

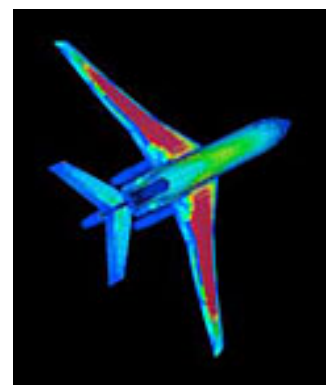
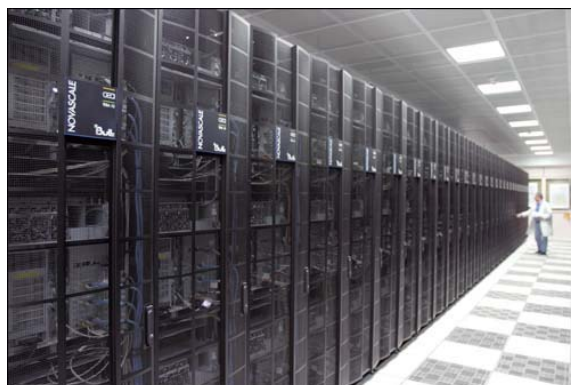
JSO : Journée Scientifique ONERA

Nouvelles Frontières pour la Simulation des Écoulements : Algorithmes et Processeurs

9 octobre 2009 – ONERA – Centre de Châtillon



RÉSUMÉS



Courtesy of CEA, Cerfacs, Dassault Aviation

Comité d'organisation : T.-H. Lê, J.-M. Le Gouez, A. Refloch

Michel Deville (EPFL)
Les éléments spectraux : une méthode pour le petaflop

La méthode des éléments spectraux du type Lagrange Legendre est appliquée aux équations de Navier-Stokes pour les fluides incompressibles. La méthode de discrétisation spatiale est décrite en vue d'effectuer du calcul parallèle sur de très grands ordinateurs comprenant plusieurs (dizaines de) milliers de processeurs. L'intégration temporelle utilise un algorithme semi-implicite du second ordre. Tous les systèmes linéaires sont résolus de manière itérative et sont préconditionnés en vue d'une convergence rapide. Le calcul de la pression est détaillé.

Les applications concernent la simulation numérique directe ou la simulation des grandes échelles. Le logiciel est écrit dans le cadre de la programmation par objets. On s'intéressera aux performances obtenues sur un BlueGene/P à 8092 processeurs. On montrera l'excellente scalabilité de la méthode. Un exemple de calcul traitera l'écoulement uniforme incident sur un cylindre horizontal maintenu entre deux parois verticales parallèles.

Jean-Philippe Laval (Univ. Lille 1)
DNS et LES de turbulence de paroi soumis à un gradient de pression

Une DNS de canal convergent-divergent incompressible a été réalisée dans le cadre de 2 projets DEISA (Distributed European Infrastructure for Supercomputing Applications). Cette simulation a été réalisée avec un code développé au Laboratoire de Mécanique de Lille et qui permet de traiter des écoulements de ce type tout en conservant les performances d'une résolution des équations sur un domaine cartésien. Le principe de l'algorithme de résolution ainsi que les performances du code en parallèle seront présentées sur plusieurs types d'architectures (vectoriel et scalaire). Dans un deuxième temps, les résultats du post-traitement des données de la DNS seront analysés et comparés aux résultats de plusieurs LES du même écoulement utilisant deux types de modèles sous-maille et plusieurs niveaux de raffinement de maillage. Pour conclure, nous évoquerons les perspectives d'évolution du code pour tirer partie au mieux des futures architectures massivement parallèles.

Damien Tromeur-Dervout (Univ. Lyon 1)
Contraintes des architectures de calcul : une opportunité pour développer les méthodes numériques

Les contraintes des architectures de calcul offrent de réelles opportunités pour repenser les méthodes numériques [1-7]. Notamment les calculateurs distribués distants (metacomputing) exhibent de manière exacerbée les contraintes dues à la hiérarchie des réseaux de communication dans les machines de calcul modernes. Les bandes passantes et les temps de latence varient souvent d'un à deux ordres de grandeur selon qu'elles sont mesurées au sein d'un super ordinateur ou entre super ordinateurs. Nous relaterons quelques développements de méthodes de décomposition de domaine [1] pour résoudre des problèmes elliptiques dans un cadre de calculs distribués distants à grande échelle [2] et leur extension aux problèmes non séparables [3] et dans le domaine de la décomposition en temps [8].

Références :

[1] [On some Aitken-like acceleration of the Schwarz method](#), M. Garbey and D. Tromeur-Dervout, Internat. J. Numer. Methods Fluids, 40(12):1493--1513, 2002

[2] [Efficient meta-computing of Elliptic linear and non linear problems](#), N. Barberou, M. Garbey, M. Hess, M. Resch, T. Rossi, J. Toivanen, and D. Tromeur-Dervout, J. of Parallel and Distributed Computing(63(5)):564--577, 2003

[3] [Meshfree Adaptive Aitken-Schwarz Domain Decomposition with application on Darcy flow](#), D. Tromeur-Dervout, Computational Science Engineering and Technology Series Parallel Distributed and Grid Computing for Engineering B.H.V. Topping and P. Ivanyi editors Saxe-Coburg Publications, 21:217--250, 2009

[4] [A parallel adaptive coupling algorithm for systems of differential equations](#), M. Garbey and D. Tromeur-Dervout, J. Comput. Phys., 161(2):401--427, 2000

[5] [Choice of initial guess in iterative solution of series of systems arising in fluid flow simulations](#), D. Tromeur-Dervout and Y. Vassilevski, J. Comput. Phys., 219(1):210--227, 2006

- [6] [Fully implicit solution of nonlinear PDEs using POD basis on metacomputing architecture](#), D. Tromeur-Dervout and Y. Vassilevski, *Advances in Engineering Software*, 38(5):301--311, 2007.
- [7] Aitken-Schwarz and Schur complement methods for time domain decomposition
P. Linel and D. Tromeur-Dervout, submitted.

Lionel Larchevêque (Univ. Marseille 1)

Étude par simulation des grandes échelles des aspects instationnaire et tridimensionnel d'une interaction onde de choc/couche limite

L'étude présentée a pour objectif de caractériser par simulation des grandes échelles les vastes modulations transverses observées expérimentalement au sein de décollements de couche limite induits par l'impact d'un choc. Il est tiré parti de la flexibilité de l'outil numérique quant à la définition des conditions aux limites pour quantifier l'influence des parois latérales de la veine d'essai sur la structuration tridimensionnelle de la région décollée. Les écoulements étudiés, présentant une très large gamme d'échelles tant spatiales que temporelles (turbulence de couche limite, modulation du décollement, battement de choc), imposent d'effectuer des LES de grandes dimensions à temps d'intégration important. Certaines des contraintes liées à la réalisation de ce type de calculs sur architecture parallèle seront brièvement discutées avant que des résultats préliminaires sur la nature des structururations transverses du décollement soient présentées.

Pause

Sébastien Deck (ONERA)

Modélisations et simulations avancées en aérodynamique appliquée

La qualité des outils numériques de prévision de l'aérodynamique est un facteur déterminant pour la conception des avions futurs. La résolution des équations de Navier-Stokes moyennées (dites RANS) reste l'approche la plus usitée pour traiter les écoulements autour des avions. Toutefois, dans certaines applications (acoustique, chargement dynamique), la connaissance du champ fluctuant est requise. Les écoulements impliqués dans ces applications présentent des décollements dont la nature est intrinsèquement tridimensionnelle et instationnaire. La simulation des grandes échelles (LES) permet d'avoir une bonne approximation du champ fluctuant. Malheureusement son coût se révèle particulièrement prohibitif à l'approche des parois où les échelles de la turbulence que l'on a besoin de simuler sont très fines. Pour limiter les coûts de calculs, de nouvelles approches dites hybride combinent au sein d'une même simulation les méthodes RANS et LES. Outre la question de la modélisation de la turbulence, les besoins en calcul pour traiter les applications est considéré. Le problème de validation des calculs et des comparaisons des post traitements de données instationnaires dont la durée diffère fortement entre l'expérience et le calcul est également abordé.

Thierry Poinot (IMFT- CERFACS)

Simulations aux grandes échelles d'écoulements turbulents sur machines massivement parallèles

Cette présentation décrira des applications de simulations aux grandes échelles dans des moteurs de turbine à gaz: on discutera les aspects parallélisation en particulier sur des machines massivement parallèles (500 à 12000 processeurs). Les applications seront avant tout, des cas instationnaires et couvriront des domaines allant de la combustion dans la chambre (et de ses instabilités) à l'écoulement dans les parties tournantes. Les calculs effectués sont faits avec le code AVBP du CERFACS et le code elsA de l'ONERA.

Bernard Courbet (ONERA)

Avancée de la chaîne CEDRE pour les simulations multi-physiques haute performance

Les applications industrielles et de recherche dans le domaine de l'énergétique et de la propulsion sont exigeantes de plusieurs points de vue :

- niveau de modélisation physique élevé : milieu fluide très général (multiespèces, réactif, lois d'état quelconques ...), transport d'une phase dispersée (approche lagrangienne ou eulérienne), conduction thermique dans les solides, rayonnement ...

- contraintes fortes sur les méthodes numériques : coexistence d'échelles spatiales et temporelles très diverses, demande de précision accrue (LES) etc.
- nombreuses fonctionnalités générales : maillage mobiles, topologies évolutives (adaptation, maillages chevauchants) ...

Ces contraintes doivent être compatible avec les architectures informatiques actuelles des utilisateurs et avec les évolutions prévisibles vers le parallélisme massif.

L'exposé montrera quelques uns des choix faits depuis l'origine du projet en matière de méthodes et d'architecture logicielle et les évolutions en cours, ainsi que plusieurs résultats de simulation.

Jean Favre (CSCS)

ParaView : La visualisation parallèle pour les problèmes de dynamique des fluides

Le logiciel open-source de visualisation ParaView est présente comme une solution capable de gérer des volumes de données issus des simulations téra-scale, et qui dépassent donc les limites de la station de travail graphique. Les grands maillages issus des simulation DNS, les multi-blocks, ou bien même les maillages de type AMR sont gérés en mode distribue parallèle, depuis la lecture des fichiers, a l'extraction des données, et au rendu graphique. En outre, l'architecture est basée sur un partage strict de l'exécution entre le serveur parallèle et l'application client d'interaction à l'écran qui devient alors optionnelle. Cela permet de lancer ParaView en batch, sur un gros calculateur. Nous décrirons ces aspects, et les différentes possibilités de personnalisation (software plugins) sur des cas concrets en dynamique des fluides.

12.15

Déjeuner

Pierre Leca (CEA)
Compétition internationale et enjeux du calcul intensif

Un secteur stratégique pour plusieurs pays

Le calcul intensif est considéré comme un secteur capital voire stratégique par plusieurs pays qui conduisent des politiques à long terme pour en développer la maîtrise.

En tout premier lieu c'est le cas des Etats-Unis, leader mondial avec plus de 60% de la puissance mondiale installée. Reconnu comme un des 3 domaines prioritaires de la recherche, il fait l'objet d'une **loi** depuis 1991 (le « *High Performance Computing Act* ») qui en organise l'effort. Le budget fédéral consacré à ce domaine (sans compter le programme NNSA) s'élève au minimum à **1,3 G\$ / an**.

Par ordre d'importance le second acteur est le Japon qui a depuis longtemps mobilisé ses forces avec pour résultat majeur la mise en service dès 2002 de l'*Earth Simulator*, un ordinateur de 40 Tflops pour les sciences de la terre et de l'environnement. En 2006 le Japon s'est fixé un nouveau défi en annonçant le programme *Kei-soku*, doté de **820 M€**, qui marque son entrée dans la course au Petaflops avec un projet de ordinateur de 10 Pflops disponible en 2011.

Un nouveau venu a rejoint ce club, la Chine, qui dans le cadre du programme 863 a misé depuis de nombreuses années sur le secteur des technologies de l'information. Ainsi en 2004 la puissance de calcul installée a dépassé celle de la France, et la Chine a pu annoncer en juillet 2005 la mise en place d'un programme, confié au constructeur LENOVO, de réalisation d'un ordinateur d'une puissance de 1 Pflops dans le cadre du 11^{ème} plan quinquennal.

Participer à la course ou mourir

Les avancées de la simulation et du traitement de l'information promises par les ordinateurs de grande puissance ne pourront être obtenues qu'au prix d'une *maîtrise de la complexité* : complexité de la modélisation, complexité des méthodes mathématiques et algorithmiques, complexité de l'informatique, des techniques de validation et de production du logiciel. Ce qui fera demain les leaders du domaine, c'est une approche intégrée et c'est le véritable défi auquel les communautés du calcul, de la simulation et plus généralement du traitement et de la mise en forme de l'information sont aujourd'hui confrontées.

Ce travail qui devra se fédérer autour des grands équipements de calcul exige la collaboration d'ingénieurs et de chercheurs spécialistes de la modélisation, des mathématiques, du génie logiciel et des architectures informatiques. Le domaine du calcul intensif est en effet à la croisée de plusieurs disciplines, un domaine où l'existence et l'accroissement d'une base industrielle et technique sont fondamentaux pour en anticiper les évolutions. Avec l'installation du ordinateur TERA10 le CEA/DAM a démontré que son Programme *Simulation* a permis d'enclencher un cycle vertueux impliquant recherche, développement, innovation et objectifs industriels. A l'instar des USA, de la Chine ou du Japon, il existe en France les éléments pour relever les nouveaux défis du calcul intensif.

Bibliographie

Enquête sur les frontières de la simulation numérique – Rapport de l'Académie des Technologies, Mai 2005

Kei-Soku : le plan japonais 2006-2012 pour le développement d'un nouveau superordinateur - Note de synthèse de l'Ambassade de France au Japon, Janvier 2006

Le calcul à haute performance aux Etats-Unis - Revue « Science et Technologies de l'Information et de la Communication » - Ambassade de France aux Etats-Unis, Février 2006

Science in an exponential world – A. Szalay et J. Gray – Nature Vol. 440, March 2006

A two-way street to science's future – I. Foster – Nature Vol. 440, March 2006

Leadership Under Challenge: Information Technology R&D in a Competitive World – “President's Council of Advisors on Science and Technology” Report, March 2007

Petascale Computational Systems – G. Bell, J. Gray et A. Szalay – Computer, January 2006

Web Search for a planet : the Google Cluster Architecture – L. A. Barroso, J. Dean et U. Hözle – IEEE Micro, March-April 2003

Architecting the Platform of the Future – [Technology@Intel](#) Magazine, February 2006

Charles Hirsch (NUMECA)
Les défis de la CFD industrielle de haute fidélité

Le développement du calcul intensif de haute performance permet la prise en considération de configurations géométriques de complexité croissante et proche de la réalité, ainsi que la prise en compte de phénomènes multi-physiques, tels que le couplage fluide-thermique; l'interaction fluide-structure ou l'aéro-acoustique. Ceci sera illustré par plusieurs exemples dans le domaine de la propulsion et de l'énergétique, centrés sur les écoulements dans les machines tournantes et l'aérodynamique externe.

Dans le cycle de prototypage virtuel, centré sur la CFD, au coeur de tout système de CAE industrielle, la génération de maillage reste un élément crucial, ainsi que la capacité de fournir des solutions rapides, par processeur, pour des simulations stationnaires et instationnaires. Un aperçu de certains progrès récents sera présenté sur ces deux composantes.

Une conséquence importante du développement des moyens de calcul et son utilisation en optimisation, est l'accroissement du risque associé à la prise de décision par la simulation. Afin de réduire ces risques, il est nécessaire de prendre en compte les incertitudes opérationnelles, géométriques et autres conduisant au développement de méthodes non-déterministes.

Philippe Geuzaine (CENAERO)
Simulations et optimisations pluridisciplinaires industrielles sur machines parallèles

Cette présentation décrira les techniques de simulation qui sont développées et mises en œuvre à Cenaero pour résoudre différents problèmes de l'industrie aéronautique et qui nécessitent une infrastructure de calcul parallèle. Plus spécifiquement, on abordera la simulation instationnaire d'écoulements turbulents au moyen de techniques de simulation des gros tourbillons, la résolution de problèmes aéro-thermiques ainsi que l'optimisation de moteurs d'avion avec la prise en compte d'effets aérodynamiques et mécaniques. Ces calculs et optimisations sont effectués avec les logiciels Argo et Minamo de Cenaero et le logiciel elsA de l'Onera.

Michel Gazaix (ONERA)
Avancées du logiciel elsA pour le calcul haute performance

Le logiciel elsA est aujourd'hui largement utilisé par l'ONERA et ses partenaires (industriels et Établissements de recherche) pour la résolution numérique des équations de Navier-Stokes compressibles, sur des maillages multiblocs structurés.

La complexité croissante des phénomènes physiques modélisés, la prise en compte de géométries de plus en plus réalistes, ainsi que le couplage multiphysique (aérodynamique, aéroélasticité, aérothermique) demandent des capacités de calcul de plus en plus importantes.

Cette présentation décrira les travaux récents réalisés pour optimiser l'utilisation du logiciel elsA sur les ordinateurs massivement parallèles (jusqu'à 8000 coeurs).

15.25

Pause

Michel Mallet (Dassault-Aviation)
Calcul haute performance pour la conception aérodynamique

Des processus de simulation numérique efficaces et fiables sont essentiels pour la conception d'avions futurs innovants et compétitifs. Des efforts continus ont permis des progrès considérables et nous permettent de disposer de nouveaux outils. La présentation illustrera quelques points essentiels sur les sujets suivants en considérant en particulier les problèmes liés à l'implémentation sur les architectures massivement parallèles.

Optimisation automatique de forme

Les processus d'optimisation automatique permettent de réduire considérablement le temps de conception d'une forme paramétrée. On illustrera le potentiel des nouveaux outils pour la conception des voilures transsoniques.

Modèles aérodynamiques pour l'aéroélasticité

Les études de stabilité aéroélastique s'appuient sur des méthodes basées sur une approche fréquentielle et sur la linéarisation des équations d'Euler et de Navier-Stokes. Les exemples incluront des écoulements transsoniques et des configurations militaires.

Méthodes DES pour les écoulements complexes et les charges

L'approche DES permet de calculer les écoulements turbulents présentant des zones de recirculations

importantes. Les résultats peuvent servir de données d'entrée pour la conception structurale en vibration et en fatigue. Des exemples d'application incluent l'étude des entrées d'air compactes discrètes, des soutes ou des aérofreins.

Aéroacoustique

On présentera des exemples de prise en compte des effets d'installation sur la signature acoustique des avions.

Éric Seinturier(Turbomeca)

Les enjeux en simulation pour le développement de moteurs aéronautiques plus verts

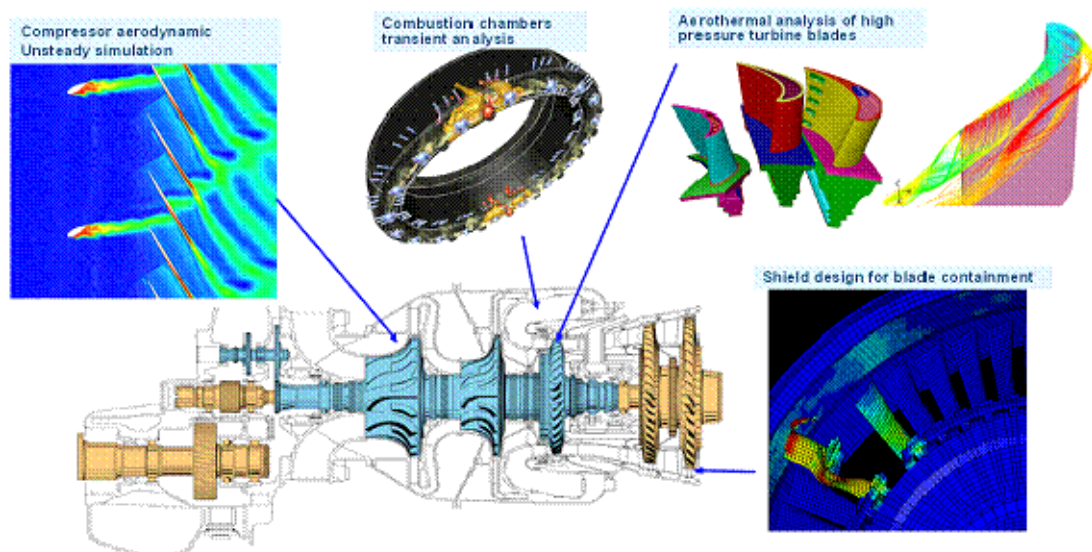
Depuis de nombreuses années, la simulation numérique est un moyen incontournable pour améliorer les performances des aéronefs. Aujourd'hui, les axes de recherche en aéronautique sont résolument tournés vers la limitation de l'empreinte environnementale du trafic aérien. Les objectifs fixés par la commission Européenne via les recommandations de l'ACARE (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe) sont très ambitieux, et à court terme ce qui demande aux industriels du secteur des améliorations rapides de leurs produits.

La simulation se place comme un moyen incontournable pour prospecter le champ du possible à coût objectif, c'est-à-dire en limitant le nombre d'essais physique, dans les délais impartis. Quelques applications sont proposées dans cette présentation autour des trois axes de progrès en performance des turbomoteurs pour hélicoptères :

- Améliorer la consommation par des cycles thermodynamiques plus efficaces, c'est-à-dire plus poussés en pression.
- Maîtriser les masses en minimisant la taille des machines, donc leur débit d'air. La même puissance doit donc être réalisée par des températures d'entrée turbine plus élevées.
- Optimiser les chambres de combustion pour permettre des combustions pauvres, moins polluantes tout en maîtrisant l'opérabilité du moteur.

Ces améliorations conduisent à sortir des limites des domaines de conception habituels. La simulation permet d'évaluer les risques et de trouver des solutions technologiques adaptées comme illustré dans les 5 exemples suivants :

- Analyses compresseur prenant en compte le compresseur dans son ensemble (gros modèle), avec des effets locaux (multiéchelle), une physique de la turbulence complexe et en instationnaire.
- Simulation aérothermique turbine, prenant en compte la veine d'air principale et le système d'air secondaire, et couplant convection, conduction et analyse mécanique.
- Calcul des chambres de combustion à faible niveau de pollution couplant aérodynamique et thermochimie en condition transitoire.
- Maîtrise des masses par la simulation en dynamique rapide avec un code explicite de l'événement de blade shedding d'une turbine libre.



David Monfort (EDF)

Le calcul haute performance au service du logiciel libre *Code_Saturne*

Dans le domaine de l'énergie, la simulation numérique des écoulements est devenue un outil essentiel pour s'assurer de la performance et de la fiabilité des installations, de l'optimisation de la production. *Code_Saturne* est le logiciel libre de mécanique des fluides généraliste de dernière génération issu de l'expérience d'EDF en matière de CFD. Le code est utilisé de manière régulière – notamment pour les études nucléaires – sur des calculateurs de 128 à 4096 cœurs, et montre de bonnes performances parallèles jusqu'à 32 000 cœurs, pour des maillages allant de 500 000 à 100 millions de cellules. Commencés en 2001, les développements concernant la parallélisation du code se sont poursuivis afin de s'adapter aux dernières technologies, en particulier pour les calculateurs massivement parallèles. Nous présenterons les efforts réalisés afin d'adapter l'environnement de *Code_Saturne* pour profiter des performances des calculateurs HPC, ainsi que des perspectives de développement futur. Nous illustrerons ensuite l'apport du HPC par l'exemple d'une simulation d'écoulement instationnaire dans les sous-canaux autour d'un crayon combustible, permettant d'en déduire le spectre d'excitation turbulente et de proposer un modèle linéaire de vibration du crayon.

Roland Masson (IFP)

Application du calcul haute performance et de la simulation numérique à l'IFP

Dans le domaine de la simulation des écoulements, les deux principales familles de modèles développées à l'IFP concernent la combustion moteur et les écoulements en milieux poreux.

L'exposé focalisera sur le second domaine qui couvrent à l'IFP le stockage géologique du CO₂ dans les aquifères salins ou les réservoirs déplétés, la modélisation des bassins en exploration pétrolière et la simulation de réservoirs pour l'exploitation pétrolière. Ces trois applications diffèrent par les échelles de temps et d'espace, les moteurs principaux de l'écoulement, les couplages, mais reposent sur un modèle mathématique commun décrivant l'écoulement darcéen polyphasique compositionnel en milieux poreux.

On discutera de la discrétisation de ces modèles par des méthodes implicites ou semi-implicite en temps et volumes finis centrés en espace sur maillages non structurés et non coïncidents. Le principal goulot d'étranglement de ces simulations pour le HPC porte sur la résolution à chaque pas de temps et à chaque itération de type Newton d'un système linéaire couplant des inconnues elliptiques et hyperboliques mal conditionné. On présentera l'état de l'art et les perspectives dans ce domaine pour s'adapter aux nouvelles architectures massivement parallèles. Un second goulot d'étranglement dans le développement de ces logiciels porte sur la gestion de la complexité croissante des applications en termes physique, numérique et informatique. Une nouvelle génération de codes est en cours de développement à l'IFP afin de mieux maîtriser cette complexité. Elle s'appuie sur la plateforme Arcane dans le cadre d'une collaboration entre le CEA-DAM et l'IFP. On présentera brièvement ce projet en cours.