicaments à travers le contrôle fonctionnel des systèmes biomoléculaires
	(2) Modélisation informatique intégrée des sciences de la vie pour le support à la médecine personnalisée et préventive
Prévention des désastres et problématique climatique 	(3) Développement de systèmes de simulation des dangers et des désastres provoqués par les tremblements de terre et les tsunamis
	(4) Prédications environnementales globales et notamment en météorologie en utilisant les « Big Data » issues d'observations
Problème énergétique 	(5) Développement de nouvelles technologies fondamentales hautement efficaces pour la conversion/stockage de l'énergie
	(6) Développement accéléré de systèmes énergétiques innovants et propres
Amélioration de la compétitivité industrielle 	(7) Création de nouveaux dispositifs fonctionnels et de matériaux haute performance pour soutien à l'industrie nouvelle génération
	(8) Développement de designs innovants et de procédés de production permettant d'accompagner la modernisation de l'industrie
Développement des sciences fondamentales 	(9) Résolution des lois fondamentales de l'Univers et ses évolutions

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Pour les 9 domaines de recherche prioritaires, des projets pour le design d'applications cibles, qui serviront notamment pour le co-design du système « post-K computer », ont été soumis et acceptés. Les applications cibles dans chacun des domaines sont listées dans le tableau ci-dessous :

Nom du programme		Description rapide
(1)	GENESIS	Dynamique moléculaire pour les protéines
(2)	Genomon	Traitement du génome (alignement)
(3)	GAMERA	Simulateur de tremblements de terre (méthode des éléments finis dans des grilles structurées et non structurées)
(4)	NICAM+LETK	Système de prédiction de la météo utilisant les <i>Big Data</i>
(5)	NTChem	Electronique moléculaire (calcul structuré)
(6)	FFB	Simulation de la turbulence (<i>large-eddy simulation</i>) (grille non structurée)
(7)	RSDFT	Programme ab-initio (depuis le début) (théorie de la fonctionnelle de la densité ⁷⁵)
(8)	Adventure	Système de simulation mécanique pour le design et des analyses à grande échelle (grille non structurée)
(9)	LQCD	Chromodynamique quantique sur réseau

Les 4 domaines de recherche exploratoire sur lesquels le système post-K devra permettre de nouvelles avancées sont les suivants :

- Frontières de la science fondamentale (résoudre des problématiques non résolues avec le K computer, création de nouvelles collaborations interdisciplinaires utilisant le système post-K)
- Construction de modèles socio-économiques, pour modéliser des phénomènes variés produits par la société afin de pouvoir fournir des réponses et des mesures adaptées
- Elucidation du mystère de la naissance des exoplanètes et les variations du système solaire, à travers des simulations à grande échelle issue de collaborations entre différents domaines scientifiques (astrophysique, sciences planétaires, météorologie, science moléculaire, etc.)
- Compréhension du fonctionnement des réseaux de neurones pour modéliser la pensée et sa reproduction pour une application en intelligence artificielle, en intégrant les données massives issues de divers modèles du cerveau

Les institutions de recherche chargées de ces quatre challenges exploratoires n'ont pas été choisies pour le moment.

⁷⁵ Méthode de calcul quantique permettant l'étude de la structure électronique



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Challenge énergétique

Performance énergétique

Le challenge exaflopique du Japon ne vise pas seulement, comme c'est le cas traditionnellement, la performance de calcul maximale mais aussi une performance durable par watt.

Le Japon, où la question énergétique est un sujet critique, entreprend des efforts considérables pour développer des solutions efficaces et réduire la consommation de ses machines. Ainsi le Japon apparaît régulièrement en haut du classement du Green500. Dans le classement de novembre 2015, **deux supercalculateurs japonais occupent les deux premières places** (et 5 parmi les vingt premiers). Les machines en question utilisent notamment des accélérateurs matériels comme les processeurs « PEZY-SC », de la société japonaise éponyme et les systèmes de refroidissement par immersion dans des liquides de sa société partenaire Exascaler (voir II.2.a. La plupart des développements japonais dans le domaine du Calcul haute performance sont soutenus par les pouvoirs publics (projets JST-CREST, projets NEDO, projets JSPS) et certains ont été réalisés dans le cadre de partenariats publics-privés (par exemple, la collaboration emblématique RIKEN-Fujitsu). Il est à noter que de nombreux centres de recherche possèdent leurs propres équipements de simulation.

Acteurs industriels japonais).

Le supercalculateur Shoubu du RIKEN, en tête du classement (133 au Top 500), est devenu le premier à dépasser la barrière des 7 gigaflops/watt.

Auparavant, le supercalculateur de Tokyo Institute of Technology, TSUBAME avait été récompensé pour ses avancées en termes d'efficacité énergétique (1^{er} au classement de novembre 2013), notamment pour son refroidissement dans des liquides.

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Green500 Rank	MFLOPS/W	Site*	Computer*	Total Power (kW)
1	7,031.58	Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)	Shoubu - ExaScaler-1.4 80Brick, Xeon E5-2618Lv3 8C 2.3GHz, Infiniband FDR, PEZY-SC	50.32
2	5,331.79	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology	TSUBAME-KFC/DL - LX 1U-4GPU/104Re-1G Cluster, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.1GHz, Infiniband FDR, NVIDIA Tesla K80	51.13
3	5,271.81	GSI Helmholtz Center	ASUS ESC4000 FDR/G2S, Intel Xeon E5-2690v2 10C 3GHz, Infiniband FDR, AMD FirePro S9150	57.15
4	4,778.46	Institute of Modern Physics (IMP), Chinese Academy of Sciences	Sugon Cluster W780I, Xeon E5-2640v3 8C 2.6GHz, Infiniband QDR, NVIDIA Tesla K80	65.00
5	4,112.11	Stanford Research Computing Center	XStream - Cray CS-Storm, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.8GHz, Infiniband FDR, Nvidia K80	190.00
6	3,856.90	IT Company	Inspur TS10000 HPC Server, Xeon E5-2620v3 6C 2.4GHz, 10G Ethernet, NVIDIA Tesla K40	58.00
7	3,775.45	Internet Service	Inspur TS10000 HPC Server, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.1GHz, 10G Ethernet, NVIDIA Tesla K40	110.00
8	3,775.45	Internet Service	Inspur TS10000 HPC Server, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.1GHz, 10G Ethernet, NVIDIA Tesla K40	110.00
9	3,775.45	Internet Service	Inspur TS10000 HPC Server, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.1GHz, 10G Ethernet, NVIDIA Tesla K40	110.00
10	3,775.45	Internet Service	Inspur TS10000 HPC Server, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.1GHz, 10G Ethernet, NVIDIA Tesla K40	110.00

Figure 34 : Classement du Green 500 en novembre 2015

Indépendance énergétique des centres de calcul :

Le Japon travaille également à l'indépendance énergétique des datacenters et des centres de calcul. Il finance, par exemple, à travers la NEDO, des projets de recherche notamment sur les technologies qui permettrait d'alimenter efficacement par des panneaux solaires des datacenters (notamment au Texas⁷⁶).

⁷⁶ <http://insidehpc.com/2015/08/nedo-in-japan-funds-solar-research-at-tacc/>

Organisation des acteurs du système post-K au Japon

Le RIKEN AICS sera le pilote de la structure complexe d'acteurs impliqués dans la réalisation du futur système japonais et servira notamment d'interface avec les fournisseurs (le principal fournisseur, Fujitsu, ainsi que les fournisseurs de systèmes logiciels) mais également avec les autres acteurs japonais du domaine (universités japonaises, consortium HPCI, consortium PC Cluster, organisations liées, etc.) et enfin avec les acteurs internationaux (laboratoires, universités, instituts, entreprises).

Ces derniers sont notamment attendus pour participer au développement des systèmes logiciels, des environnements de programmation, de l'amélioration de la gestion de l'énergie et des applications.

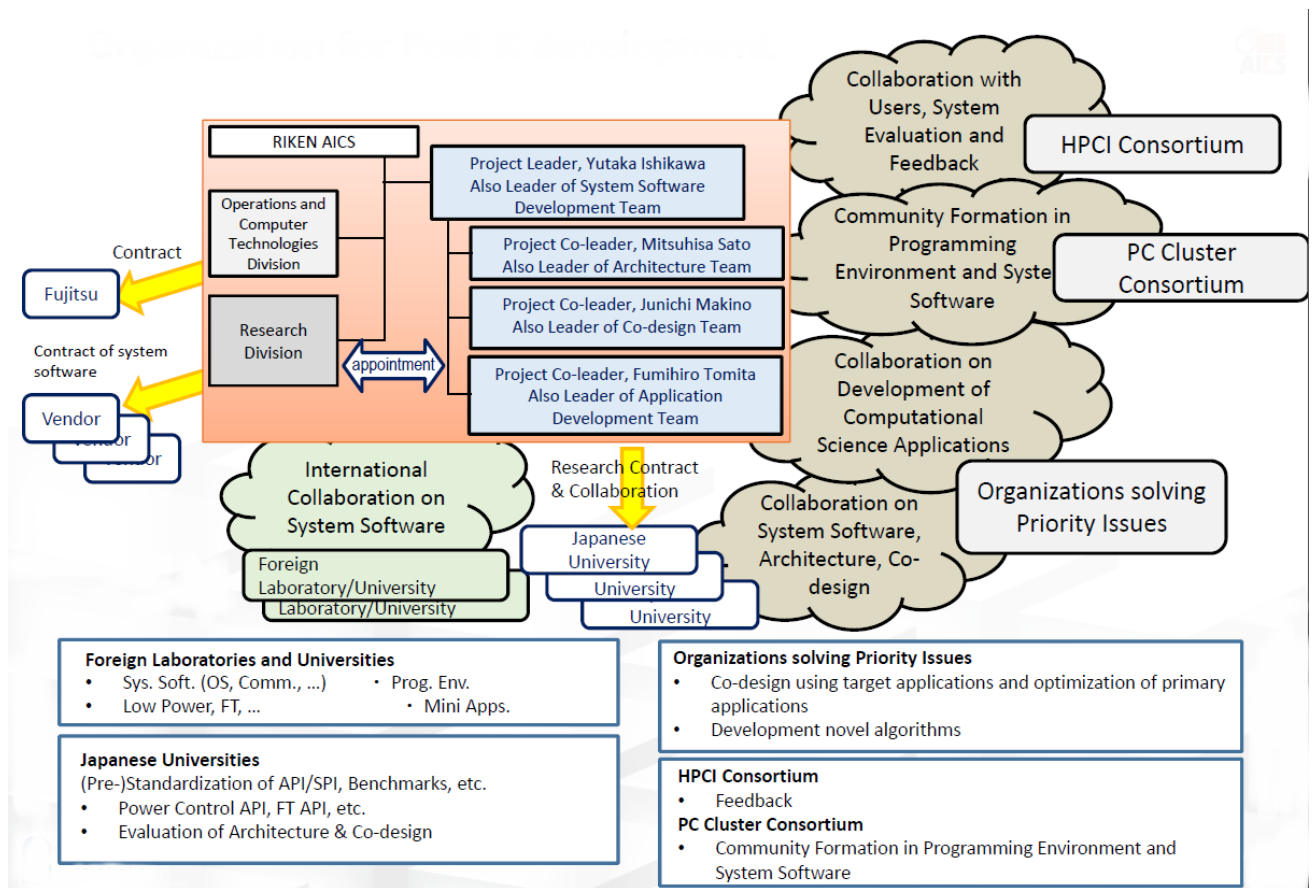


Figure 35 : Organisation des acteurs associés au système post-K au Japon



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Initiative pour la formation en HPC

En plus des différentes formations à l'utilisation des infrastructures de HPC (voir la section sur l'Infrastructure nationale de calcul haute performance au Japon (HPCI) et RICC), le Japon souhaite développer les compétences critiques pour former les chercheurs en HPC.

Ainsi le RIKEN AICS a mis en place plusieurs activités de formation :

- Une université d'été dédiée en partenariat avec PRACE (Europe) et XSEDE (Etats-Unis)
 - New-York (Etats-Unis) en 2013, Budapest (Hongrie) en 2014, Toronto (Canada) en 2015
 - A destination d'étudiants de master et post-docs
 - 80 participants (28 nationalités) en 2014
- Programme dédié dans les locaux de l'AICS (programme d'été depuis 2011, programme de printemps depuis 2014)
 - 5 jours à l'AICS pour apprendre les bases de la programmation et de l'informatique parallèle
 - A destination d'étudiants de master et post-docs et étudiants d'université techniques
 - Environ 20-30 participants à chaque session
- Programme de stage (depuis 2014)
 - 2-3 semaines dans une division de recherche de l'AICS
 - Environ 10 étudiants de master participent à chaque session
- Site internet de e-learning
 - Vidéos de conférences et présentations. Documents disponibles sur Internet.
 - Cible principale : étudiants de master



III. Panorama européen – panorama français

1. Contexte européen

a. Stratégie européenne

Le développement du HPC, historiquement poussé par les applications militaires et nucléaires, a longtemps été considéré comme un domaine relevant uniquement de la souveraineté des Etats Membres. C'est en 2006, dans le cadre du Livre Blanc rédigé par la *Taskforce HPC* de ESFRI⁷⁷ (*European Strategic Forum for Research Infrastructures*) que la dimension du HPC en termes de compétitivité européenne a réellement émergé. En 2009, la Commission Européenne émet une première communication encourageant le renforcement et la coordination des actions des Etats Membres pour le développement d'infrastructures TIC de niveau mondial⁷⁸, mettant notamment en avant le rôle de l'infrastructure PRACE⁷⁹ (*Partnership for Advanced Computing in Europe*, initialement lancé sous forme de projet dans le cadre du 7^{ème} Programme Cadre de Recherche et Développement Technologique européen, FP7). En 2012, une nouvelle communication⁸⁰ (reprise par les conclusions du Conseil de Compétitivité⁸¹ en mai 2013) encourage la définition d'une stratégie européenne pour le HPC, au même titre que le domaine spatial, pour lequel un accès indépendant est considéré comme un objectif stratégique pour la compétitivité européenne, et appelle l'Union Européenne à assurer sa place dans la course mondiale qui se lance sur le calcul intensif. Cette prise de conscience mène au souhait de pérennisation de l'infrastructure de recherche PRACE sous la forme d'une association et à la mise en place de la plateforme ETP4HPC, Plateforme technologique européenne (PTE) pour le HPC, regroupant les industriels du calcul intensif tels que ARM, Bull, CAPS Entreprise, Eurotech, IBM, Intel, Partec, ST Microelectronics et Xyratex et organismes de recherche tels que BSC, CEA, CINECA, Fraunhofer, Forschungszentrum, Jülich et LRZ.

Le HPC apparaît ainsi comme une priorité stratégique au sein du nouveau programme cadre européen pour la recherche et l'innovation, Horizon 2020 (2014-2020). La plateforme ETP4HPC est notamment lauréat de l'un des 8 appels d'offres « Partenariat Public-Privé » dans ce cadre (pour une subvention totale de 700 M€ pour la période 2014-2020, dont 143 M€ pour 2014-2015) et contribue, au travers son SRA (*Strategic Research Agenda*) à la programmation des appels Européens H2020.

Ceux-se déclinant selon trois axes :

⁷⁷ Platform on High-Performance Computing ; <http://www.etp4hpc.eu/>

⁷⁸ Communication from the EC to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions : ICT infrastructures for e-science
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52009DC0108>

⁷⁹ <http://www.prace-ri.eu/organisation/>

⁸⁰ Communication from the EC "High-Performance Computing: Europe's place in a global race" (2012) :
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52012DC0045>

⁸¹ http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/intm/137344.pdf



**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

1. Le développement technologique dans l'optique du calcul intensif exaflopique dans le cadre de ETP4HPC

Une initiative particulière, *HPC in FET (Future Emerging Technologies)*, a été lancée pour développer les technologies en vue du calcul exaflopique. Les premiers appels à projets (voir en Annexe 6), lancés dans le cadre de Horizon 2020, visent trois objectifs :

- Le co-design de systèmes HPC et des applications associées, en prenant en compte la résilience et la fiabilité des systèmes ainsi que la problématique de la consommation énergétique
- La transition vers l'échelle exaflopique (avec un focus particulier sur les environnements de programmation; les aspects logiciels et management ; la gestion des entrées/sorties et du stockage ; le calcul intensif pour les *Extreme Big Data* et les applications émergentes HPC ; les aspects mathématiques et algorithmie pour les systèmes HPC)
- Le développement d'un écosystème exascale, afin de développer les liens entre fournisseurs de technologies HPC et utilisateurs, mais également de créer des conditions propices à un écosystème d'innovation dynamique (promouvoir l'entrepreneuriat et le capital-risque) et développer les collaborations internationales

Il est à noter que l'ETP4HPC propose dans son dernier *Strategic Research Agenda*⁸² la notion d'*Extreme scale Demonstrators* qui, s'ils voient le jour, seront des projets d'intégration des technologies essentiellement développées dans ces projets collaboratifs FET-HPC. Ces systèmes prototypent, à petite échelle, ce que pourrait être une machine exaflopique développée à partir des résultats des projets européens.

2. Fournir au monde de la recherche publique et à l'industrie un accès à des supercalculateurs du meilleur niveau mondial, à travers l'infrastructure PRACE

L'infrastructure européenne de recherche PRACE met à disposition des chercheurs académiques et industriels européens six calculateurs, aux architectures complémentaires, offrant une puissance crête globale de 18 petaflops. Les 4 pays membres hôtes, l'Allemagne, l'Espagne, la France et l'Italie, sont les principaux financeurs avec, pour chacun, un investissement de 100 millions d'euros (pour un investissement total de 400 millions d'euros) sur cinq ans (2010-2015) avec en complément un soutien de la Commission européenne (60 à 80 millions d'euros).

Lancé sous forme de projet dans le cadre du Programme Capacité du FP7 en 2008-2009, PRACE a été mis en œuvre en 2010 sous la forme d'une association internationale sans but lucratif (AISBL) de droit belge. Depuis le 1er mars 2013, PRACE regroupe 25 pays membres⁸³.

Depuis 2010, PRACE a organisé 10 appels à projets qui ont permis d'offrir 10,2 milliards d'heures d'utilisation à 394 projets européens et ont déjà permis quelques réalisations majeures : prix de la

⁸² <http://www.etp4hpc.eu/publications/key-documents/>, voir le chapitre 8 sur les EsD.

⁸³ L'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, la Bulgarie, Chypre, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France (représentée par GENCI), la Grande-Bretagne, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, Israël, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la Serbie, la Slovaquie, la Suède, la Suisse, la Tchéquie et la Turquie.



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

meilleure utilisation du calcul intensif dans l'automobile pour Renault (optimisation des paramètres de crash test) et prix du résultat particulièrement marquant pour une équipe du *Max Planck Institute for Astrophysics* (simulation de l'évolution de l'intégralité de l'Univers observable de sa naissance à nos jours, incluant le réseau complexe de galaxies spirales et à disques).

Réservé à l'origine aux chercheurs académiques, l'accès aux ressources et services de PRACE est ouvert gratuitement depuis janvier 2012 aux industriels via une offre appelée Open R&D, en contrepartie d'un engagement à publier des résultats de leurs travaux à l'issue de la période d'allocation). PRACE a par ailleurs lancé en 2013 le programme SHAPE (« *SME HPC Adoption Programme in Europe* ») sur le modèle de l'Initiative HPC-PME.

Les allocations du temps de calcul sur l'infrastructure PRACE se font dans un cadre d'appels à projets annuels, et expertisés sur un principe de *peer review*. En complément de l'accès à des supercalculateurs de classe mondiale, PRACE a développé une offre de formation de pointe, notamment avec 6 PRACE *Advanced Training Centres* (PATC), dont un en France, porté par la [Maison de la Simulation](#) en lien avec les 3 centres nationaux de calcul et Inria. 3000 personnes de toute l'Europe ont bénéficié de cette offre unique pour un total de 10 000 jours de formation. Entre juin 2012 et juin 2014, le PATC France a organisé 27 sessions de formation pour un total de 78 jours de formation et 320 participants.

L'engagement de la France dans PRACE, représentée par [GENCI](#), s'est concrétisé par l'acquisition et l'installation du supercalculateur Curie, exploité par les équipes du Très Grand Centre de Calcul (TGCC) du CEA, situé à Bruyères-le-Châtel. Installé en trois phases successives depuis la fin 2010, Curie est accessible, dans sa configuration complète, aux chercheurs européens mais aussi français, (depuis le 1er mars 2012 80% d'usage européen en partage dans PRACE, 20% d'usage national dans le système DARI d'attributions d'heures). Doté d'une architecture généraliste et équilibrée et offrant une puissance totale de 2 Pflop/s, ce supercalculateur est l'un des plus sollicités lors des appels à projets.

La France est très bien positionnée dans PRACE : elle est non seulement le premier pays en nombre de projets scientifiques retenus, mais également le premier pays en nombre d'industriels (grands comptes et PME) qui utilisent depuis mi-2012 les ressources de PRACE. Enfin, 4 PME françaises figurent parmi les 11 lauréates du 2^{ème} appel à projets du programme SHAPE : trois sont des entreprises ayant bénéficié du soutien de l'Initiative HPC-PME et la 4^e a bénéficié du soutien de Teratec⁸⁴.

Enfin, dans l'idée de se doter d'instruments pour maintenir une infrastructure ambitieuse de HPC, la Commission Européenne a financé un pilote de procédure d'achat pré-commercial (PCP). Cet outil permet de mettre en concurrence, par phases, des activités de R&D afin de co-financer, avec des entreprises présélectionnées, des solutions technologiques innovantes notamment en termes d'efficacité énergétique.

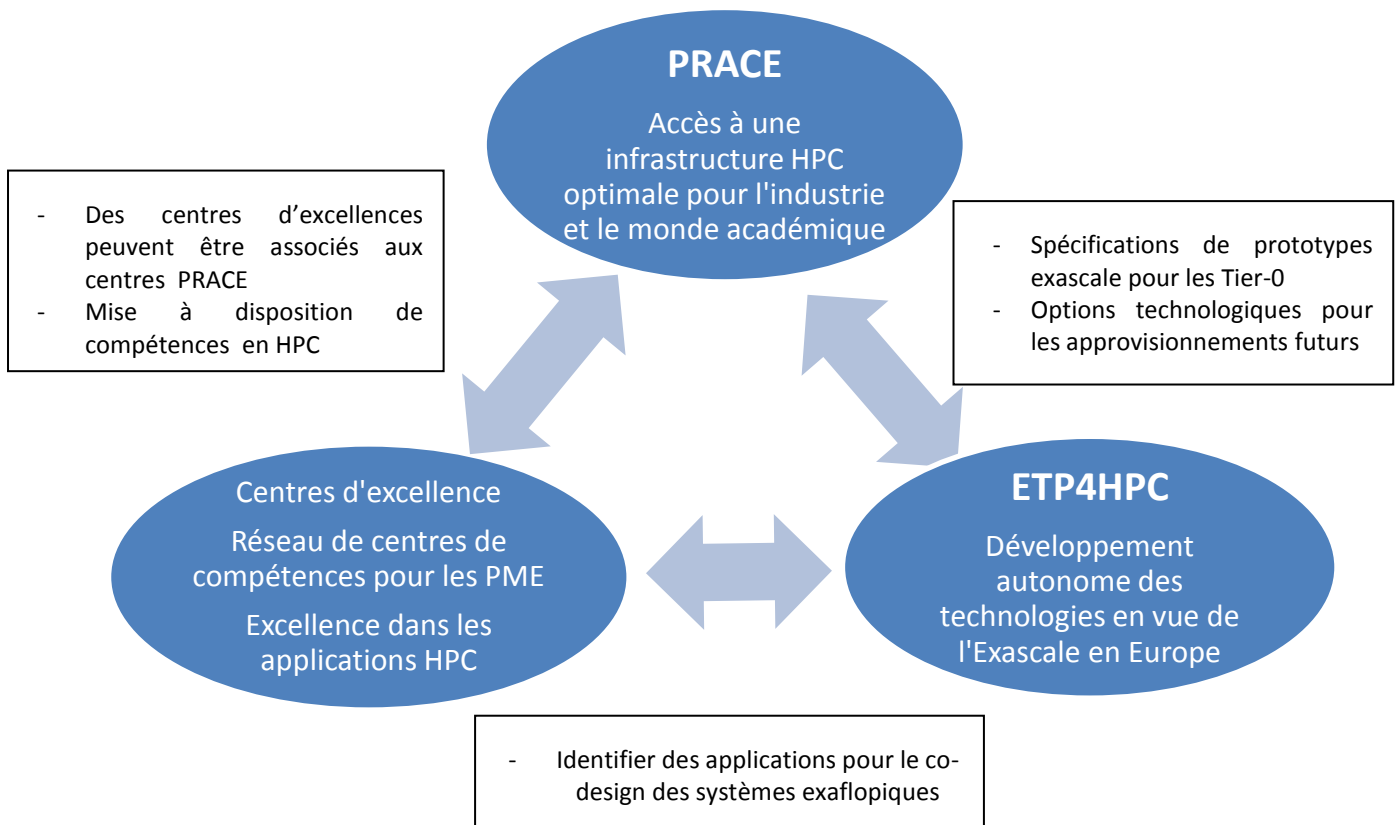
⁸⁴ <http://www.teratec.eu/>

3. Mettre en place des centres d'excellence (CoE) en Europe pour les applications HPC scientifiques ou industrielles dans les nouveaux domaines stratégiques

Huit centres d'excellence ont été sélectionnés en septembre 2015 dans le cadre d'appels à projet du Work Programme 2014-2015 de Horizon 2020, afin de développer la formation et les capacités des utilisateurs du HPC sur les domaines prioritaires suivants :

- [EoCoE](#) dans le domaine de l'énergie
- [BioExcel](#) pour la recherche biomoléculaire
- [NoMaD](#) : nouveaux matériaux
- [MaX](#) : design de matériaux
- [ESiWACE](#) Climat et prédiction météo
- [E-CAM](#) : simulation et modélisation pour les matériaux les processus biologiques
- [POP](#) : optimisation des performances et productivité
- [COEGSS](#) : science des systèmes globaux

Le schéma ci-après illustre l'interrelation entre ces trois actions stratégiques européennes :





Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Enfin, depuis septembre 2015, l'initiative EXDCI (*European eXtreme Data and Computing Initiative*) vise à coordonner les activités des plateformes ETP4HPC et PRACE et à mettre en œuvre une stratégie commune pour l'écosystème HPC européen⁸⁵.

2. Contexte de la France

a. Stratégie française

Quatre pays seulement maîtrisent l'intégralité de la filière du Calcul haute performance : la construction de machines de calcul, la réalisation des infrastructures, les logiciels de modélisation, et l'interface avec les utilisateurs : les États-Unis, le Japon, la Chine et la France.

La France est ainsi le seul pays européen impliqué dans les trois piliers de la stratégie de l'Union Européenne : technologie, infrastructures et usages.

La France a commencé à investir massivement dans le domaine du Calcul haute performance et de la simulation à partir de 1996, après l'arrêt des essais nucléaires et la signature par la France du Traité d'interdiction complète des essais (TICE) (des initiatives existaient toutefois déjà en amont, notamment pour la recherche sur l'hyper parallélisme au début des années 1990⁸⁶). Le CEA a entrepris en 1996 un ambitieux programme baptisé « Simulation », afin de garantir à long terme la capacité de dissuasion nationale. Ce programme met en œuvre des modélisations de phénomènes physiques et des simulations numériques, qui doivent être validées grâce à des expériences partielles sur Airix et le Laser Mégajoule⁸⁷. Il vise la réalisation d'un simulateur des armes, dont les besoins en termes de puissance de calcul ont été évalués en 1996 à plus de 100 Téraflops à l'horizon 2010. Le projet TERA, alors lancé, consiste à mettre cette capacité informatique à disposition des concepteurs du simulateur.

Il est à noter que suite à un rapport commandé par le CEA, Inria, le CNRS et rédigé par Jacques-Louis Lions, une première initiative appelée ORAP⁸⁸ (ORganisation Associative du Parallélisme), ayant comme objectif de renforcer les collaborations entre les partenaires et la coordination de projets au plan national, européen et international, avait été lancée en 1994.

Avec le développement des besoins en simulation de la part de la communauté scientifique, plusieurs centres de recherche se sont progressivement équipés en supercalculateurs. La politique française de soutien au HPC s'est ainsi poursuivie au fil des dernières années, avec un effort mené pour mettre en réseau les infrastructures présentes et les ouvrir à la sphère publique, mais également privée, qui a pris conscience du gain que représente la simulation en termes de compétitivité.

⁸⁵ <https://exdci.eu/>

⁸⁶ http://www.lifl.fr/digitalAssets/0/298_rapport97.pdf

⁸⁷ http://www-lmj.cea.fr/fr/programme_simulation/epure.htm

⁸⁸ <http://orap.irisa.fr/>



**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

GENCI

Créé en 2007 par les pouvoirs publics, notamment suite aux recommandations du rapport Héon-Sartorius qui soulignait en 2005 la nécessité d'une meilleure coordination des différents acteurs du calcul intensif en France⁸⁹, la société civile GENCI (Grand Equipement National de Calcul Intensif) a pour objectif de démocratiser l'usage de la simulation numérique et du calcul intensif pour soutenir la compétitivité française, dans tous les domaines de la science et de l'industrie. GENCI est détenue à 49 % par l'Etat représenté par le ministère en charge de l'Enseignement supérieur et la Recherche, 20 % par le CEA, 20 % par le CNRS, 10 % par les Universités représentées par la Conférence des Présidents d'Université et 1 % par Inria, et dispose d'un budget annuel de 30 millions d'euros.

GENCI poursuit trois missions :

- Porter la stratégie nationale d'équipement en moyens de calcul intensif au bénéfice de la recherche scientifique française en lien avec les trois centres nationaux de calcul ;
- Soutenir la réalisation d'un écosystème intégré du calcul intensif à l'échelle européenne ;
- Promouvoir la simulation numérique et le calcul intensif auprès de la recherche académique et des industriels.

Les moyens nationaux de calcul mis à disposition des communautés scientifiques par GENCI, sont installés et exploités dans trois centres : le Très Grand Centre de Calcul du CEA (TGCC) à Bruyères-le-Châtel, l'Institut du développement et des ressources en informatique scientifique (Idris) du CNRS à Orsay et le Centre informatique national de l'enseignement supérieur (Cines) à Montpellier. Pour pouvoir utiliser ces infrastructures, il est nécessaire de suivre une procédure unique de demande d'heures de calcul, avec un projet détaillé. Les allocations du temps de calcul se font dans le cadre d'appels à projets annuels et expertisés sur un principe de *peer review*.

GENCI a lancé en 2015 un projet d'évaluation technologique et d'étude d'impact des solutions *OpenPower* combinant les ressources d'IBM (CPU), de Nvidia (GPU) et de Mellanox (interface réseau *Infiniband*) en vue de développer la nouvelle génération exaflopique de supercalculateurs, en améliorant par exemple la connexion à haut débit des accélérateurs, la latence des communications et en développant les nouveaux modèles de programmation adaptés à l'échelle exaflopique.

Une priorité clé de la Nouvelle France industrielle

Enfin, le Calcul haute performance faisait l'objet de l'un des 34 plans de la nouvelle France industrielle publiés en 2013 : le plan « superordinateurs », dont la feuille de route a été validée en mars 2014. Avec la seconde phase de la Nouvelle France Industrielle, le Calcul haute performance a été intégré dans le plan « Industrie du Futur » ainsi que dans l'une des « 9 Solutions industrielles pour 9 marchés prioritaires » : l'économie des données, dont l'un des axes est dédié à « accompagner les initiatives sectorielles pour l'appropriation du calcul intensif, du cloud et du Big Data par les acteurs publics et privés ».

⁸⁹ http://www.genci.fr/sites/default/files/Extrait-HPCMagazine-France-Mars-2014_0.pdf



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Les actions proposées visent à la fois à stimuler l'offre technologique française, à mettre en place les outils logiciels dans de nombreuses filières industrielles et à favoriser la diffusion de la simulation auprès des entreprises utilisatrices, notamment dans des secteurs industriels dans lesquels elle n'est actuellement que peu utilisée. Le plan vise notamment une large diffusion de la simulation vers les PME et ETI, avec un volet formation et le développement d'une plateforme de services, offrant des solutions en mode "SaaS" (*Software as a Service*). Sa mise en œuvre s'appuiera sur une déclinaison forte au niveau régional.

Les six domaines d'applications prioritaires identifiés pour le HPC sont :

- La santé : médecine personnalisée, nouveaux médicaments
- Les systèmes urbains : modélisation, simulation, gouvernance
- Le végétal : modélisation du cycle de vie, usages et transformations
- Les matériaux : nouveaux matériaux (conception, procédés et usages, impression 3D)
- Les industries manufacturières : développement des outils (modèles réduits, incertitudes) pour une optimisation globale
- Le multimédia : Images de synthèses, films d'animation et jeux vidéo

b. Equipements pour le Calcul haute performance et programmes majeurs en France

Les infrastructures du CEA

Le complexe de calcul scientifique du CEA, localisé sur le site de Bruyères-le-Châtel dans le Sud de l'Essonne, constitue l'un des plus puissants complexes européens de calcul avec une puissance de calcul crête totale de plus de 3,5 Pétaflops en 2015 (Tera 1,25 petaflops, Curie 2 petaflops, Airain 0,4 Pflops). Il est composé par :

- Le centre de calcul Tera⁹⁰, dédié aux applications de Défense (géré par le CEA/DAM⁹¹ (Direction des Applications Militaires Île-de-France) et hébergeant la machine Tera 100, première machine conçue et réalisée en Europe à avoir dépassé le petaflops en 2010 et classée 5ème au Top 500 mondial à ce moment-là), à laquelle succèdera le Tera1000 (voir ci-après). Tera 100 est un cluster de 4 370 serveurs Bullx série S, équipé de 17 480 processeurs Intel® Xeon® 7500. Sa mémoire centrale, qui permet de faire tourner les codes de calculs, intègre plus de 140 000 barrettes mémoire pour atteindre une capacité de 300 téraoctets (To). Cela correspond à la mémoire vive d'environ un million d'ordinateurs classiques. Il est doté d'une capacité de stockage de 20 Pétaoctets

⁹⁰ <http://www-hpc.cea.fr/fr/complexe/docs/T100.pdf>

⁹¹ Le CEA DAM est l'un des établissements du pôle défense du CEA. Ses 2000 ingénieurs, chercheurs et techniciens ont pour mission de concevoir et garantir le fonctionnement et la sûreté des armes nucléaires françaises, en s'appuyant sur la simulation. Ils sont également très engagés dans la lutte contre la prolifération nucléaire et le terrorisme, avec notamment une mission de contrôle de traités internationaux.



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

- Le TGCC⁹², Très Grand Centre de calcul du CEA, hébergeant le calcul pour les applications non classifiées, lui-même composé par :
 - Le CCRT⁹³, Centre de calcul recherche et technologie, plateforme HPC en partenariat entre le CEA et 13 industriels et hébergeant le calculateur Airain (0,4 petaflops)⁹⁴. Le CCRT a également annoncé la construction d'un nouveau supercalculateur baptisé COBALT de 1,4 petaflops, fourni par Bull, pour le milieu d'année 2016⁹⁵
 - Le calculateur Curie, financé par GENCI dans le cadre de l'infrastructure de recherche PRACE. C'est un cluster de type Bullx, doté d'une architecture généraliste et polyvalente avec ses trois partitions : nœuds larges (beaucoup de cœurs et de mémoire), nœuds hybrides (mix de processeurs généralistes et de processeurs graphiques) et nœuds fins.
 - Puissance crête : 2 Petaflop/s en 2012,
 - Nombre de processeurs : 11 520 (Intel Nehalem et Intel Sandy Bridge),
 - Nombre de cœurs de calcul : 92 160.

Le CEA possède également sur son site de Bruyères-le-Châtel une installation de visualisation haute performance baptisée MIRAGE (Mur d'image à résolution augmentée et grande échelle).

Par ailleurs, le CEA a créé Ter@tec (Teratec), pôle européen de compétence en Simulation numérique haute performance, afin de rapprocher tous les acteurs de la simulation : la recherche, l'industrie et les entreprises informatiques et offrir un ensemble complet de compétences et de moyens.

⁹² <http://www-hpc.cea.fr/fr/complexe/tgcc.htm>

⁹³ <http://www-ccrt.cea.fr/index.htm>

⁹⁴ http://www-ccrt.cea.fr/fr/moyen_de_calcul/airain.htm

⁹⁵ <http://www.bull.com/fr/le-ccrt-s%E2%80%99%C3%A9quipe-d%E2%80%99un-supercalculateur-p%C3%A9taflopique-bull>

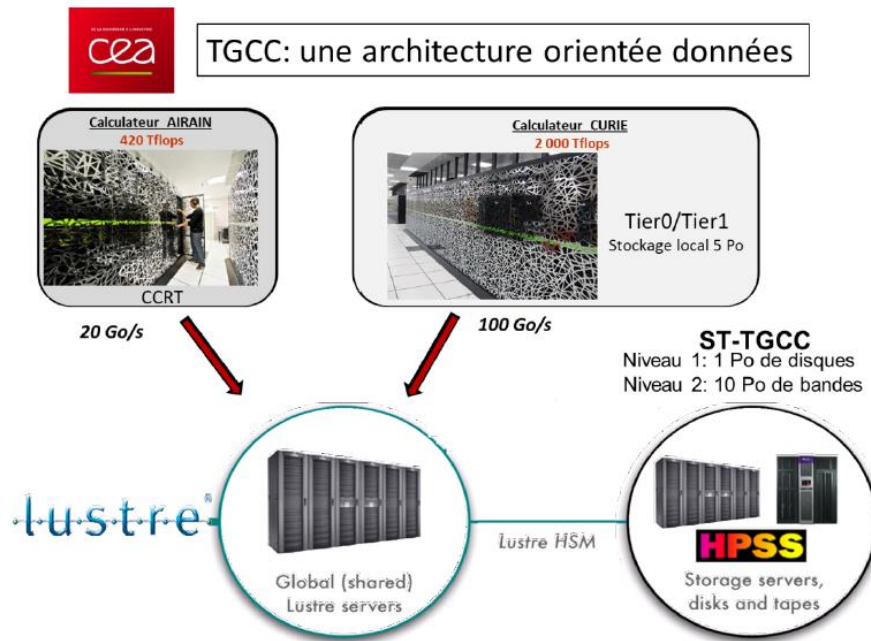


Figure 36 : Architecture du TGCC



Figure 37 : Le supercalculateur Tera 100 à Bruyères-le-Châtel⁹⁶

Vers l'échelle exaflopique

Enfin, en juillet 2014, le CEA s'est vu confier la mission nationale de développer le HPC pour répondre au défi de l'échelle exaflopique, dans le cadre de la convention du 19 septembre 2014 entre l'Etat et le CEA relative au **programme d'investissements d'avenir (action « Calcul intensif »)**⁹⁷ qui dote le CEA d'une enveloppe de 50 millions d'euros afin de réaliser dès 2015 un environnement logiciel pour une architecture de supercalculateur extensible jusqu'à 100 petaflops, avec une efficacité énergétique supérieure à 5 gigaflops par watt consommé. Il s'agirait à terme de mettre en œuvre un premier démonstrateur précurseur de l'échelle exaflopique à l'horizon 2020.

⁹⁶ http://www.genci.fr/sites/default/files/Livret-information-Genci_2.pdf

⁹⁷ <http://www.legifrance.gouv.fr/eli/convention/2014/9/19/PRMI1419351X/jo>



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Dans cet objectif, le CEA collabore avec Atos Bull pour la mise en œuvre de Tera 1000, un nouveau supercalculateur de classe pré-exascale. Dans cet objectif, le CEA a décidé d'appliquer une méthodologie anticipée de co-design avec Atos-Bull en collaboration avec Intel. L'objectif est de maximiser les performances en testant les interactions des applications avec le supercalculateur. Les compétences du CEA interviennent à plusieurs niveaux : la structure des codes des applications, l'interaction des codes avec le supercalculateur et l'architecture même du supercalculateur.

La première tranche de Tera 1000, qui vient d'être installée par Atos sur le centre DAM Île-de-France du CEA, est composée de deux systèmes de calcul : un premier à base de processeurs de la famille Intel® Xeon E5 v3 et un second de toute dernière génération Bull Sequana, à base de processeurs Intel® Xeon Phi™ en pré-production (nom de code Knights Landing). Un réseau d'interconnexion Bull eXascale Interconnect (BXI) à très haute capacité viendra mi-2016 augmenter significativement les performances de l'ensemble.

La deuxième tranche de Tera 1000 qui sera mise en service en 2017 sera constituée d'une trentaine de cellules Bull Sequana, intégrant plus de 8 000 processeurs Intel® Xeon Phi™ Knights Landing couplés au réseau d'interconnexion à très hautes performances BXI. Elle fournira une puissance théorique de calcul de 25 petaflops, avec une performance énergétique 20 fois meilleure que Tera 100.

Institut du développement et des ressources en informatique scientifique (Idris)

L'Idris, créé en 1993 et basé à Orsay, est le centre majeur du CNRS pour le calcul numérique intensif de très haute performance. À la fois centre de ressources informatiques et pôle de compétences en calcul intensif, l'Idris est une Unité Propre de Service du CNRS (UPS 851), à vocation pluridisciplinaire, placée sous la tutelle de l'INS2I (Institut des sciences de l'information et de leurs interactions). Les modalités de fonctionnement de l'Idris sont proches de celles des très grands équipements scientifiques.

Les deux principales machines de l'Idris sont Ada et Turing.

- Ada : Calculateur adapté à des codes de calcul avec un degré de parallélisme modéré et/ou nécessitant beaucoup de mémoire par nœud
 - o Technologie : IBM x3750M4
 - o Puissance crête : 230 teraflop/s
 - o Nombre de processeurs : 1 328 (Intel Sandy Bridge)
 - o Nombre de cœurs de calcul : 10 624
 - o Mémoire : 46 teraoctets

- Turing : Calculateur adapté à des codes de calcul massivement parallèles
 - o Technologie : IBM BlueGene/Q
 - o Puissance crête : 1.2 petaflop/s
 - o Nombre de processeurs : 6 144
 - o Nombre de cœurs de calcul : 98 304

- Mémoire : 100 teraoctets

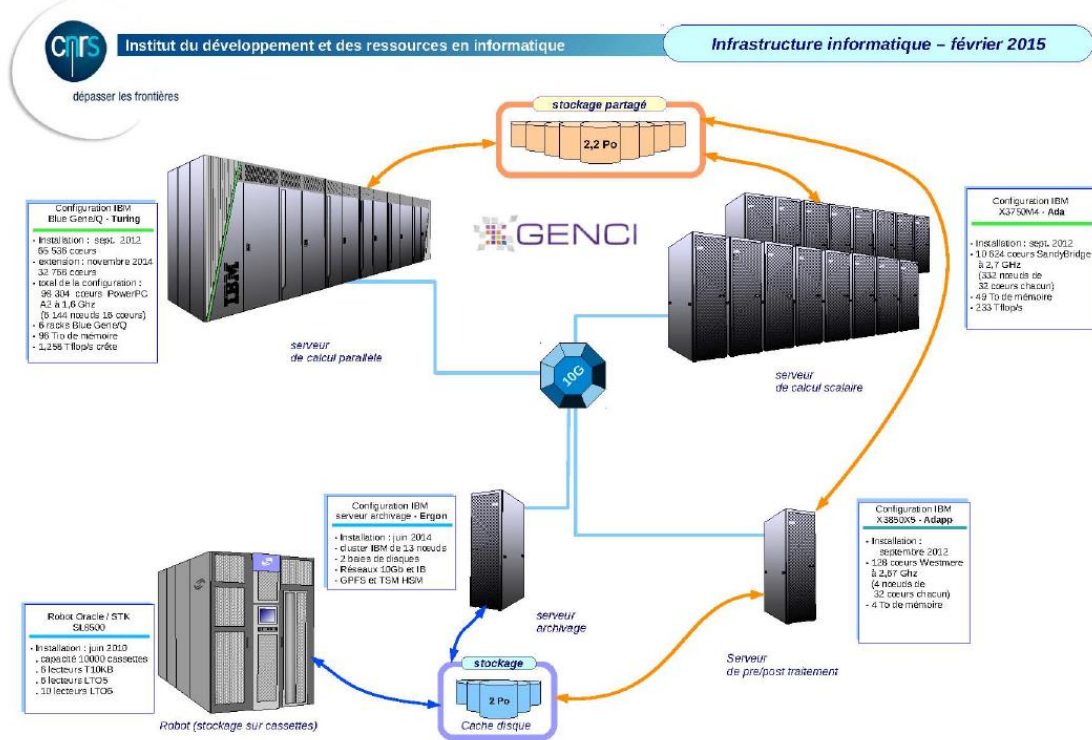


Figure 38 : Architecture de l'Idris

Centre informatique national de l'enseignement supérieur (Cines)

Basé à Montpellier, le Cines possède deux missions stratégiques nationales, dans les domaines du calcul intensif (mise à disposition des moyens de calcul de GENCI, support utilisateur, formation) et de l'archivage pérenne (conservation à long terme du patrimoine numérique).

Il est basé sur le supercalculateur Occigen, à nœuds fins :

- Technologie : Bull Bullx
- Puissance crête : 2.1 petaflop/s
- Nombre de processeurs : 4 212 (Intel Haswell)
- Nombre de cœurs : 50 544
- Mémoire : 202 teraoctets

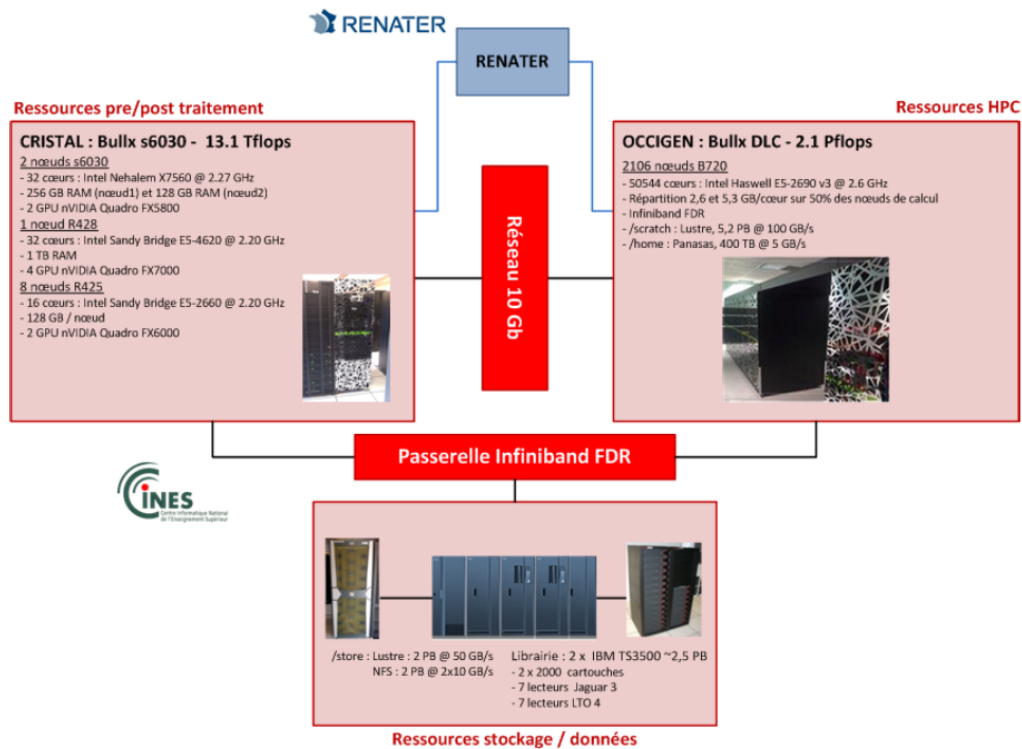


Figure 39 : Architecture des infrastructures du CINES

c. Différentes initiatives fédératrices autour du Calcul haute performance

La Maison de la simulation

Mise en œuvre dès 2011 sur le plateau de Paris-Saclay, la Maison de la simulation a été officiellement inaugurée le 15 septembre 2014. Cette initiative réunissant le CEA, le CNRS, Inria et les Universités Paris-Sud et Versailles-St Quentin, vise à développer la recherche mais également le support et la formation en HPC. Elle possède un cluster de calcul interne pour la communauté scientifique. La maison de la simulation possède également un partenariat fort avec Nvidia⁹⁸, notamment sur les processeurs graphiques (GPU).

Les équipes pluridisciplinaires (physiciens, mathématiciens, informaticiens...) accueillies par la Maison de la simulation peuvent accéder à deux équipements phares. D'une part, le cluster de calcul Poincaré⁹⁹ - hébergé administrativement par le CNRS sur son centre Idris à Orsay - leur fournit une puissance CPU de 33,9 Tflops complétée de 9,4 Tflops sur processeurs graphiques. D'autre part, la Maison de la simulation dispose dans ses propres locaux - dans l'immeuble Digiteo Labs du CEA - d'un

⁹⁸ <https://developer.nvidia.com/academia/centers/maison-de-la-simulation-cuda-research-center>

⁹⁹ Installé en octobre 2012, le cluster de calcul Poincaré a été acquis auprès d'IBM dans le cadre du projet Equip@meso. Il fournit une puissance CPU de 33,9 Tflops (1 632 coeurs, puces Sandy Bridge E5-2670 à 2,6 GHz) complétée de 9,4 Tflops apportés par 19 978 coeurs GPU Nvidia Tesla K20M.

mur d'images stéréoscopique « plateforme Mandelbrot » (l'inventeur des fractales et notamment récipiendaire du Japan prize en 2003¹⁰⁰) de 4,3m sur 2,4m pour visualiser et exploiter de grands volumes de données. Cette solution interactive haute performance résulte du projet Digiscope qui regroupe 9 établissements du plateau de Saclay dont Telecom ParisTech et 11 laboratoires. Une infrastructure de téléprésence sera bientôt installée en complément pour développer des méthodes de visualisation collaborative.

Dans la perspective des technologies exascales, l'une des missions de la Maison de la simulation consiste à adapter les logiciels pour ces futures machines et à interagir avec les utilisateurs. Enfin, ses ingénieurs spécialisés dans le calcul intensif apportent une aide au développement et à l'optimisation de code de haut niveau. Leur expertise porte également sur l'algorithmique parallèle, la visualisation et le post-traitement des données.

On remarque que les membres de la Maison de la Simulation sont les principales institutions en termes de publications liées au HPC en France :

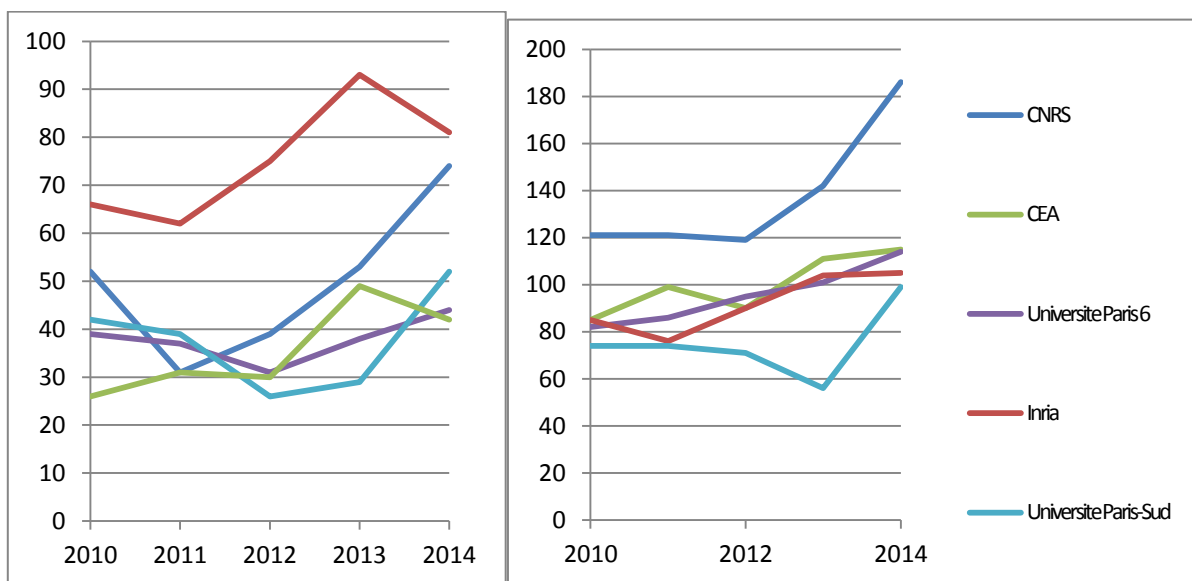


Figure 40 : Institutions françaises publiant le plus dans le domaine HPC sur la période 2010-2014, à gauche restreintes à la catégorie informatique (i.e. concernant le développement de technologies HPC), et à droite élargies à tous les domaines (i.e. couvrant également les applications scientifiques utilisant le HPC)¹⁰¹

¹⁰⁰ https://fr.wikipedia.org/wiki/Prix_japonais

¹⁰¹ Source : outil Scival®, recherche sur la période 2010-2015 pour la France effectuée en mars 2016 avec les mots clés suivants : multicore, distributed algorithms, data parallelism, exaflop, high performance computing

HPC PME

Pour faciliter et encourager l'accès des PME à la simulation numérique et au calcul intensif, Bpifrance, GENCI et Inria ont lancé, fin 2010, l'Initiative HPC-PME¹⁰². Unique en France, cette initiative ambitionne d'accompagner les PME dans leur utilisation de la simulation numérique afin de gagner en compétitivité, de créer de l'emploi et de l'innovation. Elle est menée en partenariat avec cinq pôles de compétitivité, bénéficiant chacun d'une forte implantation régionale, à la fois académique et industrielle : Aerospace Valley (aéronautique, espace, systèmes embarqués), Axelera (chimie et environnement), Cap Digital (contenus et services numériques), Minalogic (solutions miniaturisées intelligentes pour l'industrie) et Systematic (systèmes complexes). Depuis fin 2012, HPC-PME a élargi son réseau : le CNRS, l'IPFEN, l'Onera et l'Ecole Polytechnique sont partenaires associés de l'initiative, ainsi qu'Intel et NVIDIA en tant que partenaires technologiques.

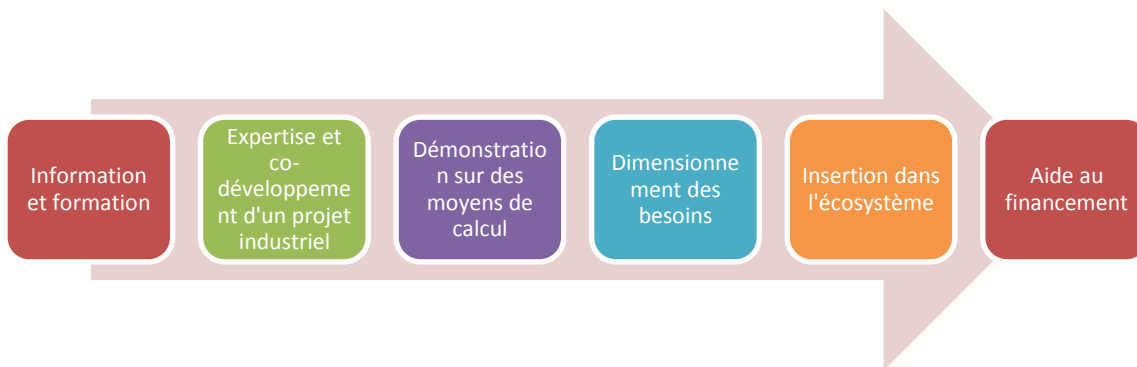


Figure 41 : Services HPC-PME

La mise en œuvre de cette action a été confiée à GENCI et Teratec dans le cadre de leur réponse commune en juin 2014 à l'Appel à manifestation d'intérêt (AMI) « Diffusion de la simulation numérique » (Programme Investissements d'Avenir). Ce projet inclut la démultiplication en région de l'Initiative HPC-PME, à travers le déploiement de plateformes régionales d'accompagnement et la coopération avec les acteurs « métiers ».

¹⁰² <http://www.initiative-hpc-pme.org/>



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Equip@meso

Retenu dans le cadre des appels à projet Equipex 2010 des Investissements d'avenir, avec une enveloppe globale de 10,5 millions d'euros sur la période 2011-2019, Equip@meso regroupe 10 mésocentres¹⁰³ partenaires et 5 mésocentres adhérents afin de développer les équipements et les interactions au sein des centres régionaux de calcul. Les partenaires sont les suivants :

- Université de Strasbourg ;
- Université Claude-Bernard Lyon 1 ;
- Université Joseph Fourier Grenoble ;
- Université Aix-Marseille ;
- PRES Université de Toulouse ;
- Université Pierre et Marie Curie ;
- Maison de la simulation (CEA) ;
- PRES Paris Sciences et Lettres ;
- Université Reims-Champagne Ardenne ;
- CRIHAN.

Les adhérents qui ont rejoint Equip@meso sont les suivants : Université de Montpellier2 (HPC@LR) :

- Université de Bordeaux (MCIA) ;
- Université de Franche-Comté (Mésocomté) ;
- Université de Bourgogne ;
- Université d'Orléans.

Coordonné par GENCI, Equip@meso a pour objectifs de développer les équipements et les interactions au sein des centres régionaux de calcul ainsi que de soutenir localement le développement de l'Initiative HPC-PME. Des cellules pilotes ont été lancées en 2013, auxquelles participent le Calmip (Toulouse), Ciment-MaiMoSiNE (Grenoble), Romeo (Reims) et le Crihan (Rouen).

En 2013, la phase d'investissement du projet Equip@meso a permis de financer l'équipement en moyens de calcul intensif des dix centres régionaux partenaires, en s'appuyant sur un effet levier de co-financements régionaux voire européens. La puissance globale disponible à l'échelon régional en France a été doublée grâce à ce projet : près de 800 TFlop/s au total ont ainsi été acquis, sur des configurations très diverses.

¹⁰³ Un méso-centre peut être défini comme un ensemble de moyens humains, de ressources matérielles et logicielles à destination d'une ou plusieurs communautés scientifiques, issus de plusieurs entités, en général d'une même région, doté de sources de financement propres, destiné à fournir un environnement scientifique et technique propice au calcul haute performance.

Grid'5000¹⁰⁴

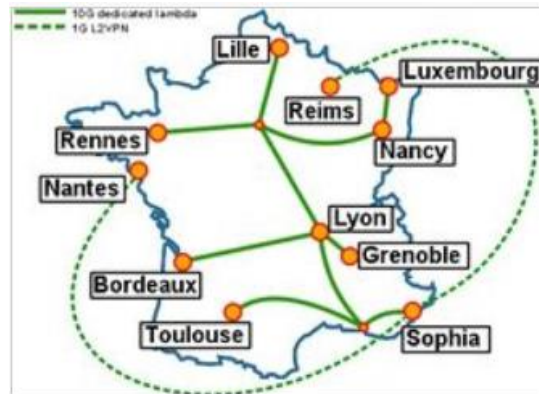


Figure 42 : le réseau de grille Grid'5000

Grid'5000 est un système de calcul expérimental pour tous les domaines de l'informatique, avec une attention particulière portée sur le Cloud, le HPC et le Big Data, initié par le CNRS et l'Inria notamment.

Les caractéristiques de ce réseau sont :

- Fournir accès à une large quantité de ressources : 1000 nœuds, 8000 cœurs groupés en clusters et possédant des technologies telles que 10G Ethernet, Infiniband, GPUs, Xeon PHI
- Être facilement reconfigurable et contrôlable afin que les chercheurs puissent isoler leurs travaux au niveau de la couche réseau
- Fournir des statistiques sur l'usage réseau et la consommation énergétique
- Permettre le support de l'Open science et encourager la reproductibilité de la recherche
- Soutenir plus de 500 utilisateurs, avec une équipe technique dédiée

Cerfacs

Le Cerfacs est un centre de recherche fondamentale et appliquée, spécialisé dans la modélisation et la simulation numérique, qui implique plusieurs acteurs utilisateurs du Calcul haute performance (Airbus Group, Cnes, EDF, Météo France, Onera, Safran et Total) en mettant en commun des moyens matériels, logiciels et humains, dans des projets d'envergure nationale et internationale. Il a également noué des partenariats avec des organismes publics de recherche comme le CNRS (Unité de recherche associée), l'Irit (laboratoire commun), le CEA et Inria (accords de coopération).

¹⁰⁴ <https://www.grid5000.fr/mediawiki/index.php/Grid5000:Home>



**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

d. Les acteurs non-académiques du HPC français

L'intégrateur du HPC français : Atos-Bull

Avec sa capacité à développer des composants et à les intégrer dans des systèmes de calcul, Bull joue un rôle essentiel dans l'écosystème français. Atos-Bull a construit un certain nombre des principaux calculateurs français, et se positionne, en tant qu'intégrateur, comme le fer de lance de l'industrie française et européenne du HPC. Créée en 1930 et aujourd'hui filiale du groupe Atos (société de conseil et services en informatique), l'entreprise leader européen du Calcul haute performance conçoit et développe des produits et logiciels de technologies distribués en s'appuyant sur un portefeuille de 2000 brevets et plus de 700 experts R&D.

Atos-Bull est à l'origine de plusieurs solutions dont Bullx, un supercalculateur à faible consommation énergétique. L'entreprise fournit également une solution Cloud appelée « *Extreme factory* »¹⁰⁵ sur le modèle du « *HPC-as-a-Service* », qui peut être utilisée par tout type d'entreprise, notamment des PME pour leurs besoins en simulation et par des grands groupes pour le délestage des pointes de charge lors, par exemple, du développement de nouveaux produits.

Atos-Bull a également annoncé la commercialisation d'un supercalculateur Pétaflopique et doté de performances énergétiques avancées, appelé « Sequana »¹⁰⁶.

Parmi les supercalculateurs Atos-Bull installés dans le monde :

- France : Valeo, Safran, Dassault-Aviation, Thalès, Météo-France et les Universités de Reims Champagne-Ardenne et Grenoble
- Brésil : le laboratoire national de calcul scientifique (LNCC)
- Allemagne : le centre de recherche météorologique DKRZ et les universités de Dresde et Düsseldorf
- Belgique : le centre de simulation pour l'aéronautique Cenearo
- Espagne : le supercalculateur de la banque BBVA

¹⁰⁵ http://www.bull.com/sites/default/files/docs-dl/b-extreme_factory-fr3.pdf

¹⁰⁶ <http://www.hpcwire.com/off-the-wire/atos-reveals-bull-sequana/>

Acteurs français utilisateurs du HPC¹⁰⁷

Les industriels utilisant des systèmes de calcul intensif afin d'optimiser leurs modèles et de permettre une importante réduction des coûts d'expérimentation sont de plus en plus nombreux. Les principaux sont :

Total

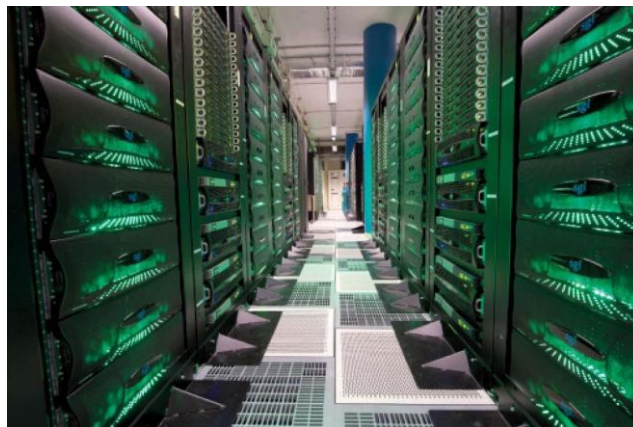


Figure 43 : supercalculateur Pangea de Total

Total investit très fortement dans le domaine de la simulation, notamment pour :

- Analyser les images obtenues par propagation d'une onde sismique dans le sous-sol pour identifier des réservoirs d'hydrocarbures
- Représenter la dynamique des fluides multi-échelles dans un réservoir d'hydrocarbures lors de son exploitation.
- Reproduire les réactions chimiques, les échanges de chaleur, les polymérisations au sein des grands procédés de raffinage.
- La modélisation jusqu'au niveau moléculaire pour l'étude des colles en particulier.

Environ un tiers de ces recherches est réalisé en interne grâce à des moyens humains et techniques dédiés. Le reste est sous-traité par des sociétés spécialisées ou par des universités, selon la complexité et la sensibilité des sujets (risques industriels, impacts environnementaux...).

Le groupe possède plusieurs supercalculateurs. En particulier depuis mars 2013, Total utilise la machine Pangea, le neuvième plus puissant supercalculateur au monde au moment de son installation. Installé dans le centre scientifique et technique Jean-Fréger, à Pau (Pyrénées-Atlantiques), il affiche 2,3 petaflops de puissance de calcul et 7 petaoctets de capacité de stockage. Cet investissement de 60 millions d'euros a été remboursé en moins d'un an et constitue un élément clé dans l'industrie pétrolière où seuls 15 à 30 % des forages sont un succès. En outre, le gain de temps est considérable. L'analyse des relevés sismiques du projet Kaombo en Angola a demandé neuf jours de calcul à Pangea. Avec l'ancien supercalculateur, il aurait fallu quatre mois et demi.

¹⁰⁷ <http://www.usine-digitale.fr/article/10-champions-de-la-simulation.N253974>



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Total a annoncé en mars 2016 le triplement de la puissance de calcul de Pangea¹⁰⁸ (puissance crête de 6,7 pétaflops, 5,28 Pflops en nominal), ce qui le fait théoriquement rentrer dans le top 10 du Top500 (d'après le classement de novembre 2015). Pangea est également le plus puissant supercalculateur possédé par un industriel dans le monde.

Météo France¹⁰⁹

Depuis 1992, Météo France a recours à des supercalculateurs pour effectuer ses prévisions météorologiques et contribuer aux travaux de recherche sur le climat.

Utilisant jusque récemment un supercalculateur vectoriel de NEC pour les prévisions météo et études climatiques, Météo France est passé à un supercalculateur scalaire de Bull au début de 2014. Sur son site toulousain, deux nouveaux supercalculateurs ont été installés en 2013 : deux machines Bull affichant chacune plus de 500 téraflops de puissance crête. Chacun de ces deux supercalculateurs comporte 1 000 nœuds de calcul et 24 cœurs de processeurs Intel, soit une puissance totale vingt fois supérieure à celle des deux ordinateurs Nec qu'elles remplacent (qui comportaient 10 nœuds de calcul vectoriels). L'une est consacrée à la prévision quotidienne, l'autre à des travaux de recherche.

Les deux calculateurs Bull seront modernisés en 2015-2016 pour quintupler la puissance crête. Ainsi le modèle le plus fin, Arome, qui donne des informations locales en métropole, fonctionne aujourd'hui avec une maille de 2,5 kilomètres. Elle sera réduite à 1,3 kilomètre. Arome permet notamment de prévoir des événements potentiellement dangereux, comme les orages notamment dans les Dom-Tom. Arpège, autre modèle de simulation de Météo France, à l'échelle du globe cette fois, utilise une maille de 15 kilomètres qui passera à 7,5 kilomètres. Affiner le maillage des modèles n'est pas le seul but de la montée en puissance des moyens de calcul. L'idée est également de faire tourner un plus grand nombre de simulations, puisque le système de recherche de Météo France doit également servir à faire des modélisations de l'évolution du climat.

Météo-France travaille sur la parallélisation du code de calcul d'Arome et Arpège afin de pouvoir exploiter la puissance de calcul offerte par les calculateurs Bull et également sur les entrées-sorties des données.

¹⁰⁸ <http://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-total-triple-la-puissance-de-son-supercalculateur-pangea-64338.html>

¹⁰⁹ <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/actu/d/climatologie-meteo-france-dote-deux-supercalculateurs-bull-52746/>

RTE - EDF



Figure 44 : le centre de commande de RTE

Le gestionnaire du réseau de transport d'électricité français opère, entretient et développe 100 000 kilomètres de lignes à haute et très haute tension ponctuées d'environ 2 600 postes de transformation. La simulation permet à RTE de garantir le bon fonctionnement d'une multitude de machines tournantes, qui produisent ou consomment l'électricité. Pour éviter les incidents, des calculateurs d'aide à la conduite du réseau tournent en continu dans les huit centres de RTE. Ils simulent des incidents (ligne coupée, panne de générateur...) et vérifient que le réseau restera stable face à ces incidents. Si ce n'est pas le cas, des outils de simulation plus sophistiqués aident les opérateurs à trouver des parades, comme répartir différemment les flux d'électricité ou demander à une centrale d'augmenter sa production. Ces outils utilisent des modèles physiques d'électrotechnique des réseaux, regroupés dans une suite logicielle « Convergence », qui permet de simuler l'impact d'une centrale électrique, l'apport d'une ligne haute tension ou d'un poste de transformation. Ils ont été développés en interne, par EDF puis par RTE.

RTE dispose également de logiciels plus pointus pour étudier la dynamique des réseaux (surtensions, pertes de synchronisme...). Les "transitoires" électromagnétiques sont simulés à la milliseconde près par le puissant algorithme d'Eurostag. Issu d'EDF, ce programme est co-développé par RTE et Tractebel (GDF-Suez). Pour descendre sous la milliseconde et simuler les transitoires ultrarapides qui peuvent affecter les composants d'électronique de puissance, RTE fait appel à EMTP-RV, mis au point avec Hydro-Québec et Powersys.



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Quelques autres grands utilisateurs de HPC en France :

- Airbus, qui est un partenaire du CEA/CCRT, pour la modélisation de l'aérodynamisme, du stress, de l'électromagnétisme, de l'acoustique, etc¹¹⁰.
- Air Liquide¹¹¹ possède un ordinateur sur son centre de R&D des Loges-en-Josas pour la modélisation des phases de séparation des gaz de l'air afin de mieux contrôler les transferts de matières et turbulences causés par le passage de liquide en vapeur.
- Nokia (ex Alcatel-Lucent), pour la simulation des flux sur les réseaux très-haut débit
- Dassault-Aviation, qui simule des avions en vol
- DCNS, pour la modélisation de navires
- Véolia Environnement pour la gestion des réseaux d'eau
- L'Oréal, notamment à travers un partenariat avec le CEA/CCRT (modélisation et recherche en nouvelles molécules et leurs effets sur la peau, les cheveux)
- SAFRAN et VALEO sont également utilisateurs des moyens de calcul du CCRT
- Etc.

¹¹⁰http://www.teratec.eu/library/pdf/forum/2014/Presentations/SP09_T_Chevalier_Airbus_Forum_Teratec_2014.pdf

¹¹¹ <http://www.usine-digitale.fr/article/air-liquide-optimise-les-ressources-en-numerisant-les-flux.N251722>

IV. Collaborations internationales du Japon

Après une légère décroissance du nombre de publications internationales entre le Japon et les autres pays en 2011 (l'année du séisme et du Tsunami du Tohoku), le nombre de collaborations internationales du Japon dans le domaine du HPC augmente chaque année sensiblement (+25% depuis 2011).

Les partenaires privilégiés du Japon pour les co-publications liées au développement des technologies du HPC sont les Etats-Unis et la Chine, suivis par l'Espagne, la France, le Royaume-Uni et l'Allemagne¹¹².

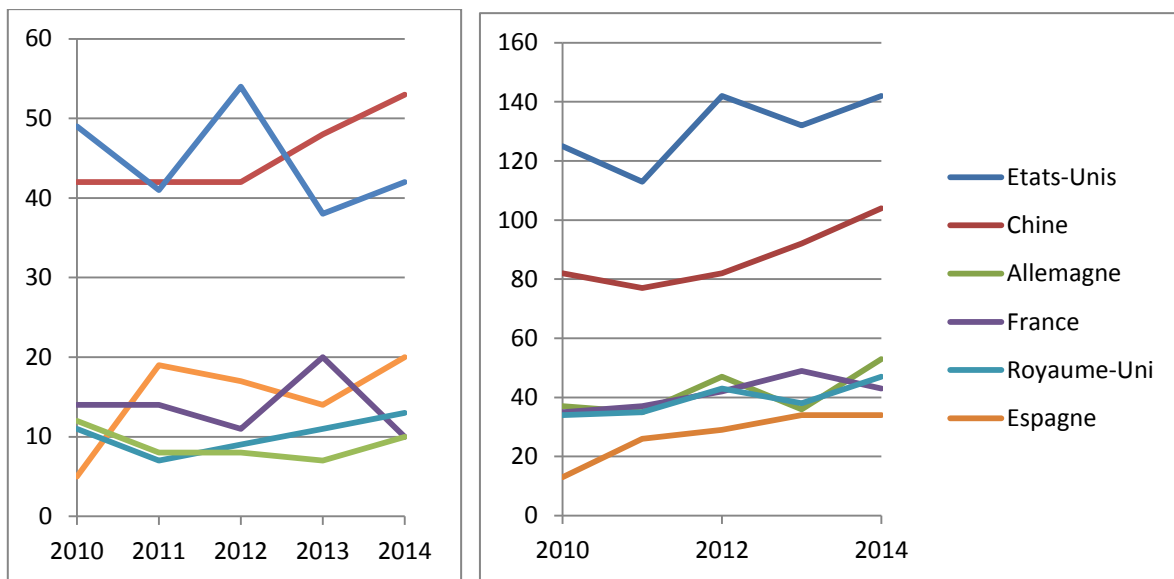


Figure 45 : Partenaires du Japon sur la période 2010-2014, pour les publications sur le HPC respectivement à gauche restreintes au domaine informatique (i.e. concernant le développement de technologies HPC), et à droite élargies à tous les domaines (i.e. couvrant également les applications scientifiques utilisant le HPC)

¹¹² Source : outil Scival®, recherche sur la période 2010-2014 effectuée en mars 2016 avec les mots clés suivants : multicore, distributed algorithms, data parallelism, exaflop, high performance computing

Les institutions de recherche dans le monde ayant le plus de collaborations avec le Japon sont les suivantes :

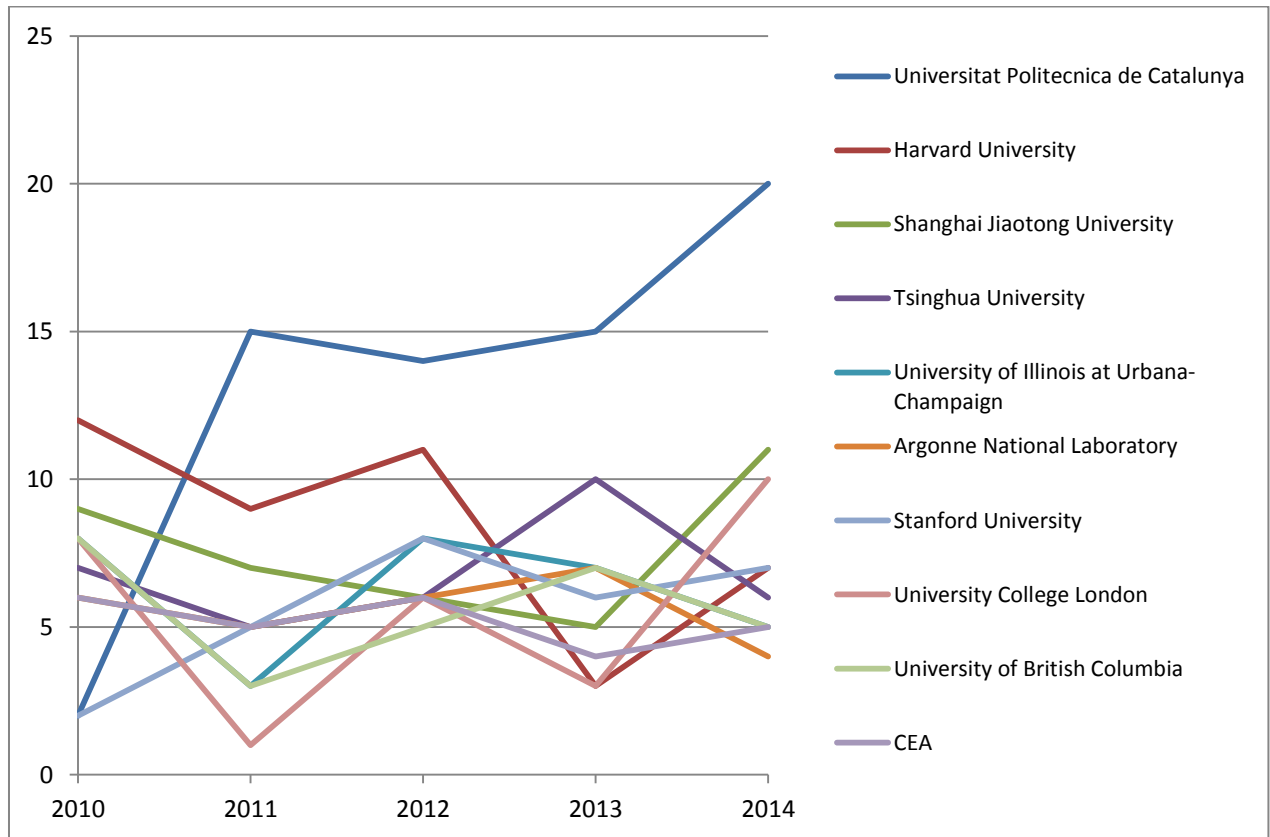
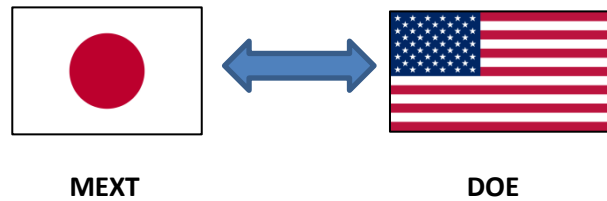


Figure 46 : Partenaires institutionnels du Japon dans le monde pour les publications sur le HPC élargies à tous les domaines (développement des technologies HPC et les applications scientifiques utilisant le HPC)¹¹³

¹¹³ Source : outil Scival®, recherche sur la période 2010-2014 effectuée en mars 2016 avec les mots clés suivants : multicore, distributed algorithms, data parallelism, exaflop, high performance computing ; pour les revues du domaine Informatique

1. Partenariat US / Japon



Le partenariat fort entre le Japon et les Etats-Unis se décline notamment sur la collaboration R&D en HPC, en particulier sur le développement de logiciels pour les systèmes HPC.

A partir de l'accord de coopération en Recherche et Développement entre les Etats-Unis et le Japon (1988), le MEXT japonais et le DOE (*Department for Energy* américain) ont conclu un accord concernant les technologies liées à l'énergie et les technologies associées, parmi lesquelles figure l'Informatique.

Sur ce domaine, a été plus particulièrement mis en place un projet visant les technologies informatiques et logicielles pour la recherche scientifique ouverte (*Open Scientific Research*), auquel participe le Laboratoire National américain du DOE (Laboratoire National d'Oak Ridge) et le RIKEN pour le Japon. La coopération porte particulièrement sur les logiciels pour les systèmes HPC¹¹⁴.

Les domaines de coopérations plus particulièrement visés par cet accord de coopération sont les suivants :

- Interface de programmation de noyaux de système d'exploitation
- Couche basse de communication
- Gestion des tâches et des threads pour permettre de supporter une concurrence massive des tâches
- Gestion de l'énergie et optimisation
- Organisation des données et goulots d'étranglement Entrée/Sortie
- Système de fichiers et gestion Entrée/Sortie
- Amélioration de la résilience des systèmes et des applications aux défaillances et autres failles
- Mini-applications pour la modélisation de la performance basée sur les composants pour l'échelle exaflopique

¹¹⁴ <http://www.iwomp2015.rwth-aachen.de/export/sites/default/iwomp-keynote1-SatoSan.pdf>



**Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie**

2. Coopération à l'échelle européenne et française

a. Coopération Europe-Japon

Un accord de coopération de recherche sur le HPC a été lancé entre l'Europe et le Japon à travers la signature d'un MoU (*Memorandum of Understanding*) le 30 Octobre 2014 entre le RIST (*Research Organization for Information Science and Technology*) et PRACE (responsable : Sergi Girona de BSC)¹¹⁵.

Ce MoU porte sur l'échange d'informations concernant la promotion de l'usage partagé des ressources de calcul intensif, afin d'améliorer l'usage respectif des infrastructures partagées.

Les deux entités organisent également des séminaires technologiques pour mettre en place ce partenariat.

Exemple de projet commun

L'Approche élargie, accord bilatéral entre la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom) et le gouvernement japonais (MEXT) entré en vigueur en 2007 pour une durée de dix ans, vise à soutenir des activités de recherche et développement en complément du projet Iter (projet de démonstration de la faisabilité d'un réacteur utilisant le principe de fusion nucléaire situé à Cadarache, en France) pour accélérer la réalisation de la fusion nucléaire.

Ce programme comprend trois grandes composantes développées au Japon¹¹⁶, dont IFERC (*International Fusion Energy Research Centre*)¹¹⁷ centre de simulation pour la fusion, équipé d'un supercalculateur Bull de 1,5 Pétaflops, Helios¹¹⁸, situé à Rokkasho.

Helios, détenu à parts égales par le Japon et l'Europe, est le seul supercalculateur européen au Japon dans le Top 500 de novembre 2015 (#456, #38 en 2014). Ce supercalculateur est à l'heure actuelle le plus puissant calculateur mondial dédié à un domaine spécifique.

La spécificité de ce calculateur tient à ce que ses spécifications ont été pensées en collaboration avec les futurs utilisateurs, ce qui est un modèle précurseur de co-design.

Organisations participantes :

- France/EU
 - o Organisation F4E

¹¹⁵ <http://www.prace-ri.eu/rist-prace-mou-2014/>

¹¹⁶ IFERC, IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF/EVEDA) : http://users.ifmif.org/ifmifweb/?page_id=62), et STP (Satellite Tokamak Programme (STP) Project JT-60SA : <http://www.jt60sa.org/b/index.htm>) sont les trois composantes japonaises de l'approche élargie.

¹¹⁷ <http://www.iferc.org/>

¹¹⁸ <http://www.efda-hlst.eu/helios-projects/iferc-csc-helios-projects>

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

- Utilisation : CEA, CNRS, BA-IFERC, et les scientifiques européens rattachés à une organisation membre d'Eurofusion
- Japon
 - Organisation : JAEA
 - Utilisation : JAEA, NIFS, Universités

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	
	PHASE 1: PREPARATION/PROCUREMENT						PHASE 2: OPERATION						DISMANTLING
EU/JA	Overall plan and preparation				Management								
EU IT equipment incl. HPC					Procurement Installation		Enhancement				Dismantling		
	Operation and maintenance												
JA Building	Design and construction of CSC&REC Building			Adaptation									
JA technical support for IFERC-CSC					Support for management and CSC users								
SWG-1	Specifications for the procurement and support of HPC		Monitoring										
SWG-2					Utilization rules								
Standing Committee							Selection of projects, allocation of CPU time and evaluation						

Figure 47 : Planning prévisionnel du projet¹¹⁹

L'intégrateur de ce système est le français Bull (utilisant également des produits Intel, Mellanox, etc.)

b. La collaboration S&T franco-japonaise

Les échanges franco-japonais ont débuté il y a plus de 10 ans, avec deux missions organisées en 2003 et 2006 par l'Ambassade de France au Japon, qui avaient fait apparaître l'intérêt et les perspectives de collaboration sur ce sujet. En marge de ces missions, le projet Inria Grand Large avait fait émerger les premières collaborations scientifiques franco-japonaises, notamment avec l'université de Tsukuba.

Ces liens se sont fortement renforcés notamment grâce aux appels à projets lancés par :

- l'ANR et la JST, qui ont lancé en 2010 un appel conjoint dans le domaine des sciences et technologies de l'information et de la communication, puis en 2014 un appel tripartite avec la DFG (*Deutsche Forschung Gemeinschaft*) allemande, SPPEXA2.
- le CNRS et la JST de 2004 à 2009-2010.

¹¹⁹ http://www.iferc.org/CSC_Scope.html

- l'ANR et la JSPS, à travers des [projets G8](#) comprenant un volet sur le HPC

Enfin, suite au séminaire « *Extreme High Performance Computing* »¹²⁰ organisé les 14 et 15 avril 2014 par l'Ambassade de France à Tokyo avec la Maison de la Simulation et l'AICS (Advanced Institute for Computational Sciences) du RIKEN, un accord a été signé entre ces deux partenaires.



Figure 48: Signature du MoU entre le RIKEN-AICS et la Maison de la simulation à l'Ambassade de France au Japon en 2014

Les principales institutions collaborant avec le Japon sont Inria, les Universités de Paris VI, Bordeaux, Lille ou Grenoble ainsi que le CEA (entre 5 et 10 publications commune chaque année).

Exemples de projets communs

L'appel commun JST-ANR a permis de lancer 4 projets franco-japonais, dont les projets FP3C : « *Framework and Programming for Post Petascale Computing* »¹²¹ et « *PetaFlow* »¹²². Ces projets de grande envergure se sont appuyés sur une forte complémentarité entre équipes françaises et japonaises sur les différents axes de recherche liés au Calcul haute performance (modèles de programmation, langage, architecture logicielle, algèbre linéaire, etc., en utilisant les machines japonaises) et ont permis aux chercheurs d'avancer sur des modèles de programmation et de développer une intégration du parallélisme multi-niveaux pour la programmation sur HPC.

¹²⁰ <http://www.ambafrance-jp.org/Conference-franco-japonaise-Calcul>

¹²¹ Projet incluant le CEA, le CNRS (IRIT et LIP), l'ENS de Lyon, Inria Bordeaux, Rennes et Saclay et les universités japonaises de Tsukuba, Tokyo et Kyoto et le TITECH, cofinancé par l'ANR à hauteur de 500 k€.

¹²² « Calculs intensifs, visualisation scientifique et transfert haut débit international pour des données d'échelle peta : application à l'écoulement dans les voies supérieures de l'Homme », coordonné par GIPSA-lab et NICT, cofinancé par l'ANR à hauteur de 400 k€.

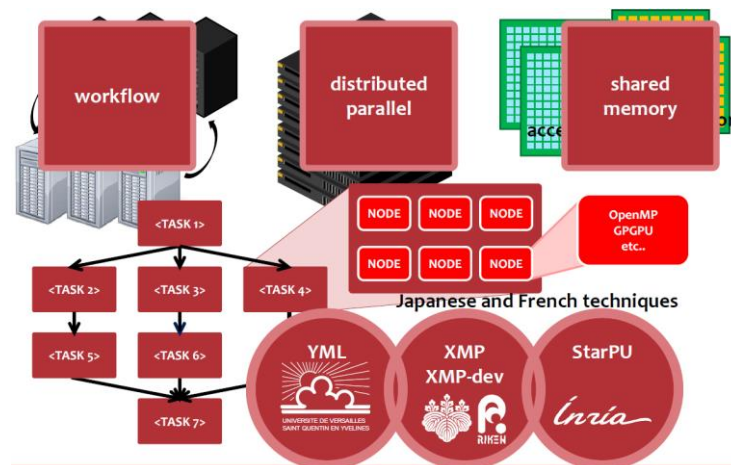


Figure 49 : projets franco-japonais FP2C

- Dans le cadre de l'appel à projet SPPEXA2, un projet conjoint franco-allemand-japonais (projet MYX : *MUST correctness checking for YML and XMP programs*) entre le RIKEN AICS, l'Université de Tsukuba, la Maison de la simulation (sous la direction du professeur Serge Petiton) et RWTH Aachen a été sélectionné. L'objectif de ce projet est de permettre des améliorations de productivité dans la programmation pour les architectures exascale, utilisant les méthodes évolutives pour vérifier la justesse d'exécution des applications parallèles YML ET XMP et réaliser l'intégration de ces méthodes dans l'outil MUST.

Enfin, au niveau partenariat publics-privés japonais, la société Total participe à des projets de recherche conjoints avec le RIKEN, l'université de Tsukuba et Fujitsu Labs (site de Kawasaki au sud de Tokyo).



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

3. Coopérations multilatérales

a. Joint Laboratory for Extreme Scale Computing (JLESC)

Le laboratoire multi-national sur le HPC, le *Joint Laboratory for Extreme Scale Computing (JLESC)*¹²³, regroupe les centres de recherches et universités américains et européens (*University of Illinois at Urbana-Champaign (NCSA)*, *Argonne National Laboratory*, *Inria*, *Barcelona Supercomputing Center* et *Jülich Supercomputing Centre*). Il fait suite au laboratoire conjoint Inria-Illinois Joint pour le développement du *Petascale Computing* et mène des activités de recherche sur :

- Les applications scientifiques du HPC
- La modélisation et l'optimisation de bibliothèques numériques
- Les nouveaux modèles de programmation et systèmes d'exécution
- La résilience et la tolérance aux erreurs
- Entrée/Sortie et visualisation
- Les *Clouds* HPC

Le JLESC a signé un MoU avec le RIKEN AICS, afin d'initier une nouvelle collaboration sur des simulations centrées sur les données et les analyses d'échelle¹²⁴. Un séminaire du JLESC se tiendra dans ce cadre en décembre 2016 à l'AICS, après des éditions en Allemagne et en France.

b. Projets G8

Dans le cadre du G8-HORC (*Heads of Research Councils of G8 Countries*), les agences de recherche des pays du G8 financent des programmes scientifiques.

En 2010, l'Agence nationale de la recherche (ANR, France), le Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (NSERC), la Fondation pour la Recherche allemande (DFG), la Société japonaise pour la Promotion de la Science (JSPS), la Fondation russe pour la Recherche de base (RFBR), les Conseils de recherche du Royaume-Uni (RCUK), et la Fondation Nationale pour la Science aux États-Unis (NSF) ont financé un « programme de plateforme logiciel libre pour calcul exascale et applications dans le domaine de l'environnement ».

Les premiers appels conjoints étaient les suivants :

- 2011 : « *Interdisciplinary Program on Application Software towards Exascale Computing for Global Scale Issues* »
- 2012 : « *Interdisciplinary Programme on Material Efficiency –A First Step towards Sustainable Manufacturing* »

¹²³ <https://publish.illinois.edu/jointlab-esc/>

¹²⁴ <http://p.phys.nagoya-u.ac.jp/JIFT2015HPC/JIFT2015-msato.pdf>



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

- 2013 : « *Interdisciplinary Programme on Coastal vulnerability & Fresh water security* » – Belmont Forum (IGFA - *International Group of Funding Agencies for Global Change Research*)

Le projet Nu-FuSe, sélectionné dans ce cadre de l'appel de 2011 est dirigé par le professeur Graeme Ackland de l'Université d'Edinburgh (Royaume-Uni), et inclut des équipes de recherche à Cadarache en France (centre voisin du centre accueillant la prochaine génération de réacteurs pour la fusion, ITER), à Edinbourg (Royaume-Uni), Princeton (Etats-Unis), Garching et Jülich en Allemagne, au *Keldysh Institute of Applied Mathematics* (Russie) et enfin à Tsukuba au Japon.

L'objectif de ce projet est d'améliorer drastiquement les capacités de modélisations dans le domaine de la fusion nucléaire pour permettre une simulation des nouveaux réacteurs de fusion.

Les trois domaines d'attention particulière des équipes de recherche sont :

- Fusion-plasma
- Matériaux de construction pour les réacteurs de fusion
- Physique du bord de plasma

Afin de réaliser ces modélisations, une capacité de calcul « exaflopique » est nécessaire pour faire tourner une grande variété de codes de simulation et aboutir à une version intégrée de la simulation de la réaction de fusion. Il est donc nécessaire de rendre les modèles de simulation adaptés au calcul à très haute performance.

Ce projet vise ainsi à former les scientifiques travaillant sur la fusion aux défis de la programmation sur ordinateur exaflopique et développer une communauté de scientifiques ayant les capacités de modéliser les plasmas en fusion de manière globale, plutôt qu'en se spécialisant sur une partie du sujet.

Un autre projet G8, le projet **ESC** - « *Enabling Climate Simulation at extreme scale* », sélectionné dans le cadre de l'appel 2011, réunit climatologues et informaticiens, et vise notamment à adapter les modèles climatiques aux superordinateurs exaflopiques qui devraient apparaître vers 2018-2020. ESC rassemble entre autres *l'University of Illinois at Urbana Champaign* (UIUC), le NCSA et Inria (France), par le biais du *Joint Laboratory on PetaScale Computing*. L'équipe, sous l'égide de l'UIUC (directeur) et de Inria (directeur adjoint, Franck Capello), regroupe des chercheurs canadiens (Université de Victoria), français (Inria), allemands (Centre national allemand pour la recherche atmosphérique), japonais (Tokyo Tech et Université de Tsukuba), espagnols (Centre de calcul intensif de Barcelone) et américains (*University of Illinois at Urbana Champaign*, *University of Tennessee*, le *National Center for Supercomputing Applications-NCSA*, et le *National Center for Atmospheric Research-NCAR*¹²⁵.

¹²⁵ <http://www.inria.fr/en/news/news-from-inria/g8-enabling-climate-simulation>



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Conclusions et futures actions

Le domaine du Calcul haute performance fait l'objet d'un soutien continu de l'Ambassade de France au Japon depuis plus de dix ans, puisque les liens franco-japonais avaient été initiés dans le cadre d'une mission d'expertise organisée par le service scientifique en 2003, et ont pris un élan fort lors d'une mission similaire en 2006 et lors du séminaire organisé à l'Ambassade en avril 2014¹²⁶.

Le Japon a maintenu un très fort niveau d'investissement sur le développement du Calcul haute performance depuis plus de vingt ans, notamment des investissements massifs pour ses deux programmes phare : environ un milliard d'euros pour le K-computer et le même budget pour son successeur. Il s'agit d'un partenaire à privilégier pour la France, par son statut de pionnier, la qualité de sa recherche académique (RIKEN, Université de Tsukuba, Université de Tokyo..) et industrielle (Fujitsu, NEC, Hitachi), ainsi que l'excellence de ses infrastructures.

Le Japon est également précurseur dans son approche du design de ses systèmes futurs en partenariat avec les parties prenantes utilisatrices (*co-design*) et son souhait de voir le HPC permettre de réaliser des avancées sociétales majeures.

De plus les deux pays partagent une approche commune sur le Calcul haute performance, en s'appuyant sur les partenariats publics-privés, notamment Fujitsu-RIKEN côté japonais pour la conception du K computer et du futur supercalculateur exaflopique japonais et Atos-Bull-CEA côté français, et sur une forte volonté d'ouvrir aux entreprises d'utiliser les infrastructures nationales (ou régionale pour l'Europe) de Calcul haute performance

Si le Japon est traditionnellement proche des Etats-Unis (le partenariat MEXT-DoE est une référence pour la collaboration internationale du Japon dans le domaine), les convergences dans les choix technologiques et stratégiques entre la France et le Japon, permettent d'envisager une collaboration franco-japonaise à plus grande échelle.

Des collaborations académiques fortes existent déjà entre les deux pays depuis une dizaine d'années (collaboration sur le *Earth simulator*, projet FP3C, projet MYX...), notamment avec la signature en 2014 du partenariat de recherche entre la Maison de la Simulation et le RIKEN-AICS..

La prochaine étape consisterait à développer des collaborations impliquant également des acteurs privés, notamment pour assurer une compétitivité technologique sur la scène internationale, face aux industriels américains et chinois.

Plus particulièrement, les collaborations publiques et privées entre les deux pays gagneraient à être développées sur les thématiques ci-après, critiques pour relever le défi de l'échelle exaflopique.

D'une part au niveau des choix technologiques :

- Architecture matérielle de calcul, communication et mémorisation (processeurs, mémoire, interconnexions)
- Efficacité énergétique des calculateurs et des infrastructures associées, notamment sur les systèmes de refroidissement où le Japon fait figure de pionnier (travaux du Tokyo Institute of Technology, accélérateurs PEZY, systèmes de refroidissement Exascal)

¹²⁶ <http://www.ambafrance-jp.org/Conference-franco-japonaise-Calcul>



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

- Logiciels applicatifs optimisés, notamment pour le traitement des *Big Data*
- Environnements de programmation, paradigme de programmation, mathématiques appliqués (notamment algèbre linéaire), langages

Et d'autre sur les sujets plus transversaux pour le développement de l'utilisation du HPC :

- Approche en *co-design* et création d'équipes pluridisciplinaires
- Infrastructures distribuées et réseaux de communication (sur le modèle du HPCI)
- Mise en réseau des communautés d'utilisateurs HPC, initiation et formations



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Liste des annexes

Annexe 1 : Panorama général du Top 500 (novembre 2015)	94
Annexe 2 : Liste des supercalculateurs installés au Japon dans le Top 100 (40 supercalculateurs dans le Top 500, 14 dans le Top 100) (classement de novembre 2015).	99
Annexe 3 : Liste des supercalculateurs en France dans le Top 100 (18 supercalculateurs classés, 5 dans le top 100).....	100
Annexe 4 : Calculateurs du Top 500 fabriqués par les principaux constructeurs japonais (en novembre 2015).....	101
Annexe 5 : Liste des membres du ICSP (Industrial Committee for Supercomputing Promotion)	103
Annexe 6 : Projets européens HPC dans le cadre d’Horizon 2020	104
Annexe 7 : Caractéristiques des calculateurs du HPCI (en anglais).....	105
Annexe 8 : ressources disponibles dans le HPCI	108
Annexe 9 : Spécifications du K computer du RIKEN	110
Annexe 10 : Comités thématiques du GENCI	111
Annexe 11 : Bibliographie.....	112



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Annexe 1 : Panorama général du Top 500 (novembre 2015)

La liste des 500 ordinateurs les plus performants du monde (Top 500) est éditée deux fois chaque année (juin/novembre) depuis juin 1993.

Le Top 500 utilise le système de mesure LinPack : crée par Jack Dongarra, il mesure le temps mis par un ordinateur pour résoudre un système de n équations à n inconnues dense, la solution étant obtenue par une utilisation partielle du pivot de Gauss, par $2=3:n^3 + n^2$ opérations à virgule flottantes. La performance est ensuite calculée en divisant le nombre d'opérations par le temps mis, donc en flops.

Les Etats-Unis possèdent 35 supercalculateurs dans le Top 100, le Japon 12, les français 5. Ci-après un comparatif du nombre de supercalculateurs classés pour les principaux pays équipés :

Pays	Nombre d'ordinateurs dans le Top 500	Nombre d'ordinateurs dans le Top 100
Etats-Unis	199 (233 en juin 2015)	35 (34)
Japon	37 (40)	12 (14)
Allemagne	32 (37)	10 (10)
Chine	109 (37)	11 (7)
Royaume-Uni	18 (29)	6 (7)
France	18 (27)	5 (6)

On constate une poussée très importante de la Chine en termes d'équipements de calcul intensif (désormais 1/5^{ème} des 500 machines les plus puissantes du monde).

Les plus importants fabricants sont les constructeurs américains HP, IBM et Cray.

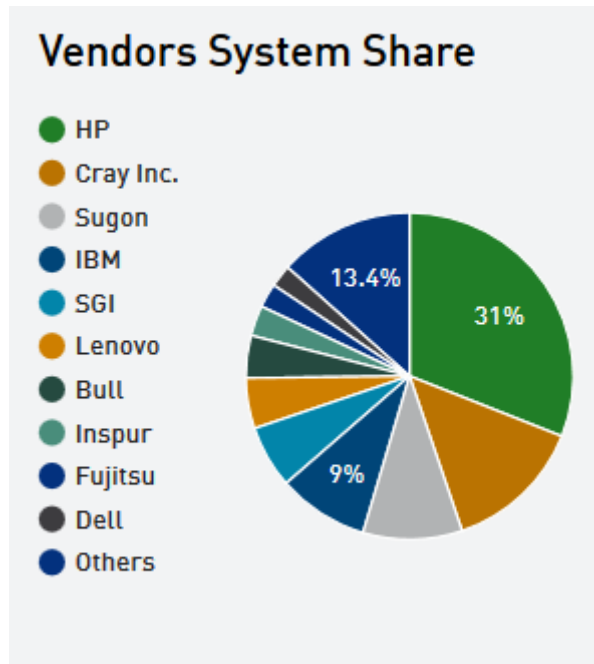


Figure 50 : Part des constructeurs mondiaux dans les supercalculateurs classés au Top500 (novembre 2015)

Au niveau des processeurs utilisés, les américains dominent toujours exclusivement les classements (notamment par une écrasante domination de Intel).

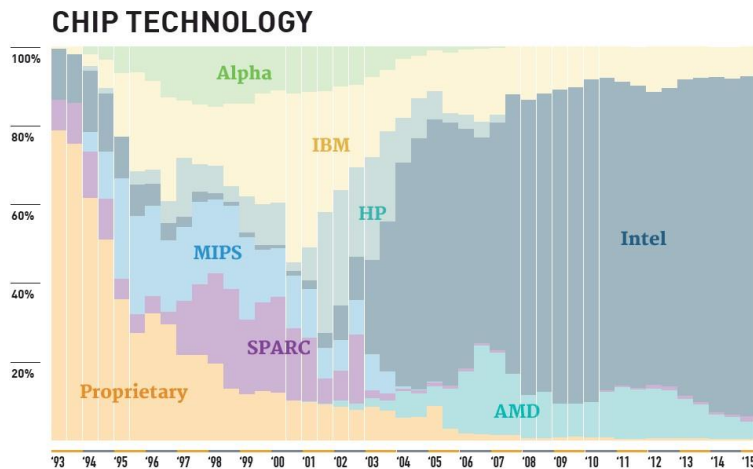


Figure 51 : Evolution de la distribution des fabricants de processeurs dans les supercalculateurs classés au Top 500

La tendance de domination américaine est similaire pour les accélérateurs (GPU Nvidia, Manycore Phi Intel).

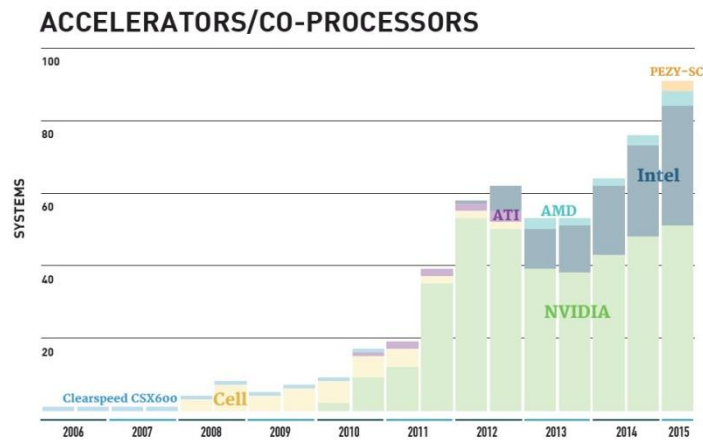


Figure 52 : Evolution de la distribution des accélérateurs utilisés dans les supercalculateurs classés au Top500¹²⁷

Enfin, Linux est le système d'exploitation équipant la grande majorité des supercalculateurs les plus puissants (494 sur 500 en novembre 2015), dans certains cas avec une surcouche propriétaire sur les machines chinoises en particulier

¹²⁷ <http://www.theplatform.net/2015/07/13/top-500-supercomputer-list-reflects-shifting-state-of-global-hpc-trends/>

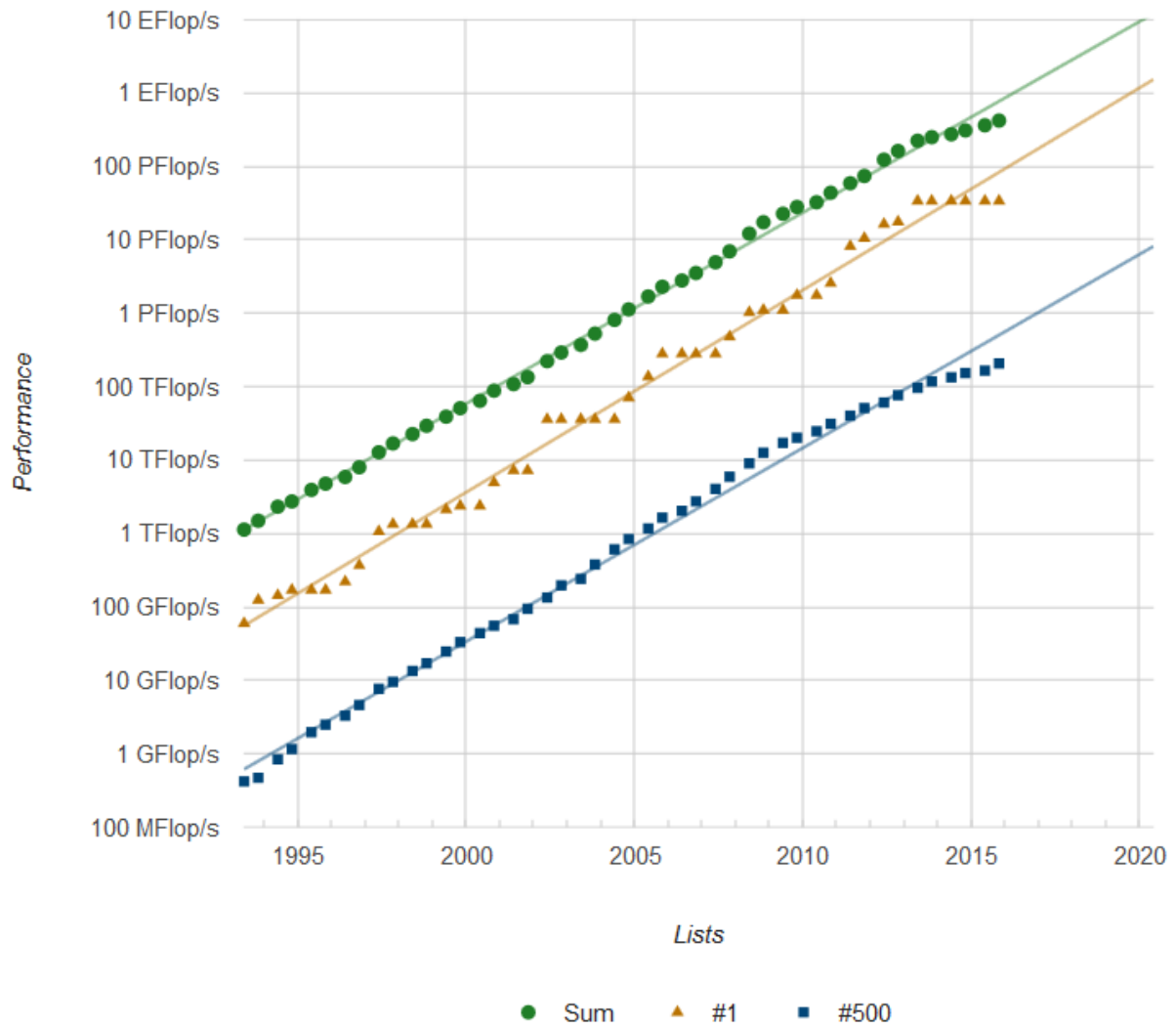


Figure 53 : Evolution des performances des plus puissants supercalculateurs du monde et projection

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Top 10 du Top 500

RANK	SITE	SYSTEM	CORES	RMAX (TFLOP/S)	RPEAK (TFLOP/S)	POWER (KW)
1	National Super Computer Center in Guangzhou China	Tianhe-2 (MilkyWay-2) - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P NUDT	3,120,000	33,862.7	54,902.4	17,808
2	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	Titan - Cray XK7 , Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x Cray Inc.	560,640	17,590.0	27,112.5	8,209
3	DOE/NNSA/LLNL United States	Sequoia - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom IBM	1,572,864	17,173.2	20,132.7	7,890
4	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Japan	K computer, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect Fujitsu	705,024	10,510.0	11,280.4	12,659.9
5	DOE/SC/Argonne National Laboratory United States	Mira - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	786,432	8,586.6	10,066.3	3,945
6	DOE/NNSA/LANL/SNL United States	Trinity - Cray XC40, Xeon E5-2698v3 16C 2.3GHz, Aries interconnect Cray Inc.	301,056	8,100.9	11,078.9	
7	Swiss National Supercomputing Centre (CSCS) Switzerland	Piz Daint - Cray XC30, Xeon E5-2670 8C 2.600GHz, Aries interconnect , NVIDIA K20x Cray Inc.	115,984	6,271.0	7,788.9	2,325
8	HLRS - Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart Germany	Hazel Hen - Cray XC40, Xeon E5-2680v3 12C 2.5GHz, Aries interconnect Cray Inc.	185,088	5,640.2	7,403.5	
9	King Abdullah University of Science and Technology Saudi Arabia	Shaheen II - Cray XC40, Xeon E5-2698v3 16C 2.3GHz, Aries interconnect Cray Inc.	196,608	5,537.0	7,235.2	2,834
10	Texas Advanced Computing Center/Univ. of Texas United States	Stampede - PowerEdge C8220, Xeon E5-2680 8C 2.700GHz, Infiniband FDR, Intel Xeon Phi SE10P Dell	462,462	5,168.1	8,520.1	4,510

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Annexe 2 : Liste des supercalculateurs installés au Japon dans le Top 100 (40 supercalculateurs dans le Top 500, 14 dans le Top 100) (classement de novembre 2015).

RANK	SITE	SYSTEM	CORES	RMAX (TFLOP/S)	RPEAK (TFLOP/S)	POWER (KW)
4	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Japan	K computer, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect Fujitsu	705,024	10,510.0	11,280.4	12,659.9
22	Information Technology Center, Nagoya University Japan	Fujitsu PRIMEHPC FX100, SPARC64 XIfx 32C 2.2GHz, Tofu interconnect 2 Fujitsu	92,160	2,910.0	3,244.0	
25	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan	TSUBAME 2.5 - Cluster Platform SL390s G7, Xeon X5670 6C 2.93GHz, Infiniband QDR, NVIDIA K20x NEC/HP	76,032	2,785.0	5,735.7	1,398.6
31	National Institute for Fusion Science (NIFS) Japan	Plasma Simulator - Fujitsu PRIMEHPC FX100, SPARC64 XIfx 32C 1.98GHz, Tofu interconnect 2 Fujitsu	82,944	2,376.0	2,621.0	
35	Japan Atomic Energy Agency (JAEA) Japan	SGI ICE X, Xeon E5-2680v3 12C 2.5GHz, Infiniband FDR SGI	60,240	1,929.4	2,409.6	
60	International Fusion Energy Research Centre (IFERC), EU(F4E) - Japan Broader Approach collaboration Japan	Helios - Bullx B510, Xeon E5-2680 8C 2.700GHz, Infiniband QDR Bull, Atos Group	70,560	1,237.0	1,524.1	2,200
61	Japan Aerospace eXploration Agency Japan	SORA-MA - Fujitsu PRIMEHPC FX100, SPARC64 XIfx 32C 1.98GHz, Tofu interconnect 2 Fujitsu	41,472	1,189.0	1,310.5	
62	University of Tokyo/Institute for Solid State Physics Japan	Sekirei - SGI ICE XA, Xeon E5-2680v3 12C 2.5GHz, Infiniband FDR SGI	38,016	1,178.3	1,520.6	580.9
75	Information Technology Center, The University of Tokyo Japan	Oakleaf-FX - PRIMEHPC FX10, SPARC64 IXfx 16C 1.848GHz, Tofu interconnect Fujitsu	76,800	1,043.0	1,135.4	1,176.8
78	Research Institute for Information Technology, Kyushu University Japan	QUARTETTO - HA8000-tc HT210/PRIMERGY CX400 Cluster, Xeon E5-2680 8C 2.700GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20/K20x, Xeon Phi 5110P Hitachi/Fujitsu	222,072	1,018.0	1,502.2	
84	Advanced Center for Computing and Communication, RIKEN Japan	HOKUSAI GreatWave - Fujitsu PRIMEHPC FX100, SPARC64 XIfx 32C 1.98GHz, Tofu interconnect 2 Fujitsu	34,560	989.6	1,092.1	
85	Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency Japan	Fujitsu PRIMEHPC FX100, SPARC64 XIfx 32C 1.98GHz, Tofu interconnect 2 Fujitsu	34,560	989.6	1,092.1	

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Annexe 3 : Liste des supercalculateurs en France dans le Top 100 (18 supercalculateurs classés, 5 dans le top 100)

RANK	SITE	SYSTEM	CORES	RMAX (TFLOP/S)	RPEAK (TFLOP/S)	POWER (KW)
33	Total Exploration Production France	Pangea - SGI ICE X, Xeon E5-2670 8C 2.600GHz, Infiniband FDR SGI	110,400	2,098.1	2,296.3	2,118
44	Grand Equipement National de Calcul Intensif - Centre Informatique National de l'Enseignement Suprieur (GENCI-CINES) France	Occigen - bullx DLC, Xeon E5-2690v3 12C 2.6GHz, Infiniband FDR Bull, Atos Group	50,544	1,628.8	2,102.6	934.8
53	CEA/TGCC-GENCI France	Curie thin nodes - Bullx B510, Xeon E5-2680 8C 2.700GHz, Infiniband QDR Bull, Atos Group	77,184	1,359.0	1,667.2	2,251
70	CNRS/IDRIS-GENCI France	Turing - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	98,304	1,073.3	1,258.3	493
74	Commissariat a l'Energie Atomique (CEA) France	Tera-100 - Bull bullx super-node S6010/S6030 Bull, Atos Group	138,368	1,050.0	1,254.5	4,590

Les supercalculateurs de l'équipementier français Bull-Atos dans le Top 100 (7 supercalculateurs, 21 dans le Top 500)

RANK	SITE	SYSTEM	CORES	RMAX (TFLOP/S)	RPEAK (TFLOP/S)	POWER (KW)
44	Grand Equipement National de Calcul Intensif - Centre Informatique National de l'Enseignement Suprieur (GENCI-CINES) France	Occigen - bullx DLC, Xeon E5-2690v3 12C 2.6GHz, Infiniband FDR Bull, Atos Group	50,544	1,628.8	2,102.6	934.8
53	CEA/TGCC-GENCI France	Curie thin nodes - Bullx B510, Xeon E5-2680 8C 2.700GHz, Infiniband QDR Bull, Atos Group	77,184	1,359.0	1,667.2	2,251
60	International Fusion Energy Research Centre (IFERC), EU(F4E) - Japan Broader Approach collaboration Japan	Helios - Bullx B510, Xeon E5-2680 8C 2.700GHz, Infiniband QDR Bull, Atos Group	70,560	1,237.0	1,524.1	2,200
64	DKRZ - Deutsches Klimarechenzentrum Germany	Mistral - bullx DLC 720, Xeon E5-2680v3 12C 2.5GHz, Infiniband FDR Bull, Atos Group	37,344	1,139.2	1,493.8	
69	SURFsara Netherlands	Cartesius 2 - Bullx DLC B710/B720 Blades, Xeon E5-2695 v2 2.4GHz E5-2690v3 2.6GHz, Infiniband FDR Bull, Atos Group	38,880	1,088.5	1,327.1	706
74	Commissariat a l'Energie Atomique (CEA) France	Tera-100 - Bull bullx super-node S6010/S6030 Bull, Atos Group	138,368	1,050.0	1,254.5	4,590
77	TU Dresden, ZIH Germany	Taurus - bullx DLC 720, Xeon E5-2680v3 12C 2.5GHz, Infiniband FDR Bull, Atos Group	34,656	1,029.9	1,386.2	620

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Annexe 4 : Calculateurs du Top 500 fabriqués par les principaux constructeurs japonais (en novembre 2015)

Fujitsu (12 supercalculateurs sur 500)

RANK	SITE	SYSTEM	CORES	RMAX (TFLOP/S)	RPEAK (TFLOP/S)	POWER (KW)
4	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Japan	K computer, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect Fujitsu	705,024	10,510.0	11,280.4	12,659.9
22	Information Technology Center, Nagoya University Japan	Fujitsu PRIMEHPC FX100, SPARC64 Xlfx 32C 2.2GHz, Tofu interconnect 2 Fujitsu	92,160	2,910.0	3,244.0	
31	National Institute for Fusion Science (NIFS) Japan	Plasma Simulator - Fujitsu PRIMEHPC FX100, SPARC64 Xlfx 32C 1.98GHz, Tofu interconnect 2 Fujitsu	82,944	2,376.0	2,621.0	
61	Japan Aerospace eXploration Agency Japan	SORA-MA - Fujitsu PRIMEHPC FX100, SPARC64 Xlfx 32C 1.98GHz, Tofu interconnect 2 Fujitsu	41,472	1,189.0	1,310.5	
75	Information Technology Center, The University of Tokyo Japan	Oakleaf-FX - PRIMEHPC FX10, SPARC64 IXfx 16C 1.848GHz, Tofu interconnect Fujitsu	76,800	1,043.0	1,135.4	1,176.8
84	Advanced Center for Computing and Communication, RIKEN Japan	HOKUSAI GreatWave - Fujitsu PRIMEHPC FX100, SPARC64 Xlfx 32C 1.98GHz, Tofu interconnect 2 Fujitsu	34,560	989.6	1,092.1	
85	Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency Japan	Fujitsu PRIMEHPC FX100, SPARC64 Xlfx 32C 1.98GHz, Tofu interconnect 2 Fujitsu	34,560	989.6	1,092.1	
86	National Computational Infrastructure, Australian National University Australia	Fujitsu PRIMERGY CX250 S1, Xeon E5-2670 8C 2.600GHz, Infiniband FDR Fujitsu	53,504	978.6	1,112.9	
289	Information Technology Center, Nagoya University Japan	Fujitsu PRIMERGY CX400, Xeon E5-2697v3 14C 2.6GHz, Infiniband FDR Fujitsu	11,060	340.9	460.1	
374	Instituto Tecnológico y de Energías Renovables S.A. Spain	TEIDE-HPC - Fujitsu PRIMERGY CX250 S1, Xeon E5-2670 8C 2.600GHz, Infiniband QDR Fujitsu	16,384	274.0	340.8	312
378	Institute for Molecular Science Japan	Fujitsu PRIMERGY CX250 & RX300, Xeon E5-2690/E5-2697v3 2.9GHz/2.6GHz, Infiniband FDR/QDR Fujitsu	12,992	271.1	437.4	
491	King Abdulaziz University Saudi Arabia	Aziz - Fujitsu PRIMERGY CX400, Intel Xeon E5-2695v2 12C 2.4GHz, Intel TrueScale QDR Fujitsu	11,904	211.3	228.6	

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Hitachi

RANK	SITE	SYSTEM	CORES	RMAX (TFLOP/S)	RPEAK (TFLOP/S)	POWER (KW)
420	Institute for Materials Research, Tohoku University (IMR) Japan	Hitachi SR16000 Model M1, POWER7 8C 3.836GHz, Custom Hitachi	10,240	243.9	306.4	556.3

Hitachi/Fujitsu

RANK	SITE	SYSTEM	CORES	RMAX (TFLOP/S)	RPEAK (TFLOP/S)	POWER (KW)
78	Research Institute for Information Technology, Kyushu University Japan	QUARTETTO - HA8000-tc HT210/PRIMERGY CX400 Cluster, Xeon E5-2680 8C 2.700GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20/K20x, Xeon Phi 5110P Hitachi/Fujitsu	222,072	1,018.0	1,502.2	

NEC

RANK	SITE	SYSTEM	CORES	RMAX (TFLOP/S)	RPEAK (TFLOP/S)	POWER (KW)
394	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan	TSUBAME-KFC/DL - LX 1U-4GPU/104Re-1G Cluster, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.1GHz, Infiniband FDR, NVIDIA Tesla K80 NEC	4,872	260.5	413.5	53.7
471	Universitaet Ulm Germany	Justus bwForCluster - NEC Green Gem Cluster, Xeon E5-2630v3 8C 2.4GHz, Infiniband QDR NEC	7,104	217.9	272.8	

NEC/HP

RANK	SITE	SYSTEM	CORES	RMAX (TFLOP/S)	RPEAK (TFLOP/S)	POWER (KW)
25	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan	TSUBAME 2.5 - Cluster Platform SL390s G7, Xeon X5670 6C 2.93GHz, Infiniband QDR, NVIDIA K20x NEC/HP	76,032	2,785.0	5,735.7	1,398.6

Exascaler Inc. /PEZY Computing

RANK	SITE	SYSTEM	CORES	RMAX (TFLOP/S)	RPEAK (TFLOP/S)	POWER (KW)
136	Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN) Japan	Shoubu - ExaScaler-1.4 80Brick, Xeon E5-2618Lv3 8C 2.3GHz, Infiniband FDR, PEZY-SC PEZY Computing / Exascaler Inc.	1,181,952	605.6	1,535.8	
498	High Energy Accelerator Research Organization /KEK Japan	Suiren - ExaScaler 32U256SC Cluster, Intel Xeon E5-2660v2 10C 2.2GHz, Infiniband FDR, PEZY-SC PEZY Computing / Exascaler Inc.	262,784	206.6	373.0	55



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Annexe 5 : Liste des membres du ICSP (Industrial Committee for Supercomputing Promotion)

Les sociétés membres du comité industriel pour la promotion du Calcul haute performance sont listées ci-après (avec leur type d'industrie).

Membres permanents :

- IHI (industrie lourde)
- Kajima (BTP)
- Kiyomizu (BTP)
- Nippon Steel & Sumitomo Metal (aciérie)
- Sumitomo Chemical (industrie chimique)
- Daikin (climatisation)
- Railway Technical Research Institute, Toyota (automobile)
- Hitachi (électronique)
- Mizuho Information & Research Institute (NTIC)
- Mitsubishi Electric (matériel électrique), Asahi Glass (verre)
- Kawasaki Heavy Industries (industrie lourde)
- Shin-Etsu Chemical (industrie chimique)
- JX Holdings (pétrole et cuivre)
- Sekisui Chemical (industrie chimique)
- Teijin (industrie chimique)
- Toshiba (électronique et informatique)
- NEC (informatique et télécommunication)
- Fujitsu (informatique et télécommunication)
- Mitsubishi Chemical (industrie chimique)
- Yaskawa Electric (électronique et robotique)

Membre associé :

- Japan Automobile Manufacturers Association

Membres spéciaux :

- Michiharu Nakamura (Président de la Japan Science and Technology Agency)
- Toshio Kobayashi (Professeur émérite de l'Université de Tokyo)
- Chisato Kato (Professeur au Centre de recherche sur les Sciences Industrielles de l'Université de Tokyo)
- Yasunari Zenpo (Professeur au Département des Sciences Informatiques de l'Université de Hosei).



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Annexe 6 : Projets européens HPC dans le cadre d'Horizon 2020

Actions de recherche et d'innovation (*Research and Innovation Actions*)

- [ALLScale](#) - An Exascale Programming, Multi-objective Optimisation and Resilience Management Environment Based on Nested Recursive Parallelism - [Project home page](#)
- [ANTAREX](#) - AutoTuning and Adaptivity appRoach for Energy efficient eXascale HPC systems - [Project home page](#)
- [ComPat](#) - Computing Patterns for High Performance Multiscale Computing - [Project home page](#)
- [ECOSCALE](#) - Energy-efficient Heterogeneous COmputing at exaSCALE - [Project home page](#)
- [ESCAPE](#) - Energy-efficient SCalable Algorithms for weather Prediction at Exascale - [Project home page](#)
- [ExaFLOW](#) - Enabling Exascale Fluid Dynamics Simulations - [Project home page](#)
- [ExaHyPe](#) - An Exascale Hyperbolic PDE Engine - [Project home page](#)
- [ExaNest](#) - European Exascale System Interconnect and Storage - [Project home page](#)
- [ExaNode](#) - European Exascale Processor Memory Node Design
- [ExCAPE](#) - Exascale Compound Activity Prediction Engine - [Project home page](#)
- [EXTRA](#) - Exploiting eXascale Technology with Reconfigurable Architectures - [Project home page](#)
- [greenFLASH](#) - Green Flash, energy efficient high performance computing for real-time science
- [INTERTWInE](#) - Programming Model INTERoperability ToWards Exascale - [Project home page](#)
- [MANGO](#) - Exploring Manycore Architectures for Next-GeneratiOn HPC systems - [Project home page](#)
- [MontBlanc-3](#) - European scalable and power efficient HPC platform based on low-power embedded technology - [Project home page](#)
- [NextGenIO](#) - Next Generation I/O for Exascale - [Project home page](#)
- [NLAfet](#) - Parallel Numerical Linear Algebra for Future Extreme-Scale Systems
- [READeX](#) - Runtime Exploitation of Application Dynamism for Energy-efficient eXascale computing - [Project home page](#)
- [SAGE](#) - Percipient StorAGe for Exascale Data Centric Computing - [Project home page](#)

Action de coordination et de support (*Coordination and Support Actions*)

- [EXDCI](#) - European eXtreme Data and Computing Initiative - [Project home page](#)
- [EuroLab-4-HPC](#) - Foundations of a European Research Center of Excellence in High Performance Computing Systems - [Project home page](#)

Annexe 7 : Caractéristiques des calculateurs du HPCI (en anglais)

Provider	Resource name	Type of resources	Amount of available resources
RIKEN Advanced Institute for Computational Science (RIKEN AICS)	K Computer	computer	computational nodes: 82,944 nodes (10.62petaflops) storage: 30Po
Information Initiative Center (IIC), Hokkaido University	Supercomputer HITACHI SR16000/M1	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: 128 nodes (126 TFLOPS) Total resource available per year: 416,667node hours Storage: 120 TB
	Cloud system HITACHI BS2000	computer (virtual)	<ul style="list-style-type: none"> # of cores: 600 cores (5.76 TFLOPS) Total resource available per year: 720 node months
	Data science cloud system HITACHI HA8000	computer (virtual & physical)	<ul style="list-style-type: none"> # of cores: 330 cores Total resource available per year: 324 node months Storage: 380 TB
Cyberscience Center, Tohoku University	Supercomputer SX-ACE	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: 1,280 nodes (~ 352 TFLOPS) per a half year (6 months) Total resource available per a half year: 5,520,000 node hours Storage: 20 TB per project
	Parallel computer LX 406Re-2	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: 68 nodes (~ 31 TFLOPS) per a half year (6 months) Total resource available per a half year: 293,000 node hours Storage: 20 TB per project
Center for Computational Sciences, University of Tsukuba	COMA(PACS-IX)	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: 90 nodes (~ 230 TFLOPS) Total resource available per year: 756,000 node hours Storage: 300 TB
Information Technology Center, The University of Tokyo	Supercomputer FX10	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: 750 nodes (177.38 TFLOPS) Total resource available per year: 750 x 24 x 360 node hours

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Provider	Resource name	Type of resources	Amount of available resources
			<ul style="list-style-type: none"> Disk: 250 TB
Global Scientific Information and Computing Center, Tokyo Institute of Technology	Cloudy Green Supercomputer TSUBAME2.5	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational node: Max. 420 nodes (CPU 64.3 TF + GPU 1.56 PF) 6 month period use 1.14 M node hours per year with the Thin nodes of TSUBAME2.5 Storage: 1 ~ 10 TB per project
Information Technology Center, Nagoya University	post FX10	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: Total resource available per year: ~ 518 nodes (~ 580 TFLOPS) 4 M node hours
	CX400	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: Total resource available per year: ~ 113 nodes (~ 149 TFLOPS) 1 M node hours
Academic Center for Computing and Media Studies (ACCMS), Kyoto University	Supercomputer Cray XE6 (System A)	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: Shared 32 nodes throughout the year (10.24 TFLOPS) 256,000 node hours (= 32 nodes x 8,000 hours) Dedicated 20 weeks 128 nodes (40.96 TFLOPS) 2,560 node weeks (= 128 nodes x 20 weeks) Storage : 64 TB
	Supercomputer Cray XC30 (System D)	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: Shared 32 nodes throughout the year (33 TFLOPS) 256,000 node hours (= 32 nodes x 8,000 hours) Dedicated 20 weeks 64 nodes (66 TFLOPS) 1,280 node weeks (= 64 nodes x 20 weeks) Storage : 64 TB
	Supercomputer Cray XC30 with MIC (System E)	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: 256 nodes throughout the year (299 TFLOPS) 2,048,000 node hours (= 256 nodes x 8,000 hours) Storage : 512 TB
Cybermedia Center, Osaka	PC Cluster for large	computer	Provisioned resource:

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Provider	Resource name	Type of resources	Amount of available resources
University (Updated on September 9)	scale visualization (possible to link with high resolution displays)		In either case of dedicated or shared use, 56 nodes at most are provided until 370,000 node-hour is consumed.
	Supercomputer SX-ACE	computer	Provisioned resource: 512 nodes are provided for dedicated use, 192 nodes provided for either dedicated or shared use. The provisioning are through a whole year. <ul style="list-style-type: none"> In the case of dedicated use, 704 nodes at most are available until 8,448 node-month is consumed. In the case of shared use, 192 nodes at most are available until 1,680,000 node-hour is consumed.
Research Institute for Information Technology, Kyushu University	Supercomputer Fujitsu PRIMEHPC FX10	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: 384 nodes (90.8 TFLOPS) per a quarter year (3 months) 1,152 node months (3 months) x 4
	High performance arithmetic server PRIMERGY CX400	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: 256 nodes (*) (88.4 TFLOPS) per a quarter year (3 months) 768 node months (3 months) x 4 * 64 nodes within 256 nodes will be installed additional GPGPUs
Center for Engineering and Technical Support (CETS), The Institute of Statistical Mathematics (ISM)	Supercomputer system for data assimilation	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational nodes: 128 nodes (49.152 TFLOPS) Total resource available per year: 1,105,920 node hours Storage: 100 TB



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Annexe 8 : ressources disponibles dans le HPCI

Environnement de développement logiciel pour le HPCI (HPCI Advanced Software Development Environment)

Provider	Resource name	Type of resources	Amount of available resources
Information Initiative Center, Hokkaido University	RENKEI-VPE	Virtual Computer	<ul style="list-style-type: none"> Physical node: 1 node Total resource available per year: 1 node year
Information Technology Center, The University of Tokyo	RENKEI-VPE	Virtual Computer	<ul style="list-style-type: none"> Physical node: 1 nodes Total resource available per year: 1 node year
Global Scientific Information and Computing Center, Tokyo Institute of Technology	RENKEI-VPE	Virtual Computer	<ul style="list-style-type: none"> Physical node: 2 nodes Total resource available per year: 2 node year
Research Institute for Information Technology, Kyushu University	RENKEI-VPE	Virtual Computer	<ul style="list-style-type: none"> Physical node: 4 nodes Total resource available per year: 4 node year

Infrastructure partagée de stockage

Provider	Resource name	Type of resources	Amount of available resources
Information Technology Center, The University of Tokyo (Eastern Hub) RIKEN Advanced Institute for Computational Science (RIKEN AICS) (Western Hub)	Shared Storage	storage	<ul style="list-style-type: none"> Storage : Total 22.0 Po Tape archiver : Total 80 Po (RIKEN: 60 Po, Univ. of Tokyo 20 Po)
Global Scientific Information and Computing Center, Tokyo Institute of Technology	Shared Storage	storage	<ul style="list-style-type: none"> 370TB Available throughout the year
Information Technology Center,	GPU Cluster System	computer	<ul style="list-style-type: none"> Computational node: 32 nodes (CPU 4.5 TFLOPS, GPU 16.48 TFLOPS,



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Provider	Resource name	Type of resources	Amount of available resources
The University of Tokyo (Updated on November 4)			1,536 GB Memory) • From April 1 2015 to December 31 2015: 200,000 node hours
	Data Analysis Cluster: Eastern Hub	computer	• Computational node: 61 nodes (9.75 TFLOPS, 5,856 GB Memory) • From April 1 2015 to December 31 2015: 400,000 node hours
RIKEN (AICS)	Data Analysis Cluster: Western Hub	computer	• Computational node: 88 nodes (12.37 TFLOPS, 8,448 GB Memory) • Total resource available per year: 88×24×360 node hours

Ressources de calcul fournies comme infrastructure complémentaire au HPCI, mais sujettes à des règles propres à chaque institution.

Provider	Resource name	Type of resources	Amount of available resources
Center for Earth Information Science and Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) (Updated on October 15)	EARTH SIMULATOR	computer	System Maximum Calculation Node : 5,120 nodes (1,310TFLOPS) Storage : 4.7Po • Exclusive use each node, max 512 nodes/job, 3,072 node · hour/job • The system is shared by users. • Initial assignment of storage is 1 TB. Extension requires an application.

Annexe 9 : Spécifications du K computer du RIKEN

Système complet :

- Nombre total de racks : 864 racks
- Nombre total de CPU : 80 128 (SPARC 64 VIIIfx 2GHz)
- Longueur totale du câble reliant les CPU : 1000km
- Vitesse de calcul : 10 pétaflops
- Mémoire : 1,27Po

Rack :

- Dimension : 796x750x2060mm
- Nombre de cartes système : 24
- Nombre cartes système entrée/sortie: 6
- Vitesse de calcul : 12 300 milliards d'opérations/s
- Mémoire : 1,5To

Carte système :

- Nombre de noeuds : 4
- Vitesse de calcul : 512 milliards d'opérations/s
- Mémoire : 64GB

Noeuds :

- Nombre de CPU : 1
- Nombre d'ICC : 1
- Nombre de carte mémoire : 8 (DDR3 SDRAM)
- Vitesse de calcul : 128 milliards opérations/s
- Mémoire 16GB

Refroidissement à l'eau

Système d'exploitation : Linux

Coût de la consommation électrique: 8 milliards de yens par an

Computation node specs	CPU	SPARC64™ VIIIfx 2GHz
	Performance	128 GF (16 GF x 8 cores)
	Memory	16GB
Number of racks		864
Number of nodes		82,944
Network		Tofu Interconnect (6D Mesh/Torus)
Peak performance		10.62 PF
Total memory capacity		1.26 PB
File system		Fujitsu Exabyte File System (FEFS)
Storage		30 PB

Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Annexe 10 : Comités thématiques du GENCI

Comité thématique	Libellé	Description par mots clés
CT1	Environnement	Modélisation de l'atmosphère, de l'océan et du climat. Modélisation des atmosphères planétaires. Analyse et assimilation des données. Physico-chimie atmosphérique. Bio-géochimie océanique. Fonctionnement et évolution des écosystèmes terrestres (hors projets de biologie).
CT2-a	Écoulements non réactifs	Dynamique des écoulements incompressibles et compressibles. Hydrodynamique. Aérodynamique stationnaire et instationnaire. Écoulements en rotation. Transferts thermiques et convection forcée. Convection naturelle.
CT2-b	Écoulements réactifs ou/et multiphasiques	Interfaces et écoulements polyphasiques. Changements de phase. Rhéologie complexe. Combustion turbulente. Simulation directe des écoulements réactifs. Structure de flammes. Cinétique de la combustion. Écoulements diphasiques réactifs. Plasmas froids. Arcs électriques. Milieux hors d'équilibre.
CT3	Biologie et santé	Interaction particule/tissu et calcul par méthodes de Monte-Carlo. Nanotechnologies en thérapeutique. Imagerie médicale (acquisition et traitement). Outils d'aide à la décision médicale. Bioinformatique. Génomique. Modélisation du corps humain. Biomécanique. Dynamique des écoulements physiologiques. Modélisation/simulation des systèmes physiologiques. Epidémiologie et dynamique des populations.
CT4	Astrophysique et géophysique	Cosmologie. Formation des galaxies, des étoiles et des systèmes planétaires. Dynamique des systèmes gravitationnels. Modélisation d'objets astrophysiques. Plasmas géophysiques et planétaires. Géophysique interne. Hydrologie des sols. Géo-matériaux.
CT5	Physique théorique et physique des plasmas	Electromagnétisme, physique sur réseau dont QCD. Chaos quantique, propriétés électroniques des solides, physique nucléaire, interactions ondes électromagnétiques avec la matière. Plasmas chauds, sciences de la fusion magnétique ou inertielle.
CT6	Informatique, algorithmique et mathématiques	Réseaux, middleware, algorithmes pour le parallélisme, algèbre linéaire, EDP, traitement du signal, stockage et analyses des données, visualisation.
CT7	Modélisation moléculaire appliquée à la biologie	Structure, dynamique moléculaire, interaction des macromolécules et édifices moléculaires. Chimie supramoléculaire, relations structure-fonction. Bio-polymères, interfaces, matériaux hétérogènes. Auto-assemblage, répllication. Génomique.
CT8	Chimie quantique et modélisation moléculaire	Propriétés électroniques des molécules. Structures. Réactivité. Calculs ab initio. Calculs semi-empiriques. Dynamique quantique (Car-Parinello). Calculs Monte Carlo quantique (Méthodes QMC). Etat liquide. Solvation. Diffusion moléculaire. Collisions (molécules-ions, électrons). Dynamique quantique. Evolution d'un paquet d'ondes.
CT9	Physique, chimie et propriétés des matériaux	Modèles de cohésion des matériaux adaptés à la simulation à l'échelle atomique (ab initio, liaisons fortes, potentiels empiriques). Simulation des systèmes classiques et quantiques par dynamique moléculaire et méthodes de Monte-Carlo. Thermodynamique numérique d'équilibre et de non équilibre. Simulation des cinétiques à l'échelle atomique. Echelle mésoscopique. Dynamique des populations des défauts, comportement mécanique des matériaux hétérogènes. Physique et chimie des matériaux granulaires. Simulation numérique pour le dépouillement d'études expérimentales de structure des matériaux. Propriétés électroniques des matériaux.
CT10	Nouvelles applications et applications transverses du calcul intensif	Dont : énergie, neutronique, radioprotection. Semblable aux actions blanches de l'ANR, le CT10 permet d'accueillir les nouvelles applications et les applications multidisciplinaires. Seules seront examinées par le CT10 les applications qui ne relèvent pas des comités CT1-CT9 en raison de la nouveauté ou du caractère transversal ou multidisciplinaire du domaine ou du sujet.



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

Annexe 11 : Bibliographie

<http://www.hpcwire.com/2014/12/03/japan-concludes-exascale-feasibility-study/>
<http://www.hpcwire.com/2015/06/18/japan-preps-for-hpc-big-data-convergence/>
<http://www.hpcwire.com/2015/07/30/white-house-launches-national-hpc-strategy/>
<http://www.hpci-office.jp/folders/english>
<http://insidehpc.com/2015/06/contrasting-how-japan-and-europe-promote-the-use-of-hpc/>
http://www.hpci-office.jp/pages/e_concept
http://www.hpci-office.jp/pages/e_h28_boshu
<http://insidehpc.com/2015/06/sgi-ships-2-65-petaflop-ice-xa-supercomputer-to-issp-in-japan/>
<http://insidehpc.com/2015/05/supercomputing-quantum-mechanics/>
<http://insidehpc.com/2015/08/nedo-in-japan-funds-solar-research-at-tacc/>
<http://www-hpc.cea.fr/index.htm>
<http://www.etp4hpc.eu/wp-content/uploads/2013/06/Joint-ETP-Vision-FV.pdf>
http://www.prace-ri.eu/IMG/pdf/pracedays14_burgueno.pdf
<http://www.hpcwire.com/off-the-wire/the-cea-agency-and-atos-team-to-deliver-exaflop-supercomputer-by-2020/>
<http://www.hpcwire.com/off-the-wire/etp4hpc-and-prace-join-forces-at-exdci-hpc-workshop-in-rome/>
<http://www.green500.org/lists/green201511&green500from=1&green500to=100>
<http://www.hpcwire.com/2015/08/04/japan-takes-top-three-spots-on-green500-list/>
<http://www.icri2014.eu/sites/default/files/presentations/Satoshi%20MATSUOKA.pdf>
<http://www.top500.org/statistics/sublist/>
<http://www.hpcwire.com/2015/08/04/japan-takes-top-three-spots-on-green500-list/>
<http://www.hpcwire.com/2015/07/30/white-house-launches-national-hpc-strategy/>
http://www.internet2.edu/presentations/tip2013/20130116-aida-hpci-japan.pdf?bcsi_scan_1fe59ba8c561fa18=1&bcsi_scan_96404f7f6439614d=1
http://www.aics.riken.jp/en/wp-content/uploads/system_handout.pdf
http://www.exascale.org/bdec/sites/www.exascale.org.bdec/files/talk2-Kawaguchi_0.pdf?bcsi_scan_1fe59ba8c561fa18=1&bcsi_scan_96404f7f6439614d=1&bcsi_scan_76859af71b923077=0&bcsi_scan_filename=talk2-Kawaguchi_0.pdf
<http://science.energy.gov/ascr/research/scidac/exascale-challenges/>
<http://www.vrworld.com/2015/03/26/satoshi-matsuoka-interview-on-state-of-japans-hpc-market/>
<http://www.hpcwire.com/off-the-wire/japans-renowned-hpc-expert-to-chair-isc-program-in-2016/>
<http://www.metz.supelec.fr/metz/personnel/vialle/course/Mineure-HPC/>
<http://www.aics.riken.jp/en/events/151113.html>
<http://www.hpcwire.com/2014/03/18/details-emerge-japans-future-exascale-system/>
<http://www.exascale.org/bdec/agenda/fukuoka-japan>
http://p.phys.nagoya-u.ac.jp/JIFT2015HPC/JIFT2015-msato.pdf?bcsi_scan_1fe59ba8c561fa18=1
<http://www.usine-digitale.fr/article/nec-tente-de-relancer-les-supercalculateurs-vectoriels.N220514>
<http://www.industrie-techno.com/nec-relance-le-calcul-vectoriel.12270>
<http://www.usine-digitale.fr/article/philippe-vannier-la-course-a-la-puissance-de-calcul-est-devant-nous.N251707>



Ambassade de France au Japon
Service pour la Science et la Technologie

http://aramis.obspm.fr/~semelin/cours_parallelisme.pdf
http://www.teratec.eu/actu/calcul/Nouvelle_France_Industrielle.html
<http://www.genci.fr/fr/content/calculateurs-et-centres-de-calcul>
http://www.teratec.eu/library/pdf/doc/Presentation_Synthetique_Plan_Supercalculateurs.pdf
<http://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-la-maison-de-la-simulation-prepare-les-evolutions-du-calcul-intensif-58663.html>
http://www.genci.fr/sites/default/files/Livret-information-Genci_2.pdf
http://www.cyberdyne.jp/english/company/PressReleases_detail.html?id=3427
http://www.vi-hps.org/upload/program/espt-sc14/vi-hps-ESPT14-Maruyama.pdf?bcsi_scan_76859af71b923077=1&bcsi_scan_1fe59ba8c561fa18=0&bcsi_scan_filename=vi-hps-ESPT14-Maruyama.pdf
<http://www.hpcwire.com/2014/03/18/details-emerge-japans-future-exascale-system/>
http://www.exascale.org/bdec/sites/www.exascale.org.bdec/files/talk2-Kawaguchi_0.pdf?bcsi_scan_1fe59ba8c561fa18=1&bcsi_scan_96404f7f6439614d=1&bcsi_scan_76859af71b923077=0&bcsi_scan_filename=talk2-Kawaguchi_0.pdf