

THE INTERNATIONAL MEETING  
CONFERENCES | WORKSHOPS | EXHIBITION

# Forum Teratec 2021

*Unlock the future!*

22-23-24 JUNE | DIGITAL EVENT

Compte-rendu | Sessions plénières

SIMULATION |  
HPC | HPDA  
AI | QUANTUM

PLATINUM  
SPONSORS

Atos

ddn

GRAPHCORE

Hewlett Packard  
Enterprise

intel.

VAST

GOLD  
SPONSORS

ATEMPO

cea

doitnow  
HPC Services

exaion  
EDF GROUP

Lenovo

UCiR

SILVER  
SPONSORS

arm

aws

GENCI

NVIDIA

ORACLE

rescale

XILINX

PARTENAIRE EUROPA VILLAGE *Inria*

# Les défis du HPC/HPDA, de l'IA et du quantique

## Coopération européenne & nouveaux usages

Alors que le monde entre dans l'air du quantique et que les politiques dessinent le futur visage d'une Europe numérique, le calcul haute performance (HPC) figure le rebond nécessaire et attendu de l'après COVID. Le 16e Forum Teratec, qui s'est tenu du 22 au 24 juin 2021, a mis en exergue les grands défis qui attendent toute la filière du HPC et aussi la communauté européenne : production autonome des supercalculateurs, démocratisation des usages du calcul haute performance, mise en commun des savoirs et compétences au niveau européen.

Avec les interventions de :

**Agnès Pannier-Runacher**, **Ministre déléguée chargée de l'Industrie**

---

**Alessandro Profumo**, Président-directeur général, **Leonardo**

---

**Gilles Le Saux**, Senior Vice President Foresight & Research, **Essilor International**

---

**Satoshi Matsuoka**, Director, **Riken/R-CCS**

---

**Yves Ubelmann**, Co-founder and CEO, **Iconem**

---

**Jensen Huang**, Chairman & CEO, **NVIDIA**

---

**Ghislain Lescuyer**, Directeur Général, **Saft**

---

**Anders Dam Jensen**, Executive director, **EuroHPC**

---

**Bruno Sportisse**, Président, **Inria**

---

**Wolfgang Marquardt**, Chairman of the Board of Directors, **Forschungszentrum Jüliche**

---

**Elie Girard**, CEO, **Atos**

---

**Catherine Jestin**, CIO, **Airbus**

---

**Théau Peronnin**, Co-founder and CEO, **Alice & Bob**

---

**Eric Labaye**, Président, **École polytechnique et Institut Polytechnique de Paris**

---

**Neil Abroug**, Directeur, **Programme national quantique**

---

**Daniel Verwaerde**, Président, **Teratec**

---





**Agnès Pannier Runacher**

Ministre déléguée, chargée de l'industrie

## Positionnons le centre de gravité du quantique en Europe

**Intervention très politique de la ministre, qui a rappelé les efforts de l'Etat pour développer les technologies numériques prometteuses d'un monde meilleur. Elle a particulièrement insisté sur les technologies quantiques où l'écosystème français est en pointe et sur la nécessité de faire de l'Europe le centre de gravité de ces technologies dans le monde.**

C'est **Agnès Pannier Runacher**, ministre déléguée chargée de l'industrie, qui a ouvert la première plénière du Forum Teratec 2021. Elle a insisté sur la nécessaire mise en place d'une double transition

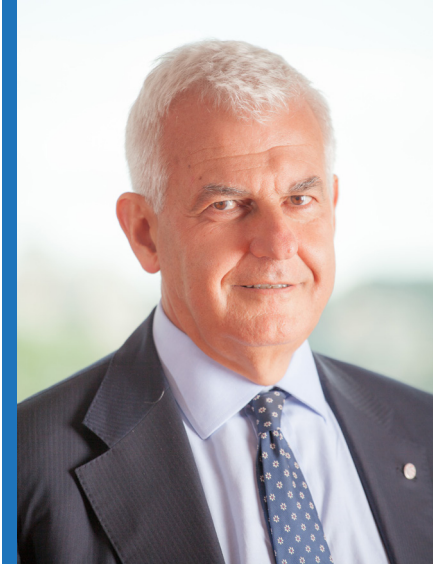
numérique et écologique, où l'arrivée de la 5G, du Cloud, du HPC, de l'IA et du quantique, vont transformer nos façons de produire et façonner notre futur, en utilisant les milliards de données que nous ne savons encore que très partiellement traiter aujourd'hui.

Pour elle, la France doit être dans le premier cercle des pays qui maîtrisent ses technologies dont dépend notre capacité à nous soigner, mieux combattre le changement climatique, mieux se déplacer ou encore mieux se protéger. Elle a ainsi rappelé les efforts de l'Etat dans ce sens : 35 B€ pour l'industrie dans le cadre du Plan de Relance ; 20 B€ pour le 4e Plan d'Investissements d'Avenir ; 840 M€ pour la cyber-sécurité ; 1,8 B€ pour le Programme National Quantique...

Elle estime que le quantique sera un big bang technologique raccourcissant les temps de calcul d'un facteur un milliard d'ici 5 à 10 ans, ce qui aura des impacts sociétaux importants dans de multiples domaines : santé ; environnement ; énergie...

Elle s'est félicitée de l'excellence de notre recherche, tant publique (**CNRS, Inria, CEA, Onera...**) que privée (**Atos, Thales, Orange, Air Liquide, Orano, ST Microelectronics...**) qui forme un écosystème propre à l'explosion de start-up telles **Pasqal** ou **Alice & Bob**. Elle a aussi insisté sur la nécessité de créer un vivier de spécialistes.

Une implication dans le quantique qu'elle veut aussi européenne, avec l'appui du Commissaire européen **Thierry Breton**, pour positionner le centre de gravité mondial des technologies quantiques en Europe. Une première étape sera franchie avec l'installation du premier prototype d'ordinateur hybride intégrant un accélérateur quantique d'au moins 100 qubit d'ici 2023 sur le site du TGCC du CEA à Bruyères-le-Châtel.



**Alessandro Profumo**  
PDG, Leonardo

## Il faut créer une synergie européenne autour du HPC

Le PDG du groupe industriel italien Leonardo, anciennement Finmeccanica, a montré dans son intervention l'importance du leadership en calcul haute performance pour booster l'innovation et garantir l'indépendance européenne.

Le groupe a créé les **Leonardo Labs** pour affronter les défis exponentiels du numérique. Ils travaillent entre autres sur l'IA, les systèmes autonomes intelligents, le Big Data, le HPC, les jumeaux numériques, la simulation avancée et le quantique. Technologies dont la convergence est utilisée pour créer des jumeaux numériques

servant à la conception, la validation et l'exploitation de produits de Leonardo, alors que le quantique sera au cœur de ses prochains systèmes de communications.

Il a estimé que pour maintenir la compétitivité de l'Europe, des technologies comme le HPC doivent maintenant se diffuser dans les PME. En déplorant toutefois qu'une faible part soit développée en Europe, alors que d'autres régions investissent fortement dans ces domaines, en tirant un avantage concurrentiel considérable.

Les principaux acteurs industriels européens doivent donc collaborer plus autour du calcul intensif, comme le souhaite la présidente de la Commission européenne, **Ursula von der Leyen**, ainsi que le **Conseil européen**, qui a invité la Commission à élaborer une "boussole numérique", véritable feuille de route de l'ambition numérique européenne jusqu'en 2030.

Une vision partagée par Leonardo, puisque si les capacités de calcul et de stockage de son supercalculateur davinci-1 sont mises au service de tous les domaines technologiques présents dans le groupe, elles sont aussi partagées dans le cadre du **European Digital Innovation Lab** et de partenariats avec d'autres industriels. Cette machine réalisée par **Atos Bull** affiche une puissance de plus de 5 PFlops et une capacité de stockage de 20 PBytes (88e du Top 500).

Leonardo veut s'affirmer, avec l'ensemble de son écosystème, comme un moteur de l'innovation de cette nouvelle ère numérique, avec le HPC comme élément clé. Il a conclu en rappelant qu'il appartient à tous de façonner l'avenir numérique de l'Europe, en termes d'autonomie numérique et de souveraineté technologique.





**Gilles Le Saux**

Senior Vice President Foresight & Research Essilor International

## L'industrie ophtalmique innove grâce au calcul

**Gilles Le Saux, responsable de la R&D chez Essilor International, spécialiste des équipements d'optique ophtalmique, a expliqué pourquoi et comment le calcul haute performance est devenu incontournable, tant pour la conception et la réalisation des verres correcteurs, que pour le développement de dispositifs correcteurs pilotés en temps réel ou la compréhension de nouvelles maladies ophtalmiques.**

Lors de l'achat de lunettes, de la consultation ophtalmologique déterminant la correction visuelle nécessaire, jusqu'à la définition par l'opticien de l'équipement adéquat, de multiples mesures physiques sont effectuées, afin de créer un modèle numérique œil/verre individuel, indispensable au calcul de l'équipement final.

Toutes ces données servent à déterminer la géométrie du verre la mieux adaptée à votre profil opto-métrique. A chaque commande, un calcul d'optimisation sous contraintes intégrant quelques centaines de variables et quelques milliers de cibles est lancé. Ces calculs convergent en quelques dizaines de secondes vers le design du verre qui vous sera destiné. Ensuite ces données géométriques complexes sont transmises aux machines d'usinage et de surfaçage pour fabriquer le verre.

Au-delà de ces mesures ponctuelles, des développements sont en cours pour créer des dispositifs intelligents et connectés, intégrés à la lunette, qui caractériseront individuellement en vie réelle les comportements de chaque utilisateur. Par la suite, ces dispositifs agiront directement sur des composants optiques actifs adaptant en temps réel leur teinte ou leur puissance aux besoins. Ce qui nécessite là encore de grosses capacités de calcul. Ainsi un verre électro-chrome couplé à un système GPS anticipera l'arrivée dans un tunnel, afin que la transition lumineuse soit douce à l'entrée comme à la sortie. Ces "Smart Glasses" arriveront dès 2022.

Outre la création d'équipements toujours plus adaptés aux besoins, les outils de calcul haute performance servent aussi dans la compréhension de certaines pathologies, telle la myopie, favorisée par l'utilisation permanente d'écrans. A tel point que la forme du globe oculaire évolue chez les jeunes notamment en Asie. Des recherches sont en cours avec l'**Institut de la Vision** à Paris pour modéliser ces processus, en utilisant des jumeaux numériques de l'œil et de la rétine, ainsi que des algorithmes d'IA.



**Satoshi Matsuoka**  
Director, Riken/R-CCS

## Notre machine exascale préfigure les 20 prochaines années des supercalculateurs

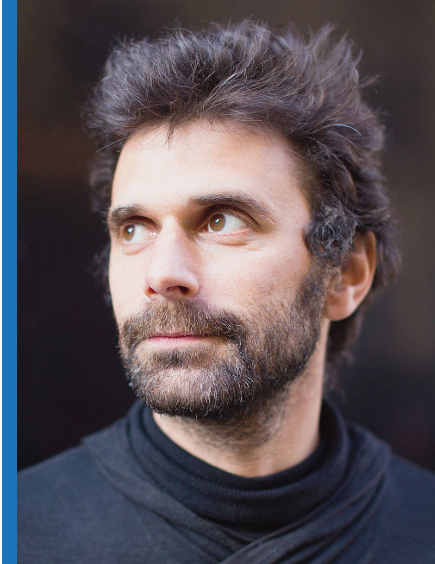
Le Japon vient de mettre en service Fugaku, la première machine exaflopique. Satoshi Matsuoka a expliqué la genèse de cette machine, la nature de ses performances, qui vont jusqu'à 4,3 Eops en 8 bits Integer, et prédit la disparition des Flop-Centric Monolithic Systems, qui suivaient la loi de Moore, au profit de "Cambrian" Heterogeneous Systems.

Satoshi Matsuoka, le directeur de l'institut de recherche japonais Riken, a présenté **Fugaku**, la première machine exascale au monde, qu'il héberge. Celle-ci est basée sur un processeur exascale **A64FX** développé en collaboration avec **Fujitsu**, en technologie 7 nm, qui est deux à trois fois plus performant qu'un processeur traditionnel, et trois fois moins gourmand en énergie.

Cette machine, qui compte 160 000 nœuds, a été développée dans le but d'accélérer d'un facteur 100 les applications qui tournaient déjà sur les supercalculateurs de la génération précédente (**K**). Pour cela, chaque puce comporte 48+4 cœurs de calcul représentant 8,8 milliards de transistors, utilisant pour la première fois de système d'entrée/sortie **HBM2**. Outre le CPU, cette machine dispose aussi de systèmes d'interconnexion de haut niveau avec une bande passante à chaque nœud de 400 Gbps et une latence de 0,5  $\mu$ s. De même, l'architecture Ultra-Scale Disaggregated, qui est une première, permet à n'importe quel processeur d'accéder à n'importe quelle donnée.

Lorsque la fréquence des CPU est boostée à 2,2 GHz les performances de Fugaku sont de 537 PFlops en 64 bits Double Precision FP, de 1,07 EFlops en 32 bits Double Precision FP, de 2,15 EFlops en 16 bits Half Precision FP (AI Training) et 4,3 Eops en 8 bits Integer (AI Inference), ce qui est de 3 à 5,5 fois supérieures à celles des machines concurrentes et ce dans de multiples domaines applicatifs. Elle a d'ailleurs été mise à contribution dans le cadre de la lutte contre la Covid-19, tant au niveau de la simulation moléculaire que de la diffusion macroscopique du virus.

En résumé, Satoshi Matsuoka a estimé que cette machine prépare les 20 prochaines années des supercalculateurs. Affirmant que comme on a vu l'extinction des dinosaures, on va voir disparaître vers 2025 les Flop-Centric Monolithic Systems qui suivaient la loi de Moore, au profit de "Cambrian" Heterogeneous Systems.



**Yves Ubelmann**  
Cofondateur et CEO, Iconem

## Préserver numériquement le patrimoine menacé pour le transmettre aux générations futures

**Yves Ubelmann, cofondateur et CEO d'Iconem, a expliqué comment sa société d'une quinzaine de personnes en est venue à utiliser et développer des technologies numériques servant à la préservation du patrimoine culturel mondial.**

Cet architecte, qui a aidé des archéologues au Moyen-Orient, a été choqué par la disparition des sites archéologiques suite à l'urbanisation anarchique, aux pillages et aux conflits endémiques dans ces régions. L'idée a été d'utiliser les technologies numériques comme alternative à la conservation physique. Iconem a pour cela mis au point des techniques de numérisation et de capture d'images à partir de drones et d'appareils photos robotisés, ainsi que des algorithmes de reconstitution détaillée des sites en 3D à partir de ces données.

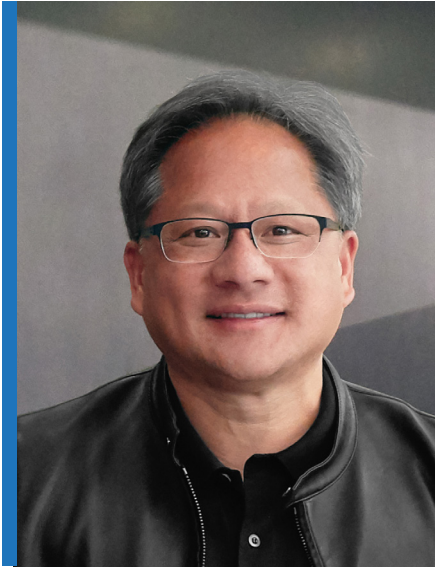
Ces modèles sont à la fois un moyen de représentation, mais aussi de véritables bases de données permettant de classer dans l'espace beaucoup d'informations archéologiques. C'est particulièrement intéressant dans les zones devenues inaccessibles du fait de conflit, car cela permet à la communauté scientifique de continuer à produire de la connaissance, même si cela ne remplace pas le déplacement sur site.

Cela a été utile à Palmyre pour documenter les destructions perpétrées par l'Etat islamique, notamment au Temple de Bel ou à l'Arche Monumentale. En mixant ces technologies avec de la photogrammétrie utilisant des photos des années 30, il a été possible de créer des modèles 3D des monuments détruits et de les réimplanter sur le site actuel pour évaluer l'état des blocs et documenter la faisabilité d'une reconstruction.

Ces technologies ont aussi été utilisées à Alep et Mossoul pour évaluer les dégâts dus aux bombardements, afin d'envisager la reconstruction à l'échelle d'une ville entière. Elles sont aussi utilisées sur des sites menacés par des phénomènes naturels, par exemple en Lybie où la mer grignote le site d'Apollonia.

Outre la conservation de la mémoire de sites menacés pour la communiquer à la communauté scientifique et la transmettre aux générations futures, ces modèles 3D hyperréalistes sont aussi souvent au cœur d'expériences immersives permettant au grand public de découvrir leur richesse culturelle et artistique.





**Jensen Huang**  
Chairman & CEO, NVidia

## Le temps du HPC industriel est arrivé

**Le HPC et la simulation ont permis à de nombreux secteurs de progresser, mais ils ont atteint des limites face à la taille et à la complexité des problèmes à traiter. L'accélération par GPU et intégration de l'IA ont permis de les franchir, et laissent entrevoir de nouvelles perspectives pour s'approcher au mieux des réalités physiques. Ce sera d'autant plus facile que le couplage futur avec l'informatique quantique promet d'en décupler les performances.**

**Jensen Huang**, chairman & CEO de **NVidia**, a rappelé que le HPC est un outil essentiel pour la science, l'industrie et les services, qui a permis de s'affranchir de la Loi de Moore, mais qui n'est pour le moment accessible qu'à un petit nombre.

Si de multiples secteurs ont bénéficié de la simulation et du HPC pour progresser, ils ont atteint des limites face à la taille et à la complexité des problèmes à traiter. Deux avancées permettent toutefois de s'affranchir de ces limites : l'accélération du calcul par GPU et l'utilisation de l'IA. La première a permis de gagner en 15 ans un facteur d'un million sur la taille des modèles et leur vitesse de résolution, mais pour certains phénomènes il faut encore gagner 10 ordres de grandeur. Un challenge en passe d'être relevé avec l'arrivée du *Deep Learning*, qui a permis de gagner 4 ordres de grandeur en 4 ans.

Des chercheurs de la Sorbonne travaillant avec le **Genci**, le **CNRS** et **NVidia** ont ainsi pu simuler avec le code **Tinker-HP**, l'action de la protéine spiculaire de la Covid-19 sur 38 microsecondes. « *Un résultat qui aurait nécessité des années ou plusieurs millions de cœurs de CPU* » selon le chercheur Jean Philippe.

Une IA qui bénéficie de multiples recherches auxquelles NVidia participe, dans le domaine des modèles (**Transformers**, **BERT**, **BioMegatron...**) ou des langages (projet **BigScience** rassemblant 500 chercheurs de 45 pays pour développer un modèle de langage *Open Source*) ou encore des codes tels **SimNet**, qui utilise un réseau de neurones basé sur la physique pour résoudre des problèmes multi-physiques.

Enfin NVidia veut aussi être actif dans le quantique : en simulant les circuits quantiques ; en fournissant une plateforme de développements d'algorithmes ; en concevant l'architecture de systèmes hybrides quantique/classique ; en accélérant les solveurs quantiques existant dans la recherche.

La question n'est donc plus de savoir de quoi le HPC sera capable, mais de savoir qui l'utilisera en premier pour révolutionner son secteur.





**Ghislain Lescuyer**  
Directeur général, Saft

## Le HPC va contribuer à la naissance d'un champion européen de la batterie

**Les batteries sont partout présentes dans notre économie, de nos smartphones au stockage des énergies renouvelables, en passant par la mobilité ou l'Internet des Objets. Ce sont des produits complexes dont il faut maîtriser la thermochimie et des processus de fabrication de pointe, afin d'en garantir la sécurité et le bon ratio coût performances. Des défis que le HPC permet de relever.**

**Ghislain Lescuyer** a rappelé en préambule qu'il existe des centaines de types de batteries différents en fonction des matériaux et de la chimie mis en œuvre, ainsi que du type et des conditions d'utilisation, à la fois en termes de température de fonctionnement, de grandeurs électriques et de nombre de cycles de décharge envisagés. Le tout en satisfaisant des critères de sécurité draconiens avec un bon ratio coût/performance.

Et de constater que nos économies sont aujourd'hui très dépendantes des batteries, qu'il s'agisse de transport, de communication, de numérique, de l'Internet des Objets ou de stockage d'énergies renouvelables. Du numérique qui permet également de suivre en permanence l'état, le niveau de charge et la température des batteries. Autant de données nécessaires au contrôle de leur bon fonctionnement et de leurs systèmes de recharge, ainsi qu'à leur maintenance prédictive.

En clôture de son intervention, Ghislain Lescuyer a mentionné l'apport du HPC en termes de modélisation et de simulation, tant dans la conception que dans la mise en route des batteries. Dans le premier cas, il s'agit de simuler leur comportement thermochimique, qui en passant de simples PC au HPC a permis de réduire d'un facteur 100 cette étape. Dans le second cas, il s'agit de simuler la formation d'une batterie, la dernière étape du processus de fabrication où l'on fait la première charge de la batterie et où l'on vérifie sa qualité et ses performances. Un processus de 10 à 15 jours pour lequel le HPC lié à l'IA permet de détecter le plus tôt possible les défauts de qualité des batteries, d'améliorer le processus de formation et de réduire les coûts.

Des outils qui seront pleinement utilisés dans le cadre d'ACC (*Automotive Cells Company*), la joint-venture montée entre **Stellantis** et **Saft**, avec le soutien financier de la **Commission européenne**, afin de développer un champion européen de la batterie, face à l'actuelle hégémonie chinoise.



**Anders Dam Jensen**  
Executive director, EuroHPC

## L'avenir du HPC européen est brillant

L'entreprise commune EuroHPC, initialisée à Rome en 2017, a pour objectif de faire de l'Europe un leader du HPC, tant en termes de technologies que d'utilisation avancée. Pour cela, elle finance l'acquisition de machines qu'elle met à disposition des industriels, le développement de nouvelles technologies tant matérielles que logicielles, leur diffusion vers l'industrie et notamment les PME, ainsi que la formation de spécialistes capables de les développer et de les utiliser à leur plein potentiel.

**Anders Dam Jensen**, Executive director d'EuroHPC a rappelé que le but d'EuroHPC est : d'apporter des capacités de calcul HPC à l'Europe ; d'améliorer la coopération dans la recherche scientifique

avancée ; de relever la concurrence industrielle ; d'assurer l'autonomie technologique et digitale européenne. La **Commission européenne** et les **Etats membres** y ont déjà investi 358 M€ depuis 2017.

En avril, le premier supercalculateur Petascale d'EuroHPC, **Vega** basé en Slovénie, a été mis en route, un deuxième, **MeluXina** situé au Luxembourg, l'a été en juin. Cinq autres seront bientôt accessibles via **PRACE**. L'Europe disposera alors de 670 PFlops disponibles pour la recherche et l'innovation.

EuroHPC a aussi financé 24 projets autour des nouvelles technologies et applications HPC, pour un montant de 80 M€, et finalise sa participation à l'**European Processor Initiative**, un projet de 70 M€ visant à doter l'Europe de processeurs haute performance à faible consommation. De multiples autres projets sont en cours pour soutenir la convergence HPC, Big Data et IA.

Dans le cadre du programme **Horizon**, il est prévu d'investir 900 M€ autour des technologies HPC, à la fois dans la recherche et leur diffusion dans l'industrie, notamment vers les PME, en s'appuyant sur les **Centres d'Excellence** et les **Centres de Compétence HPC** pour comprendre et évaluer les besoins. De même, le financement du programme **Digital Europe** permettra la formation de spécialistes capables de développer en Europe ces nouvelles technologies et d'utiliser les supercalculateurs européens à leur plein potentiel. Des travaux qui aboutiront à la production en Europe de supercalculateurs Petascale et Exascale dès 2022, ainsi qu'à la mise en place d'infrastructures spécifiques grâce aux partenariats avec le privé.

EuroHPC assure que l'Europe deviendra un leader du HPC, tant en excellence qu'en autonomie, grâce à une nouvelle façon de fonctionner où les états participants de l'UE investissent en commun pour un but partagé.



**Bruno Sportisse**  
PDG de l'Inria

## Nous sommes ouverts aux partenariats avec des acteurs clés dans le domaine du HPC

**Le HPC est au cœur de l'action de l'Inria, notamment pour relever les nouveaux défis posés par l'IA et le calcul quantique. Outre les travaux de recherche déjà en cours, l'Inria participe à des actions clés telles le Plan Quantique, le Programme national de Recherche en IA, l'initiative PariSanté Campus ou EuroHPC.**

Le HPC est l'un des secteurs clés d'investissement de l'Inria, car il est stratégique pour l'informatique et la transformation numérique de nos économies au regard des nouveaux défis tels l'IA et le calcul quantique.

Ainsi des investissements importants ont été faits pour renforcer la capacité des supercalculateurs tels le **Jean Zay** utilisé par **Genci**, afin de relever les défis de l'IA. Pour le calcul quantique, si l'on ne sait pas encore quand et comment seront réalisés ces machines à grande échelle pour les algorithmes classiques, nous savons que des approches intermédiaires telles l'ordinateur **NISQ** (Noisy Intermediate-Scale Quantum) seront mises en pratique.

Ces deux domaines sont stratégiques pour l'Inria qui, aux côtés d'organismes tels le **CEA** et le **CNRS**, mène à bien des actions clés telles le **Plan Quantique** ou le **Programme national de Recherche en IA**.

L'Inria est aussi convaincu qu'il faut soutenir la dynamique de l'écosystème HPC en intensifiant sa politique de partenariats forts avec des acteurs clés en mesure d'établir et de renforcer la souveraineté numérique de la France et de l'Europe. Cela passe par des transferts de technologies, la mise en place de feuilles de route technologiques communes et d'équipes de recherche conjointes. Ce qui a été le cas avec **Naval Group** voici 18 mois dans le domaine de la défense ou **Atos** en juin dernier, afin d'établir une feuille de route commune en matière de calcul quantique et de HPC.

Autre défi majeur la santé où la maturité du HPC aura un impact fort. L'Inria s'y investi en étant l'un des fondateurs de l'initiative **PariSanté Campus** lancée fin 2020.

Enfin au niveau européen, l'Inria est impliqué dans de nombreux projets **EuroHPC** avec des partenaires tels le CEA ou Atos, pour créer les supercalculateurs exaflopiques, cruciaux pour notre souveraineté numérique dans les décennies à venir. L'Inria soutient aussi pleinement l'action de **Teratec** dans le projet **EuroCC**, visant à créer un centre national de compétences HPC.



**Wolfgang Marquardt**

Président du Conseil d'administration du Forschungszentrum Jülich

## Vers des ensembles modulaires où supercalculateur et centre de données ne feront plus qu'un

Le Jülich Supercomputing Center est au centre des développements européens en terme de HPC. Il vient de mettre en service **Juwels**, 7e supercalculateur mondial à l'efficacité énergétique inégalée. Il est aussi très présents dans les projets **DEEP**, **HPCQS** et **EuroHPC**. Il a une vision modulaire du futur où supercalculateur et centre de données ne feront plus qu'un et seront capables d'intégrer des technologies hétérogènes telles le quantique ou le neuro-morphique.

Après avoir rappelé les partenariats du **Jülich Supercomputing Center** avec le **Leibniz Computing Center** et le **HPC Center de Stuttgart** au sein du **Gauss Centre for Supercomputing**, **Wolfgang Marquardt** s'est félicité du partenariat avec **Bull Atos** (France) et **ParTec** (Allemagne), ayant abouti au supercalculateur **Juwels**, 7e au Top 500 et 1er en terme efficacité énergétique.

Des performances dues à son architecture modulaire dynamique, développée dans le cadre de projets **DEEP** financés par l'Europe depuis 2012, ainsi que de projets **EuroHPC**, qui facilite l'intégration directe et à faible latence de technologies émergentes, telles que l'informatique quantique et neuro-morphique. Cela anticipe **Nupacs**, le projet de prototype européen Exascale, développé avec le **CEA**, **Atos** et les centres **BSC**, **Genci** et **Cineca**.

Il s'est aussi félicité de la réussite du projet **HPCQS** permettant le pilotage d'une infrastructure paneuropéenne hybride quantique/HPC. Deux ordinateurs quantiques **Pasqal** seront déployés en parallèle au CEA/Genci et à Jülich, accompagnés par la mise en place d'une plateforme européenne de programmation quantique.

Cela débouchera sur des ensembles modulaires où supercalculateur et centre de données ne feront plus qu'un et où les ressources hétérogènes seront allouées, consultées et utilisées de manière dynamique et optimisée par les scientifiques. Le tout avec une grande efficacité énergétique, une gestion optimale des flux de travail, une diversité maximale des applications, et ce dans les trois domaines centraux que sont la simulation à grande échelle, l'analyse des données volumineuses et l'apprentissage automatique à grande échelle.

Des développements anticipant l'Exascale faits en étroite collaboration avec les acteurs scientifiques et industriels européens pour les aider à progresser dans leurs disciplines, quelles soient informatiques ou applicatives. Jülich est d'ailleurs candidat pour devenir l'un des 2 premiers sites Exascale européens.





**Elie Girard**  
CEO, Atos

## Notre offre se veut à la fois sécurisée et décarbonée

**Le HPC et l'IA sont des piliers de la transformation numérique des entreprises et de l'autonomie numérique des Etats, qu'Atos entend rendre plus sûrs et décarbonés. C'est au cœur des recherches menées avec son écosystème à la fois en HPC, IA et quantique. Une informatique quantique pour laquelle il propose déjà une offre de mesure de l'efficacité à la fois objective, simple, équitable et indépendante du matériel.**

**Atos** participe aux écosystèmes HPC et IA via des liens forts avec la recherche européenne, pour répondre aux futures problématiques des industriels. Il a renforcé sa coopération avec le **CEA** autour du réchauffement climatique, de la frugalité numérique, du quantique et d'une feuille de route commune en IA. Un autre partenariat avec **Inria** est axé sur le numérique responsable, l'IA, le HPC, la cybersécurité et le quantique.

Une exploitation des recherches internes et externes qui a permis à Atos d'équiper 5 centres de recherche participant à **EuroHPC** et de fournir à **Jülich**, le supercalculateur le plus rapide d'Europe et le plus économe en énergie du **Top 100**.

1er constructeur européen de supercalculateurs et 4e mondial, Atos prend part à la course à l'exascale en relevant le défi de la consommation énergétique et de la décarbonation, en intégrant des processeurs basse consommation et utilisant de l'hydrogène via un partenariat avec **Hydrogène de France**. Objectif : réduire de 50 % de ses émissions de carbone d'ici 2025 et les compenser totalement d'ici 2028. Un savoir-faire qui bénéficiera directement à tous ses clients.

Le couplage HPC et IA, nécessaire pour analyser et donner du sens à une masse d'informations toujours plus importante, suscite des attaques toujours plus nombreuses et sophistiquées. La cybersécurité est donc au cœur de l'approche d'Atos, reconnu 2e mondial en la matière par **Gartner**.

Atos est aussi pleinement engagé dans la révolution quantique depuis 4 ans, via le développement d'accélérateurs pour la prochaine génération de HPC, d'un écosystème incluant des start-up telles **IQM** ou **Pasqal** et des grands groupes tels **EdF** ou **Total**, ainsi que d'un programme de recherche autour d'offres de cryptographie post-quantique, en partenariat avec le **CEA** sur le matériel ou **Institut Fourier** et **Inria** sur le logiciel.

Enfin, Atos propose aux industriels **Q-score**, une offre de mesure objective, simple, indépendante du matériel, de l'efficacité des systèmes quantiques.



**Catherine Jestin**

CIO, Airbus

## Faire entrer le quantique dans le monde industriel où l'on en a besoin

**Après avoir été pionnier de la digitalisation de ses outils et process d'ingénierie, Airbus entend bien mettre à profit le numérique pour relever les défis de la décarbonisation de l'aviation et du vol autonome. Il va pour cela utiliser massivement, le Big Data, l'IA, le HPC et le quantique. Une évolution qui se fera aussi via la formation et le recrutement de nouvelles compétences.**

**Airbus** a été l'un des pionniers de la transformation digitale des outils d'ingénierie et des façons de penser, de s'organiser et de travailler, un pré requis indispensable à toute transformation digitale réussie. Il entend maintenant mettre le numérique au service de ses grands

défis, la décarbonisation de l'aviation et le vol autonome.

Pour cela, il va utiliser l'analyse intelligente des données pour permettre à la bonne personne d'avoir accès à la bonne information au bon moment avec le bon contexte, quel que soit son niveau dans l'entreprise. Le tout dans un contexte global de cycle de vie incluant sur la plateforme de partage des données ouverte **Skywise**, ses fournisseurs, ses différents départements et les compagnies aériennes clientes. Cette continuité numérique apporte des gains énormes en efficacité opérationnelle pour les clients, pour ses propres processus et bien sûr pour l'innovation. D'ici une décennie tous les processus d'Airbus seront Data-Driven et interconnectés, c'est l'ambition du projet **DDMS**.

L'étape suivante sera l'IA, qui est déjà en test dans les usines avec la vision artificielle et dans les produits pour assister les pilotes ou assurer des vols autonomes. Le plus grand défi est la certification de ces systèmes. L'IA se base sur les plateformes HPC, qui vont évoluer car on en voit les limites. On passe d'une architecture CPU Centric à une architecture centrée sur la donnée. L'infrastructure sera répartie à la fois sur du calcul local et du calcul dans le Cloud. Cela concerne la simulation (optimisation aérodynamiques, réduction du bruit...) ou encore le traitement temps réel des données des essais en vol.

Le calcul quantique permettra de dépasser les limites actuelles. Il est actuellement testé pour l'optimisation des plans de vol ou l'imagerie satellitaire. Airbus a lancé un **Quantum Computing Challenge**, afin de stimuler le développement de cette technologie et surtout de la sortir des laboratoires pour la faire entrer dans le monde industriel.



**Eric Labaye**

Président, École polytechnique et Institut Polytechnique de Paris

## Œuvrer pour la souveraineté technologique et numérique de l'Europe

L'École polytechnique est l'un des fleurons de l'enseignement et de la recherche en France. Elle est très impliquée dans les sciences et technologies numériques, qu'il s'agisse d'IA, de HPC ou de quantique, qui sont au cœur des recherches menées dans ses laboratoires, sans oublier toutefois les enjeux sociétaux, économiques et éthiques émergeant liés à l'accroissement des données et de leurs traitements.

L'École polytechnique porte une tradition d'excellence scientifique au service de l'intérêt général. 1 650 chercheurs y travaillent dans 23 laboratoires en cotutelle avec le CNRS.

Avec le lancement de l'Institut Polytechnique de Paris (**IP Paris**) en 2019, l'École réaffirme, avec l'**ENSTA Paris**, l'**ENSAE Paris**, **Télécom Paris** et **Télécom SudParis**, son ambition de changer le monde de demain et d'agir sur des sujets à fort impact sociétal, avec pour objectif d'aider à façonner une **Union européenne** résiliente, souveraine, innovante, dans cinq domaines clés pour l'avenir : le numérique, la sécurité, les technologies, la santé et l'énergie/climat.

**Eric Labaye** a mis l'accent sur l'IA et les sciences des données avec **HI! Paris**. Ce centre interdisciplinaire de recherche et d'enseignement, lancé fin 2020 avec **HEC Paris**, s'appuie sur 300 chercheurs. Un partenariat avec l'**Inria** valorise aussi la recherche en IA.

En terme de HPC, l'X possède un grand savoir-faire en modélisation et en technique de calcul, qui est mis au service des PME et ETI, via son **Centre de mathématiques appliquées** et sa filiale **FX-Conseil**.

Les sciences et technologies quantiques sont aussi un domaine où l'X a une expertise reconnue et propose l'une des formations les plus fondamentales et les plus avancées en France. L'X est aussi associé à l'**Université Paris-Saclay** dans **Quantum Paris-Saclay**. Parmi les projets de recherche phares, citons celui mené par **Landry Bretheau** et **Jean-Damien Pillet** sur les circuits et les matériaux quantiques. L'un de ses objectifs est de fabriquer à terme un Qubit pour équiper les ordinateurs quantiques. Des recherches qui traduisent la volonté de l'X de faire partie des protagonistes de l'histoire de la révolution quantique.

L'X est aussi au cœur de multiples initiatives mettant le numérique au cœur de recherches en termes de défense et sécurité ou d'efficacité énergétique. Autant de connaissances variées qui sont partagées au sein de l'**Alliance EuroTech**, qui regroupe cinq universités.





**Théau Peronnin**

Co-fondateur et CEO, Alice & Bob

## Concevoir le premier ordinateur quantique universel et sans erreur au monde

Une start-up française, spin-off de grands laboratoires de recherche, développe un Qubit logique intégrant la correction d'erreur et l'universalité. Une puce supraconductrice qui est 3 000 fois moins complexe que les systèmes développés par les géants de la tech. Le premier processeur quantique devrait sortir en 2024 et les premiers supercalculateurs quantiques en 2026.

**Alice & Bob** est une spin-off de 6 laboratoires français, créée voici un an par **Théau Peronnin** et **Raphael Lescanne**. Elle veut développer un ordinateur quantique universel et sans erreur permettant d'accélérer exponentiellement la résolution de certains problèmes

complexes : optimisation en grandes dimensions ; problèmes d'algèbre linéaire ; résolution des simulations chimiques et biologiques.

Parmi les voies pour construire ces machines, les plus en vogue, qui font écho au Prix Nobel de **Serge Haroche** et **David Wineland**, sont les circuits supraconducteurs (**IBM, Google, Amazon ... A&B**) et les systèmes atomiques, comme les ions piégés ou les atomes neutres (**Honeywell, INQ, Pasqal...**). Mais leurs Qubits sont extrêmement sensibles au bruit, générateur d'erreurs. Les premières machines quantiques de Google ou IBM font 19 ordres de grandeur fois plus d'erreurs que les machines classiques.

Les géants de la tech veulent diviser ce taux par 2 ou 3 dans les 10 ans, mais A&B veut aller plus loin plus vite en repensant le Qubit, pour qu'il intègre la correction d'erreur et l'universalité, grâce aux travaux de **Mazyar Mirrahimi (Inria)** en automatique et **Zaki Leghtas (Ecole des Mines)** en quantique.

Cela se traduit par une puce en niobium et aluminium sur un substrat silicium, contrôlée par des impulsions micro-ondes et refroidie à très basse température. Elle a permis de démontrer la suppression exponentielle d'un des deux canaux d'erreurs, *Bit Flips* classiques (passage de 0 à 1 et vice-versa) et *Face Flips* quantiques (passage d'une superposition de 0+1 à 0-1), avec des résultats significatifs, une première mondiale !

L'objectif est d'arriver début 2024 au premier processeur universel et sans erreurs disposant de 5 Qubits logiques. En utilisant une architecture modulaire, bien maîtrisée sur les systèmes micro-ondes, on aura d'ici 2026 des machines de plus de 50 Qubits, équivalentes aux supercalculateurs classiques. Un travail mené avec **Mines ParisTech, ENS PSL, ENS Lyon, Inria, CEA** et le **CNRS**.





**Neil Abroug**

Directeur, Programme National Quantique

## La France investit 1,8 milliard d'Euros autour des technologies quantiques

**La France a décidé d'investir massivement autour des technologies quantiques pour développer un écosystème capable d'inventer les composants, les architectures et les machines, ainsi que les logiciels permettant d'en tirer le meilleur parti. Parallèlement des investissements sont aussi faits pour définir les usages applicatifs potentiels et préparer les industriels à bénéficier de ce saut technologique.**

**Neil Abroug** a rappelé que la France a décidé d'investir 1,8 milliard d'Euros pour développer son écosystème d'innovation autour des technologies quantiques, tant pour la recherche fondamentale que

pour le développement industriel, la formation de spécialistes capables de les créer et de les utiliser à leur optimum ou la diffusion de leur usage et notamment du calcul quantique.

La stratégie française dans ce domaine comprend deux volets. Le premier est lié au matériel, qu'il s'agisse de la première génération de machines NISQ ou du développement de l'ordinateur quantique ultime, de très grande taille, corrigé en erreur, qui va nécessiter de gros efforts de recherche public/privé sur la prochaine décennie.

Le second volet porte sur le fait qu'il va falloir que les secteurs d'usages apprivoisent et s'approprient ces technologies. Le calcul intensif est l'un de ceux qui sera le plus impacté. Il y a en effet potentiellement un certain nombre de calculs qui seront accélérés de manière exponentielle par les machines quantiques. Mais on ne sait pas encore quand et dans quelle mesure ces promesses seront tenues. C'est pourquoi il faut investir dès à présent dans l'exploration de ces usages, comme dans le développement des algorithmes pour les technologies quantiques.

Il a à ce propos remercié **Teratec** pour son initiative **TQCI** (*Teratec Quantum Computing Initiative*), commencée bien avant la mise en place du **Plan National Quantique** et qui a su fédérer autour d'elle un certain nombre d'usagers industriels (**EdF, Naval Group, Total...**).

Un effort quantique français qui s'inscrit dans la démarche européenne, et plus encore depuis le choix du consortium retenu pour répondre à l'appel à projet de **EuroHPC** pour développer une machine hybride HPC quantique. Ce consortium comporte en effet plusieurs acteurs français **Atos**, le **CNRS**, l'**Inria** et la start-up **Pasqal**.

C'est bien la preuve que c'est en France que ça se passe et qu'il faut y être pour développer le calcul quantique du futur.



**Daniel Verwaerde**  
Président de Teratec

## La jeune Europe du HPC a besoin de nos compétences

**La croissance des besoins en HPC impose de passer à de nouvelles technologies hybrides utilisant le quantique. Cela va nécessiter des recherches et des développements industriels tant en matériel qu'en logiciel. Des développements souhaités et financés par l'Europe pour garantir notre souveraineté et notre indépendance numérique face aux USA et à la Chine. Teratec s'engage aux côtés d'EuroHPC pour participer à cette dynamique.**

L'économie n'a jamais autant utilisé le HPC et cela va s'accroître dans les années à venir. Nombre d'entreprises, hors grands groupes, utilisent le HPC et le Big Data comme assise de leurs processus de production et de vente. Et elles envisagent de nouveaux usages. Cela va accroître le besoin en puissance de calcul et capacité de stockage, ainsi qu'en nouveaux applicatifs.

La solution réside dans les machines hybrides mêlant processeurs classiques et accélérateurs quantiques. Ces technologies sont prometteuses en termes de performances, même si elles ne sont pas adaptées pour toutes les applications. Les investissements doivent donc être matériels, mais aussi logiciels car il va falloir écrire un nouveau chapitre de l'analyse numérique.

L'Europe, qui veut être un acteur majeur dans le HPC, domaine stratégique pour notre développement et notre sécurité collective, amplifie ses efforts avec la création d'EuroHPC. Elle va mettre à disposition de la recherche et de l'industrie européenne 8 supercalculateurs Petaflopiques dès cette année. Elle met aussi en place une *Supply Chain* capable de réaliser ces ordinateurs et leurs successeurs Exaflopiques de la manière autonome dès 2023.

Côté applicatif, **EuroHPC** a demandé à chaque Etat de créer un Centre de Compétences pour démocratiser l'accès aux supercalculateurs, de la start-up aux grandes structures, qu'il s'agisse de chercheurs, d'industriels ou d'administrations. Outre l'accès physique, il dispensera les formations et le support nécessaires pour que chaque utilisateur tire profit du HPC. **Teratec** a été désigné pour être ce Centre de Compétences national, en coopération avec le **Cerfacs** et **Genci**.

Seule l'Europe à la puissance nécessaire pour affronter à armes égales les USA et la Chine sur le terrain du HPC. Nous devons nous engager au niveau européen parce que cette jeune Europe du HPC a besoin de nos 60 ans d'expérience. Nous augmentons ainsi les chances que la politique décidée par l'Europe soit celle dont la France a besoin.