

50 ans de calcul intensif pour la simulation numérique

Très tôt, dès ses origines, la DAM a eu recours à la simulation numérique pour mener à bien les études scientifiques et technologiques conduisant à la conception des armes nucléaires. Il fallait en effet préparer puis interpréter les expériences nucléaires, coûteuses et relativement peu nombreuses. La simulation numérique des armes nucléaires constitue un formidable défi. Le calcul doit prendre en compte des systèmes complexes, qui mettent en jeu de très nombreux phénomènes physiques très couplés et en dynamique rapide. On doit notamment décrire le couplage de la matière en mouvement avec des rayonnements de différentes natures. Les nombreux modèles physiques pertinents se traduisent par des équations mathématiques fortement non linéaires, dont la résolution numérique, à l'aide des méthodes d'approximation spécifiques, s'avère fort coûteuse.

En outre, les systèmes simulés dépendent d'une large gamme de paramètres géométriques et physiques. Le choix optimal de ces paramètres, à la charge des concepteurs d'armes, nécessite de très nombreuses simulations numériques qui se traduisent par des volumes de données hors du commun. Il en est de même pour la démarche de comparaison et de validation des calculs par rapport aux expériences.

C'est pourquoi la simulation numérique des armes nucléaires suppose des ressources informatiques très importantes : ordinateurs les plus puissants du moment, matériels pour le stockage, l'archivage et le dépouillement des données. Ces ressources permettent d'utiliser au mieux les logiciels de simulation numérique : codes de calcul proprement dit, mais également logiciels et interfaces applicatives pour la CAO, le maillage, la gestion des données, la visualisation, etc...

Le caractère exceptionnel des ressources nécessaires est caractéristique du calcul intensif, expérimenté dès les origines de la DAM.

Avec 50 ans de recul, un constat s'impose : l'extraordinaire évolution de la simulation numérique à la DAM. Cette évolution a résulté de trois facteurs de progrès : les ordinateurs, les modèles physiques et les méthodes mathématiques, les codes et les logiciels. La puissance de calcul passe de quelques milliers d'opérations flottantes par secondes (Kflop/s) à des dizaines-centaines de Teraflops (mille milliards d'opérations par seconde) et le Petaflops (encore un facteur mille) est à portée de main. Les capacités en mémoire des ordinateurs, les capacités de stockage des résultats ont augmenté dans des proportions comparables. Les modèles de programmation, séquentiels puis vectoriels et aujourd'hui parallèles, apportent également des gains importants.

Ces progrès dans les matériels ont permis et suscité de grandes améliorations des modèles et des données physiques associées, mais également des couplages entre ces modèles physiques.

Simultanément, les méthodes mathématiques et numériques utilisées pour résoudre les équations des modèles physiques ont beaucoup progressé. On peut citer les méthodes pour les équations de la dynamique des gaz, de la diffusion et du transport, les couplages associés. Enfin, les méthodes de l'informatique scientifique et du génie logiciel, associées aux progrès des langages informatiques ont permis d'améliorer grandement le développement des codes et logiciels. Il passe ainsi d'un stade artisanal à un stade industriel organisé en grands projets, avec des plateformes de développement intégrant tous les aspects du cycle de vie. Il débouche ainsi sur des « chaînes de calcul » associées aux logiciels applicatifs (CAO, maillage, visualisation ...) du « bureau » de l'ingénieur-chercheur. On peut alors parler de « simulateur des armes ».

En 50 ans, la simulation numérique a progressé dans tous les domaines et des calculs jadis héroïques deviennent courants. Les codes et logiciels de la DAM permettent aujourd'hui de garantir les armes nucléaires en l'absence d'essai.

Les progrès des matériels, des technologies et des méthodes ont été de pair. Ils n'auraient pas été possibles sans des équipes d'ingénieurs et de chercheurs, mettant en commun leurs compétences et leurs expériences dans les domaines de la physique, des mathématiques, de l'informatique.