

# SUPERCALCULATEURS

La garantie des armes nucléaires  
par la simulation

## ENTRETIEN

« LE DÉFI PERMANENT DES  
SUPERCALCULATEURS »

Jean Gonnord

## PERFORMANCES

DES CALCULS TERA 100!

par Pierre Leca et Sophie Houssiaux

## PHYSIQUE

SIMULER POUR DISSUADER

par Charles Lion



Dossier paru dans le N° 448  
de La Recherche - janvier 2011



1996 : LA FRANCE SIGNE L'ARRÊT DÉFINITIF DES ESSAIS NUCLÉAIRES. LE CEA DOIT ALORS RELEVER UN NOUVEAU CHALLENGE : GARANTIR, D'ICI À 2011, LA FIABILITÉ ET LA SÛRETÉ DES ARMES NUCLÉAIRES PAR LA SEULE SIMULATION. RETOUR, AVEC JEAN GONNORD, SUR CES QUINZE ANNÉES D'AVENTURE INDUSTRIELLE ET DE RECHERCHE.

## « LE DÉFI PERMANENT DES SUPERCALCULATEURS »

### ● Nous sommes en 2011. Avez-vous atteint vos objectifs ?

**Jean Gonnord.** Nous venons de livrer aux concepteurs d'armes le « Standard 2010 » : l'ensemble des codes de simulation d'armes nucléaires qui, associé à notre supercalculateur Tera 100, désormais opérationnel, permettra de garantir les futures têtes nucléaires des sous-marins, sans nouvel essai nucléaire. Une première scientifique ! Seuls les États-Unis ont affronté, comme la France, cette problématique très ambitieuse.



JEAN GONNORD

est chef du projet simulation numérique et informatique à la direction des applications militaires du CEA.

### ● Votre vision du calcul haute performance et de la simulation est aujourd'hui unanimement partagée par l'industrie et la recherche.

**J. G.** Heureusement ! L'Europe était très en retard. Entre 1996 et 2006, sa part dans le Top 500 (*lire « Tera 100 en 6<sup>e</sup> position »*) était passée de 28 % à moins de 17 % pour revenir aujourd'hui à 25 %. Il nous a fallu dix ans pour convaincre que la simulation haute performance (HPC, pour High Performance Computing) était stratégique, tant pour le monde industriel

– afin de réduire les cycles de développement et les coûts – que pour celui de la recherche (énergie, climat, santé, etc.). C'est désormais une évidence dans le monde. Mais disposer d'une capacité de calcul ne suffit pas. Dès lors que l'on considère cette capacité comme stratégique, il faut en contrôler la technologie ! Or, jusqu'en 2005, l'Europe était absente du marché du HPC : moins de 0,2 % des machines y étaient conçues. Notre vision pour cette industrie est globale : elle va de la maîtrise des technologies



CEA/CADAM

● Plus de 200 personnes du CEA et de Bull ont travaillé ensemble pour concevoir et réaliser Tera 100. C'est la troisième machine installée au CEA de Bruyères-le-Châtel (Essonne), dédiée à la simulation (ci-dessous des écoulements tourbillonnaires).

matérielles et logicielles, de leur intégration dans des supercalculateurs à l'application finale. Sur ce point, nous avons encore, souvent, l'impression de prêcher dans le désert.

● **Comment avez-vous mis en œuvre cette politique ?**

**J. G.** En ingénieurs, avec une stratégie à long terme et des étapes intermédiaires pour profiter du retour d'expérience. Avec comme principe de développer des machines généralistes, fiables, qui supportent la concurrence, pas des bêtes de calcul pour faire la course à la première place, ni des machines d'arsenal pour notre seul besoin. Le très haut niveau d'expertise de l'équipe et la capacité du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) à organiser de grands projets ont fait le reste. Tenir nos engagements en 2010

étagère». Et, quinze ans plus tard, ils s'avèrent aussi être les plus performants. Seul le marché mondial permet de financer la recherche et développement (R&D) nécessaire à un nouveau processeur. Côté logiciels, nous avons choisi de mutualiser développement et validation en imposant des logiciels libres. Enfin, pour Tera 100, nous avons mis en place une politique très innovante : le codesign qui associe constructeur et utilisateur expert en architecture. Grâce au codesign, l'utilité réelle de ces Formules 1 de l'informatique est garantie.

● **Comment cela s'est-il organisé avec le constructeur ?**

**J. G.** Sur la base d'un contrat, résultat d'un appel d'offres lancé en 2008, où nous proposons une R&D partagée – donc un partage de la propriété intellectuelle –, la réalisation d'un démonstrateur et une option

● **Quel bilan tirez-vous de ces quinze années ?**

**J. G.** Tera 100 est la première machine, conçue et réalisée en Europe, à dépasser le petaflops. L'ensemble du programme défini en 1996 a été réalisé dans les délais et les budgets annoncés. Par rapport à ses concurrentes, c'est celle qui a le meilleur rendement\* (83,7%) preuve de sa fiabilité et de sa qualité. C'est aussi, et surtout, une machine généraliste et non un outil de recherche comme les Blue Gene ou le Roadrunner d'IBM à Los Alamos, au Nouveau-Mexique, que nous avons finalement battus. C'est enfin un vrai succès commercial pour l'industriel français Bull. L'architecture de Tera 100 a reçu le prix de la « meilleure architecture de l'année 2009 » par le magazine de référence américain *HPCwire*<sup>(1)</sup>. Bull a vendu ses ordinateurs en Europe mais aussi au Brésil. Notre équivalent anglais, l'Atomic Weapons Establishment, lui a acheté deux

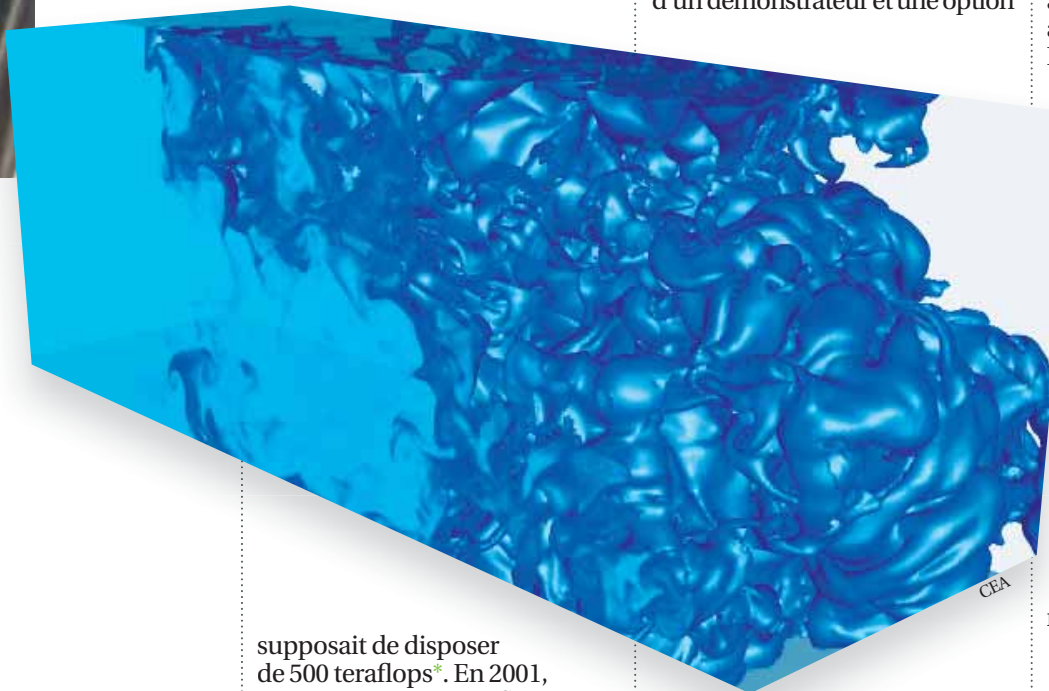
machines de 150 teraflops en juin dernier et la ministre de la Recherche vient d'annoncer l'achat d'une machine de 1,6 petaflops, baptisée Curie, qui sera installée fin 2011 au Très Grand Centre de calcul du CEA (TGCC) à Bruyères-le-Châtel. Ce sera la première machine petaflopique mise à la disposition de la recherche européenne par le projet Partnership for Advanced Computing in Europe. Cela prouve que lorsqu'on a un objectif, avec la volonté de le réaliser et une organisation sans faille, rien n'est impossible.

● **Comment voyez-vous l'avenir ?**

**J. G.** Il s'agit de pérenniser notre capacité à concevoir et réaliser de grands ordinateurs, stratégiques pour notre futur, en obtenant, en France, le soutien du programme « Investissements d'avenir » (ou Grand Emprunt) et, en Europe, un réel programme de développement des technologies HPC. En ce qui nous concerne, la R&D est lancée avec Bull pour une prochaine machine en 2015 (Tera 1000), et nous serons au rendez-vous de l'exaflops\* en 2020.

PROPOS RECUEILLIS PAR ISABELLE BELLIN

<sup>(1)</sup> *HPCwire*, novembre 2009.



CEA

supposait de disposer de 500 teraflops\*. En 2001, nous avons visé 5 teraflops et conçu le supercalculateur Tera 1 et, en 2005, 50 teraflops avec Tera 10. Le succès de Tera 10 nous a poussés à doubler la puissance prévue pour Tera 100, qui dispose finalement de plus de 1 000 teraflops (soit 1 petaflops). Face à de telles puissances, une architecture massivement parallèle s'est imposée. Ce qui impliquait pour Tera 100 plus de 100 000 processeurs de haute technologie. Pour des raisons économiques, nous avons utilisé des composants fabriqués en très grande quantité, dits « composants pris sur

d'achat. Bull, constructeur français, qui avait déjà réalisé Tera 10, l'a emporté. Plus de 200 personnes du CEA et de Bull ont travaillé ensemble sur Tera 100, tant sur l'architecture matérielle que sur les logiciels systèmes. Cela a été un immense succès humain et organisationnel, matérialisé par la création d'un laboratoire commun, Extreme Computing, implanté sur trois sites : Les Clayes-sous-Bois (Yvelines), Échirolles (Isère) et Bruyères-le-Châtel (Essonne), où est située Ter@tec, première technopole européenne du HPC.



Un teraflops permet de faire mille milliards d'opérations par seconde (10<sup>12</sup>) et un exaflops un milliard de milliards par seconde (10<sup>18</sup>). Le flops est l'unité qui mesure la puissance des ordinateurs en nombre d'opérations par seconde.

Le rendement est le rapport entre la puissance mesurée et la puissance théorique.

INSTALLÉ EN JUILLET 2010, LE SUPERCALCULATEUR TERA 100 EST PARMI LES PLUS PERFORMANTS : LE 6<sup>E</sup> MONDIAL ET LE 1<sup>ER</sup> EUROPÉEN. C'EST CE QUE VIENT DE RÉVÉLER LE DERNIER CLASSEMENT DES 500 PLUS PUISSANTS ORDINATEURS MONDIAUX.

# DES CALCULS TERA 100!



**PIERRE LECA**

est chef du département sciences de la simulation et de l'information à la direction des applications militaires du CEA.



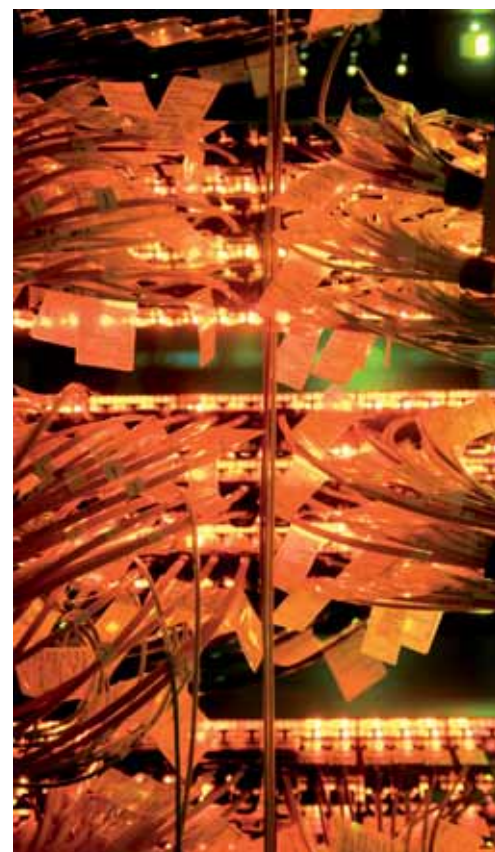
**SOPHIE HOUSSIAUX**

est chef du projet Tera 100 chez Bull.

À peine le supercalculateur Tera 100 installé que déjà l'équipe Bull-CEA envisage son successeur... 1 000 fois plus puissant.

d'architecture des calculateurs qu'en termes d'évolution des technologies matérielles et logicielles, nous avons pu définir les caractéristiques de ce colosse de calcul. Tera 100 a été conçu pour être efficace quels que soient les méthodes numériques et algorithmes utilisés. Bâti avec des logiciels libres et des processeurs de grande diffusion, il a donné naissance à une gamme commerciale compétitive de supercalculateurs. En effet, il ne s'agissait pas de réaliser un objet unique, mais d'intégrer ce projet dans une démarche industrielle. C'est l'architecture très répandue des microprocesseurs X86 qui a été retenue. Le supercalculateur s'intègre ainsi parfaitement à l'environnement de stations de travail fonctionnant sous le système d'exploitation Linux.

Les choix ont tenu compte de l'évolution technologique des microprocesseurs : leur fréquence (soit leur vitesse de



Le réseau d'interconnexion de la machine : un câblage complexe qui permet la communication entre les 4 370 nœuds de calcul.

**A**boutissement de deux années de recherche et développement (R&D) entre des ingénieurs de la direction des applications militaires du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et du constructeur informatique français Bull, le supercalculateur Tera 100 est le premier ordinateur conçu et fabriqué en Europe à avoir passé la barre symbolique du petaflops\*. Ce résultat le place 6<sup>e</sup> au palmarès 2011 des 500 ordinateurs les plus puissants du monde, avec une performance mesurée de 1,05 petaflops alors que le numéro un actuel affiche 2,57 petaflops

(lire « Tera 100 en 6<sup>e</sup> position »). Avec un rendement\* de 83,7% sur le test de référence utilisé pour ce classement, c'est certainement le supercalculateur le plus généraliste parmi les 10 premiers mondiaux.

Fruit de quinze années de travaux en simulation numérique et architecture des grands systèmes de calcul et de gestion des données, Tera 100 a aussi bénéficié de l'expérience acquise depuis le début des années 2000 avec l'installation et l'exploitation réussies de ses prédécesseurs : Tera 1 en 2001, puis Tera 10 en 2005. Grâce à ce savoir-faire et à ces connaissances, tant en termes d'analyse des besoins,

travail) n'augmente guère plus, ce sont leurs cœurs, les unités de calcul élémentaires, qui sont multipliés dans chaque micro-processeur. Les microprocesseurs retenus pour bâtir Tera 100 – Intel Xeon X7560, plus connu sous le nom de Nehalem-EX – comportent 8 cœurs. Quatre de ces microprocesseurs sont assemblés pour former un multiprocesseur (le serveur Bullx 3060), véritable brique de base du supercalculateur, appelé nœud de calcul dans le jargon des informaticiens. Ainsi, au sein de chaque nœud, 32 cœurs partagent une mémoire de 64 gigaoctets (milliards d'octets). Pour atteindre sa puissance de calcul, Tera 100 interconnecte 4370 nœuds, soit 17 480 micro-processeurs et près de 140 000 cœurs.

### Emboîtement de poupées russes

Le réseau d'interconnexion a été conçu selon une architecture originale : une topologie en archipels reliant des grappes de nœuds et permettant un accès rapide aux médias de stockage de données. Le débit maximal agrégé de ce réseau peut atteindre 13 teraoctets (milliards de milliards d'octets) par seconde. Globalement, l'architecture de Tera 100 ressemble à un emboîtement de poupées russes : au départ un micro-processeur, puis un nœud de calcul (4 microprocesseurs), puis une armoire (24 nœuds), puis un archipel (une vingtaine d'armoires) et, enfin, le supercalculateur (10 archipels). En outre, le réseau d'interconnexion est à deux niveaux (intra-archipel et interarchipel). Il assure la communication des données entre tout couple de nœuds au sein de l'ordinateur.

Maîtriser la consommation d'énergie, problème majeur de ces installations d'envergure, a été l'une des préoccupations essentielles de l'équipe Bull-CEA. Parmi les principales innovations, un dispositif de refroidissement par eau, installé dans la porte des armoires, a permis de rendre l'installation compacte : le calculateur n'occupe que 650 mètres carrés au sol. Ce refroidissement, au plus proche du dégagement de chaleur, améliore l'efficacité énergétique du centre de calcul.

Par ailleurs, la consommation est modulée en fonction de la charge de calcul, ce qui permet de baisser la fréquence des cœurs s'ils ne sont pas utilisés à pleine puissance. En régime normal, cela devrait limiter la puissance électrique nécessaire à 3 mégawatts. Avec une puissance de calcul 20 fois supérieure à son aîné, Tera 10, Tera 100 améliore le rendement énergétique d'un facteur 7.

Pour bénéficier des logiciels les plus avancés, les développements ont été menés avec la communauté internationale. Certains avec les spécialistes du Department of Energy aux États-Unis, d'autres avec des industriels et des chercheurs académiques, notamment sur le système de gestion de fichiers libre Lustre. Ce système dit « distribué » permet de partager les données réparties sur des centaines de nœuds de calcul.

L'environnement logiciel



Un petaflops permet de faire un million de milliards d'opérations par seconde ( $10^{15}$ ) et un exaflops un milliard de milliards par seconde ( $10^{18}$ ). Le flops est l'unité qui mesure la puissance des ordinateurs en nombre d'opérations par seconde.

Le rendement est le rapport entre la puissance mesurée et la puissance théorique.

prend en compte la spécificité des nœuds de calcul et la topologie particulière du réseau d'interconnexion. Évidemment, c'est le cas pour la bibliothèque de communications, mais aussi pour le logiciel de gestion de ressources qui s'efforce notamment de placer les calculs selon leur profil. Enfin, un logiciel d'administration et de supervision contrôle l'état des différents éléments (mémoires, processeurs, réseau...) pour prévenir la conséquence de pannes sur les calculs en cours. Ce maintien en condition opérationnelle est critique durant toute la vie de l'ordinateur.

L'étape du petaflops franchie, l'équipe Bull-CEA se consacre désormais au nouveau Graal du supercalcul : l'exaflops\*, soit une puissance de calcul 1 000 fois supérieure à celle de Tera 100.

PIERRE LECA ET SOPHIE HOUSSIAUX

## TERA 100 EN 6<sup>E</sup> POSITION

Comme chaque année, en juin et en novembre, un palmarès des 500 supercalculateurs les plus puissants du monde est établi sur la base de l'exécution d'un calcul étalon, baptisé Linpack. Dans le dernier classement (novembre 2010), 7 ordinateurs dépassent désormais la barre du petaflops\*, franchie pour la première fois en juin 2008 par Roadrunner aujourd'hui 7<sup>e</sup> au classement. Tera 100 est le supercalculateur le plus puissant en Europe, comme son prédécesseur Tera 10, en juin 2006. En 6<sup>e</sup> position au palmarès mondial, il est le meilleur en termes de rendement\*, autrement dit de fiabilité par rapport à la puissance théorique annoncée, avec 83,7%. La Chine continue sa progression fulgurante affichant deux machines dans le dernier Top 10, avec cependant de faibles rendements. Les États-Unis restent les leaders incontestés avec 55% des supercalculateurs installés, suivis par l'Europe (25%) et l'Asie (17% dont 8% en Chine). Quatre lauréats américains du Top 10 sont soutenus par le Department of Energy (DOE).

## LE TOP 10 DES SUPERCALCULATEURS

RANG	SITE - PAYS	NOM	CONSTRUCTEUR	PUISSANCE MESURÉE (en petaflops)	RENDEMENT* (en %)
1	National Supercomputing Center, Tianjin - Chine	Tianhe-1A	NUDT MPP	2,57	54,6
2	DOE/Oak Ridge National Laboratory, Tennessee - États-Unis	Jaguar	Cray XT	1,75	75,5
3	National Supercomputing Center, Shenzhen - Chine	Nebulae	Dawning	1,27	42,6
4	Tokyo Institute of Technology - Japon	Tsubame-2.0	HP 3000SL	1,19	52,1
5	DOE/National Energy Research Scientific Computing Center, Californie - États-Unis	Hopper	Cray XE	1,05	81,8
6	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) - France	Tera 100	Bull Bullx	1,05	83,7
7	DOE/Los Alamos National Laboratory, Nouveau-Mexique - États-Unis	Roadrunner	IBM	1,04	75,7
8	National Institute for Computational Sciences/ University of Tennessee - États-Unis	Kraken XT5	Cray XT	0,83	80,8
9	Forschungszentrum Juelich (FZJ) - Allemagne	Jugene	IBM Blue Gene	0,82	82,3
10	DOE/Los Alamos National Laboratory, Nouveau-Mexique - États-Unis	Cielo	Cray XE	0,81	79,4

COMMENT CONCEVOIR UNE ARME NUCLÉAIRE SANS NOUVEL ESSAI ? LA SOLUTION SE TROUVE DANS LA MODÉLISATION ET LA SIMULATION. ET, DANS CE DOMAINE, LES SUPERCALCULATEURS ONT DÉJÀ FAIT LEURS PREUVES.

# SIMULER POUR DISSUADER

**P**our parvenir à simuler le fonctionnement complet d'une arme nucléaire sans avoir recours à de nouveaux essais nucléaires, il faut concevoir un modèle mathématique, résoudre ce système d'équations sur des supercalculateurs et, enfin, valider les résultats obtenus grâce à des expériences menées en laboratoire et aux mesures récoltées lors des essais nucléaires antérieurs.

La première étape, celle de la modélisation, impose avant tout de bien connaître les différents phénomènes physiques impliqués et la façon dont ils s'enchaînent (*lire «Le B.A. BA de la bombe H»*). Les équations mathématiques susceptibles de les reproduire par le calcul sont connues : ce sont les équations de Navier-Stokes pour la mécanique des fluides, celles de Boltzmann pour le transport des neutrons et les équations de diffusion et de transport pour l'évolution de la matière et des photons. En couplant ces différents modèles physiques, on obtient un système d'équations mathématiques reproduisant fidèlement le fonctionnement d'une arme nucléaire.

## Des milliards d'inconnues

Il faut alors passer à l'étape suivante, celle de la simulation pour résoudre ce système d'équations dans des conditions aussi proches que possible de la réalité du fonctionnement d'une arme nucléaire. Pour cela, il faut décrire une grande variété de particules (des neutrons aux photons en passant par les ions et les électrons) à trois échelles de temps, qui sont toutes inférieures au milliardième de seconde, et dans des états extrêmes de pression. Jusqu'à mille milliards de fois la pression atmosphérique ! Un calcul incroyablement plus complexe

que beaucoup d'autres modélisations, telle la météorologie, du fait de la brièveté des phénomènes en jeu et du couplage intime des différents mécanismes physiques.

Impossible de résoudre ce système de façon exacte. Il faut recourir à des méthodes d'analyse numérique pour le transformer en un système d'équations « approchées » soluble par un supercalculateur. Les calculs sont réalisés sur de petites zones, appelées des mailles. Plus les mailles sont nombreuses, plus on s'approche de la solution exacte du problème réel. Concrètement, des dizaines voire des centaines de millions de mailles sont utilisées. Cela représente des milliards d'inconnues.

## Validation des résultats

Pour s'assurer que l'ordinateur fournit une représentation aussi réaliste que possible, la validation des résultats se fait en deux phases. On valide d'abord des parties de modèle : un seul phénomène physique, tel le comportement mécanique d'un matériau, ou quelques phénomènes couplés. Pour cela, on compare les résultats des simulations à des expérimentations menées sur deux outils : la machine radiographique Airix et le laser mégajoule (LMJ).

Installée à Moronvilliers en Champagne-Ardenne depuis 2000, Airix permet de radiographier une maquette d'arme nucléaire ne comportant pas de matière fissile (plutonium ou uranium) pour valider la phase initiale, pyrotechnique. On y simule la compression des matières au moyen de matériaux non radioactifs au comportement mécanique et thermique comparable. Les images radiographiques de cette phase de compression sont confrontées aux simulations numériques.



CHARLES LION

est directeur du programme simulation à la direction des applications militaires du CEA.

Quant au LMJ, en construction, à Barp, près de Bordeaux, il devrait permettre fin 2014 de reproduire et d'étudier la phase de fusion nucléaire. Ce sera le pendant de la soufflerie pour un concepteur d'avion. Le LMJ concentrera l'énergie de 240 puissants faisceaux laser sur une bille remplie de deutérium et de tritium, deux isotopes\* de l'hydrogène, provoquant leur fusion pendant quelques milliardièmes de seconde. Un prototype, la ligne d'intégration laser (LIL), comprenant 4 faisceaux a été mis en service en mars 2002 et a permis de valider les choix technologiques du LMJ. Celui-ci, comme c'est déjà le cas pour la LIL, sera ouvert à la communauté scientifique internationale (astrophysique, médecine, énergie, etc.).

Arrive enfin la dernière étape : celle de la validation globale. Elle consiste à comparer les résultats obtenus grâce à nos logiciels avec l'ensemble des mesures recueillies lors des essais nucléaires passés, notamment ceux effectués lors de la dernière campagne en 1996. Cette étape permet de



Les isotopes sont des atomes qui ne se différencient que par leur nombre de neutrons.

## LE B.A. BA DE LA BOMBE H

Première étape du fonctionnement d'une arme thermonucléaire : la détonation d'une charge explosive (pyrotechnie). En quelques milliardièmes de seconde, quelques milliers de degrés sont atteints ce qui permet d'amorcer la fission en comprimant la matière fissile (plutonium ou uranium) transformée en plasma (gaz ionisé). Cette mini-explosion nucléaire dure environ 100 milliardièmes de seconde et permet d'atteindre les dix millions de degrés requis pour amorcer la troisième étape, la fusion de deutérium et tritium, deux isotopes\* de l'hydrogène. La température atteinte est alors de l'ordre du milliard de degrés pendant quelques milliardièmes de seconde.



Photos : CEA

produire un standard de calcul, autrement dit de véritables prescriptions d'emploi des simulations numériques, le domaine de confiance de la simulation à un temps « t ».

En 2001, grâce au supercalculateur Tera 1 d'une puissance de calcul de 5 teraflops\*, nous avons produit notre premier standard de calcul, premier pas pour garantir les armes nucléaires par la seule simulation. En 2005, Tera 10 (50 teraflops) nous a permis de définir un standard de calcul validé sur un ensemble d'expériences bien plus larges, avec les premières simulations tridimensionnelles. Nous avons alors pu garantir le fonctionnement d'une tête nucléaire aéroportée par la seule simulation sans nouvel essai nucléaire : une première

mondiale à notre connaissance. Les missiles portés par le Mirage et le Rafale ont commencé à en être équipés dès 2009.

#### Standard de calcul adaptable

Avec une puissance de 1 000 teraflops, Tera 100 permet un nouveau saut significatif dans les capacités de modélisation. Installé en juillet 2010, le supercalculateur est aujourd'hui pleinement opérationnel. Des simulations tridimensionnelles sont désormais accessibles en grand nombre, ce qui permettra de garantir les prochaines têtes nucléaires des sous-marins qui devraient entrer en service en 2015. La simulation permettra d'adapter le standard de calcul à leur environnement thermique et mécanique spécifique. L'autre volet

Le laser mégajoule, en construction près de Bordeaux, est un des outils majeurs pour la simulation des armes nucléaires. La fusion y sera reproduite en vraie grandeur dans cette chambre d'expérience de 10 mètres de diamètre.



Un teraflops permet de faire mille milliards d'opérations par seconde ( $10^{12}$ ). Le flops est l'unité qui mesure la puissance des ordinateurs en nombre d'opérations par seconde.

fondamental de ces recherches est de former et d'homologuer les futurs concepteurs d'armes nucléaires. Ils doivent maîtriser parfaitement la simulation numérique et en connaître les limites. La conjugaison des moyens uniques tels que les supercalculateurs Tera de classe mondiale et le LMJ permet aussi d'attirer des jeunes ingénieurs, physiciens et mathématiciens brillants et de conserver les compétences nécessaires à nos missions de dissuasion.

CHARLES LION

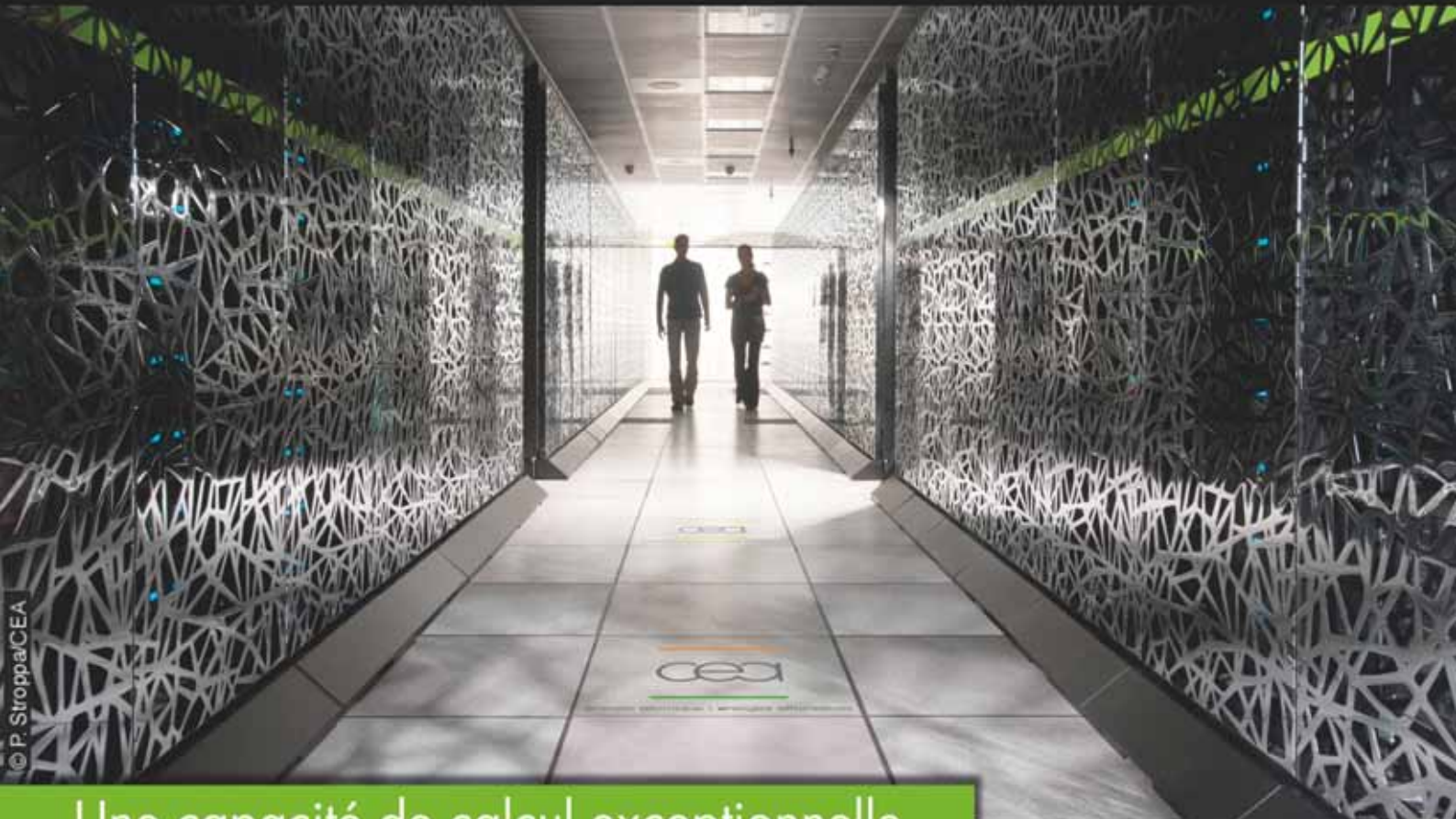
CE CAHIER A ÉTÉ RÉALISÉ EN COLLABORATION ET AVEC LE SOUTIEN DU CEA.



Rédaction en chef : Isabelle Bellin  
Conception graphique et réalisation : A noir,  
Secrétariat de rédaction : Catherine Théau  
Couverture : © P. Stroppa/CEA

# TERA 100

Le 1<sup>er</sup> supercalculateur en Europe à avoir franchi la barre du pétaflops



## Une capacité de calcul exceptionnelle

Tera 100 a atteint la performance de 1,05 million de milliards d'opérations par seconde (1,05 pétaflops). **Equipé de processeurs Intel® Xeon® 7500, il est N°1 en Europe.** Pour comparaison, Tera 100 peut réaliser plus d'opérations en une seconde que ce que la population mondiale ferait en 48 heures, à raison d'une opération par seconde par personne. C'est aussi une capacité de transfert d'information équivalente à 1 million de personnes regardant en même temps des films HD ; et enfin une capacité de stockage équivalente à plus de 25 milliards de livres. Son efficacité de 83,7% est la plus grande des supercalculateurs de sa catégorie.

Le projet Tera 100 confirme la capacité de Bull et du CEA dans le développement de très grands supercalculateurs. C'est l'aboutissement d'une coopération exemplaire entre un grand industriel et un grand centre de recherche. C'est un atout pour la France et pour l'Europe pour le développement des centrales numériques du futur et des systèmes exaflopiques de la prochaine génération de supercalculateurs, qui sont au cœur de l'innovation, de la compétitivité des entreprises et de la souveraineté des Etats.



Architect of an Open World™