

## HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Date de la soutenance : **19 mars 2024**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur HERAULT Thomas**

Titre des travaux : « *Tolérance aux fautes dans les systèmes à haute performance* »

### Résumé



Les systèmes à haute performance, plus connus sous le nom anglais de systèmes HPC (High-Performance Computing), sont conçus pour résoudre des problèmes complexes et exigeants en termes de calcul à une vitesse bien supérieure à celle des ordinateurs ordinaires. Ils sont largement utilisés dans des domaines variés tels que la simulation scientifique, l'analyse de données massives, et le traitement de grandes bases de données. Par exemple, Frontier, le dernier système en date installé à Oak Ridge National Laboratory au Tennessee (USA), est le premier système au monde à atteindre officiellement plus de 1 exaflop ( $10^{18}$  opérations à virgule flottante en double précision par seconde). Il réunit 9 472 processeurs et 37 888 cartes graphiques, et consomme entre 18 et 21 mégawatts pour atteindre ces performances. Dans un tel système, les pannes ont une probabilité de survenir plus élevée que dans un ordinateur moyen. Plus précisément, le risque d'une panne par ordinateur est du même ordre de grandeur, mais le supercalculateur, accumulant un très grand nombre d'ordinateurs, présente un risque accru de panne.

Mes travaux portent sur la capacité à tolérer les pannes dans de tels systèmes. Contrairement à un calcul sur un simple ordinateur, on peut attendre d'un supercalculateur qu'il continue à effectuer ses calculs, et même qu'il réussisse à terminer les calculs qui lui sont soumis, bien que certains de ses composants soient sujets à des pannes. Pour cela, plusieurs techniques sont mises en œuvre. Après avoir fait un tour d'horizon des fautes dans les systèmes existants, je présente une grande variété de protocoles de tolérance aux fautes que j'ai aidé à mettre en œuvre dans les systèmes à haute performance. Je montre que la performance de ces protocoles dépend de quelques éléments critiques, et j'expose une variété de modèles mathématiques permettant d'optimiser l'utilisation de ces protocoles. Dans un second temps, je me concentre sur les techniques de tolérance aux fautes spécifiques à certaines applications. Je démontre que ces techniques ont une capacité de performance bien supérieure aux approches systématiques et j'étudie comment les mettre en œuvre, ainsi que leur utilisation pratique.

En parallèle de ces travaux, j'ai participé au développement et à l'étude de supports d'exécution basés sur les tâches. Les systèmes d'exécution basés sur les tâches permettent de programmer efficacement des applications complexes sur les systèmes de calcul à haute performance. Dans le mémoire, je reviens brièvement sur ces travaux pour introduire la tolérance aux fautes dans ces systèmes basés sur les tâches, et les nouvelles opportunités qu'ils offrent pour créer un environnement dynamique, capable de gérer les pannes de façon transparente et efficace.