



Digital  
Engineering

# CALCUL HAUTE PERFORMANCE (HPC)

FEUILLE DE  
ROUTE 2022

**Les technologies HPC jouent un rôle  
essentiel dans tous les secteurs de  
l'économie.**

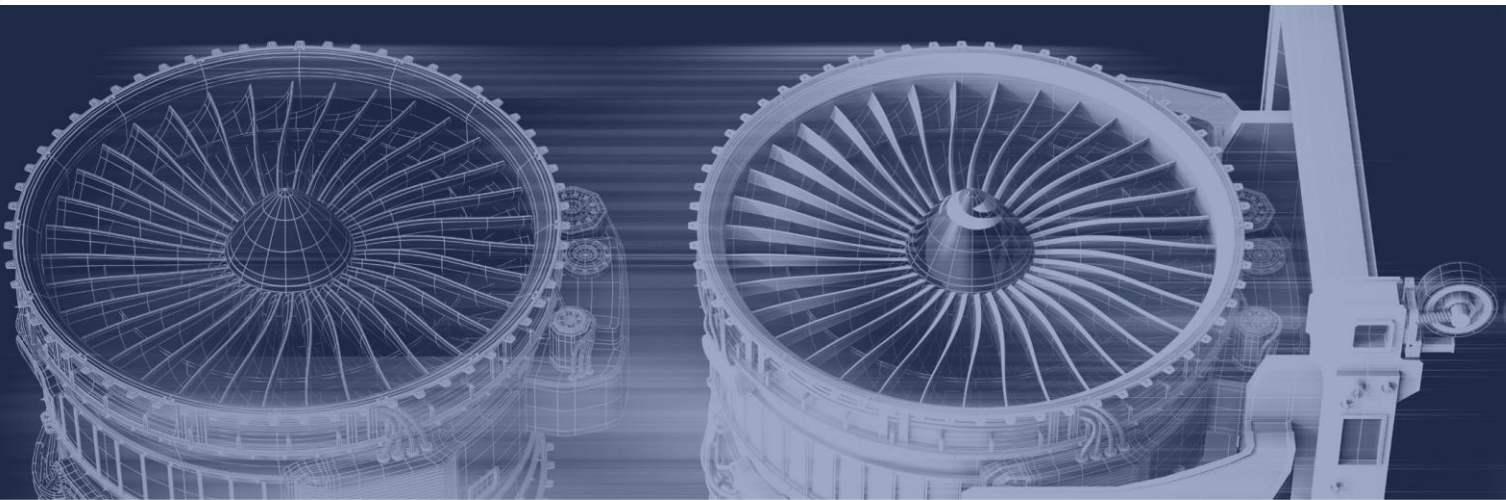
L'accroissement considérable des puissances de calcul et les évolutions fortes dans les domaines de l'algorithmie et des usages nécessitent un effort significatif et continu de recherche et développement dans toute la chaîne de valeur, des technologies matérielles aux logiciels applicatifs. La maîtrise de ces technologies est stratégique pour la compétitivité et les capacités d'innovation des entreprises et un élément majeur de la souveraineté de la France et de l'Europe.

## 1.1.1 - Périmètre technique - Généralités

### La dynamique des technologies HPC repose globalement sur trois points essentiels :

- L'augmentation considérable de la puissance de calcul ; actuellement au niveau du pétaflops, pour atteindre très rapidement l'exaflops (milliard de milliard d'opérations flottantes par seconde). Cette évolution se fait par la généralisation du parallélisme massif et le développement d'architectures hybrides et modulaires incluant CPU et accélérateurs (GPU, FPGA, quantique, ...).
- De nombreuses évolutions au niveau de l'algorithmique parallèle pour résoudre des problèmes de plus en plus complexes intégrant à la fois des modélisations physiques, le plus souvent couplées et des modélisations par apprentissage des données (intelligence artificielle).
- Grâce à ces deux points, le HPC impacte maintenant tous les secteurs de l'économie (grands secteurs industriels, administration, mais aussi grand public). A côté des secteurs traditionnels, tels l'automobile, l'aéronautique ou l'énergie de nouveaux secteurs utilisateurs importants apparaissent tels la santé, l'agro-alimentaire ou l'environnement.

Cette évolution extrêmement rapide nécessite un effort soutenu et permanent tant au niveau national qu'au niveau européen. Toute action nationale doit se situer en cohérence et en complémentarité des actions européennes, notamment de l'initiative EuroHPC.



### A côté de ces points technologiques, un effort important devra être consenti sur les problématiques suivantes :

- Intégration du HPC dans les grands systèmes d'information, notamment autour des technologies cloud, Edge et IoT.
- Accessibilité des capacités HPC (souveraines) à tous les acteurs de l'économie et notamment les PME et les ETI.
- Formation et soutien aux communautés (manpower pour aider au développement, équipes type HLST transverses, etc.).

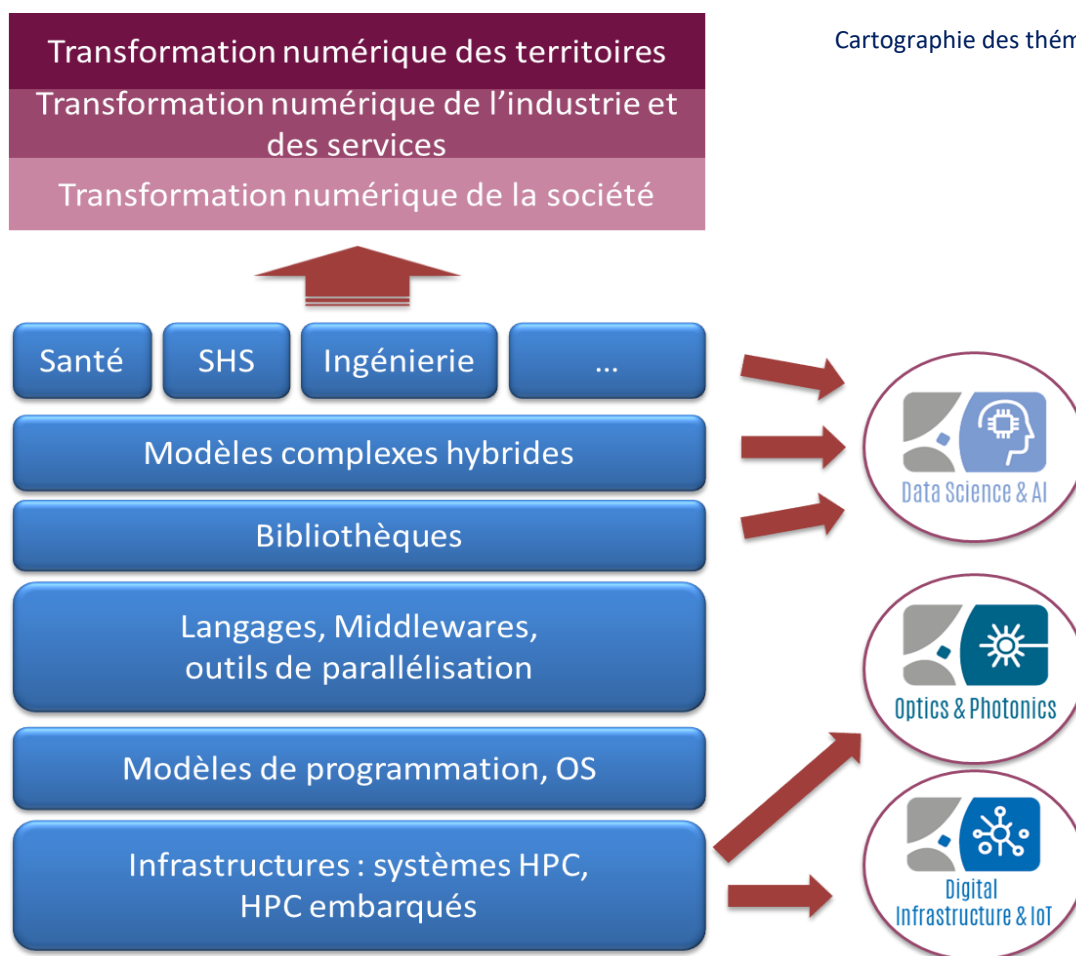
Afin d'assurer une réponse adéquate aux problèmes d'usage et de garantir une diffusion maximale des résultats, une approche de co-design est essentielle pour l'ensemble de ces actions avec notamment le montage de consortiums regroupant utilisateurs (grands et petits), fournisseurs de technologies (matérielles et logicielles) et intégrateurs, acteurs académiques.

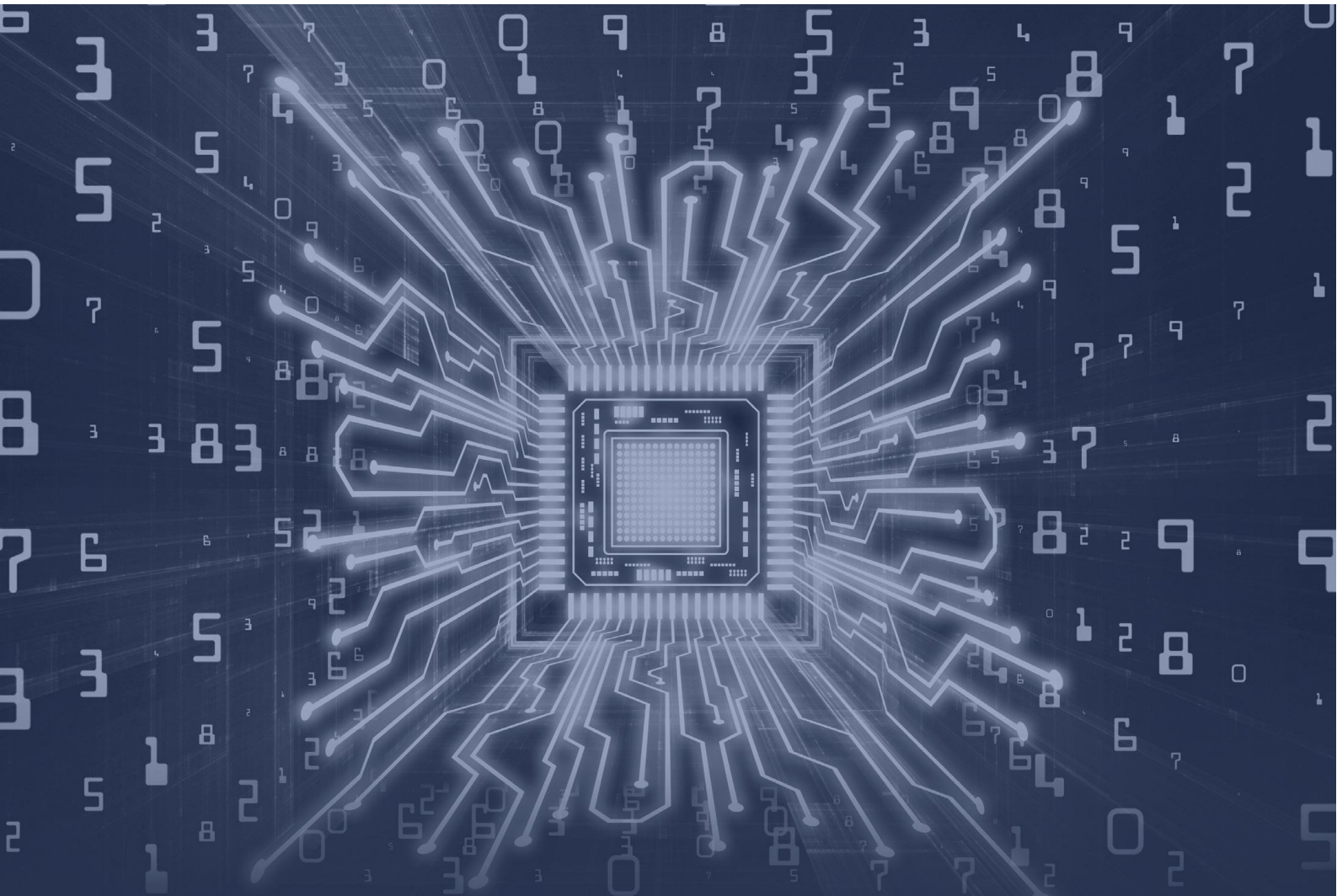
Des actions coordonnées avec les autres hubs sont également indispensables pour couvrir correctement tout le spectre des problématiques et des applications. Des actions communes devront être mise en place en particulier avec le hub data sciences et IA et le hub digital infrastructure et IoT. Par ailleurs des actions coordonnées devront être développées avec les enjeux applicatifs. Cet axe est très complémentaire des autres axes technologique du Hub "Digital Engineering" : quantiques, simulation et modélisation.

## 1.1.2 - Périmètre technique détaillé

L'axe HPC se structure en sous-thématiques couvrant depuis les architectures matérielles jusqu'aux couches logicielles du plus haut niveau donnant accès à la puissance de calcul de la manière la plus efficace et la plus facile à utiliser pour différentes classes de domaines applicatifs. Chaque sous thématique peut comporter des adhérences avec d'autres Hubs du pôle :

- **Côté infrastructure HPC, des adhérences existent avec :**
  - Le Hub Digital "Infrastructure et IoT" qui traite de composants essentiels du Jumeau Numérique.
  - Le Hub "Optics & Photonics" qui traite des capteurs qui pourront s'intégrer dans des systèmes Jumeau Numérique
- **Côté bibliothèques et modèles complexes hybrides, des adhérences existent** avec le Hub "Data science & AI" qui sera fournisseur de contraintes algorithmiques pour le développement de bibliothèques de calcul spécialisées.





De manière plus détaillée, les sous-thématiques à retenir pour les futures actions peuvent porter sur les points suivants :

#### **1.1.2.1 - Infrastructures : Architectures HPC**

L'étude, la conception et la mise au point des architectures des nouveaux systèmes, notamment exaflopiques, prenant en compte les fortes contraintes énergétiques et les architectures hybrides.

Celles-ci pourront intégrer des systèmes de plus en plus complexes : des accélérateurs IA et des processeurs quantiques (Les problématiques liées au calcul quantique sont abordés dans un groupe spécifique).

#### **1.1.2.2 - Infrastructures : Architecture HPC embarquée**

Le HPC est une composante des systèmes embarqués, l'étude, la conception et la mise au point des architectures haute performance embarquées fortement hétérogènes (SoC) reconfigurables (hybrides FPGA), doit prendre en compte les contraintes temps-réel ou de sûreté de fonctionnement.

#### **1.1.2.3 - Modèles de programmation, langages, middlewares et outils de parallélisation**

Les points ci-dessous doivent être pris en compte :

- Un premier point important concerne les problématiques de localisation des données, de gestion et d'optimisation des flux de données, de sécurité, de stockage et d'accessibilité des données.

- Un deuxième point concerne le middleware, à l'interface entre le matériel et les logiciels applicatifs, notamment sur les sujets suivants : gestion de l'accès aux données, allocation dynamique des ressources, maîtrise de l'énergie, virtualisation des ressources, tolérance aux pannes, etc.
- Un troisième sujet couvre les modèles de programmation de ces systèmes hybrides. Aucun modèle de programmation ou langage universel ne peut actuellement prendre en compte la complexité croissante des architectures.

#### 1.1.2.4 - Bibliothèques scientifiques

Les bibliothèques scientifiques de base sont au cœur des performances pour les futurs logiciels applicatifs, afin d'exploiter au maximum les capacités de traitement des nouvelles architectures. Des travaux algorithmiques très importants devront être poursuivis afin de disposer de bibliothèques scientifiques de base adaptées, notamment dans les domaines suivants : algèbre linéaire, statistique et analyse des données, optimisation, visualisation avec une attention toute particulière sur les outils d'apprentissage par les données et d'intelligence artificielle pour la conception des systèmes complexes.

#### 1.1.2.5 - Modèles complexes hybrides

Les travaux s'orientent de plus en plus vers l'étude de systèmes complets de très grande taille. Ils doivent prendre en compte de manière couplée des types très différents : modèles mathématiques des phénomènes physiques, modèles de comportement intégrant notamment la modélisation de l'environnement et des composants type mécatronique et de plus en plus modèles par apprentissage des données comme les réseaux de neurones.

Le traitement global d'un tel système nécessite de mettre au point des méthodes numériques nouvelles liées aux caractéristiques très différentes des modèles considérés, méthodes qui devront être adaptées aux nouvelles architectures parallèles et hybrides.

#### 1.1.2.6 - Logiciels applicatifs

Le développement des grands logiciels applicatifs d'une part par thématique scientifique (par exemple calcul de structure, mécanique des fluides, électromagnétisme ...) et d'autre part par secteurs applicatifs, en intégrant à côté des secteurs traditionnels, les nouveaux secteurs : santé, biologie, agriculture et agro-alimentaire, environnement et gestion des ressources naturelles, sciences humaines et sociales (SHS), transports et mobilité, systèmes urbains, etc.



La prise en compte de ces secteurs nécessite en particulier des travaux sur les points suivants : étude des systèmes hybrides (modèles mathématiques et données), techniques de réduction de modèles, couplage de modèles et modélisation multi-physique, contraintes HPC temps réel, optimisation et contrôle optimal de systèmes complexes.

### 1.1.3 - Marché et intérêt économique du HPC

Les deux principaux analystes compétents en HPC, Intersect360 et Hyperion Research, s'accordent sur les tendances du marché mondial<sup>[1],[2]</sup> : résilience au regard de la crise COVID et croissance soutenue, estimée entre 5% et 10% par an, pour un marché global annuel, calculateurs au sens large, de l'ordre de 36-38 milliards de dollars actuellement.

Le HPC en ce sens est un ensemble de technologies et de méthodes génériques sous-tendant la mise en place de solutions en simulation numérique et traitement massif de données de plus en plus hybrides et imbriquées. D'une part le spectre d'usages s'accroît en permanence, en terme de domaines (recherche scientifique, industrielle ; évaluation et prévention de risques naturels, industriels ; lutte contre les pandémies, le changement climatique) mais aussi en terme d'approches (p.ex. jumeaux numériques, modèles de substitution appris par IA – *surrogate models*). D'autre part les modes d'accès et de déploiement se diversifient et s'étagent en échelle : depuis les grands centres de calcul centralisés, jusqu'à du HPC en cloud et des usages plus distribués et en périphérie (edge, IoT), voire embarqués.

Le HPC est un concentrateur de technologies de pointe matérielles et logicielles d'intérêt stratégique, avec un écosystème français et européen dynamique. Il est à la croisée d'enjeux majeurs concernant les données, la cybersécurité ; c'est également un socle indispensable à la consolidation maîtrisée de l'intelligence artificielle, à l'essor du calcul quantique.

Au-delà des emplois et retombées directs via les fournisseurs de technologies et de solutions, le HPC démultiplie sa valeur en irriguant les usages pour plus de compétitivité scientifique et économique. Il est de plus indispensable de soutenir l'investissement HPC sur le long terme car les technologies informatiques sont rapidement obsolètes (cycle de 4 à 6 ans) et, la concurrence se reposant de plus en plus sur l'apport du HPC, il est nécessaire de disposer des meilleures machines pour rester compétitif.

[1] <https://www.hpcwire.com/2021/06/23/intersect360-report-hpc-market-rebounding-and-on-track-to-reach-60b-in-2025/>

[2] [https://hyperionresearch.com/wp-content/uploads/2021/11/Hyperion-Research-SC21-Market-Update-Briefing\\_Team.pdf](https://hyperionresearch.com/wp-content/uploads/2021/11/Hyperion-Research-SC21-Market-Update-Briefing_Team.pdf)



## 1.1.4 - Partenariats

Vu le caractère transverse de ces travaux, des collaborations devront être mise en place avec les porteurs de grands secteurs applicatifs et avec les offreurs de nouvelles technologies (réseaux, quantique).

### **EuroHPC :**

L'initiative européenne EuroHPC joue un rôle structurant fondamental dans le domaine du HPC/HPDA. Dans le cadre notamment d'initiatives européennes à monter tant au niveau des infrastructures que des développements technologiques et applicatifs, les projets devront se référer aux différentes actions et structures mises en place dans le cadre de cette initiative.

### **Teratec :**

Teratec est une association de loi 1901, dont l'objet est la maîtrise et la diffusion des technologies numériques HPC/HPDA. Pour cela, Teratec fédère la majorité des acteurs du secteur, offreurs de technologies, grands utilisateurs et centre de recherche et de formation.

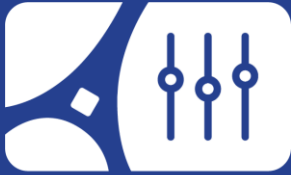
Teratec est étroitement associé aux grandes initiatives nationales et européennes, parmi celles-ci il convient de citer au niveau national les plans industriels nationaux, la mise en place de grands projets collaboratifs en partenariat avec Systematic, la promotion vers les PME/ETI avec le programme SiMSEO, programme où a été associé Systematic. Au niveau européen Teratec est très fortement impliqué dans l'initiative EuroHPC et participe activement aux centres d'excellence et aux futurs centres de compétences.

Teratec organise chaque année le Forum Teratec qui, en regroupant plus de 1300 participants, constitue l'une des grandes manifestations européennes dans le domaine du HPC/HPDA.

### **Genci :**

GENCI est une infrastructure de recherche sous forme de société civile, créée en 2007 par l'état pour implémenter la stratégie nationale en HPC, HPDA et IA en matière de moyens de calcul, stockage et traitement de données massives. GENCI offre un accès gratuit aux heures de calcul et au stockage par le biais d'une procédure biannuelle d'appel à projets, et sélection sur critère d'excellence scientifique. Cette procédure est ouverte aux chercheurs académiques et aux industriels avec publication des résultats. En 2020 plus de 2 milliards d'heures ont été mises à disposition par ce biais et 600 projets dans tous domaines ont bénéficié de l'allocation d'heures de calcul.

Pour les chercheurs en IA, GENCI a mis en place une procédure d'accès basée sur une appel à projets permanent (accès dynamique) qui leur permet, selon les mêmes modalités de publication que les appels à projets biannuels, d'avoir accès en quelques jours au supercalculateur Jean Zay à l'IDRIS.



## Digital Engineering

### Rédacteurs

*Anne Chambard – ESI Group*  
*Guillaume Colin de Verdière – CEA*  
*Jean-Philippe Nominé*  
*Alain Refloch - Onera*  
*Christian Saguez – Teratec*  
*Esther Slamitz – Systematic Paris Region*  
*Jean-Christophe Weill – CEA*

**Février 2022**