

**Académie des technologies**

*Pour un progrès raisonné, choisi et partagé*

**RAPPORT**  
**du groupe de travail « Simulation »**

**Enquête sur les frontières  
de la simulation numérique**

*La situation en France et dans le Monde*

**DIAGNOSTICS ET PROPOSITIONS**

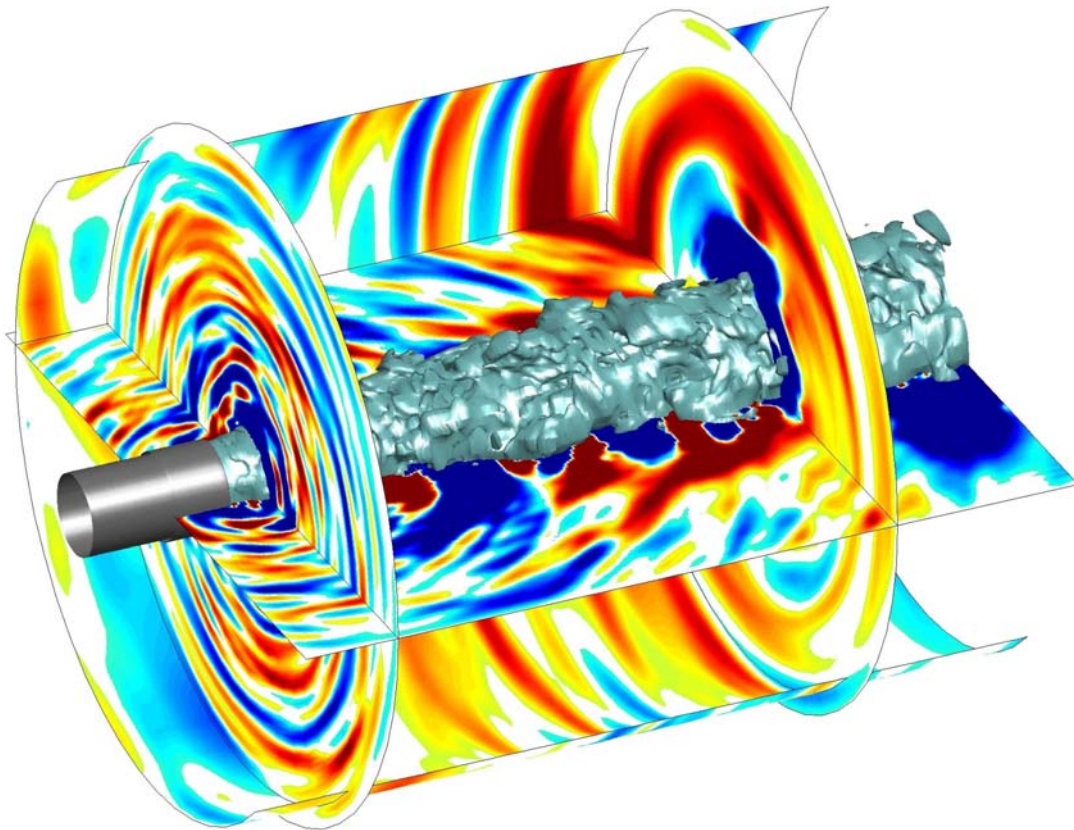
**Mai 2005**

# Enquête sur les frontières de la simulation numérique

La situation en France et dans le Monde

## DIAGNOSTICS ET PROPOSITIONS

Mai 2005



Rayonnement acoustique d'un jet libre turbulent, LMFA, CNRS, Ecole Centrale de Lyon

Ce rapport a été établi par le groupe restreint des membres suivants de l'Académie des technologies :

Jean-Claude ANDRE  
Yves BAMBERGER  
Sébastien CANDEL  
Paul CASEAU

Alain PECKER  
André PINEAU  
Pierre PERRIER  
Christian SAGUEZ

Le groupe a tenu régulièrement une réunion mensuelle depuis le 7 juin 2002, date de début de ses travaux. A cette réunion mensuelle ont participé d'autres membres de l'Académie des Technologies. Une part importante des travaux a été consacrée à l'audition d'acteurs actifs du monde de la Recherche publique et industrielle. La liste étendue ci-dessous fait apparaître, en plus des membres du groupe restreint, celui des académiciens et des personnes entendues.

Jean-Claude ANDRE (\*)  
*Bruno ARNALDI*  
*Alain BAMBERGER*  
Yves BAMBERGER  
*Pascale BRACONNOT*  
*Isabelle BRAUD*  
Huy Duong BUI  
*Georges CAILLETAUD*  
Sébastien CANDEL  
Jacques CARUEL  
Paul CASEAU  
*Jean-Loup CHENOT*  
Geneviève COMTE BELLOT  
*Michel COSNARD*  
*Anne DOUCET*  
Robert DAUTRAY  
Bruno DUBOST  
Olivier FAUGERAS  
*Marie-Alice FOUJOLS*  
*Alain GALLI*  
Henri GAYE  
Paul GERMAIN  
Jean GOYET  
*Bruno LABOUDIGUE*  
Lucien LAUBIER  
*Dominique LAVENIER*

*Richard LAVERY*  
Jean-Baptiste LEBLOND  
*Pierre LECA*  
Jacques LENFANT  
*Yvon MADAY*  
Jean Pierre MAREC  
*Georges MARTIN*  
Michel NEUVE EGLISE  
Alain PECKER  
Pierre PERRIER  
André PINEAU  
*M. POINSOT*  
*François RECHENMANN*  
*Michel ROBERT*  
*Gérard ROUCAIROL*  
Christian SAGUEZ  
*Claudine SCHMIDT LAINE*  
Georges SLODZIAN  
Jacques STERN  
Bruno SUDRET  
Bernard TARDIEU  
*Jacques VARET*  
*Daniel VERWAERDE*  
*Denis VEYNANTE*  
André ZAOUI

(\*) En caractères normaux figurent les noms des membres de l'Académie des Technologies.

De façon à élargir le travail d'enquête, un questionnaire a été établi et distribué à une vingtaine d'organismes. Ce questionnaire et la liste des organismes et sociétés approchées figurent à l'annexe II. Une quinzaine de personnes ont répondu :

P. BAHUREL  
P. BRACONNOT  
G. CAILLETAUD  
R. CARILLO  
M. COURTIER  
B. DUBOST  
E. GONDET  
C. JABLON  
T. N'KAOUA

B. LABOUDIGUE  
J.Y. LENOIR  
E. LORENTZ  
G. MARTIN  
T. POINSOT  
G. ROUSSELIER  
J. H. SCHMITT  
J. VARET

Un colloque a été tenu le 2 décembre 2004 afin de faire la synthèse des travaux en cours. Ont participé à ce colloque une vingtaine de personnes. La liste des organismes de recherche et des entreprises industrielles figure ci-dessous avec le nom de leurs représentants :

RENAULT  
SNECMA  
IFP  
SCHLUMBERGER  
PECHINEY  
AIRBUS  
MÉTÉO FRANCE  
CEA  
MERCATOR-OCEAN  
EDF  
CNRS

J. M. CREPEL  
C. MARI  
B. BRAUSCHWEIG  
G. MATHIEU  
B. LABOUDIGUE  
E. CHAPUT  
J-P. BOURDETTE  
T. N'KAOUA  
E. GONDET  
S. ANDRIEUX  
M. A. FOUJOLS

Les auteurs de ce rapport tiennent à remercier l'ensemble des personnes qui, par leur présence aux réunions mensuelles, leurs réponses au questionnaire et leur participation au séminaire du 2 décembre 2004 ont largement contribué à la réalisation de cette enquête.

## SOMMAIRE

Chapitre I : Introduction .....	4
Chapitre II : La France et le reste du Monde : état des lieux .....	7
Chapitre III : Les Acteurs opérationnels face aux progrès de la Simulation .....	17
Chapitre IV : Les Acteurs de la Recherche face aux progrès de la Simulation .....	22
Résumé des trois premiers chapitres: un diagnostic .....	27
Chapitre V : Faiblesses et Freins culturels .....	29
Chapitre VI : Financement et Gouvernance .....	37
Chapitre VII : Conclusions et Recommandations .....	42
Annexe I : Glossaire .....	54
Annexe II : Questionnaire et Séminaire .....	50

## Chapitre I - Introduction

---

"Nous avons atteint aujourd'hui une étape dans la croissance des performances où beaucoup de problèmes cruciaux pour les applications deviennent modélisables.

... On peut tester directement la validité des modèles en les comparant à des expériences, car la complexité des deux approches (le nombre de dimensions prises en compte) est devenue la même.

.. Parallèlement, l'idée qu'on ne peut plus créer de produit industriel complexe sans disposer d'un modèle de comportement est maintenant acceptée par toutes les industries, dans les limites de coût et de qualité des modèles sur ordinateurs."

---

Publié en 1992, le rapport du CADAS sur "Le calcul scientifique" proposait dans son introduction les trois phrases que nous venons de citer, que l'on pouvait considérer à la fois comme un "manifeste" et comme un pari sur l'avenir. Douze années plus tard, nous pouvons affirmer que le pari a été gagné. Mais nous pouvons également distinguer, plus clairement peut-être que ce n'était possible en 1992, que le message global portait sur deux questions différentes, bien que complémentaires. Et qu'il abordait deux aspects de la simulation numérique qui ont connu des évolutions divergentes au cours des dernières années.

La dernière des phrases que nous avons citées évoque *l'usage courant de la simulation*. Elle concerne essentiellement l'industrie et les applications opérationnelles, mais des observations équivalentes sont faites ailleurs à propos de l'activité de recherche. Elle s'intéresse à ce qu'on pourrait appeler la présence diffuse, permanente, de la simulation au sein de l'activité scientifique et technique. Cette présence s'est affirmée partout, comme le rapport le prévoyait. Les réponses au questionnaire que l'Académie a envoyé, qui seront commentées aux chapitres III et IV de ce rapport, le montrent clairement (voir Annexe II). Industrie et Recherche ont su tirer parti de la révolution dont le rapport de 1992 constatait déjà le succès.

Dans un premier temps et avec des outils mathématiques encore insuffisants, chaque secteur spécialisé des grandes entreprises ou des organismes de recherche publics a développé des outils de simulation en mécanique et physique (fluides, solides, matériaux, gestion et analyse de données, assimilation de données ...) qui ont rapidement constitué des références. La France a eu une place honorable dans la compétition internationale, moins peut-être par la réalisation de calculs extrêmes que par la qualité des applications, en relation avec sa grande école d'analyse numérique (et une certaine aptitude à mettre en œuvre des logiciels).

Toutefois, au début des années 90, beaucoup de secteurs restaient encore hésitants à faire confiance aux retombées positives des simulations. On doit d'ailleurs reconnaître qu'il y avait eu quelques déceptions devant la faible qualité de beaucoup des résultats obtenus, face à des problèmes qui étaient posés dans toute la complexité du réel. Le succès croissant de la résolution des problèmes linéaires, puis non linéaires, avait masqué la difficulté à appréhender le réel lorsqu'il exigeait des approches multiéchelles, ou encore le mélange d'approches probabilistes très consommatrices de ressources de calcul. *Ces déconvenues avaient valeur d'avertissement* : elles montraient que le succès de la simulation peut être trompeur s'il n'est pas soutenu par un effort de recherche plus global. Ce succès repose donc, nécessairement, sur *un travail de défrichage qui se produit "aux frontières"*.

Ces frontières de la simulation ne sont pas définies de façon arbitraire. Ce sont des frontières de complexité. La simulation a pénétré des territoires nouveaux comme, par exemple, la Biologie

Moléculaire. Elle se voit poser des questions qui portent sur des ensembles planétaires, comme c'est le cas pour l'évolution du climat. Et, dans l'étude de la matière (et des matériaux), elle aborde des échelles de plus en plus petites, de façon à s'affranchir progressivement des "modèles de comportement", trop empiriques et trop globaux. Elle doit également surmonter les défis posés par les transitions d'échelles. La "nouvelle simulation", qui est en train de naître, ambitionne de prendre en compte toute la complexité du réel. Ce qui la conduit d'une part à étendre la taille des problèmes qu'elle doit résoudre et, d'autre part, à multiplier les études de cas et à mettre en œuvre des balayages systématiques de paramètres ou de données aléatoires.

C'est donc, au sein de l'activité de simulation, à cette "pointe de la pyramide"<sup>1</sup>, que ce *rapport est consacré*. Elle est absolument nécessaire pour que le reste, pour que la base de la pyramide, vive et se développe. Car les modèles qui seront d'usage courant en 2010 sont bien ceux que l'on expérimente aujourd'hui. Il ne suffit pas de vérifier que notre pays, aujourd'hui, tire parti de ce qu'apporte la simulation numérique, il faut se demander ce que sera sa position dans dix ans. Et cela, nous pouvons le savoir en examinant la situation faite à la pointe de la pyramide, c'est-à-dire aux "simulations-frontières".

Trois chapitres de ce rapport sont consacrés à faire l'état des lieux et à comparer la situation française à celle de ses grands voisins et compétiteurs. Cet état des lieux est loin d'être satisfaisant, comme on le voit dès le chapitre II, qui commence par une analyse de la place qu'occupent les centres français dans le TOP 500 (qui est la liste des 500 installations les plus puissantes dans le monde).

Ecartons tout de suite une objection qui reposerait sur un malentendu. Le but de toute simulation, même s'il s'agit d'une simulation-frontière, est de traiter un problème et non pas de faire installer de grands ordinateurs. Le classement du TOP 500 n'est donc pas un objectif, mais un indicateur. Le nombre de camions de gros tonnage en circulation sur les autoroutes ne définit pas la richesse d'un pays. Néanmoins, une forte décroissance de ce nombre, relativement aux autres pays avancés, est un signe économique que l'on se doit d'analyser. Il en est de même pour le TOP 500 : le décalage qu'il indique est suffisamment marqué pour que cet indicateur ne soit pas récusé.

On retrouvera les mêmes constatations au chapitre II, qui donne des exemples du retard français, et aux chapitres III et IV, qui présentent les résultats d'un questionnaire envoyé aux industriels et aux centres de recherche. A partir de l'état des lieux et des pistes que donnent les réponses au questionnaire, il devient possible de proposer une explication pour le retard constaté et donc de suggérer des remèdes. Cette explication (que l'on esquisse aux chapitres III et IV) demande que l'on entre dans le fonctionnement des industries et des organismes de recherche, ainsi que dans les relations que nouent ces deux groupes d'acteurs. Comme le montrent ces chapitres, la frontière de la simulation, aujourd'hui, est installée dans le domaine des problèmes complexes et des grands projets. Pour un certain nombre de raisons (moyens humains sous-critiques, réflexion stratégique insuffisante, mais aussi difficultés à monter de grands projets), à cause d'un certain nombre de freins identifiés au chapitre V, *les acteurs français ont du mal à se positionner sur cette frontière*.

Au delà des freins identifiés, on doit se demander ce qui explique que l'industrie et la recherche française aient accepté de laisser un écart se creuser, écart qui ne touche pas encore (ou qui touche marginalement) les applications opérationnelles courantes, mais qui les concernera nécessairement dans quelques années. C'est donc bien au système de décision, à la "gouvernance" de l'activité de

---

<sup>1</sup> Lorsqu'on examine les ordinateurs utilisés pour la simulation, on constate qu'ils forment une pyramide. La base est occupée par les serveurs de 10 à 100 Gigaflops, le milieu par les machines de 1 à 10 teraflops et le sommet par les machines, très peu nombreuses de 40 teraflops et au delà. Il en est de même pour les simulations exécutées sur ces machines.

simulation qu'il faut s'intéresser : le chapitre VI propose quelques pistes pour une explication, mais aussi pour une démarche d'amélioration.

On voit bien que tous les progrès qui sont en cours nous pressent de ne pas quitter le peloton de tête de la nouvelle simulation qui est en train de naître. Cette nouvelle génération de simulation, comme les précédentes, va, au rythme de la croissance des ordinateurs et de la compréhension de leur usage spécifique à chaque cas, inonder tous les secteurs nécessitant la prévision du futur et de son incertitude ; c'est toute la technologie et ce sont tous les secteurs d'activités qui vont être concernés, car on ne se contentera plus d'une simulation moyenne (et trop simple) sur quelques cas, mais on va vouloir connaître les risques extrêmes, ou les optimums de systèmes complexes comme ceux de l'environnement.

La pression de cette demande nouvelle doit pouvoir s'exprimer en France et bénéficier de tous les avantages que donne la participation au peloton de tête où peuvent s'exprimer les aptitudes propres aux français. Mais il y a aussi tous les freins qui viennent de nos défauts structurels ou culturels. C'est l'objet de ce rapport de contribuer à identifier les raisons de la diminution de la demande française en simulation avancée comparée à la progression plus rapide des autres pays développés et à proposer des orientations pour retrouver une dynamique de progrès.

## Chapitre II - La France et le reste du Monde

---

Ce chapitre est consacré à un état des lieux assez global : l'examen plus détaillé et l'analyse correspondante, sont reportés aux chapitres III et IV. Les sous-chapitres II.1 et II.2 présentent une comparaison entre les architectures utilisées par les grands pays, ainsi qu'entre les grands projets de recherche. Ensuite, en II.3 et II.4, on montre comment, dans certains secteurs, la mise en commun des efforts a permis de surmonter, jusqu'à un certain point, les handicaps rencontrés.

---

### II.1 - Les résultats du TOP 500 : une évaluation du retard Français

Pour juger de l'état de la situation du calcul haute performance en France et de sa position dans l'environnement mondial, un des indicateurs les plus fiables apparaît être la liste du TOP500<sup>2</sup> des 500 ordinateurs les plus puissants installés dans le monde<sup>3</sup>. Nous nous appuyerons sur ces statistiques pour juger de la place de la France dans cette communauté en s'attachant, non pas à faire un état à un instant donné (2004), mais en examinant l'évolution au cours des dernières années. Cette évolution sera examinée du point de vue de deux critères : les performances des calculateurs et le nombre de systèmes installés<sup>4</sup>.

#### *Examen du point de vue des performances*

La figure 1 présente l'évolution de la performance des 500 premiers systèmes mondiaux au cours de la dernière décennie ainsi que son extrapolation aux dix années à venir.

On constate d'abord que la loi de Moore (qui prédit un doublement de la capacité tous les dix huit mois) s'applique, que l'on s'intéresse au premier de la liste, au dernier de celle-ci ou à l'ensemble des ordinateurs du Top 500.

Si l'on s'intéresse à l'évolution des performances dans le monde, on constate que, sur une période de dix ans, la part des différents continents, Amériques (essentiellement le continent Nord Américain), Asie et Europe reste stable, mais qu'au cours des trois dernières années, le continent Nord Américain montre une forte progression, essentiellement au détriment de l'Asie, la part de l'Europe restant sensiblement constante avec 15-20% de la puissance installée. Au sein de l'Europe, les positions sont cependant contrastées: L'Allemagne et les autres pays européens voient leur part décroître, essentiellement au profit du Royaume-Uni et de pays émergents comme l'Espagne<sup>5</sup>.

---

<sup>2</sup> On peut consulter cette liste à l'adresse : <http://www.top500.org>

<sup>3</sup> Cette liste, établie suivant un critère normalisé, le benchmark Linpack (résolution d'un système d'équations linéaires), est reconnue par la communauté des calculateurs scientifiques comme traduisant la place relative du calcul haute performance dans les différents pays.

<sup>4</sup> On pourra consulter, sur ce sujet, les publications de l'Association ORAP et en particulier l'ouvrage réalisé à l'occasion du 10<sup>ème</sup> anniversaire de l'Association, en 2004.

<sup>5</sup> Cette position allemande sera sans aucun doute modifiée par les projets qui viennent d'être annoncés, qui portent sur l'installation d'ordinateurs de puissance globale voisine de 70 teraflops.

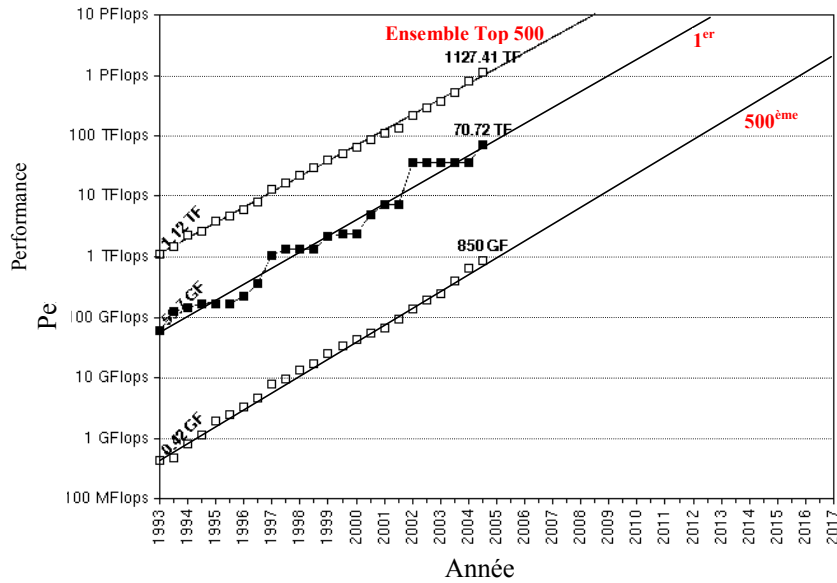


Figure 1 : Evolution des puissances de calcul (au 08/11/2004). Source : Bulletin BIORAP.

A la dernière date de parution du TOP500 (8 Novembre 2004), la France, en termes de performance, ne représente que 1,9 % de l'ensemble du TOP500 et n'arrive qu'en 4<sup>ème</sup> position, pratiquement à égalité avec l'Italie mais loin derrière le Royaume-Uni et l'Allemagne (figure 2).

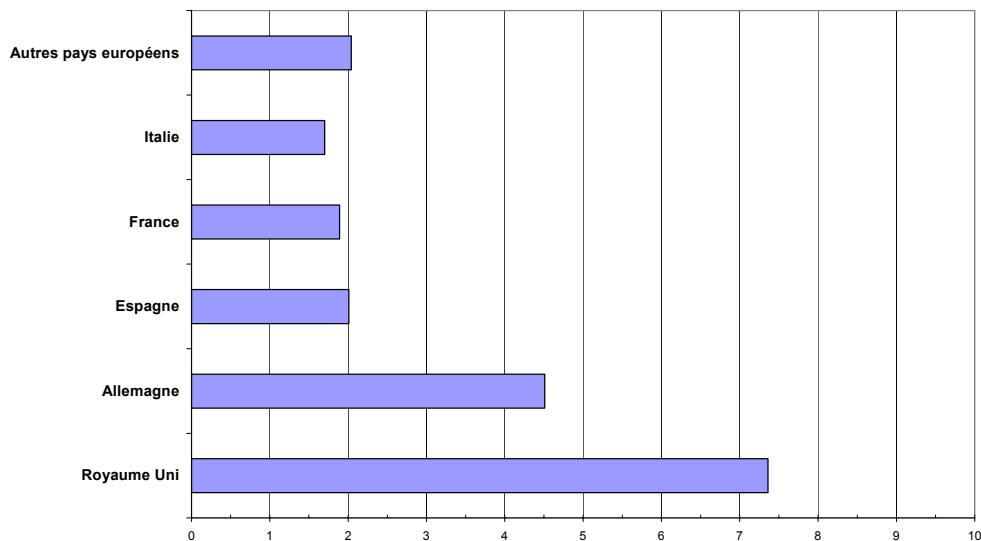


Figure 2 : Performance européenne en % du total du TOP500 (au 8/11/2004). Source : Bulletin BIORAP.

Un examen plus détaillé de la liste du TOP500, publiée en Novembre 2004, montre que le premier système français pointe à la 41<sup>ème</sup> place avec une puissance maximale de 40 téraflops, à comparer à la puissance du premier système (DOE aux USA) avec plus de 70 téraflops, ou du premier européen (Barcelone, 4<sup>ème</sup>) avec 20,5 téraflops. Il faut ensuite regarder au-delà de la 150<sup>ème</sup> place pour trouver d'autres organismes français : TotalFinaElf (161<sup>ème</sup>), Compagnie Générale de Géophysique (162<sup>ème</sup>), SG-SGBI (166<sup>ème</sup>). Le premier organisme public apparaît à la 175<sup>ème</sup> place avec IDRIS; il faut ensuite aller au-delà de la 240<sup>ème</sup> position pour trouver un autre organisme français.

### Examen du point de vue des systèmes installés

En termes de systèmes installés on retrouve les mêmes tendances, avec une forte progression des Amériques, essentiellement au détriment de l'Europe. Dans l'environnement européen, l'Allemagne et dans une moindre mesure la France, voient leurs parts de marché diminuer au profit du Royaume-Uni et de pays émergents comme l'Italie (figure 3).

Sur la seule année 2004 (Novembre 2003 à Novembre 2004), le nombre de systèmes répertoriés dans le TOP500 est passé de 22 à 15 en France (soit 3% du total, à égalité avec l'Italie).

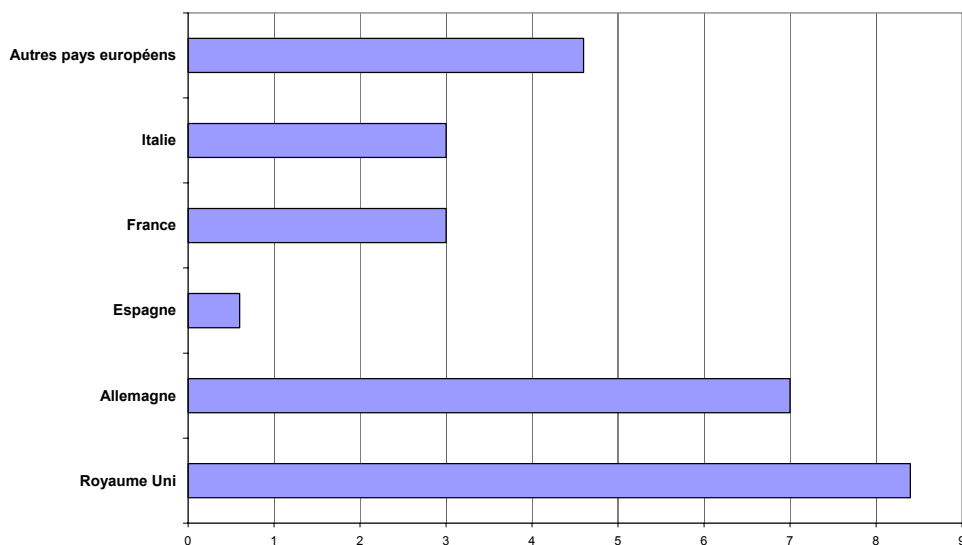


Figure 3 : Nombre de systèmes européens en % du total du TOP500 (au 8/11/2004).  
Source : Bulletin BIORAP.

Corrélativement, en Novembre 2004, plus de 90% des systèmes sont construits aux Etats-Unis contre moins de 0,4% en Europe. La situation qui a été examinée ci-dessus *correspond à une tendance qui ne semble pas devoir s'inverser dans les prochaines années. L'Europe est très largement distancée par les Etats-Unis et la place de la France en Europe se dégrade.*

Les Etats-Unis, mais également le Japon et la Chine, développent un effort combiné sur plusieurs fronts : l'installation de puissantes plates-formes de calcul, le développement de logiciels et de codes, des projets ambitieux dans le domaine des applications en recherche fondamentale, appliquée et dans l'industrie. On notera pour illustrer le fossé qui sépare la France des Etats-Unis, l'annonce faite en fin d'année 2004 (Le Monde daté du 13/12/2004) de l'installation au CEA d'un supercalculateur développant une puissance de 60 téraflops. Cette machine devait placer le CEA aux environs de la 5<sup>ème</sup> place du TOP500 l'année prochaine, mais dans le même temps un supercalculateur d'une puissance de 360 téraflops avec 4532 processeurs est annoncé sur le site du Lawrence Livermore Laboratory.

Comme le relève le document ORAP précité, "ces pays sont aidés par l'existence de constructeurs nationaux et d'une industrie logicielle *mais aussi par une vision stratégique à long terme* qui les persuade qu'on ne peut se laisser distancer dans les secteurs de pointe de l'informatique".

## II.2 - Retards français (suite) : au niveau des problèmes traités

On propose ici une synthèse sur des projets phares développés aux Etats-Unis et au Japon. Les initiatives lancées dans ces deux pays illustrent leur volonté de se placer en pointe dans ce secteur. La question que l'on pourra ensuite se poser est celle d'une glissade de la France vers « la deuxième division » dans le domaine des simulations extrêmes et, à terme, celle d'une domination des nations les plus avancées dans ce secteur.

*Aux Etats-Unis, le programme ASCI, du Department of Energy a été lancé pour promouvoir les capacités de modélisation et de simulation et les technologies informatiques associées. L'objectif de ce programme est aussi celui d'éduquer des scientifiques qui deviendront des leaders dans le domaine des sciences de la simulation. Les cinq centres ASCI ont été mis en place au sein de cinq universités de premier plan :*

- Le centre de simulation sur la dynamique rapide de matériaux (Center for Simulating the Dynamic Response of Materials), basé au California Institute of Technology, traite des effets d'ondes de choc sur des matériaux divers et d'applications des effets dynamiques à la conception de matériaux ou en géophysique.
- Le centre de simulation des flashes thermonucléaires en astrophysique (Center for Astrophysical Thermonuclear Flashes) de l'Université de Chicago, traite de la formation de l'univers. Les recherches réalisées dans ce centre devraient permettre de mieux comprendre les problèmes d'allumage nucléaire, la détonation, le mélange turbulent de fluides multi-composants et d'autres matériaux.
- Le centre de simulation des moteurs fusée avancés (Center for Simulation of Advanced Rockets) de l'Université d'Illinois à Urbana-Champaign, traite du calcul des fusées à propergol solide dans des conditions normales ou perturbées.
- Le centre de simulation intégrée de la turbulence (Center for Integrated Turbulence Simulation) de l'Université de Stanford, a pour objectif le développement des technologies de simulation pour les turbines à gaz aéronautiques et comme finalité la réduction des coûts de conception et d'essais de ces systèmes.
- Le centre pour la simulation des feux accidentels et des explosions (Center for Simulation of Accidental Fires and Explosions) de l'Université de l'Utah, développe des outils pour le calcul des feux et des explosions de matériaux énergétiques très inflammables.

Les travaux de ces cinq centres portent sur des problèmes complexes, multidisciplinaires, multidimensionnels et multi-échelles. Des codes de divers types correspondant à une gamme de disciplines différentes doivent être couplés entre eux, nécessitant un effort d'intégration important et un haut niveau de parallélisme. La complexité des applications envisagées et la nécessité d'une coopération transdisciplinaire donne à ces projets un caractère particulier pour des développements universitaires. Chaque projet implique plus de 50 chercheurs. Le programme doit se développer sur une période longue de 10 ans. Les objectifs sont ambitieux, le financement est important (4,5 millions de \$ par partenaire et par an, sans compter le temps de calcul sur les machines du DOE mis à disposition pour ces projets), les moyens sont concentrés sur cinq pôles universitaires, une collaboration étroite est établie entre la modélisation physique et numérique et l'informatique (la « computer science »). Les projets lancés en 1999 sont actuellement en vitesse de croisière avec des résultats concrets dans tous les domaines abordés. On peut raisonnablement penser qu'une telle initiative pourra donner un savoir-faire et une avance considérable à la communauté scientifique américaine dans le domaine multidisciplinaire formé par la combinaison de l'informatique de la simulation et de la modélisation physique. On peut aussi penser que ces développements au niveau

le plus élevé auront des répercussions sur le plan industriel avec une position dominante des Etats-Unis dans le domaine de la simulation.

Parallèlement aux projets ASCI, le DOE affiche des objectifs ambitieux dans le domaine de la puissance de calcul et vise une augmentation qui devrait permettre d'atteindre 100 Teraflops en 2004.

*Un deuxième cas d'étude est fourni par le Japon.* Les projets japonais dans le secteur de la simulation ne sont pas, en effet, moins ambitieux que ceux des américains. On peut d'abord constater que c'est une machine japonaise qui se trouve au premier rang en puissance de calcul. Cette machine construite par NEC, l'« Earth Simulator » atteint 35,8 Téraflops dans les applications Linpack<sup>6</sup> (Figure 4). Plusieurs autres machines possèdent des puissances importantes de l'ordre de 9,3 Téraflops et une mémoire de 3,6 TB. Le Japon développe plusieurs programmes dans le domaine de la simulation extrême. Ainsi, par exemple, l'Information Technology Center localisé à l'Institute of Space Technology and Aeronautics de la JAXA à Mitaka près de Tokyo développe un grand projet de simulation numérique autour d'une machine « Numerical Simulator III » caractérisée par une puissance de 10 Téraflops. Les calculs d'aérodynamique utilisent de façon courante des maillages de 30 millions de points<sup>7</sup>. Ces chiffres montrent que, au Japon, les simulations extrêmes sont nombreuses et que les tailles de maillage utilisées dépassent largement celles que l'on peut trouver en France.

---

<sup>6</sup> Qui servent en général d'étalon de mesure, comme l'expliquait la note 3.

<sup>7</sup> Des simulations directes d'écoulements turbulents s'appuient sur des maillages de 50 millions de points, des simulations du rayonnement acoustique de jets turbulents utilisent 200 à 400 millions de points de maillage. Des calculs d'écoulements turbulents en canal ont été effectués avec des maillages de 1,4 milliard de points. Des calculs de flammes turbulentes avec chimie complexe ont été réalisés sur des maillages comportant 120 millions de points avec un modèle cinétique comportant 20 espèces et 64 réactions.

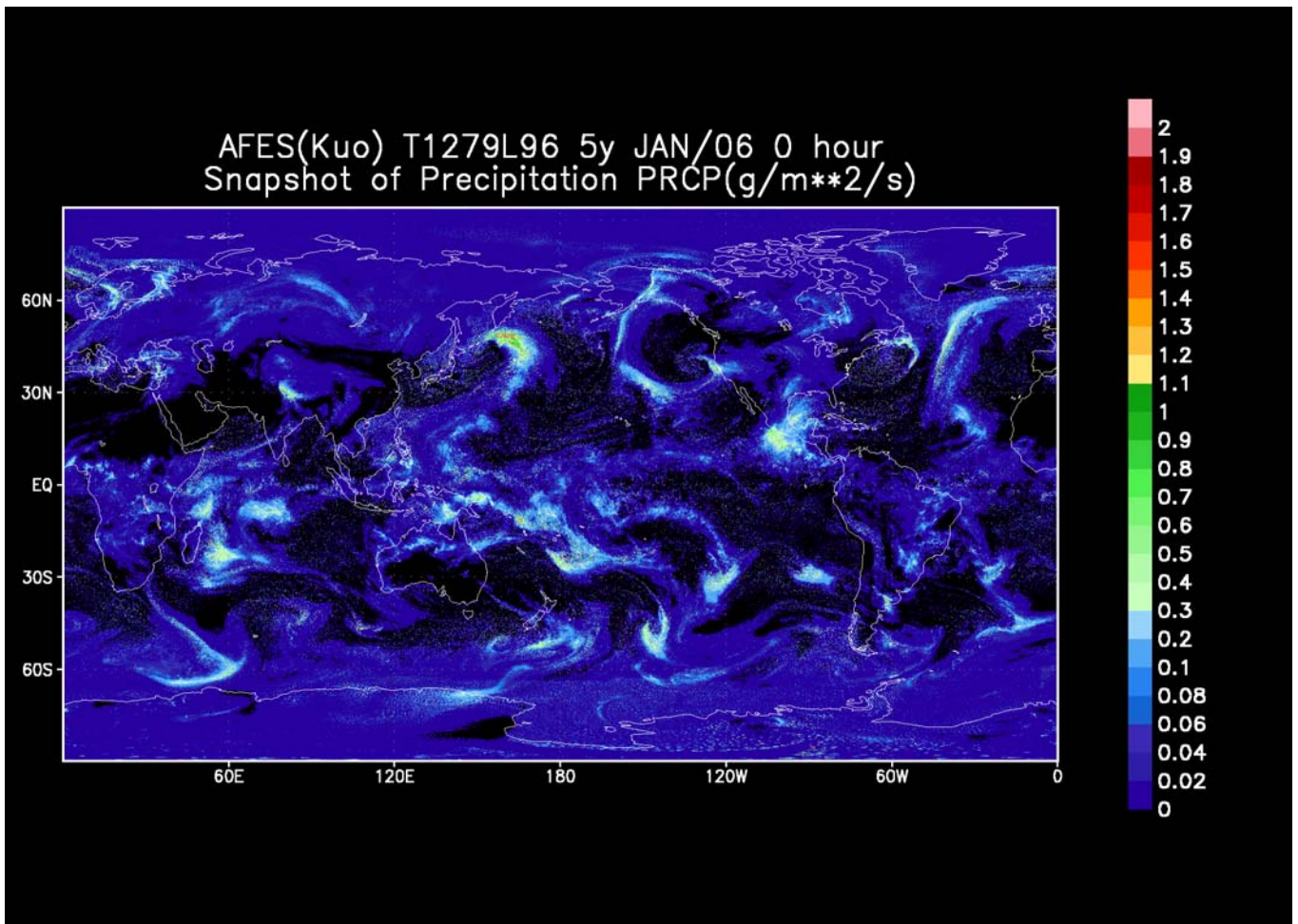


Figure 4 : Simulation du champ de précipitations sur le ordinateur « Earth Simulator » japonais (en gramme par mètre carré et par seconde), à l'aide d'un modèle atmosphérique à 96 niveaux verticaux et avec une résolution horizontale de 15 km (troncature dite « T1279 »). On remarquera l'extrême finesse et le réalisme des champs de précipitation à fine échelle spatiale.

Les projets dans le domaine de la simulation ne sont pas seulement ceux de la JAXA. On trouve par exemple à l'Université de Tokyo un centre de recherche coopérative « Frontier Simulation Software for Industrial Science » dont l'objectif est le développement des outils de simulation de nouvelle génération dans le domaine de la dynamique des fluides et notamment la simulation des grandes échelles pour les écoulements turbulents et la combustion.

On trouve donc aux Etats-Unis et au Japon des programmes ambitieux dans le domaine des simulations extrêmes. Ces programmes procèdent d'une vision stratégique du sujet. Ils mettent en œuvre des moyens importants et des équipes très larges. Les résultats déjà obtenus dépassent par leur taille la majeure partie des calculs du même type effectués dans notre pays. Ainsi, par exemple, on trouve rarement en France des simulations en combustion dépassant les 10 millions de points et aucune simulation n'a été réalisée sur des maillages comportant le milliard de points. La France qui était pionnière dans le domaine de la simulation directe en combustion est désormais dépassée au niveau des tailles de problèmes traités<sup>8</sup>. Ce qui vient d'être décrit dans le cas de la dynamique des fluides et de la combustion, est aussi vrai pour les simulations de type « global change ». Les

<sup>8</sup> On pourrait penser que la taille n'a qu'une importance secondaire mais ce n'est pas le cas. La taille des maillages détermine le nombre de Reynolds que l'on peut atteindre dans la simulation. Et la simulation est d'autant plus représentative de la réalité que le nombre de Reynolds est grand.

équipes françaises du domaine travaillent avec des moyens humains et des ressources informatiques sensiblement plus faibles que celles des Etats-Unis ou du Japon.

*La situation est donc préoccupante.* Pour en prendre encore une fois la mesure on peut noter par exemple que le Department of Energy vient d'allouer un bloc de 2,5 millions d'heures de calcul sur le NERSC (National Energy Research Scientific Computing) dans le cadre de son programme INCITE (Innovative and Novel Computational Impact on Theory and Experiment) à un projet portant sur la combustion non prémélangée. Les plus gros projets soumis au centre français IDRIS dans ce secteur recevront dans le même temps une centaine de milliers d'heures sur IBM-SP4. Cela donne une mesure du retard que la France est en train d'accumuler.

*Les sous-chapitres II.1 et II.2 ont permis de mesurer le retard français selon deux dimensions : les architectures informatiques disponibles et les projets de recherche engagés. Ce retard n'est pas toujours bien mesuré par les décideurs ou par les chercheurs eux-mêmes, qui peuvent penser que la description faite est exagérément pessimiste : en effet, il existe de nombreux cas où la place tenue par la France est plus qu'honorable. Nous allons en examiner deux, qui portent sur l'Aérodynamique d'une part, sur la Météorologie et le Climat, d'autre part. Nous pourrions alors constater que ce qui a permis aux équipes françaises de surmonter leurs handicaps en matière de moyens, c'est le fait qu'elles ont su rassembler leurs forces (ce qui n'est pas toujours possible) au niveau national d'abord, puis au niveau européen.*

## II.3 - Succès en Aérodynamique

### *L'expérience "Parallel Aero" et "NSMB"*

Avec la décision de lancer le programme AIRBUS, il devenait nécessaire, pour Aérospatiale, de constituer un potentiel de développement fort autour de l'aérodynamique externe, en particulier pour ménager à l'industrie nationale une place de choix dans la distribution des tâches qui se mettait alors en place au niveau européen. Aérospatiale décidait alors, de façon très volontariste, de jouer la carte des programmes européens pour développer et paralléliser de nouveaux codes aérodynamiques : le développement du code dit "NSMB" (pour Navier Stokes Multi-Blocs), intégrant les progrès intervenus dans le traitement des couches limites, en même temps qu'une architecture logicielle lui permettant de tirer parti de façon efficace des calculateurs parallèles qui faisaient alors leur apparition, était entrepris.

De façon tout à fait cohérente, c'est ce code NSMB qui était ensuite choisi par Aérospatiale pour être industrialisé et devenir le code de simulation aérodynamique utilisé dans son bureau d'études<sup>9</sup>.

### *Sur une "bonne voie"*

Fort de cette expérience jugée très positive du point de vue industriel, Aérospatiale, devenue entre temps AIRBUS-France, décidait de poursuivre dans cette voie pour le développement du logiciel de la génération suivante : faire se regrouper les « chercheurs partenaires » autour d'un même logiciel. Ce regroupement se constituait autour du nouveau système de simulation aérodynamique, baptisé elsA (pour "ensemble logiciel de simulation aérodynamique"). Le logiciel elsA est aujourd'hui utilisé industriellement par AIRBUS-France, mais aussi par différentes unités du groupe SNECMA et par les laboratoires de recherche. La communauté utilisatrice s'est donc significativement élargie au niveau national, prélude à de nouvelles extensions.

---

<sup>9</sup> Le fait qu'il ait été initialement développé en collaboration avec des laboratoires de recherche assurera une bonne continuité dans l'évolution de ce code, dont le « versionning<sup>9</sup> » continuera d'ailleurs à être effectué par une "start-up"<sup>9</sup> issue de l'EPFL, au bénéfice de tous ses utilisateurs, académiques comme industriels.

## *Les étapes actuelles et futures*

Une étude comparative intensive, réalisée en fin 2002 entre elsA et le logiciel allemand FLOWer, développé par le DLR<sup>10</sup>, a permis de choisir elsA comme plate-forme de simulation commune au sein de l'entreprise intégrée AIRBUS pour les approches basées sur des maillages structurés : une nouvelle phase de convergence a alors été engagée, de façon à valoriser les fonctionnalités de FLOWer non encore présentes dans elsA. Le logiciel elsA est ainsi entré en production chez AIRBUS en fin 2003 où il a remplacé les précédents logiciels, comme NSMB chez AIRBUS-France.

A partir de ces expériences jugés très positives industriellement, tant du point de vue de la qualité du logiciel que de l'efficacité liée à la forte collaboration inter laboratoires et à la grande mutualisation des efforts de développement, se dessine actuellement une convergence en aérodynamique entre les systèmes logiciels basés sur des maillages structurés (comme elsA) et non structurés (comme le logiciel TAU, lui aussi développé par le DLR). La réussite espérée de ce rapprochement devrait conduire, à l'horizon de la fin de la décennie, à l'existence d'un système de simulation aérodynamique *partagé entre les grands centres de recherches européens et une large fraction de l'industrie aéronautique européenne.*

## *Analyse*

S'il n'est pas abusif de parler de "success story" au sujet de l'histoire de la simulation aérodynamique au cours des 20 dernières années, il est toutefois intéressant de réfléchir à quelques unes des conditions qui ont favorisé cette réussite.

Le rôle des techniques logicielles est tout à fait important de ce point de vue : le défi lié à la nécessité de tirer le meilleur parti des calculateurs parallèles a été l'un des éléments déclenchants pour les premiers rapprochements. C'est ensuite l'essor des approches par "simulation objet" qui a permis de relancer la convergence entre les intérêts industriels et les capacités de la recherche, en fournissant des architectures modulaires maintenues par un maître d'œuvre unique mais où les développements des différents partenaires viennent s'intégrer efficacement. Sans ces développements logiciels, il est permis de se demander si ces convergences "recherche / industrie" auraient pu s'opérer.

Les techniques logicielles ne représentent, néanmoins, qu'une des conditions nécessaires à la convergence : la volonté des différents partenaires en est une autre, basée sur la vision industrielle du bénéfice qu'il y a à profiter de tous les savoir-faire académiques dans un environnement unifié susceptible d'industrialisation et sur la prise de conscience par les laboratoires de tout l'intérêt qu'il y a à travailler dans un cadre qui permette l'aboutissement opérationnel des études et qui autorise une forte mutualisation de la maintenance des codes.

Malgré cela la convergence vers un outil unique ne sera pas totale, car, d'une part, un certain nombre de laboratoires européens estiment toujours aujourd'hui que le rapport coût/bénéfice de la convergence reste trop élevé<sup>11</sup>. Une autre raison tient aux aspects industriels. Il n'est pas indifférent

---

<sup>10</sup> Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt

<sup>11</sup> ce peut être une vision justifiée pour les approches relatives à la recherche la plus "amont", puisque la concurrence scientifique peut stimuler et tirer vers le haut, à la condition toutefois qu'elle s'exerce effectivement entre des pôles de recherche suffisamment pourvus et de taille au-delà de la taille critique.

de noter que des compétitions industrielles subsistent toujours en Europe dans le monde aéronautique, ce qui *de facto* encourage aussi un maintien d'approches diversifiées<sup>12</sup>.

## II.4 - Météorologie et Climat

### *La situation au début des années 80's*

C'est en 1975 que naît le Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen Terme<sup>13</sup> (CEPMMT), sur l'idée principale que la génération à venir des modèles de prévision météorologique nécessiterait l'accès à des ressources informatiques très importantes. Les premiers résultats obtenus (dès le tout début des années 80) démontrent de façon indubitable la qualité supérieure du modèle européen, avec ses premiers essais pour atteindre des échéances étendues jusqu'à 10 jours et sa résolution spatiale de 200 km environ. Un cercle vertueux se met alors en place, les chercheurs et ingénieurs de nombreux pays européens sont attirés par le CEPMMT, où ils viennent créer une école européenne de prévision numérique du temps, entre autres relativement à l'assimilation de données.

De son côté, la recherche climatique n'en est qu'à son tout début : les modèles utilisés pour caractériser les mécanismes climatiques restent le plus souvent unidimensionnels selon la verticale et seuls les très grands laboratoires américains osent se lancer dans la simulation tridimensionnelle du climat à l'aide de modèles de circulation générale de l'atmosphère (*de facto* encore très proches des modèles de prévision numérique du temps).

### *L'expérience ARPEGE-IFS (Météo-France/CEPMMT)*

Les succès obtenus par le premier système de prévision météorologique opérationnelle du CEPMMT conduisent alors assez naturellement à la décision de mettre en commun, pour le développement du modèle suivant, un ensemble de ressources humaines dépassant le niveau qu'il est possible de mobiliser dans un seul pays. Le CEPMMT et la France décident en 1987 de développer conjointement le modèle dit ARPEGE en France et IFS au CEPMMT, partageant une architecture commune, de nombreux modules, tant pour la dynamique que pour la physique, mais conservant toutefois chacun des fonctionnalités plus spécifiques<sup>14</sup>. Ce système paneuropéen, qui est toujours au meilleur niveau mondial, en est aujourd'hui à sa 30<sup>ième</sup> version.

### *Pendant ce temps, le climat*

La démonstration de la réussite du développement partagé du modèle de prévision numérique ARPEGE/IFS conduit Météo France, en 1984, à proposer aux laboratoires nationaux travaillant en

---

<sup>12</sup> Toute la question reste néanmoins de bien analyser le rapport "coût/bénéfice" pour chacune des options ("code commun" vs. "codes spécifiques"), pour faire en sorte que la courbe d'évolution de ce rapport traverse la valeur 1 au bon endroit du continuum de la recherche entre l'amont et l'aval.

<sup>13</sup> Plus souvent connu sous son acronyme anglais ECMWF (European Center for Medium Range Weather Forecasts)

<sup>14</sup> Un modèle de près d'un million de lignes de code sera ainsi développé, sur la base de plus de 400 "personne x année" de développement. Cette architecture, mise en service en France en 1993 et au CEPMMT en 1994, nécessite des phasages réguliers (de 1 à 2 par an) afin d'intégrer de façon cohérente les développements réalisés dans chaque centre. Si au début du programme ARPEGE/IFS il n'avait pas été envisagé de poursuivre le développement commun au-delà de quelques années, le succès rencontré a fait perdurer la collaboration étroite. Ce système paneuropéen, qui est toujours aujourd'hui au meilleur niveau mondial, en est à sa 30<sup>ième</sup> version.

modélisation du climat de se regrouper autour d'un ensemble commun. Cette offre est toutefois rejetée par les laboratoires atmosphériques, qui estiment que le temps n'est pas venu d'un regroupement de ce type. Les dix années suivantes sont alors des années très difficiles pour la modélisation climatique nationale : pendant que les britanniques développent, au sein du service météorologique et avec un fort soutien politique, le "Hadley Center", et que les Allemands font émerger le "Max-Planck-Institut für Meteorologie" à Hambourg, les français restent sous-critiques, ne parvenant pas à faire émerger leurs résultats au niveau international (en particulier à travers les rapports de l'IPCC<sup>15</sup>). Le moindre des paradoxes n'est pas que cette absence de visibilité des travaux français se conjugue avec, d'une part, la très forte présence d'un outil logiciel français pour le couplage océan-atmosphère (OASIS), outil utilisé par la quasi-totalité des groupes européens, voire internationaux, de modélisation climatique, et, d'autre part, par l'excellence des chercheurs français dans nombre de domaines de la recherche climatique.

Une problématique scientifique élargie va apparaître à partir de la deuxième moitié des années 90, avec la nécessité de construire une modélisation complète du "Système Terre". *Il devient alors patent que la coordination des développements de modèles est un point de passage obligé, afin de rassembler dans un modèle interactif complet, les meilleures descriptions possibles des diverses composantes de ce système.* La communauté climatique française va commencer à se fédérer, jouant d'ailleurs un rôle très actif aux côtés des Allemands dans la construction d'une politique logicielle commune et partagée entre tous les laboratoires européens : le projet PRISM<sup>16</sup>, sous pilotage allemand, mais avec une très forte contribution technique et scientifique de la France. PRISM définit la politique de modélisation européenne, en permettant l'émergence de standards partagés et en rendant interdépendantes et interopérables toutes les grandes équipes de modélisation européennes. Au-delà, la réussite "politique" de PRISM est telle qu'elle fait tâche d'huile aux Etats-Unis, qui lancent alors presque immédiatement le programme ESMF<sup>17</sup>.

#### *Les étapes actuelles et futures*

Pour ce qui concerne la prévision numérique du temps, la situation actuelle est caractérisée par le fait que le moment semble venu de refondre le système, face aux nouveaux défis de la prévision météorologique. *Les météorologues européens réfléchissent actuellement à la façon de constituer leur futur système de prévision numérique sur le modèle de l'avion AIRBUS : fabrication des modules composants dans les services nationaux les plus adaptés et intégration grâce à une architecture maintenue par un maître d'œuvre commun.* Même si l'accord reste à trouver sur la meilleure façon de construire le montage coopératif et même si reste entier l'intérêt de continuer à disposer de modèles de prévision assez variés pour pouvoir documenter le caractère chaotique de l'évolution météorologique, la communauté météorologique a néanmoins déjà inscrit à son ordre du jour les questions relatives à la construction coordonnée et partagée du futur système de prévision numérique, questions dont elle a commencé une instruction active.

Pour ce qui concerne la modélisation du climat la dynamique PRISM est actuellement en plein essor : les grands centres de recherche climatiques prélèvent sur leurs ressources propres les forces destinées à construire une équipe intégrée commune au niveau européen et ceci même en l'absence provisoire de soutien de la Commission. *La question qui préoccupe cette communauté n'est donc plus vraiment celle du développement des modèles, mais plutôt celle de l'inexistence au niveau européen de ressources de calcul adaptées aux défis de la recherche climatique : si le Japon et les Etats-Unis ont su apprécier l'ampleur de ces défis et mettre en place des politiques de moyens*

---

<sup>15</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (connu aussi sous son acronyme français GIEC, Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat)

<sup>16</sup> Programme for Integrated earth System Modelling

<sup>17</sup> Earth System Modelling Framework

adaptés ("Earth Simulator" au Japon, initiative "ASC<sup>18</sup>" aux Etats-Unis), l'Europe et, singulièrement, la France restent décrochées et pire encore, le fossé ne cesse de se creuser avec les autres grands pays. Des initiatives sont actuellement en cours pour mieux sensibiliser les pouvoirs de décision et permettre ainsi l'émergence d'un grand centre de ressources informatiques conjuguant des contributions des grands pays européens et de la Commission.

## II.5 - Conclusions

Il semble que l'on doive conclure ce chapitre sur deux constats, qui d'ailleurs se complètent.

D'une part les ressources dont bénéficie la communauté des chercheurs qui, en France, travaille sur la simulation de pointe ne lui permettent pas (ou ne lui permettent que très difficilement) de faire jeu égal avec celles des pays les mieux placés.

D'autre part, chaque fois qu'un effort de coordination et de mise en commun des ressources autour d'un grand projet a été mené à bien, les résultats ont été très positifs.

Ces deux constats conduisent à poursuivre et à approfondir l'analyse, ce qui va être fait au cours des chapitres III et IV.

---

<sup>18</sup> Advanced Strategic Computation.

## CHAPITRE III - Les Acteurs opérationnels face aux progrès de la Simulation

---

Le titre adopté initialement pour ce chapitre mentionnait d'abord "les acteurs industriels". Cela pouvait induire en erreur, car le sujet traité est plus vaste que la seule "Industrie". On va, en effet, parler de la façon dont la simulation a pénétré le monde des "Applications Opérationnelles", monde qui comprend l'Industrie, mais aussi les Services. Et, en particulier, les services qui relèvent majoritairement du secteur public et qui, actuellement, montent en puissance : Surveillance, Sécurité face aux catastrophes, Prévisions.

---

Comme on a pu le constater au cours des chapitres précédents, les acteurs du monde industriel français, en particulier lorsqu'on les regarde au travers des statistiques du TOP 500, ne donnent pas l'impression de s'intéresser énormément à la "pointe de la pyramide" de la simulation. On a d'ailleurs entendu, au cours des premières réunions tenues par le groupe de travail, exprimer l'idée que c'était à la base de la pyramide que l'essentiel se passait et que les simulations extrêmes ne pouvaient pas intéresser les acteurs opérationnels. Pour en avoir le cœur net, le groupe a procédé à une dizaine d'auditions, a envoyé un questionnaire et a organisé un séminaire (dont le titre était celui-là même du chapitre actuel), le 1er décembre 2004.

Au terme de ces échanges, on peut dire que les interrogations restent entières (on essaiera d'y répondre dans les lignes qui suivent). Mais on peut déjà noter que *les acteurs opérationnels ont, pratiquement tous, marqué leur intérêt pour les simulations de pointe.*

### III.1 - Un intérêt qui ne se dément pas

L'intérêt des responsables industriels, non seulement pour la simulation en général, mais aussi pour les "simulations-frontières" est apparu à chaque rencontre: lors des auditions initiales, dans les réponses au questionnaire et surtout au cours des échanges qui ont marqué le séminaire. Les acteurs opérationnels restent très proches du travail de recherche et s'intéressent à l'extension du domaine accessible à la simulation.

Cet intérêt se traduit d'abord par l'existence, autour de chaque acteur industriel d'une certaine importance, d'un *réseau d'appui constitué de laboratoires et d'institutions de recherche*. Les premiers partagent donc avec les seconds la réflexion sur ce qui peut être développé, le choix des outils qui resteront spécifiques de la recherche et de ceux qui viendront grossir le système opérationnel. L'information sur ce que sont les progrès de la simulation circule donc : elle circule mieux aujourd'hui qu'en 92, au moment du rapport du CADAS.

Cet intérêt apparaît également au travers du consensus très large qui s'est établi à propos *des axes de progrès de la simulation*. Ces axes correspondent d'ailleurs de façon très logique aux processus de pénétration de la simulation dans le monde opérationnel. Ils sont au nombre de trois<sup>19</sup>.

*Le progrès en matière de complexité géométrique.* L'importance de ce type de progrès est (souvent) de second rang dans les activités de recherche. Elle est cruciale dans les activités opérationnelles (de l'aéronautique à la Météo). Pouvoir accepter, sans manipulation - simplification, les données de la vie réelle *est un impératif* et reste largement un Axe où les progrès restent nécessaires.

---

<sup>19</sup> Les membres du groupe de travail étaient tous des praticiens de la simulation dans le monde industriel : les trois Axes présentés ci-dessous leur étaient donc familiers. Mais le point intéressant est le consensus général qu'ils rencontrent au sein d'une communauté qui a bien identifié les progrès qui lui sont nécessaires.

*La capacité de traiter également les problèmes stationnaires et les problèmes d'évolution.* Les premiers succès de la simulation ont concerné les "objets produits" (plutôt que leur processus de production) et leur comportement stationnaire. L'extension naturelle, nécessaire à tous, est donc la prise en compte du temps, soit dans les processus, soit dans les usages.

*Le traitement des problèmes multi-physiques et, à terme, multi-échelles.* Le premier de ces deux termes est un impératif pour les problèmes de production complexes (et ils le sont pratiquement tous): intégrer les points de vue de "métiers" très différents est une des nécessités de la simulation: c'est donc une frontière très active pour les progrès actuels. Le second apparaît dans les problèmes que veut traiter la recherche : il sera bientôt une frontière pour les problèmes opérationnels.

A ces trois axes, on peut ajouter *une quatrième famille de progrès nécessaires.* C'est celle qui résulte de la nécessité de faire des évaluations probabilisées, des prévisions "sur des ensembles". Ce souci est essentiel pour la Météorologie ou l'Océanographie opérationnelle. Il ne l'est pas moins pour la mécanique probabiliste liée à l'évaluation des risques. Il pénètre lentement tous les secteurs.

On le voit bien : ce n'est pas la connaissance des nouvelles opportunités que la simulation peut apporter qui fait défaut et ce n'est pas, non plus, l'intérêt porté aux applications "frontières". *La difficulté vient d'abord de la place qu'occupe la simulation dans la stratégie des entreprises.*

### III.2 - Place de la simulation dans la stratégie de entreprises

Les responsables que le Groupe Simulation a rencontrés étaient en général, soit des Directeurs de la R&D, soit des Directeurs "systèmes informatiques et simulation". Les Directions Générales n'étaient pas représentées et n'ont pas engagé leur responsabilité dans les réponses au Questionnaire<sup>20</sup>. Cet état de choses peut paraître normal. Et pourtant, les progrès accomplis par la simulation (et donc, potentiellement, par la réflexion sur le monde virtuel qu'elle présente) font qu'elle peut représenter une "opportunité stratégique" et figurer comme un facteur essentiel dans des *décisions de niveau stratégique global.*

Pour mieux cerner ce que cela peut représenter, on se reportera à l'encadré ci-dessous. C'est à partir des trois niveaux d'interaction qu'il évoque qu'on va pouvoir affiner l'analyse.

#### *Simulations extrêmes et stratégie industrielle globale*

En pénétrant dans le mode industriel, la simulation numérique a rapidement fait la preuve de son *efficacité* : c'est ce que décrit le *premier niveau* d'interaction évoqué ci-dessous. Au-delà de cette efficacité, les *deuxième et troisième niveaux* d'interaction reposent sur la *pertinence* de la simulation dans la réflexion stratégique des entreprises. Cette pertinence n'est pas encore suffisamment prise en compte.

1 - Le *premier niveau* correspond au passage (qui est déjà largement réalisé) à un usage industriel de la simulation. Celle-ci s'impose alors, à la fois pour la résolution des difficultés critiques, et pour le fonctionnement de tous les jours de la chaîne conception - fabrication. Les problèmes qu'il faut résoudre concernent :

- D'une part, l'équilibre entre simulation (virtuel) et essais (matériel), à l'intérieur du budget de développement.
- D'autre part, les ressources à allouer pour la constitution d'un système cohérent (mais néanmoins évolutif) commun aux différents métiers qui interviennent dans la chaîne industrielle.

<sup>20</sup> On a pu observer le même comportement lors du Forum ORAP : les exposés présentés n'apprenaient que peu de choses sur la place que les Directions Générales donnaient à la simulation.

Ces arbitrages, qui commandent les budgets consacrés à la simulation, sont résolus au niveau des Directeurs de l'entreprise, mais ne font en général pas intervenir directement le niveau Présidence/Direction Générale.

- 2 - Un *second niveau* correspond à la décision de se lancer dans la création d'un produit qui implique un *saut technologique majeur*, un produit qui va, s'il réussit, créer une rupture en coût/qualité par rapport à la concurrence. Pour assurer le succès du "saut", la définition d'une chaîne conception - fabrication - qualification est nécessaire. Il est alors évident que l'existence d'un produit virtuel et donc le suivi de son développement par calculs - essais - validation des points critiques, est un avantage décisif. Ce type de décision (saut technologique et produit virtuel) relève alors de la Présidence/Direction Générale.
- 3 - Le *troisième niveau* est moins facile à définir. Il correspond à la question "progrès/survie de l'entreprise", mais l'aborde à partir de l'analyse du métier global et de l'ensemble des "acteurs" qui sont, soit les sous-traitants, soit les alliés, soit les compétiteurs de l'entreprise elle-même. Comme pour les autres niveaux, il s'agira de disposer d'un système virtuel simulant le produit et sa chaîne industrielle : mais cette fois, ce ne sera pas pour définir de nouveaux produits. Ce sera pour savoir si ce *système est assez puissant pour que l'entreprise garde une maîtrise complète de ses développements*. Cette question concerne les alliances, les partages industriels et les interfaces qui seront choisis, la sous-traitance, l'accès aux connaissances impliqué par tout projet partagé, etc. Réfléchir à ce type de maîtrise est, nécessairement, une responsabilité de la Présidence/Direction Générale.

Aujourd'hui, la France est plutôt en phase de consolidation et le *premier niveau* est celui que l'on rencontre le plus souvent. Comme le montre l'encadré, ce niveau recouvre deux situations très différentes, selon que l'entreprise utilise avant tout la simulation pour résoudre des difficultés critiques, ou qu'elle l'a adoptée pour optimiser l'ensemble du système de conception/production.

#### *Le franchissement de difficultés critiques*

La construction et l'exploitation d'objets aussi complexes, aussi liés au progrès technologique que le sont les produits industriels actuels ne va pas sans défaillances, sans incidents qui, au moment où ils se produisent, ne sont ni prévus ni même entièrement compris. Le coût d'un incident inexplicable est énorme. La détermination des corrections et des nouvelles marges de sécurité ne l'est pas moins. La simulation, en général plus rapide et moins coûteuse que des essais, joue alors un rôle essentiel. Et, dans tous les cas, il s'agit de simulations "aux frontières" de ce que l'on sait faire.

Cette façon de faire appel à la simulation est évoquée dans de nombreuses réponses au Questionnaire, ainsi que dans les interventions faites lors du séminaire. Elle caractérise aussi bien des entreprises centrées sur des technologies de pointe, que des secteurs d'entreprises couvrant des domaines plus vastes. Dans tous les cas, l'arbitrage entre simulations et essais se fait *dans le cadre des budgets de recherche-développement* et sous l'autorité du Directeur responsable. C'est également dans ce cadre que se définit la politique des codes de simulation.

Cette politique fait appel, pratiquement toujours, à des codes universitaires et dépend ainsi de projets qui relèvent du financement public. L'entreprise aura (parfois en collaboration avec d'autres) accompagné leur développement, mais ne l'aura pas intégré dans les outils d'usage courant et n'aura pas dimensionné son architecture de traitement pour pouvoir les utiliser. On trouve donc ici une explication du caractère "aplati" de la pyramide<sup>21</sup> des centres de calcul industriels.

Nous reviendrons plus loin sur ce qui peut être dit de cette "stratégie des utilisations opportunistes". Stratégie qui n'est pas propre à la France, et que l'on retrouve dans tous les grands pays et en particulier là où on ne l'attendait pas: en Allemagne et aux USA. L'industrie profite intelligemment

---

<sup>21</sup> Cette pyramide se développe plus "par sa base" que "par sa pointe". En effet, les simulations les plus ambitieuses restent, de façon assez systématique, traitées dans le cadre de la recherche et sur les ordinateurs correspondants.

des investissements scientifiques faits par le secteur public. Elle peut même peser sur la définition des projets de recherche. *Mais elle n'assume en aucun cas le risque de l'investisseur*. Elle est donc condamnée à subir le risque que les investissements ne soient pas faits.

### *L'optimisation globale*

Pour que la simulation puisse jouer un rôle dans la chaîne de conception/fabrication des entreprises, il faut qu'on puisse l'organiser comme un système complet et cohérent. Complet veut dire que les divers métiers et sous-systèmes de l'entreprise doivent y participer. Cohérent veut dire que les échanges de données et surtout les plannings temporels doivent obéir à une logique unique. Tout ceci est très contraignant et prend du temps pour devenir opérationnel<sup>22</sup>. Lorsque ce niveau est atteint, la question de l'évolution (de la capacité à évoluer) se pose. En effet, si rien n'est fait pour la résoudre, on aboutit vite à un système opérationnel "vissé/collé" qui se révèle incapable d'accompagner les progrès techniques. L'entreprise est alors prisonnière de ce qu'on peut appeler un "développement dual" : le système opérationnel évolue très en arrière des progrès de la simulation, progrès que l'entreprise réserve pour des cas marginaux (voir paragraphe précédent).

*Les industriels qui sont intervenus au cours du séminaire étaient, en général, très conscients des risques associés au développement dual*. Pour assurer l'évolutivité, deux stratégies ont été décrites.

*La première stratégie* consiste à adopter, pour le système de simulation, une règle qui le rend "indépendant" des aléas de l'entreprise. Il est alors composé de logiciels "du commerce"<sup>23</sup>. Cette stratégie rencontre deux difficultés :

- d'une part, les spécifications nécessaires pour l'entreprise ne sont pas toujours présentes dans l'offre commerciale, ce qui empêche le système installé d'être "complet": il ne traite pas "toute" l'entreprise.
- Et surtout, le coût des logiciels peut devenir prohibitif.

En définitive, les problèmes liés à une stratégie de logiciels externes, même s'ils ne sont pas visibles au cours des premières années, finissent par apparaître. Personne ne peut faire l'économie d'une planification sur plus de trois ou même cinq ans.

*La seconde stratégie* consiste à imposer comme règle "absolue" le fait que les développements faits en avance par rapport au système opérationnel de niveau n sont toujours destinés à intégrer la

---

<sup>22</sup> Ce cahier des charges est très voisin de celui qu'on discutera au chapitre suivant, qui porte sur les grands systèmes de simulation de la Recherche. Il constitue, dans les deux cas, un véritable défi, qui peut se décliner en notant qu'on veut à la fois (selon les termes du chapitre IV):

- "garantir une véritable autonomie dans la modélisation et l'écriture des codes des sous-systèmes (par exemple, changement de modèle de maille),
- garantir l'indépendance des codes par rapport aux données, car les responsables des uns et des autres sont différents,
- garantir l'autonomie des sous-systèmes et du système lui-même, par rapport aux architectures de traitement,
- tout en assurant la cohérence d'ensemble et le couplage qui sont nécessaires pour que l'ensemble fonctionne"...
- 

<sup>23</sup> "Du commerce" ne signifie pas que ces codes ne sont pas contrôlés : les créateurs de ces logiciels appartiennent au même monde que l'industriel (et que ses concurrents). Il peuvent accepter de développer des morceaux de code spécifiques, etc.

Le fait qu'une profession toute entière utilise les mêmes codes a, par ailleurs, une conséquence intéressante : c'est que chacun sait, à peu de choses près, ce que font les autres. Les industriels qui se sont exprimés sont donc à peu près certains que, au niveau des simulations opérationnelles, l'écart avec leurs compétiteurs n'est pas très important.

version (n+1) du système. Les contraintes liées au basculement n/(n+1) sont importantes, surtout lorsque le système est, en réalité, une somme de sous-systèmes .

Cette règle a été mise en œuvre avec succès par MétéoFrance. Le besoin de disposer d'un produit opérationnel toujours situé « au meilleur niveau » a emporté la décision (tout développement dual aurait eu, à terme assez court, des conséquences désastreuses).

Au total, les décideurs industriels sont conscients de la difficulté de l'effort qu'ils ont entrepris. Mettre en place un système cohérent, qui couvre les différents métiers de l'entreprise, est une chose. Faire en sorte qu'il reste évolutif en est une autre, qui exige une planification de long terme. Or, de façon générale, ces décideurs disposent de trop peu de marges pour pouvoir se préoccuper d'autre chose que des besoins informatiques de leur système au cours des deux à trois ans qui viennent. Deux choses, en particulier, leur échappent :

- D'une part, les besoins exceptionnels (ceux qui correspondent à une simulation sur cent) : ils sont alors traités de façon "opportuniste", en comptant sur la disponibilité de puissances importantes, accessibles via les réseaux informatiques (ce qui, par parenthèse, explique que le TOP 500 ne soit pas un indicateur pertinent, au moins dans l'absolu).
- D'autre part, l'évolution à moyen terme des besoins qui correspondent aux différents métiers de l'entreprise (ainsi peut-être que l'évolution des principaux compétiteurs).

### III.3 - Quelques remarques, en conclusion

Si l'on revient aux trois niveaux d'intégration stratégique que définissait l'encadré et si on les confronte aux témoignages recueillis, on aboutit à un tableau assez nuancé.

D'une part, il est clair que les entreprises françaises opèrent au premier niveau<sup>24</sup>. D'autre part, les industriels, même s'ils considèrent les niveaux 2 et 3 comme utopiques ou trop difficiles à atteindre, ne remettent pas en cause l'intérêt qu'ils présentent. Mais ils ne sont pas encore sortis des difficultés liées à la pérennisation des systèmes actuels, à la réconciliation entre l'objectif de "globalité" et celui de "flexibilité/ évolutivité".

*La situation est donc, par bien des aspects, assez voisine de celle dont les entreprises de services informatisés (Banques, Assurances, Télécommunications) sont en train de sortir. Mais le niveau d'implication des Directions Générales semble être moins fort. En conséquence, les ressources dont disposent les responsables sont plus faibles et ajustées aux besoins du court terme.*

*En définitive, ce qui empêche l'industrie de profiter pleinement de la puissance de la simulation, c'est le choix de l'échelle de traitement des problèmes. Dans le temps d'abord, car la vision dépasse rarement 3 à 5 ans. Dans l'espace ensuite, car cette vision n'est pas partagée par l'ensemble de l'entreprise (niveau 2 de l'encadré), et ne prend jamais en compte l'ensemble du monde industriel (niveau 3). On a donc un mécanisme "bottom-up" efficace mais limité, dont les insuffisances ne sont pas corrigées par une vision "top-down", qui ne s'est pas encore suffisamment manifestée.*

---

<sup>24</sup> D'ailleurs, à partir des niveaux 2 et 3, la distinction entre "franchissement de difficultés critiques" et "optimisation globale" n'a plus de sens (les systèmes sont organisés pour prendre en charge, simultanément, les deux aspects). Le fait que cette distinction soit très perceptible aujourd'hui signifie bien que les problèmes de niveau 1 sont dominants.

## CHAPITRE IV - Les Acteurs de la Recherche face aux progrès de la Simulation

---

Le monde de la recherche est maintenant conscient du fait que la simulation est devenue un véritable "outil pour la science", et en particulier pour l'étude des systèmes complexes. Mais il est confronté à toutes les difficultés que pose la construction des grands systèmes de simulation: difficultés liées à l'interdisciplinarité, au financement, à l'organisation.

Par ailleurs, la recherche ne s'organise pas nécessairement autour de grands systèmes pérennes de simulation. Un autre modèle de travail est possible, qu'on a désigné par le terme de "front d'attaque dispersé": non seulement ce modèle est très répandu, mais il s'accommode de projets plus petits, et de plus courte durée.

---

### IV.1 - Deux modèles de développement

Les quinze dernières années ont montré que la simulation pouvait jouer, et jouait effectivement, un rôle croissant dans toutes les disciplines, dans tous les secteurs de la recherche. Néanmoins, même si l'usage est aujourd'hui général, il ne correspond pas partout aux mêmes besoins et il s'en faut de beaucoup qu'on trouve partout une organisation et un mode de développement homogène. Bien au contraire, on constate qu'on se trouve confronté à *deux modèles de développement* :

1. Le premier conduit à la mise en commun d'efforts importants, sur une longue période de temps (plus d'une décennie). Au cours de cette période, c'est le système de simulation qui assure l'unité du groupe et la pérennité des développements. Le système lui-même nécessite des puissances de calcul élevées. Par ailleurs, et c'est là le point essentiel, il met en jeu des "objets informatiques" (logiciels et données) de grande taille.
2. Le second repose sur de multiples équipes de taille moyenne, qui ne sont liées que par une inter-comparaison entre les résultats, par une mise en commun d'une partie des données et par une programmation commune très souple. Les logiciels et les données peuvent rester assez modestes, même lorsque la puissance de traitement demandée devient énorme.

Ces deux modèles de développement de l'activité de simulation *n'apparaissent pas au hasard*. Le premier correspond à *l'étude des systèmes complexes*, subdivisés en un grand nombre de sous-systèmes plus simples, à la fois très différents entre eux et néanmoins très interactifs. Le second aura les caractéristiques opposées : on essaiera de franchir, par la simulation, une *difficulté « centrale »* unique, qui relèvera en général d'une seule discipline.

On voit bien que l'usage intensif de la simulation, même s'il correspond en général à l'existence d'un « Problème frontière pour la recherche, exigeant des ressources exceptionnelles » ne correspond pas nécessairement à la notion plus spécifique de « Problème exigeant le travail de différentes équipes, pour la construction d'une cathédrale (simulateur) unique, destinée à durer »<sup>25</sup>. Il est donc intéressant de regarder de plus près comment fonctionnent les deux modèles que l'on a ainsi distingués.

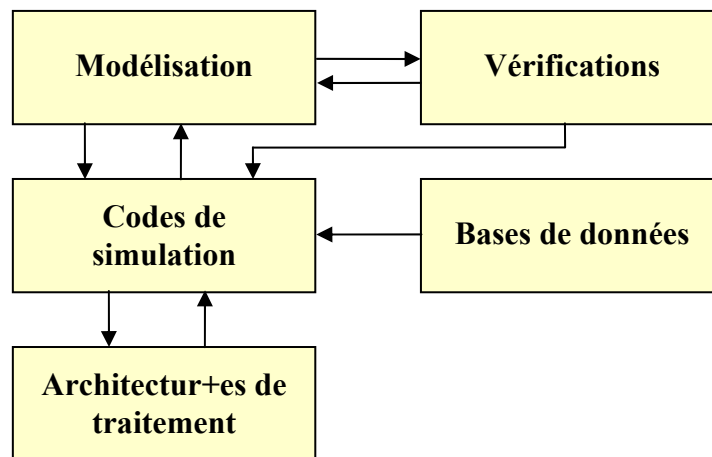
---

<sup>25</sup> Cette différence de situation et même d'objectifs explique partiellement la difficulté qu'éprouvent les autorités du monde de la Recherche publique à définir une politique d'investissement stable et claire.

## IV.2 - Grands systèmes unifiés et pérennes. Le premier modèle

Ce qui fait l'intérêt et la difficulté des systèmes complexes, c'est qu'on doit les subdiviser en sous-systèmes (faute de quoi, on serait incapable de travailler) mais que le couplage entre ces sous-systèmes est assez fort pour qu'il soit impossible de les étudier séparément : leur comportement « couplé » diffère de leur comportement « non-couplé »<sup>26</sup>. C'est ce qui explique que ces grands systèmes posent des problèmes redoutables de gestion et d'organisation, avant même de poser des problèmes informatiques.

L'organisation à mettre en place est, en effet, d'autant plus complexe que le travail à réaliser concerne (au moins) cinq domaines ou types d'activité très différents, comme l'indique le schéma ci-dessous.



Chacun des domaines concernés demande des ressources et une expertise spécifique. Chacun obéit à des plannings (des constantes de temps) spécifiques. Construire une « cathédrale » commune soulève donc beaucoup de difficultés. Cette cathédrale est, par ailleurs, composée de différentes parties, correspondant aux sous-systèmes qui viennent d'être évoqués et qui se développent d'autant mieux et d'autant plus rapidement qu'elles peuvent être considérées comme autonomes. Ce qui oblige à considérer que chaque sous-système (ou partie) relève d'un schéma d'organisation qui lui est propre, tandis que le système lui-même relève du même schéma, mais globalement. Le défi posé aux responsables est donc de garantir *la cohérence de l'ensemble*, en même temps que *l'extensibilité, la souplesse des parties*.

Ce défi est *tout à fait comparable à celui rencontré au chapitre précédent*. Comme lui, il peut se décliner en notant qu'on veut à la fois :

- garantir une véritable autonomie dans la modélisation et l'écriture des codes des sous-systèmes (par exemple, changement de modèle de maille),
- garantir l'indépendance des codes par rapport aux données, car les responsables des uns et des autres sont différents,
- garantir l'autonomie des sous-systèmes, et du système lui-même, par rapport aux architectures de traitement,

---

<sup>26</sup>On voit tout de suite que cette dernière condition modifie profondément le problème, et le rend beaucoup plus difficile. En effet, la solution traditionnelle pour obtenir l'indépendance s'appelle "l'encapsulation", qui conduit à ce que chaque sous-système soit une "boîte noire" pour tous les autres. C'est justement ce que ne permet pas le couplage entre sous-systèmes. Si le système est appelé "complexe" c'est parce qu'il ne peut pas être découpé de cette façon-là.

- tout en assurant la cohérence de l'ensemble et le couplage qui sont nécessaires pour que l'ensemble fonctionne.

On voit donc que la construction de grands systèmes unifiés rencontre beaucoup d'obstacles *et que la taille des architectures de traitement n'est peut-être pas le plus important d'entre eux*. Sur le moyen terme, le développement est d'abord freiné par les difficultés d'organisation, ensuite par l'insuffisance des ressources humaines.

Le premier point correspond aux obstacles que rencontrent les grands projets et à la réticence des communautés de recherche à appeler « projet », ainsi qu'à traiter comme tel, la construction d'un système de simulation capable de résister au temps. L'exemple du « Earth Simulator » japonais montre que, dans beaucoup de domaines, de tels projets pourraient naître. Il montre aussi que, dans le cas du Japon, c'est l'installation annoncée d'une architecture surpuissante qui les a, en quelque sorte, obligé à naître.

Le deuxième point est une conséquence du premier. Il correspond à la nécessité de former, de sélectionner, mais aussi de récompenser les chercheurs nécessaires pour concevoir, mettre en place, et faire évoluer le système.

Les différentes auditions conduites par le Groupe Simulation, ainsi que les réponses au questionnaire, montrent qu'au sein de la recherche française (et, plus largement, de la recherche européenne) les systèmes unifiés ne sont pas encore très nombreux. La *modélisation du climat* en constitue l'archétype. La montée en puissance de ce système l'a conduit, comme on l'a expliqué au chapitre II.4, à se structurer et à se fixer des objectifs qui sont bien ceux qui ont été listés précédemment :

- L'unification de l'architecture globale. Cette unification est l'objet du projet européen PRISM.
- La convergence des différents sous-systèmes vers un nombre réduit de modèles, permutable entre eux lors des expériences d'inter comparaison<sup>27</sup>.
- La mise en commun des données et des résultats.

D'autres secteurs montrent une tendance à s'organiser en grands systèmes, sans avoir franchi le pas d'un développement étroitement coordonné. On peut citer en particulier :

- La mécanique de la turbulence et la combustion.
- La simulation des matériaux, sur laquelle on reviendra plus loin. Aujourd'hui, la simulation des matériaux se développe plutôt selon le schéma "fronts d'attaque dispersés" dont il va être question maintenant.

### IV.3 - Fronts d'attaque dispersés. Le second modèle

L'organisation à laquelle conduit ce modèle est beaucoup plus simple<sup>28</sup>. Au contraire du précédent, il se contentera d'une coordination assez lâche entre les différentes équipes (au moyen d'un simple système de *benchmarking*) qui permettra néanmoins de s'assurer que le « front d'attaque » des

<sup>27</sup> Le niveau de convergence atteint, déjà très grand pour ce qui concerne les sous-systèmes "atmosphère" et "océan", est beaucoup moins avancé pour les surfaces continentales et l'hydrologie.

<sup>28</sup> On trouvera une description prémonitrice de ce modèle dans « La logique de la liberté » de Michel Polanyi. Pour cet auteur, il s'agit du seul modèle possible pour l'activité scientifique. On voit à quel point l'émergence des problèmes complexes (qui a rendu le premier modèle incontournable) est venue modifier les choses.

problèmes progresse de façon régulière. De sorte que chaque équipe a une conscience claire, à la fois des « problèmes à résoudre » et de ceux qui sont considérés comme « résolus ». Mais ce qui constitue la différence la plus significative, c'est que le besoin de permanence, de sauvegarde des acquis, est beaucoup plus limité que pour le premier modèle.

Les outils jugés nécessaires dans le cadre de ce dernier (par exemple, les grandes bases de données ou les très grands ordinateurs) sont considérés comme moins essentiels, parfois même comme accessoires. Le niveau méthodologique (outils de coordination) est maintenu assez bas, tous les efforts se concentrant sur la « modélisation innovante », même si elle s'accompagne de simulations parfois peu significatives.

Jusqu'ici, en France, les simulations de ce type se sont développées sur des serveurs, des machines dédiées, situées au niveau de la « méso-informatique » ou encore sur les centres de calcul partagés par toute la communauté scientifique. Par contre, des pays comme les USA<sup>29</sup> ou le Japon<sup>30</sup> ont fait croître la puissance de ces machines *dédiées à une discipline* qui dépassent maintenant le Teraflop et figurent parmi les candidats pour des machines plus puissantes. C'est ainsi que le second modèle de développement, qui jusqu'ici a différé du premier par la taille des architectures impliquées, pourrait le rattraper ou même le dépasser. Il restera distinct de celui-ci, néanmoins, par son caractère mono disciplinaire, et par la (relative) simplicité des problèmes d'organisation qui sont les siens.

Naturellement, les domaines scientifiques qui connaissent actuellement les changements les plus rapides se retrouvent en grand nombre au sein du modèle "front d'attaque dispersé". La biologie (de la simulation des protéines à celle de la cellule) en est d'ailleurs l'archétype, comme l'a montré le Professeur Lavéry dans une présentation au groupe de travail, ainsi que dans un exposé de synthèse lors du Forum ORAP.

Mais de nombreux autres secteurs connaissent des évolutions analogues, ce qui ne les empêche pas d'afficher une croissance importante de leurs besoins. Citons d'abord la Chromodynamique Quantique, qui est l'objet d'une activité intense. Et n'oublions pas la simulation dans le domaine des nanotechnologies : déjà très active aux USA, elle devrait apparaître en Europe et se situer au rang des grands demandeurs de ressources.

Avant de conclure, on doit rappeler pourquoi et en quoi les communautés qui se développent selon le second modèle diffèrent des précédentes :

- pour les premières, l'objectif est la pérennité des investissements logiciels et intellectuels. Organisation et ressources humaines sont les ressources rares.
- Pour les secondes, la puissance de traitement est la ressource rare, mais elle peut se répartir sur des architectures très diverses. Les investissements logiciels et intellectuels sont très évolutifs et, le plus souvent, périssables<sup>31</sup>, compte tenu de l'évolution rapide de la discipline et de ses paradigmes.

Il n'est d'ailleurs pas surprenant que beaucoup de communautés évoluent selon des systèmes assez mixtes, assez intermédiaires.

---

<sup>29</sup> On trouvera des références dans IBM Systems Journal « *Blue Gene: A vision for protein science using a petaflop supercomputer* » Mars 2001. Et dans « *Creating Science-driven computer architecture: a new path to scientific leadership* », LBNL/PUB-5483.

<sup>30</sup> National research Grid Initiative (NAREGI); Project Biogrid French/Japan Workshop on grid computing, Mars 8-9, Paris.

<sup>31</sup> Comme ces investissements intellectuels sont, de toutes façons, assez importants, il peut arriver que l'on souhaite distribuer ou vendre les logiciels correspondants. On se rapproche alors (souvent sans en être conscient) des contraintes du modèle de développement précédent

## IV.5 - Quelques mots de conclusion

*Ce chapitre cherchait avant tout à proposer des modèles d'analyse et si possible d'explication. Les conclusions viendront plus tard. On peut néanmoins souligner, dès à présent, deux constatations de portée assez générale.*

Tout d'abord, on a proposé deux modèles de développement de la simulation au sein de l'activité de recherche. Comme ces deux modèles sont extrêmement différents, on peut estimer qu'il est peu probable que les mêmes conclusions, et encore moins les mêmes recommandations, soient valables simultanément pour les deux.

## IV.5 - Quelques mots de conclusion (suite)

On constate néanmoins que, lorsque les communautés de recherche investissent dans la simulation et que leurs besoins augmentent, leur cahier des charges évolue. Il finit par emprunter plusieurs "traits" aux deux modèles purs qui ont été décrits.

Ensuite, on a vu se dessiner, au travers des exemples analysés, une sorte de relation dialectique entre, d'une part, l'évolution de la simulation, activité complexe qui dépend de multiples ressources en dehors des moyens de traitement et, d'autre part, la croissance de ces moyens eux-mêmes.

*De grandes ambitions en matière de simulation ne peuvent pas se développer si les moyens de traitement sont, durablement, trop faibles. Réciproquement, les décideurs hésiteront toujours à investir dans des moyens s'ils se trouvent face à des communautés hésitantes ou mal organisées. De même, la collaboration recherche - industrie peut s'exprimer dans des simulations très ambitieuses, mais elle hésitera à le faire si elle n'est pas assurée de pouvoir trouver les architectures qui hébergeront ces projets.*

## Résumé des chapitres II, III, et IV. Un diagnostic qui n'est pas très rassurant

Remarquons d'abord que tous les indicateurs concordent. Il y a d'abord l'évolution du "classement français au sein du TOP 500" et la médiocrité de la place qu'occupe notre pays dans l'ensemble européen. Il y a ensuite la pauvreté européenne en matière de grands projets, face au nombre et à l'importance de ceux qu'engagent, de leur côté, américains et japonais. Il y a enfin l'analyse qui peut être faite des nombreux domaines où la France a beaucoup de difficultés à faire jeu égal avec ses compétiteurs.

Les auditions que le groupe de travail a menées, les réponses qu'il a reçues au questionnaire que l'on trouvera en annexe, la journée de réflexion qu'il a organisée lui ont permis de préciser le diagnostic et de proposer une analyse plus "en profondeur".

Dans le domaine opérationnel, bien que la simulation ait réussi à occuper une place que personne ne lui dispute, cette place n'est jamais située "au sommet". Les services qu'elle peut rendre pour explorer des opportunités stratégiques, pour éclairer les décisions majeures de l'entreprise, sont restés assez largement en friche.

Il en résulte d'ailleurs que l'industrie accepte assez facilement de se situer en retrait, assez loin derrière de ce que font des entreprises de services comme les Télécommunications, pour lesquelles l'informatique est indissolublement liée à l'offre. Ces entreprises ont atteint, vis-à-vis de leurs applications, une maturité que l'industrie n'a pas encore, vis-à-vis de ses systèmes de simulation.

Il en résulte également que les industriels, malgré le soin qu'ils ont mis à constituer un réseau de recherche qui les accompagne, adoptent volontiers une "attitude opportuniste" en ce qui concerne la façon dont ce réseau peut travailler. Ce qui signifie qu'ils utilisent la capacité du réseau à faire des simulations de pointe, mais ne se préoccupent pas beaucoup de savoir si cette capacité est menacée: on est loin d'un fonctionnement "conjoint et solidaire" qui seul permettrait d'afficher de grandes ambitions.

Dans ce panorama en demi-teinte, *un secteur fait exception. C'est celui des services opérationnels de prévision et de surveillance.* Météo France en est le modèle, mais l'Océanographie opérationnelle ou la prévision des pollutions sont en train de suivre. Pour ce secteur, le service et la simulation ne font qu'un. Les insuffisances signalées plus haut (qu'il s'agisse de stratégie globale, de maîtrise des logiciels, ou du maintien d'une unité sans faille entre la recherche et l'opérationnel et de l'interdiction de tout schéma de développement dual), ne sont pas compatibles avec le métier de la prévision.

*Dans le monde de la recherche*, on constate que peu de grands systèmes, de "cathédrales" construites pour durer, ont réussi à voir le jour. Ce qui signifie, pour partie, qu'une certaine autocensure est à l'œuvre, et pour partie, que les grands projets sont difficiles à organiser.

Cette difficulté est le pendant de ce qu'on a constaté chez les opérationnels. La simulation n'a pas encore, dans l'esprit des responsables scientifiques, complètement atteint sa majorité. On reviendra sur ce sujet aux chapitres V et VI. On rencontre à la fois un déficit de moyens et un déficit d'image: les équipes qui se consacrent à la simulation ne sont pas toujours récompensées et le déficit d'image entraîne une certaine difficulté à trouver des vocations.

Par ailleurs, le monde de la recherche ne s'organise pas nécessairement autour de grands systèmes pérennes de simulation. Un autre modèle de travail est possible, qu'on a désigné par le terme de "front d'attaque dispersé" : non seulement ce modèle est très répandu, mais il s'accommode de projets plus petits, et de plus courte durée.

Ce que l'on peut alors redouter, c'est de voir une dépendance s'instituer vis-à-vis des communautés d'autres pays, capables d'investissements plus importants. La diffusion, auprès des équipes de recherche françaises, des logiciels et bases de données américaines en est un exemple, périodiquement évoqué et regretté.

Ce résumé a été écrit en passant largement sous silence la réussite d'ensemble et les succès de la simulation. Il doit être bien clair, néanmoins, que ce rapport n'aurait aucun sens si ces succès n'existaient pas et si le "passage en 2ème division" était considéré comme inéluctable. Le diagnostic proposé se concentre sur les faiblesses justement parce que le Groupe Simulation est persuadé, comme l'étaient ses interlocuteurs, que rien n'est inéluctable.

Pour conclure, il faut souligner que, parmi les faiblesses souvent évoquées, il en est une qui n'existe pas vraiment : c'est le manque supposé de collaboration entre le monde de la recherche et le monde opérationnel. Plus précisément, cette collaboration est apparue comme supérieure en France à ce qu'elle est en Allemagne ou aux USA. Dans ce dernier pays en particulier, les projets que l'on trouve sur le réseau ASCI ou dans le cadre du DOE ne sont pas développés en collaboration avec les industriels. En France, cette collaboration manque d'ampleur et garde souvent ce qu'on a appelé un caractère opportuniste. Mais elle existe et elle est, malgré tout, très active.

## CHAPITRE V - Faiblesses, difficultés, freins culturels

---

Les diagnostics proposés au cours des chapitres précédents ont d'abord souligné que les ressources dont dispose la simulation ne sont pas suffisantes pour que la France fasse jeu égal avec ses compétiteurs. Mais ils ont également montré qu'il existe d'autres freins, liés aux organisations et aux comportements. Dans ce chapitre, nous en examinons trois :

- La faiblesse que l'on constate dans le secteur du logiciel, tout particulièrement pour l'élaboration et la diffusion des grands logiciels, faiblesse qui apparaît lorsqu'on compare le domaine de la simulation avec celui des applications de gestion.
  - La rareté des grands projets, multi-acteurs, consacrés spécifiquement à la simulation.
  - L'inadéquation, relative mais réelle, des ressources humaines.
- 

### V.1 - Le logiciel : faiblesses, mais aussi opportunités

Le logiciel est, avec les architectures matérielles, une des composantes essentielles du calcul haute performance. Ainsi, à l'occasion du forum organisé pour les 10 ans de l'Association ORAP, il a été affirmé que les progrès en termes de logiciels étaient à l'origine de 50% des gains de performance. Ceci est un élément favorable pour une position française plus forte si les compétences nombreuses dans ce domaine sont correctement organisées et utilisées.

Le domaine couvert par le logiciel peut être divisé en trois "étages" :

*Les logiciels de base*, (système d'exploitation, outils réseaux, outils et langages de développement, systèmes d'administration, services d'applications ou de fichiers, serveurs WEB....) constituent, en complément des parties matériels proprement dites, l'élément de base de l'offre Systèmes d'Information. Dans ce secteur on retrouve, d'une part des situations de quasi monopoles de constructeurs (tel que WINDOWS de Microsoft) et, d'autre part, une offre de plus en plus importante et largement concurrente en terme de logiciels libres<sup>32</sup>.

*Les logiciels intermédiaires* (Middleware) ont, comme leur nom l'indique, une fonction d'intermédiation : fonctionnellement, leur définition est universelle, alors que, dans leur réalisation, ils sont très liés aux architectures matérielles (outils de distribution ou de parallélisation des logiciels, outils de développement ou de ré ingénierie (parallélisation – gridification) , middleware notamment dans le cadre des systèmes distribués ou des grilles informatiques – outils de qualification – bibliothèques scientifiques de base, ....). Ces outils sont essentiels, notamment pour permettre une utilisation aisée et si possible optimale, des nombreux logiciels applicatifs disponibles<sup>33</sup>.

*Les logiciels applicatifs* constituent le cœur de métier de la simulation, et le patrimoine qu'il faut protéger et développer. Ils comprennent aussi bien les progiciels largement diffusés que les très nombreux logiciels développés spécifiquement pour des besoins internes au sein des laboratoires et des entreprises.

---

<sup>32</sup>. Assurément, comme on le verra plus loin, il s'agit d'une opportunité offerte à de nouveaux entrants (notamment français) pour conquérir (ou reconquérir), notamment pour les systèmes de puissance ou clusters, une place significative.

<sup>33</sup> Ces logiciels font l'objet de développement nouveau très important, notamment dans le cadre d'initiatives nationales (par ex. programmes e-Science en UK) ou européennes (Datagrid – puis EGEE par exemple). L'Europe et tout particulièrement la France sont, a priori bien placées en terme de compétences pour prendre une large place dans ce secteur, à condition que des initiatives industrielles ayant des financements suffisants pour se situer très rapidement dans le contexte mondial, soient lancés.

Trois points apparaissent particulièrement importants, si l'on veut atteindre un niveau de "professionnalisme" comparable à celui dont bénéficient, aujourd'hui, les applications commerciales :

- *La composante algorithmique*, qui doit pouvoir évoluer en tirant le meilleur parti des progrès faits par les architectures (et logiciels de base), mais sans en être prisonnière. Ce défi ne peut être relevé que grâce à une parfaite maîtrise du développement logiciel.
- *Les méthodes et les outils du développement logiciel*, dont la connaissance et la pratique accusent, aujourd'hui, un certain retard par rapport à ce qui est réalisé dans d'autres domaines de l'industrie et des services.
- *La diffusion des logiciels*, en particulier au travers de logiciels libres, qui devrait assurer aux codes développés la reconnaissance internationale et la pérennité qui leur fait souvent défaut.

### V.1.1 - La composante algorithmique

Le schéma présenté au chapitre IV montrait clairement le problème. Le travail de construction des codes applicatifs doit être protégé vis-à-vis de l'évolution des architectures et des changements de périmètre de la simulation. Cette protection est partiellement assurée par l'étage "middleware" dont c'est justement la mission. Néanmoins, l'indépendance n'est pas complète : les architectures imposent, pour être exploitées au maximum de leur capacité, des méthodes numériques adaptées et complexes.

Le passage d'architectures vectorielles aux architectures hautement parallèles est (comme l'a montré l'évolution des codes d'aérodynamique citée en II.3) un exemple de ces évolutions qui nécessitent que soient réunies, au niveau des créateurs de codes, un ensemble de compétences couvrant à la fois la physique, les mathématiques, l'algorithmique, et l'informatique.

De nombreux échecs dans le passé ont été dus à l'absence de dialogue entre ces groupes de compétence débouchant sur des architectures inadaptées aux applications ou à des logiciels inexploitable sur les systèmes nouveaux. Il est évident que ceci nécessite la constitution *d'équipes pluridisciplinaires regroupant toutes ces compétences : malheureusement, l'organisation actuelle de la recherche n'a que rarement permis leur constitution. Les exemples cités en II.3 et II.4 sont, de ce point de vue, assez exceptionnels.*

### V.1.2 - Les techniques de développement logiciel

Comme nous venons de le rappeler, les codes de simulation (notamment dans le cadre de grands challenges scientifiques et industriels comme les matériaux, l'aéroacoustique, la climatologie...) sont des ensembles très complexes dont la réalisation nécessite une *organisation rigoureuse et l'usage de techniques de développement logiciel avancées.*

Le développement de tels logiciels réunit un nombre élevé de personnes de spécialités variées (ce nombre peut dépasser la centaine), souvent au sein d'équipes géographiquement réparties. Les techniques de conduite de projets et d'assurance qualité doivent s'imposer tant pour les équipes industrielles qu'académiques. Les outils du génie logiciel (approche objet, structuration des données, différents niveaux de spécifications, choix des langages et des normes de programmation, tests de validation,...), les techniques de travail collaboratif.... sont essentiels. Aujourd'hui toutes

ces méthodologies existent mais sont souvent non utilisées, voire ignorées par les développeurs de codes<sup>34</sup> de simulation.

Face à cet ensemble de difficultés, une des solutions mises en œuvre aux Etats-Unis au sein du Programme SciDAC a consisté à rassembler quelques unes des meilleures équipes (dans les différentes disciplines qui viennent d'être évoquées) pour construire des codes très optimisés. Le revers de cette démarche est qu'elle aboutit à isoler ces projets et ces équipes. Isolement qui atteint le produit final, c'est-à-dire les codes eux-mêmes, qui risquent de ne pas avoir, au sein du monde de la recherche, l'impact que l'on avait espéré.

Ainsi, pour faire dialoguer physiciens, numériciens et informaticiens, la solution ne semble pas de les isoler dans des projets spécifiques, mais de s'assurer que, pour tous les projets d'une certaine importance, *on a bien constitué des équipes regroupant l'ensemble des compétences, et que ces équipes utilisent les outils et les méthodologies du meilleur niveau international*. Pour la réalisation des « cathédrales logicielles » tous ces éléments doivent être bien pris en compte, car ils permettront de déboucher sur une cohérence et une complémentarité des travaux des différentes équipes, sur une meilleure pérennité des logiciels et sur une promotion large de ceux-ci.

### V.1.3- Diffusion des logiciels - L'impact du logiciel libre

Les logiciels sont devenus les produits finaux des travaux et études dans de très nombreux secteurs. Ils intègrent les compétences et le savoir-faire des équipes de R&D académiques ou industrielles. Ils peuvent également être le moyen d'imposer une technologie au travers d'une normalisation de fait (voire d'un monopole), de sorte que la maîtrise du contenu (modèles – algorithmes...) devient un enjeu stratégique, notamment en terme d'indépendance économique et politique. Un outil de simulation conduira de manière forte vers une solution technique implicitement contenue dans les modèles qu'utilise le logiciel (souvent sans que l'utilisateur en soit conscient), entraînant une dépendance sur les produits conçus et les choix technologiques retenus.

*La promotion des travaux sous forme de logiciels doit être prise en compte dès le début des projets de recherche et développement*. Il faut constater que sur ce point, la situation française n'est pas satisfaisante, et que peu de logiciels ont su s'imposer au niveau international, face notamment à une majorité de produits américains, de même que peu d'initiatives assurent efficacement la valorisation des logiciels. Peu d'éditeurs de logiciels français ont atteint une taille mondiale aux exceptions bien connues que sont Dassault Systèmes, Business Objects, ILOG, ESI ou MECALOG.

*Dans ce contexte, l'impact de la diffusion sous forme de logiciels libres est clairement un phénomène essentiel qui offre des opportunités nouvelles pour redonner une place correcte aux travaux français*. L'exemple le plus connu du rôle que peuvent jouer les logiciels libres est celui de LINUX mais, dans cette lignée le WEB, notamment avec le logiciel APACHE, a accentué ce phénomène. De sorte qu'aujourd'hui de nombreux outils, systèmes d'exploitation, serveurs d'application, outils d'administration, de développement, de sécurité... disponibles sous forme de logiciels libres apparaissent comme une alternative aux produits commerciaux classiques<sup>35</sup>.

---

<sup>34</sup> Ne voit-on pas par exemple, des méthodes numériques pratiquement inutilisables car l'analyse des temps de transfert de données entre processeurs ou les aspects de qualité numérique sur les propagations d'erreur (liés à la représentation des réels en machine) sont totalement ignorés par les développeurs

<sup>35</sup> Le consortium Object Web créé à l'initiative de BULL réunit aujourd'hui plus de 250 membres et par exemple le serveur d'applications JONAS a été retenu par plusieurs constructeurs. Les middlewares de Grille se sont largement développés dans un contexte logiciels libres autour de l'initiative GLOBUS (dans le cadre du Grid Global Forum).

L'intégration de cette offre est devenu un argument commercial fort des fournisseurs d'ordinateurs (notamment des offreurs de Clusters), pour des raisons à la fois économiques et d'indépendance<sup>36</sup>.

*Le même phénomène apparaît au niveau des logiciels d'application.* Cependant le marché n'ayant pas la même ampleur et les mêmes caractéristiques, il faut examiner avec attention les modèles économiques associés et les capacités de support mises en place autour des logiciels<sup>37</sup>. Par ailleurs, le support des grands constructeurs informatiques est essentiel. Pour illustrer cette différence, donnons deux exemples :

- La plate-forme SALOME, Environnement Général pour le calcul scientifique, développée dans le cadre du RNTL apporte, dans un contexte logiciel libre, une solution intéressante pour le développement et la promotion des codes de calcul scientifique. Diffusé par la société OPEN CASCADE, cet outil a les fonctionnalités suffisantes pour devenir une (ou la) structure d'accueil pour les logiciels de calcul scientifique, notamment issus de la recherche. Pour lui assurer la promotion internationale et le support nécessaire à une diffusion large (ou minimum européen) et une reconnaissance en terme de référence, *il devrait être repris par un grand organisme*. On voit dans cet exemple clairement les limites du modèle logiciel libre qui, pour réussir, doit pouvoir *s'imposer rapidement au niveau mondial* et nécessite donc, au départ, au moins des investissements importants en terme de promotion et de support.
- La promotion du logiciel SCILAB, montre à contrario, le rôle important et nécessaire que peut jouer un grand organisme (dans le cas présent l'INRIA). SCILAB est un outil pour le calcul scientifique, fondé sur le même noyau et directement concurrent du standard commercial MATLAB. Grâce à sa mise en logiciel libre et à l'effort important de l'INRIA, SCILAB est devenu aujourd'hui un concurrent fort de MATLAB. Il est largement répandu au niveau mondial et son utilisation industrielle est de plus en plus grande, notamment grâce à la création d'un consortium avec des partenaires industriels. Il est par ailleurs devenu un des outils de référence pour l'enseignement des disciplines scientifiques. Il est un vecteur important de promotion des travaux de recherche français dans ce domaine.

Ces exemples tant de logiciels d'application que de logiciels de base, montrent que les logiciels libres sont assurément dans le secteur de l'informatique, une opportunité pour redonner à la France, une place correspondant à ses compétences, tant recherche qu'industrielles. Cependant afin de saisir de manière optimale celles-ci, des initiatives importantes devraient être prises au niveau des pouvoirs publics en cohérence avec les actions européennes, par exemple dans le cadre d'une fondation, à l'exemple de l'OMII (Open-Middleware Infrastructure Institute) au Royaume-Uni.

En conclusion, il apparaît clairement que :

- D'une part, le logiciel est une clé très importante de la simulation numérique, à égalité avec le travail de modélisation - vérification, et probablement avant les architectures.
- D'autre part, alors que la France dispose de compétences fortes et reconnues, faute d'actions permettant de fédérer les différents acteurs autour de grands projets, faute aussi d'une pratique suffisante des meilleures technologies de développement, très peu de logiciels français connaissent une diffusion mondiale.

---

<sup>36</sup> Ainsi la nouvelle machine TERA 10, du CEA-DAM, machine ayant une puissance de crête supérieure à 60 Teraflops, repose largement sur des choix de logiciels libres. (Système d'exploitation LINUX, logiciel de batch TORQUE, interface de communication Q\$NETII, Système de fichiers LUSTRE, logiciels d'administration et de surveillance. Ce choix assure d'une part une pérennité et une garantie d'indépendance, mais doit d'autre part, permettre d'intégrer des développements nouveaux qui pourront immédiatement connaître une promotion mondiale, ce qui a déjà été le cas sur certains travaux effectués au sein du CEA sur le système de gestion de fichier LUSTRE.

<sup>37</sup> Dans le cas des logiciels de base, présentés précédemment la situation n'est pas la même, le marché est extrêmement vaste, et l'effet quantitatif permet à des sociétés de taille modeste (telles que REDHAT ou MANDRAKESOFT) d'avoir un business plan adéquat.

## V.2- La simulation en manque de Projets - Un nécessaire changement de culture

Tout ce qui a été dit jusqu'ici, en particulier au cours des chapitres III et IV, montre que la simulation, et surtout la simulation "aux frontières", est nécessairement une activité pluridisciplinaire, et même "hybride". Elle est finalisée, "problem-oriented" pour parler français. Elle touche simultanément aux disciplines "de la situation à simuler" (physique, chimie, biologie, économie, etc..) et aux disciplines "de la méthode de simulation" (mathématiques, informatique). Tout cela n'aide pas à trouver des ressources et à construire de grands projets, car la culture des décideurs français ou européens n'est pas favorable (a priori) aux entreprises hybrides. Comme on le constate également pour les projets d'instrumentation, chacun peut penser que c'est aux autres d'assumer les responsabilités et les charges correspondantes. Le résultat est qu'on manque de grands projets qui s'affirment comme des projets de simulation et non d'informatique ou de physique ou de biologie. *Chercheurs et ingénieurs se plaignent du faible nombre des projets traitant spécifiquement de simulation.*

La difficulté, très générale, que nous venons d'évoquer peut être "déclinée" selon les différents secteurs :

- Les industriels sont prisonniers de l'attitude "opportuniste" qui a été décrite au chapitre III. Par ailleurs, ils manquent du recul nécessaire. Un grand projet comme celui cité en II.2 doit se donner des objectifs à 5 ans (au moins), qui impliquent une analyse portant sur 10 ans.
- Les autorités françaises et européennes s'intéressent en priorité aux projets informatiques. Comme on vient de le souligner, elles ne regardent la simulation elle-même qu'au travers des situations simulées, et se retirent du tour de table éventuel, en considérant que la responsabilité revient aux autres acteurs.
- Les grands projets sont donc, sauf exceptions, le quasi-monopole des acteurs opérationnels publics spécialistes de prévision (Météo, Océanographie opérationnelle) et de la recherche publique qui leur est proche (Climatologie).

*La solution n'est certainement pas de transformer la simulation en "discipline" spécifique et d'organiser des projets transversaux, isolés des problèmes réels.*

Cette orientation de la recherche du DOE a été déjà évoquée. Elle a été mise en œuvre par Keyes, dans le cadre du programme SciDAC. Comme indiqué plus haut, ce ne peut être qu'une solution très partielle et dont les effets peuvent être négatifs. Les américains en sont d'ailleurs très conscients et des programmes comme SciDAC contiennent beaucoup de projets plus classiques, centrés sur des "Grand challenges", sur des situations pour lesquelles la simulation permettra de franchir un obstacle. Le nombre et l'importance des projets de ce type constituent la différence la plus frappante entre les USA (et le Japon jusqu'à un certain point) et l'Europe.

*On peut tracer une sorte de "Portrait robot" des bons projets en matière de simulation :*

- Ce sont des projets multidisciplinaires, pour toutes les raisons expliquées plus haut, mais aussi parce que (voir chapitre IV) les systèmes simulés sont des assemblages de sous-systèmes.
- Ils conduisent à introduire les "bonnes méthodes" en matière de gestion de projet et d'urbanisme logiciel, et ils reposent sur l'utilisation des "bons outils" en matière de logiciels.
- Ils font place, dès le début du projet, à une réflexion sur le devenir des logiciels résultats et à leur diffusion éventuelle.

## V.3 - Les ressources humaines nécessaires à la simulation

Parvenu à ce stade du rapport, le lecteur a compris que participer à un grand projet de simulation c'est se consacrer à une activité "hybride", où interviennent plusieurs disciplines, mais aussi plusieurs métiers. Cette activité utilisera une chaîne de connaissances liées au domaine simulé (qu'il s'agisse de la mécanique des fluides ou du marché des prêts bancaires), aux mathématiques appliquées (algorithmique, traitement de données), à l'informatique (génie logiciel, architecture des grandes machines du moment), aux techniques de visualisation et, bien entendu, aux méthodes de direction de projets. Rassembler des équipes maîtrisant ces caractéristiques constitue toujours un formidable défi. On pourrait penser (et on entend souvent dire) qu'il s'agit avant tout d'un (difficile) problème de "filères de formation". Mais l'expérience montre que c'est moins la valeur de ces filières qui est en cause que leur capacité à attirer les futurs chercheurs et ingénieurs. Et qu'après les avoir formés et sélectionnés, il faut être capable de les retenir et de leur assurer une carrière.

*La simulation souffre, avant tout, d'un "déficit d'image". Cette activité hybride (cet adjectif a d'ailleurs plutôt mauvaise presse) est difficile à comprendre et nécessite un travail largement collectif :*

- dans le milieu universitaire, on ne voit pas bien où est l'apport scientifique de ceux qui travaillent au développement des codes et pas toujours (même si c'est un peu plus facile) l'apport de ceux qui les utilisent.
- dans le milieu industriel, la nécessaire technicité des acteurs développant des codes (dont les machines support changent tout le temps et dont le langage est largement hermétique) rend la reconnaissance de ces personnes difficile : ils ne sont généralement ni cœur de métier de l'entreprise, ni managers... mais, in fine, certains bâtissent des outils essentiels à leur entreprise !

Dans ces conditions, comment attirer davantage (et comment retenir) ceux qui ont le talent pour maîtriser complètement un ou deux éléments de la chaîne de connaissances, mais aussi pour comprendre les autres, alors qu'il est souvent plus gratifiant, soit de creuser un sujet (les équations, l'architecture informatique, ...), soit d'aller manager ou utiliser des outils existants ?

Pour résoudre ces questions, on peut proposer trois axes d'action : attirer des étudiants et des ingénieurs ou chercheurs vers la simulation en nombre suffisant, développer les formations nécessaires, montrer aux décideurs l'apport de la simulation.

### *Attirer vers la simulation*

Donner envie à des jeunes ou des jeunes diplômés d'aller vers la simulation, c'est d'abord la faire connaître et mettre en évidence qu'elle joue finalement un rôle majeur dans nombre des systèmes et d'objets support de notre vie quotidienne. C'est aussi montrer que celles et ceux qui s'y consacrent y trouvent des satisfactions. Pour montrer que finalement, autour de nous, on pourrait souvent penser « Simulation imbedded », quelques propositions :

- Proposer au public cultivé de découvrir (dans le cadre du Musée de la Villette, du Palais de la Découverte, ou de l'Université de tous les savoirs) l'oeuvre de « ceux qui ont changé la face du monde : les hommes de la simulation »<sup>38</sup>. Un tel message, à caractère de vulgarisation

---

<sup>38</sup> Il s'agit donc, non pas d'une communication principalement tournée vers les résultats de la simulation et leur évolution sur cinquante ans, mais tournée vers les hommes qui y ont travaillé et y travaillent. A cet égard, les « pères fondateurs » de la simulation moderne étant à la retraite ou pas loin, réaliser un DVD sur ce sujet serait œuvre utile pour qu'ils racontent leurs souvenirs ...

scientifique, pourrait être largement diffusé et utilisé, aussi bien dans le grand public que dans les établissements d'enseignement.

- Proposer dans le milieu étudiant (licence et classes préparatoires) des actions de communication spécifiques autour de la simulation, du type de métier qu'elle représente, et des formations qui y conduisent.

### *Développer les formations tournées vers une approche globale de la simulation*

Lorsqu'on regarde les programmes de formation où se trouvent les mots « calcul intensif » ou « calcul haute performance », on trouve généralement des formations qui ne couvrent qu'un ou deux éléments de la chaîne des connaissances nécessaires (souvent l'architecture des machines parallèles et/ou l'algorithmique). Cette situation n'est évidemment pas satisfaisante<sup>39</sup>, et elle tranche sur ce qui se passe dans de nombreux pays où la simulation est enseignée comme une activité globale, liée à de grands projets.

On peut donc proposer que soient créées, dans les Etablissements d'enseignement supérieur qui sont prêts à s'engager résolument sur ce thème, des Chaires de simulation. Ces chaires auraient, vis-à-vis des autres enseignements plus spécifiques, un rôle de synthèse.

### *Encourager les carrières dans la recherche et les entreprises*

Comme on l'a indiqué plus haut, le déficit d'image dont souffre la simulation se retrouve dans les carrières que peut offrir cette activité, c'est-à-dire dans sa capacité à évaluer, à récompenser, et donc à retenir les "ressources humaines" qui lui sont nécessaires :

- Les systèmes d'évaluation de la recherche publique rendent plus difficile la constitution (ou le maintien) d'équipes pluridisciplinaires.
- La création de "logiciels libres" (synthétisant une partie du travail de recherche, et le mettant à la disposition de la communauté) n'est pas soutenue au même titre que l'activité de publication.
- Les fonctions de management sont sous-évaluées. Au point que les projets de recherche ont du mal à conserver assez longtemps ceux qui, en fait, sont absolument nécessaires à leur succès ne récompensent pas ceux qui assurent leur succès.

Ces défauts sont moins marqués dans le monde industriel. Dans tous les cas néanmoins, la concurrence avec le reste de l'informatique rend les choses difficiles: attirer les talents reste un problème majeur. Une action en direction des DRH des grands groupes permettrait de réfléchir sur les différents aspects de cette question<sup>40</sup>.

---

<sup>39</sup> Elle ne l'est pas sur un plan purement scientifique, mais elle ne l'est pas non plus si l'on pense à la nécessité de savoir travailler de manière collective pour réussir dans la durée ; ceci suggère de concevoir de telles formations en y intégrant une réelle dimension de travail collectif – et non simplement par binôme ou trinôme .

<sup>40</sup> et en particulier sur la capitalisation des connaissances , en une décennie de départ à la retraite..

## V.4 – Conclusion

*Le lecteur aura pu remarquer, dans les trois sous-chapitres qui précèdent, des insuffisances ou difficultés très comparables. Elles ont la même origine, qui est le fait que la place de la simulation pose encore problème, à la fois dans la recherche publique et dans l'Industrie. En conséquence, les ressources humaines nécessaires aux projets sont, le plus souvent, sous-dimensionnées. A la fois globalement et dans la composition. Il en résulte à la fois une instabilité des équipes, et un sous-dimensionnement des propositions de projets. L'autocensure évoquée dans ce rapport est due, plus qu'on ne le croit, au manque de ressources humaines.*

## CHAPITRE VI - Financement et Gouvernance

---

Le chapitre V nous a montré l'existence d'un certain nombre de freins organisationnels ou culturels, qui expliquent en partie la "frilosité" et le retard français. Au cours du présent chapitre, nous allons revenir sur la question centrale : quelle place la simulation occupe-t-elle réellement, comment est-elle financée et gouvernée ?

---

L'histoire des 20 dernières années va nous donner une première réponse. Cette histoire est décrite, par exemple, dans divers documents comme (voir R. Dautray. 1992, ORAP, P. Caseau). Il suffit de les consulter, ou d'assister aux différents colloques consacrés au sujet, pour constater qu'aujourd'hui la simulation occupe, de façon diffuse, l'espace entier de la recherche et de l'industrie. Les réponses que l'Académie a reçues après l'envoi de son questionnaire en témoignent largement, et les chapitres IV et V l'ont souligné. Mais le fait qu'il s'agit d'un *usage diffus* signifie que les ressources nécessaires à cette activité (les hommes, les logiciels, les données et les architectures) sont financées dans le cadre des programmes qu'elles soutiennent, sans qu'il soit nécessaire de traiter la simulation comme une activité particulière.

Et, au fond, c'est bien ce qu'attendaient la plupart des acteurs, qu'ils soient scientifiques ou industriels : qu'après la "période des pionniers", où une planification spécifique était nécessaire, on puisse entrer dans une période où la simulation est un facteur de coût comme d'autres, et que les ressources découlent directement de l'estimation des besoins.

*Ce type de raisonnement est, comme l'ont souligné les Chapitres IV et V, tout à fait insuffisant. Nombreux sont les problèmes pour lesquels la simulation permet de franchir une étape décisive, mais pour lesquels également il faudra mettre en œuvre des ressources "exceptionnelles". Dimensionner ces ressources reste donc bien un problème en soi<sup>41</sup>.*

Cette question n'a pas été abordée de la même façon en France et dans les grands pays qui sont ses partenaires et compétiteurs. En effet, ce que souligne le chapitre III (et ce que montre bien le livre ORAP déjà cité) c'est que dans ces pays, *qui ont parié sur un rôle croissant de la simulation*, les puissances ont augmenté d'un facteur 500 en 10 ans, alors que le même facteur est voisin de 50 en France, soit 10 fois inférieur.

Ces deux chiffres n'ont rien de "technique", bien au contraire. Ils relèvent de la "gouvernance" de l'activité de simulation. Ils séparent deux façons de choisir et de financer la croissance, selon qu'on considère la simulation d'abord comme une opportunité stratégique ou d'abord comme un coût. Compte tenu de ce que sont les gains en performance, un facteur de croissance de 50 signifie que le développement de l'activité de simulation ne pèse pratiquement pas sur les budgets des autres activités. Un facteur 500 signifie, au contraire, qu'on a cherché à franchir une frontière et qu'on a accepté de payer le coût correspondant.

Nous allons donc réfléchir à la façon dont les besoins qui correspondent aux "simulations - frontières" (celles qui créent des ruptures dans la compréhension et la maîtrise des phénomènes) sont pris en compte et financés. Nous commencerons, pour cela, par décrire le régime qui s'est installé en France, pour l'essentiel dans la recherche publique, et qui fonctionne aujourd'hui. Nous parlerons ensuite des changements qui sont en train d'apparaître.

---

<sup>41</sup> Une estimation très simplifiée du montant des budgets annuels liés à la simulation de pointe peut être obtenue à partir des chiffres américains. L'argent public dépensé pour soutenir à la fois le développement d'ordinateurs et les simulations (en particulier les centres ASCI cités au chapitre II) est de l'ordre de 500 Meuros. Le chiffre européen, qui est aujourd'hui très inférieur, devrait donc se rapprocher de 500 Meuros annuels.

## VI.1 - Le modèle 1985 - 2004. La simulation "ressource commune"

On peut estimer qu'initialement, dans les arbitrages de la recherche publique, l'ambiguïté était à peu près totale: la simulation est-elle une branche de l'informatique ? Est-elle une ressource (très utile) ouverte à toutes les disciplines ? Qui doit en supporter les frais ?

Petit à petit, il est devenu évident que l'informatique, après avoir joué pendant quelque temps le rôle de gouvernante d'une enfant encombrante et qui ne lui apportait rien, était décidée à l'abandonner sans autre forme de procès. Mais qui pouvait assumer la charge du développement qui allait s'avérer nécessaire ? Qui pouvait surmonter le réflexe NIMB (Not in my Budget) et jouer un rôle transversal, au profit de tous ?

A l'intérieur des grandes disciplines (Physique, Chimie, Mécanique, et plus tard Biologie), l'idée qui venait naturellement était de financer des serveurs, à la taille d'un laboratoire ou d'un groupe de recherche. Au-dessus de cette infrastructure, en quelque sorte minimale, le réseau RENATER permettait d'accéder à une ressource commune, et surtout gratuite, constituée par les centres de traitement IDRIS et CINES.

Ce système, qui pouvait apparaître comme satisfaisant, comportait néanmoins une faiblesse importante, qui s'est révélée avec le temps. Autour des centres nationaux, on a vu se développer, tout naturellement, les difficultés que les économistes connaissent bien, et qu'ils décrivent sous le terme de "*Tragédie des ressources communes*"<sup>42</sup>. Ces problèmes se posent chaque fois que de "Grands équipements" sont partagés gratuitement. Rivalités entre utilisateurs, chacun souhaitant s'assurer la plus grande part possible du service. Faible soutien et réponses vagues, lorsqu'il est question de renouveler ou d'augmenter la ressource.

*Ces difficultés sont inévitables* : elles sont décrites dans tous les cours d'économie. Personne ne se sent responsable de l'entretien et du développement d'une ressource commune. Ce qui est remarquable, néanmoins, c'est que le modèle a fonctionné de façon à peu près satisfaisante. Mais rien ne pouvait faire en sorte que les capacités se développent comme elles l'ont fait aux USA ou ailleurs: le retard a été progressif, mais inexorable.

Tandis que la recherche publique se développait selon les schémas que nous venons de décrire, que faisaient l'Industrie et les grands Services (privés ou publics comme, par exemple, Météo France) ? Ils développaient, comme nous l'avons vu au chapitre IV, d'importants systèmes opérationnels et leur faisaient jouer un rôle clé, en particulier dans l'ingénierie de conception et de construction.

Situés au cœur même des processus industriels, ces systèmes étaient soumis à des contraintes sévères de fiabilité et de sécurité. D'où des tensions entre les besoins d'évolution et d'intégration du progrès scientifique d'une part, le besoin de sécurité et d'efficacité opérationnelle d'autre part. Pour répondre à ces tensions, la solution adoptée, à quelques (remarquables) exceptions près, a été ce que le chapitre IV a appelé le "Développement dual". C'est-à-dire le développement d'une simulation "avancée", en collaboration avec la recherche publique, simulation qui se situait à côté et en complément du système opérationnel faiblement évolutif.

Nous ne referons pas l'analyse qui a été faite dans ce chapitre, qui montrait que cette solution, qui semble concilier solidité et évolutivité, est également lourde de menaces, car on peut s'habituer à

---

<sup>42</sup> "The Tragedy of the commons" est le titre d'un article de Garret Hardin (Science, 1968) qui est régulièrement cité à propos des ressources communes.

voir les deux systèmes dériver, et s'écarter progressivement l'un de l'autre. Nous nous contenterons de souligner qu'elle explique bien le retard constaté. Pour fonctionner de façon idéale le modèle dual voudrait que les deux systèmes se développent parallèlement. On constate qu'en général, il n'en est rien et que l'activité de recherche peut même servir d'alibi à la stagnation du système opérationnel. Il ne faut pas chercher ailleurs les raisons des médiocres classements des centres opérationnels français au sein du TOP 500<sup>43</sup>.

Comme on l'a souligné plus haut, il existe quelques exceptions à un modèle qui est par ailleurs assez général. L'une d'elle est la Météorologie, pour laquelle le système de recherche est développé sous la condition de pouvoir remplacer, un jour, le système opérationnel. L'autre est la simulation des armes nucléaires. Dans ce cas très particulier, il n'existe, au fond, qu'un système, et il se situe, comme le système ASCI américain, aux limites de ce qui est possible.

*Ainsi, qu'il s'agisse de la recherche publique ou des systèmes opérationnels, on voit que l'activité de simulation était, en France, soumise à un système de prise de décision (une gouvernance) capable d'assurer une gestion efficace, mais incapable de faire le pari de la croissance. Et ce que l'évolution passée nous montre, nous pouvons facilement le projeter dans l'avenir. Si rien ne change, on peut estimer que vers 2010 les Etats-Unis, le Japon, et peut-être un ou deux pays européens auront installé des systèmes atteignant le Pétaflop, ou seront en train de le faire. Tandis qu'en France, aucun système civil ne dépassera 50 Teraflops.*

## VI.2 - Apparition d'un nouveau mode de développement

A la suite des succès rencontrés par les japonais avec « l'Earth Simulator » et par les américains avec le programme ASCI, plusieurs communautés scientifiques ont adopté *un point de vue qui est, sur le fond, radicalement nouveau*, même si en pratique les comportements ne peuvent changer que lentement. Ce point de vue donne aux simulations extrêmes une importance vitale : le territoire scientifique que l'on défrichera est considéré comme directement lié à la capacité de l'outil de simulation.

On peut citer trois communautés de ce type :

- La recherche sur le climat (liée à l'avancée qu'a représenté l'Earth Simulator).
- L'étude des protéines (liée au programme d'IBM "Blue Gene", dérivé des efforts entrepris dans le cadre d'ASCI).
- La Chromodynamique quantique (liée à la mise au point de machines spécialisées).

On peut supposer que, sous un laps de temps assez court, la communauté des Nanotechnologies rejoindra ce "club" des disciplines ou communautés qui planifient et financent elles-mêmes (même s'il s'agit, en fait, d'argent public<sup>44</sup>) leurs dépenses de simulation. *Ces communautés ne sont viables qu'à condition d'être internationales* et de partager les dépenses au niveau d'un continent (l'Amérique ou l'Europe sont des échelles suffisantes) voire au-delà.

Savoir jusqu'à quel point elles partageront seulement les architectures, ou également d'autres ressources comme les données et les codes, est une question complexe et qui dépendra de chaque

---

<sup>43</sup> Ajoutons qu'en utilisant ce modèle, l'industrie adoptait (sans s'en rendre compte) un comportement de "passager clandestin", caractéristique de la tragédie des ressources communes. Elle utilisait, pour un coût marginal, des ressources et des codes qui ne pouvaient être développés que dans le cadre commun des centres comme IDRIS, qu'elle ne finançait évidemment pas.

<sup>44</sup> Le terme "financent elles-mêmes" doit être précisé. A minima, cela signifie que ces communautés sont capables, par elles-mêmes, de constituer un "tour de table" international.

cas. Mais l'idée essentielle est que l'on voit apparaître des communautés décidées à renoncer (pour l'essentiel, car il peut y avoir des exceptions) à la stratégie des ressources communes. Elles se sentent assez fortes et assez liées à la simulation pour *voler de leurs propres ailes, sortir du cadre national, et assumer la responsabilité (le financement) de la croissance.*

Ce qui signifie, en particulier, que les systèmes mis en place dans ce cadre sont faits pour durer et que la certitude que l'on pourra, si nécessaire, atteindre ou dépasser le Pétaflop fait partie du cahier des charges de la communauté.

### VI.3 - Les domaines de la "simulation classique"

Les communautés dont nous venons de parler ne sont pas celles qui ont fait émerger la simulation il y a vingt ans, et qui ont assuré son succès dans le monde industriel. Ce rôle a été tenu par d'autres: la mécanique des structures, les matériaux, la mécanique des fluides et la combustion, la chimie. Que doivent faire les acteurs de ces grands domaines, s'ils ne sont pas satisfaits de l'évolution que nous avons décrite ?

La réponse est assez simple : *ils ne doivent compter que sur eux-mêmes.* Et ils doivent le faire dans le cadre d'une collaboration Industrie - Recherche très volontariste. Ce qui est tout à fait possible, à partir des acquis de la période précédente. En effet, et le chapitre IV s'en est fait le témoin, on peut constater qu'au terme de la période 1980 – 2004, la collaboration entre recherche publique et industrie est très solidement installée. De sorte que les codes de recherche ont, en général, d'excellentes performances, et que beaucoup de projets (pas toujours bien financés) voient le jour<sup>45</sup>.

Rien ne s'oppose donc à la création d'un (ou de plusieurs) centres "mixtes", analogues, au moins partiellement, à celui qui fonctionne en Allemagne, à Stuttgart. Ce type de centre sera fondé sur l'existence de grands projets communs recherche-industrie, comme on l'a souligné au chapitre V. Il devra, par ailleurs, être assez puissant pour que les codes de recherche puissent évoluer vers des systèmes opérationnels et permettre ainsi d'éviter les pièges du "développement dual" (c'est-à-dire de faire évoluer les systèmes opérationnels eux-mêmes, par versions successives). Enfin, même s'il ne peut se passer d'argent public, *il doit être largement financé par les industriels eux-mêmes, pour éviter toute confusion avec les ressources gratuites qui continueront à exister.*

Des organisations de ce type sont toujours longues à mettre en place. Elles peuvent être situées au niveau national ou au niveau de plusieurs pays européens : cela dépend des contraintes industrielles, du niveau de la concurrence, de la capacité de résoudre les problèmes de confidentialité. Plus encore que celles du paragraphe précédent, elles sont faites pour durer. Et pour atteindre, le moment venu, des puissances de l'ordre du Pétaflop, et au-delà.

### VI.4 - Le devenir des ressources communes

En lisant les deux paragraphes précédents, certains auront pu penser qu'on allait jeter le bébé avec l'eau du bain, et qu'il n'y avait plus de place pour un système de ressources communes. Il n'en est

---

<sup>45</sup> On peut citer à nouveau la stratégie suivie par AIRBUS qui a été exposée au chapitre II.3. Au début des années 90, AIRBUS a fait développer son code d'aérodynamique par la communauté scientifique (NSMB), puis l'a industrialisé pour l'installer dans son bureau d'études, tout en lançant, en étroite collaboration avec le secteur de la recherche, l'élaboration du successeur (elsA).

rien, pour au moins deux raisons :

- D'une part, parce que la pyramide des moyens de calcul au sein de la recherche publique forme un tout (serveurs, centres méso-informatiques, centres globaux), et que les systèmes que nous avons évoqués aux § précédents ne sont pas faits pour en occuper le sommet: ils l'excluent même expressément.
- D'autre part, parce que le système de *ressources communes et gratuites* a assuré, à peu près seul, le développement des plus grands codes de la recherche publique et qu'il serait très imprudent de se passer de ses services.

Le problème est donc, à nouveau, un problème de gouvernance : comment piloter l'évolution d'un système dont l'utilité est inséparable des problèmes qu'il doit affronter. Etant gratuit, il est indispensable à toutes les communautés qui n'auraient pas la possibilité de financer un outil équivalent. Mais, lors des arbitrages, son budget vient en concurrence de tous les autres (et, en particulier, avec celui des autres grands équipements). Il s'agit donc bien d'un problème de politique globale. Ou bien on décide que la croissance sera, à peu de chose près, celle qu'on observe dans le TOP 500, ou bien on se livre à d'assez dérisoires "évaluations des besoins"<sup>46</sup>, qui ne peuvent conduire qu'à un déclassement progressif.

Comme pour les paragraphes précédents, l'étape du Pétaflop est, en quelque sorte, inscrite dans le cahier des charges. Quant au niveau d'intégration (national ou plurinational, voire européen), il mérite discussion<sup>47</sup>. Si le niveau plurinational s'impose dans les centres du premier paragraphe, le choix est moins facile pour le second et encore moins pour le troisième. Mais il s'agit d'une question d'opportunité et non de principe.

## VI.5 -En conclusion

Malgré les succès indubitables que la simulation a rencontré, aussi bien dans la recherche que dans l'industrie et les services opérationnels, elle n'a pas réussi à modifier les circuits de décision, à faire l'objet d'une gouvernance spécifique. Sa place est restée celle d'une activité "diffuse", d'une activité de service.

Cet état de choses est en train de changer, néanmoins et l'évolution mondiale permet de le constater. Plusieurs acteurs se proposent d'investir plus largement que ce qui a été fait jusqu'ici, et de le faire, le cas échéant, au niveau international.

*Dans ces conditions, une réflexion prospective doit dépasser les objectifs et les stratégies à court terme et réfléchir aux diverses façons de constituer des communautés importantes, disposant d'archi-tectures du niveau du Pétaflop. C'est ce qu'a fait ce chapitre, qui en a présenté trois :*

- *Les communautés de recherche centrées sur un programme et opérant au niveau européen.*
- *Les communautés mixtes industrie recherche.*
- *Les centres nationaux servant la recherche.*

*Dans tous les cas et pour chacune de ces trois catégories, il sera essentiel de définir un système de gouvernance qui évite les insuffisances du système actuel.*

<sup>46</sup> La critique de ce type d'évaluation n'enlève évidemment rien au *besoin de prospective*, besoin qui, en particulier, est seul à même d'orienter une communauté vers l'une ou l'autre des trois voies présentées ici.

<sup>47</sup> Ce qui est visé ici, c'est le modèle de gouvernance (national ou international). Ce qui est complètement indépendant du fait que les centres nationaux puissent être réunis par un réseau européen.

## CHAPITRE VII - Conclusions et Recommandations

Au moment de conclure ce rapport, il n'est peut-être pas inutile de rappeler à qui il est destiné. En le publiant, l'Académie des Technologies voudrait *intéresser tous les acteurs qui concourent au développement de la simulation dans notre pays*. Ces acteurs appartiennent à trois groupes bien distincts, et *c'est à la fois de leurs efforts spécifiques et de leur capacité à jouer ensemble de façon cohérente que dépend le résultat final*.

Il y a d'abord *les acteurs et les décideurs opérationnels* qui, comme on l'a montré au chapitre III, ont à prendre en compte le rôle de la simulation<sup>48</sup>, non seulement dans les opérations courantes, mais encore dans la stratégie même des entreprises.

Il y a également *les acteurs et les décideurs de la recherche*, qui sont particulièrement responsables des progrès que l'on doit faire "sur la frontière"

Il y a enfin *les décideurs publics*, qui doivent exercer leurs responsabilités à trois niveaux: régional, national et européen.

Le rapport demande que notre pays prenne toutes les dispositions nécessaires pour ne pas régresser et "passer en deuxième division", danger qui, on l'a vu au chapitre II, n'a rien d'imaginaire. Cet objectif est symbolisé par l'utilisation, vers 2010 ou un peu au-delà, de machines d'une puissance voisine du Petaflop. Plus précisément, trois "voies vers le Petaflop" sont proposées. Les deux premières se situent au niveau européen et au niveau national :

- *Au niveau européen*, dans le cadre de *communautés disciplinaires (au sens large)* rassemblées autour d'un problème ou d'une famille de problème. C'est ainsi que la recherche sur le climat a permis de faire émerger une communauté européenne très active, tandis que d'autres sont en cours de consolidation: la Chromodynamique quantique, la simulation des protéines, etc.
- *Au niveau national*, parce que c'est bien ce système national, système de *ressources gratuites et communes à vocation "universelle"*, qui a assuré, à peu près seul, le développement des plus grands codes de la recherche publique. Il serait donc très imprudent de se passer de ses services. Par ailleurs, la pyramide des moyens au sein de cette recherche forme un tout, et les systèmes "disciplinaires" évoqués plus haut ne sont pas faits pour en occuper le sommet: ils l'excluent même expressément.

Ces deux voies sont celles que privilégient aussi bien les Etats-Unis que le Japon<sup>49</sup>. Les grands projets financés par le DOE, que ce rapport a cité à maintes reprises, se développeront sur le réseau des centres ASCI. Le Japon a d'abord mis en place "l'Earth Simulator" en privilégiant la communauté du climat, puis des centres dédiés à la recherche sur les protéines, ainsi que des centres "universels". Une grande leçon se dégage de l'action poursuivie par ces deux pays: c'est que les deux voies ("par communautés" et "universelle") doivent être poursuivies simultanément et que, dans les deux cas, *ce sont les décideurs publics qui auront l'initiative, et c'est l'argent public qui sera utilisé*<sup>50</sup>.

---

<sup>48</sup> Ce qui signifie, évidemment, qu'ils doivent pouvoir en évaluer les résultats. Face à des phrases du type "le calcul a donné le résultat suivant", ils doivent pouvoir apprécier la crédibilité, les incertitudes, etc..

<sup>49</sup> Dans le rapport déjà cité de S.L. Graham et M. Spir "Getting up to speed: the future of supercomputing" figure le titre sans ambiguïté: "Supercomputing is Government Business".

<sup>50</sup> On rappelle l'estimation des dépenses annuelles américaines: approximativement 500 Meuros.

Au sein de ce tableau, l'Académie ajoute une *troisième possibilité*, en pariant sur une *collaboration très volontariste entre Recherche d'une part, Industrie et Services d'autre part*. Cette collaboration repose sur la création d'un (ou de plusieurs) centres "mixtes". *Ce type de centre sera fondé sur l'existence de grands projets communs, comme on l'a souligné au chapitre V*. Il devra, par ailleurs, être assez puissant pour que les codes de recherche puissent évoluer vers des systèmes opérationnels, et permettre ainsi d'éviter les pièges du "développement dual" (c'est-à-dire la divergence irréversible entre systèmes de recherche et systèmes opérationnels). Enfin, même s'il ne peut se passer d'argent public, et en particulier de financements régionaux, *il doit être largement financé par les industriels eux-mêmes, pour éviter toute confusion avec les ressources gratuites qui continueront à exister*.

Revenant alors aux trois groupes d'acteurs et de décideurs, l'Académie propose les recommandations suivantes.

## A - Les acteurs et décideurs opérationnels

L'Académie a noté l'existence, en Europe et en France, d'un secteur opérationnel appelé à un grand développement: c'est celui qui concerne la surveillance et la prévision. Prévision qui peut aller de quelques heures à plusieurs mois, et qui concerne les différents milieux naturels, et les risques correspondants. *La constitution de Pôles forts, comme ceux qui se développent autour de la Météorologie et de l'Océanographie, doit être encouragée*. Elle est d'ailleurs liée à des projets comme GMES qui font de la surveillance un axe de la stratégie européenne.

Les grands secteurs industriels, usagers habituels de la simulation, ont assez largement répondu au questionnaire et ont participé à un dialogue approfondi pour dégager des voies de progrès<sup>51</sup>. Ces progrès passent, évidemment, par une collaboration approfondie avec la recherche. Cette collaboration est déjà en place, mais elle ne se traduit pas assez par *un progrès et un engagement général*.

Il s'agit d'abord de faire naître des projets, des programmes (des "initiatives" au sens américain du terme) réunissant, autour d'un objectif de grande ampleur<sup>52</sup>, plusieurs acteurs d'un même domaine industriel (France et Europe) et plusieurs pôles de recherche. Cet objectif sera matérialisé par un code (ou un système de codes) de simulation, dont la diffusion devra être pensée selon les lignes exposées au chapitre V. Au sein des systèmes de sélection des grands projets (nationaux ou européens), ceux qui viennent d'être décrits entreront en compétition avec des projets de nature très différente: ils devront donc être défendus, non seulement par ceux qui les ont proposés, mais par les responsables opérationnels du plus haut niveau.

Il s'agit également de dépasser une "attitude opportuniste" qui reste assez générale, et de voir qu'à moyen terme, la solidarité devient prédominante. Les acteurs opérationnels ne peuvent pas supposer qu'ils trouveront toujours, et sans qu'ils aient à s'en occuper particulièrement, une recherche du meilleur niveau international lorsqu'ils en auront besoin. *Pour assurer leur propre développement de long terme, ils doivent se préoccuper des moyens (effectifs et architectures de traitement) mis à la disposition de la recherche*. Les diverses structures de concertation qui existent ou sont prévues leur donneront les moyens d'être entendus.

---

<sup>51</sup> La place occupée par la simulation et le niveau atteint par les industriels qui ont répondu sont d'ailleurs très variables. Il y a ceux qui gèrent un système intégré à la conception - production avec la même maturité qu'une entreprise de services bancaires ou téléphoniques. Il y a également ceux qui n'ont qu'un usage épisodique de la simulation (voir chapitre III). On peut considérer, néanmoins, que les recommandations s'appliquent, mutatis mutandis, à tous les cas.

<sup>52</sup> Cet objectif ne doit pas se limiter au développement de solutions, mais comprendre également une analyse quantifiée des apports et des risques.

## B - Les acteurs et décideurs de la recherche

Dans la mesure où la recherche française pourra disposer de facilités du même niveau que celles des autres grands pays scientifiques, il lui faudra évidemment éliminer tous les freins internes (mentionnés au chapitre V) qui pourraient l'empêcher d'en tirer le meilleur parti.

Cela signifie, évidemment, qu'elle devra être aux premiers rangs des organisations de niveau européen mentionnées plus haut, qui se structurent autour d'objectifs et de moyens spécifiques (climat, chromodynamique quantique, etc..). Les acteurs français partageront alors, avec d'autres équipes européennes, non seulement les architectures informatiques, mais aussi les objectifs, et en particulier la construction de grands logiciels de simulation. Sur cette voie, certaines communautés ont pris les devants... d'autres devraient réfléchir à la façon de s'organiser.

Cela signifie également, qu'il faut *améliorer très fortement le statut de la simulation, et même "l'image" dont elle jouit auprès des chercheurs et des étudiants*. Le chapitre V a indiqué plusieurs pistes pour aller dans ce sens. Nous les rappelons succinctement :

- Proposer, aussi bien vers le public cultivé (Université de tous les savoirs, Musée de la Villette) que vers les étudiants (classes préparatoires, licence) des actions de communication<sup>53</sup> qui fassent découvrir l'importance de la simulation.
- Créer des chaires de simulation dans divers Etablissements d'enseignement supérieur, comme cela existe dans beaucoup de grands pays.
- Valoriser la traduction en logiciels des acquits des recherches, ce qui changera le statut des résultats de beaucoup de thèses, en les rendant accessibles via les réseaux informatiques, et qui les ouvrira à l'inter comparaison avec d'autres approches.
- Définir, dans le cadre de l'évaluation des chercheurs, la façon dont peuvent être évalués les responsables de haut niveau en matière de simulation.
- Définir un label national puis européen, applicable aux formations préparant les responsables de grands systèmes de simulation.

Enfin, on a largement souligné que l'activité de simulation ne peut pas se développer si elle n'est pas structurée en grands projets. Ces projets doivent naître pour que la collaboration entre la recherche et le monde opérationnel, Industrie ou Services, soit efficace. *Ils doivent également apparaître dans le monde de la recherche fondamentale (finalisée ou non), pour franchir certaines difficultés, répondre à certains "grands défis"*. Il n'est pas trop tôt pour que certaines disciplines en plein développement comme les Nanosciences ou la Biologie moléculaire réfléchissent aux défis que la simulation leur permettrait de relever et y consacrent une partie de leurs ressources.

## C – Les Décideurs publics

Pour que la France puisse faire jeu égal avec les autres grands pays dans le domaine des simulations frontalières, ce rapport a proposé trois voies. Elles résultent, avant tout, de l'observation de ce qui a commencé à exister en France, et de ce qui a été développé dans les autres pays. Il faut d'abord souligner qu'elles répondent à des situations et des objectifs différents, et *qu'elles ne se font absolument pas concurrence*. *L'Académie recommande donc que les pouvoirs publics apportent leur soutien, de façon différenciée, à chacune d'entre elles*.

---

<sup>53</sup> Bien qu'il s'agisse d'actions de communication, on voit bien qu'elles correspondent à un effort du monde de la recherche (qui pourrait aller expliquer ce qu'est la simulation de pointe ?) et que cet effort correspond à une prise en charge, et à un changement de l'image interne de la simulation.

Au niveau de ce qu'on a décrit comme des communautés rassemblées autour d'un grand programme de simulation, le rôle des pouvoirs publics doit être d'accompagner la structuration de ces programmes, de les financer (au niveau européen, ou du moins multinational) et de définir leur place dans le tableau général de la recherche européenne. En effet, pas plus aux Etats-Unis qu'au Japon, des programmes de cette importance *n'ont pu voir le jour sans qu'une réflexion prospective ait eu lieu.*

Au niveau des Centres à compétence universelle qui on constitué la colonne vertébrale des moyens dédiés à la simulation de pointe, le problème est bien de *rester en ligne avec l'évolution générale des grands pays*, celle qu'indique le TOP500 et que rappelait le chapitre II. Ce qui signifie que l'évolution des moyens doit être une démarche volontariste, et ne doit pas seulement résulter d'une "évaluation prospective de la demande", évaluation qui ne peut conduire qu'à une reproduction du passé.

La troisième voie proposée par l'Académie est différente, puisqu'elle est placée entre les mains des acteurs opérationnels et des acteurs de la recherche. Les pouvoirs publics nationaux ou européens n'en auront connaissance qu'au travers des projets eux-mêmes. *Soutenir la simulation signifiera, pour eux, soutenir des projets centrés sur la simulation.*

Au niveau régional, par contre, la mise en place de centres dédiés à la simulation et réunissant la recherche, l'industrie, ou les services, entre bien dans le cadre des initiatives qui doivent être soutenues.

## Éléments de Bibliographie

- R. Dautray** (1992), Le Calcul scientifique. Rapport du Comité des Applications de l'Académie des Sciences.  
1994-2004, 10ème anniversaire d'ORAP (avril 2004).
- P. Caseau**, Digital Modelling: Ten years from now (1992), SPEEDUP Journal, Vol 7/ number1. 22–26.
- P. Caseau**, La simulation numérique, un nouvel outil pour la science. Colloque "La physique dans la société contemporaine à travers les objets", à paraître.
- DOE Computing Science Directorate** - Science-driven computing Architecture: a new path to scientific leadership (2004), LBNL/ PUB - 5483.
- S. Graham, M. Spir** (nov 2004), Getting up to speed: the future of Supercomputing - National Research Council.
- Lattice QCD: Present and Future**, Orsay (14-16 Avril 2004).
- D. Vandromme**, Working group Report on large scale computing facilities and research network infrastructures (6 janvier 2005).
- Bulletin BIORAP** No 42 (janvier 2005-04-27).
- Projet européen PRISM**, <http://prism.enes.org> ("description of Work").
- A. J. Wallcraft, H.E. Hurlburt, E. J. Metzger, R.C. Rhodes, J. F. Shriver and O. M. Smedstad** (2002), Real-time ocean modeling. Computing in Science and Engineering. Vol. 4, 50-57.
- M. Patrick and R. Voigt** (2000), Advancing simulation in science and engineering. Computing in Science and Engineering. Vol.2, Number 2, 14-20.
- J. P. Mesirov and D.K Slonim** (1999), Computational biology. Computing in Science and Engineering. Vol. 1, Number 3, 16-17.
- R. Lavery** (2004), Simulation des systèmes biomoléculaires complexes. 16è Forum ORAP. Paris Unesco, 3-4 juin 2004.
- Frontier simulation software for industrial science** (2004), University of Tokyo.  
<http://www.fsis.iis.u-tokyo.ac.jp>
- Numerical simulator** (2003), Institute of space technology and aeronautics. <http://www.ista.jaxa.jp>
- S. Candel, D. Thévenin, N. Darabiha and D. Veynante** (1999), Combustion Science and Technology 149, 297-337. Progress in numerical combustion.
- T. Poinsot and D. Veynante** (2001), Theoretical and numerical combustion. Edwards.
- Computer science and telecommunication board** (2003), The future of supercomputing : an interim report. The National Academies Press. National Academy of Science. Washington DC 2001.
- IDRIS** (2003), Rapport Scientifique.
- P. Lederman, J.L. Boutard, M. Guttman, B. Marini, P. Garcia, C. Valot** (2004), Les matériaux du nucléaire : vers une modélisation multi-échelle des propriétés d'usage. Revue de Métallurgie – CIT, pp. 917-931.

## Annexe I - Glossaire

ARPEGE-IFS	Modèle de prévision numérique du temps, développé conjointement par Météo-France (ARPEGE : Action de Recherche Petite Echelle – Grande Echelle) et le CEPMMT (IFS : Integrated Forecasting System).	Page 16
ACI	Actions Concertées Incitatives du Ministère de la Recherche.	
ASC	Advanced Strategic Computation.	Page 18
ASCI	Programme « Accelerated Strategic Computing Initiative » du DOE.	Pages 10, 11, 42
Benchmarking	Méthode de comparaison des performances appliquée ici aux ordinateurs.	Page 28
Business Objects	Logiciel d'aide à la prise de décisions.	Pages 28, 36
CADAS	Comité des Applications de l'Académie des Sciences.	Pages 4, 19.
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique.	Page 36
CEPMMT	Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen Terme. En anglais ECMWF.	Pages 16, 36
Chromodynamique Quantique	Etude de l'interaction forte (quarks – gluons) et de la validité du « modèle standard ».	Pages 29, 45, 48, 50
CINES	Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur.	Page 43
Clusters	« Grappes » ou « fermes » d'ordinateurs.	Pages 33, 36
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique.	Page de garde
Datagrid	Grilles de données. Voir « Grilles » en général.	Page 33
DOE	Department of Energy (USA).	9, 11, 32, 38, 48, 53
ECMWF	European Center for Medium Range Weather Forecasts.	Page 16
EGEE	Enabling Grids for E-science.	Page 33
elsA	Ensemble logiciels de simulation Aérodynamique.	Pages 14, 33, 46
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.	Page 14
ESMF	Earth System Modeling Framework.	Page 17

FLOWer	Logiciel de calcul aérodynamique structuré, développé par le DLR (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt).	Page 14
GIEC	Groupement Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat. En anglais IPCC.	Page 17
GLOBUS	(alliance) Développe des technologies nécessaires aux grilles (grids) de calcul.	Page 36
GMES	Global Monitoring for Environnement and Security. Projet européen d'un système de surveillance spatiale (environnement et sécurité).	Page 49
Grid	Grilles. Systèmes de réseaux et d'ordinateurs couplés, distribuant des données ou du calcul.	Pages 28, 33, 36
IDRIS	Institut de Développement et des Ressources en Informatique Scientifique (CNRS).	Pages 9, 13, 44
INCITE	Innovative and Novel Computational Impact on Theory and Experiment.	Page 13
INRIA	Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique.	Page 37
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change. Voir GIEC.	Page 17
JAXA	Japanese Aerospace Exploration Agency.	Pages 11, 13, 53
JONAS	Serveur d'applications.	Page 36
Linpack	Logiciel de Benchmarking pour gros calculateurs. Utilisé pour des classements comme le TOP500.	Pages 7, 11
LINUX	Système d'exploitation gratuit (opensource).	Page 36
LUSTRE	Système de gestion de fichiers.	Page 36
MATLAB	Logiciel de calculs mathématiques et scientifiques (société MATSOFT) très utilisé dans le monde anglo-saxon. Concurrence avec Scilab.	Page 37
MétéoFrance	Système français de prévisions météorologiques.	Pages 16, 17, 23, 31, 44
NEC	Nippon Electrical Company.	Page 11
NERSC	National Energy Research Scientific Computing Center (Berkeley – USA).	Page 13
NSMB	Navier Stokes Multiblocs.	Pages 14, 46
OASIS	Logiciel de couplage pour l'étude du système Terre (Ocean Atmosphere Sea Ice Soil).	Page 17

OMII	Open Middleware Infrastructure Institute.	Page 37
ORAP	Organisation Associative du Parallélisme (structure de collaboration pour le développement et la diffusion du calcul parallèle en France).	Pages 10, 29, 33, 42, 53
PRISM	Program for Integrated Earth System Modeling. Projet européen visant à un développement coordonné des logiciels de climat.	Pages 17, 18, 27, 53
RENATER	Réseau National de Télécommunications pour la Technologie, l'Enseignement et la Recherche.	Page 43
RNTL	Réseau National de recherche et d'innovation en Technologies Logicielles.	Page 36
SALOME	Plateforme de développement logiciel.	Page 36
SciDAC	Scientific Discovery through Advanced Computing. Programme de développement de la simulation mis en œuvre par le DOE.	Pages 35, 38
SCILAB	Logiciel gratuit de calcul scientifique (opensource). Concurrent de MATLAB.	Page 37
G-SGBI	Société Générale – Société Générale Banque d'Investissement.	Page 9
TAU	Logiciel de calcul aérodynamique non-structuré, développé par le DLR.	Page 15
TOP 500	Indicateur des 500 ordinateurs les plus puissants dans le monde, publié chaque année.	Pages 7, 8, 9, 10, 51
WINDOWS	Système d'exploitation de Microsoft.	Page 33

## Annexe II - Questionnaire

Un questionnaire a été adressé à un vingtaine d'organismes et d'industries, afin de recueillir des informations concernant l'importance de leurs besoins en matière de simulation et la taille des problèmes traités, les difficultés rencontrées liées à l'organisation et au logiciel. Une version en anglais de ce questionnaire a été adressée au CERN (Genève) et à HLRS (Stuttgart).

Les organismes et sociétés à qui ce questionnaire a été envoyé sont les suivants :

ARCELOR	MICHELIN
BOUYGUES	ONERA
BRGM	PECHINEY
CEMAGREF	PSA-PEUGEOT
CREDIT AGRICOLE – INDOSUEZ	RENAULT
CREDIT LYONNAIS	SCHLUMBERGER
CSTB	SNECMA
DASSAULT	SOCIETE GENERALE
DGA	ST MICROELECTRONICS
EADS	TOTAL
IFP	VINCI
IFREMER	

Au total, une quinzaine de réponses ont été reçues. La liste des personnes qui ont répondu figure à la première page de ce rapport.

# GRUPE DE TRAVAIL "SIMULATION"

## QUESTIONNAIRE

En 1992, le CADAS avait, sous la direction de Robert Dau tray, conduit une enquête sur la pénétration de la modélisation numérique dans la recherche et dans l'ingénierie française. Le tableau présenté (qui correspond, en gros, à l'état des lieux en 90 - 91) était satisfaisant, même si on soulignait certaines faiblesses (formation, industrie du logiciel), qui se sont d'ailleurs manifestées plus tard. La place occupée par la modélisation croissait rapidement, ainsi que les moyens qui lui étaient consacrés. La collaboration Université-Industrie était jugée satisfaisante.

*Dix années plus tard, quel est l'état des lieux?* Quelle est la position relative de la France à l'intérieur de l'Europe, et de l'Europe par rapport aux États-Unis, voire au Japon? Pour s'en faire une idée précise, l'Académie des technologies a créé un groupe de travail et l'a chargé de dresser un état des lieux. Au cours de l'année 2003, le groupe a rencontré divers responsables de l'industrie et de la recherche publique. C'est à partir de ces échanges qu'a été conçu le questionnaire ci-dessous.

### Première Partie : Importance des besoins, Taille des problèmes traités

L'objectif recherché est de dresser un état des lieux du rôle tenu par la simulation numérique et du niveau atteint en France, en s'intéressant de façon préférentielle aux *calculs "limites"*, c'est-à-dire à ceux qui :

1. se situent sur la frontière de ce que l'on sait faire aujourd'hui.
2. permettent de voir où se situent les principaux obstacles ou difficultés.
3. permettent de dimensionner les moyens, et d'estimer correctement leur croissance.

La *taille d'un problème* se définit par référence à deux familles de considérations :

- la complexité de la représentation adoptée (qui joue sur les données et sur les résultats). La métrique correspondante est le nombre de points représentatifs, le nombre de pas de temps (pour les problèmes d'évolution), et le nombre de variables traitées par point.
- la complexité du traitement. La meilleure métrique est alors le nombre d'instructions, qui peut toujours se ramener à un temps (d'une machine donnée). Pour les problèmes évolutifs, ce sera le nombre d'instructions par pas de temps.

Exemple : calculs de Navier-Stokes stationnaires : entre  $5 \cdot 10^6$  et  $10^8$  points; entre  $10^9$  et  $10^{11}$  instructions par pas de temps.

Lorsque les problèmes traités ne correspondent pas à l'étude de champs scalaires ou vectoriels (à la résolution d'équations aux dérivées partielles), des métriques différentes sont utilisées: nombre de variables, nombre de noeuds d'un graphe, ... Dans tous les cas, il existe une mesure de la complexité dont on peut suivre l'évolution dans le temps.

### Questions

1. Quelle taille pour les "problèmes limites" traités ?
2. Quelle taille pour les problèmes de même nature traités aux USA, au Japon, en Europe ?
3. Comment cette taille a-t-elle évolué au cours des 10 dernières années ?
4. Quelle serait la croissance souhaitable au cours des 10 prochaines années ? Peut-on associer le franchissement d'une limite (dans la représentation du réel) à un facteur de multiplication de la puissance ?

5. Quelle sera la croissance probable de la puissance de traitement dont vous pourrez disposer au cours des 10 prochaines années ?

Bien qu'elles jouent un rôle très important, la taille des problèmes et la puissance de traitement sont loin de constituer les seules obstacles au développement de la simulation. *Des difficultés de nature très différente peuvent conduire à des blocages.* Les plus courantes sont listées ci-dessous :

- incertitudes sur la modélisation et difficultés des vérifications expérimentales.
- Insuffisance des données disponibles aujourd'hui.
- Algorithmique: faible efficacité des algorithmes disponibles
- Coûts de création et de maintenance des logiciels.

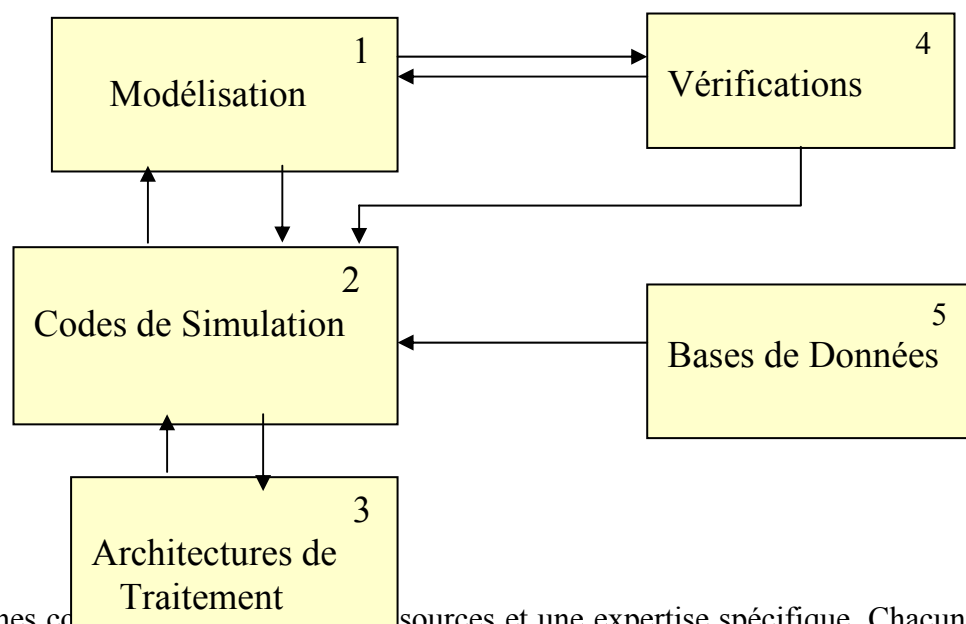
C'est aux difficultés de ce type, et aux problèmes d'organisation qu'ils entraînent, qu'est consacrée la deuxième partie du questionnaire.

## Deuxième Partie : Difficultés liées à l'organisation et au logiciel

La première partie du questionnaire essayait de cerner les problèmes qui donnent lieu à des "calculs limites" (la définition varie selon les secteurs) et de préciser la position occupée par la France vis-à-vis de la R&D mondiale. Dans cette seconde partie, on cherchera plutôt à cerner les problèmes d'organisation que l'on peut associer à des calculs de ce type, ou plus précisément à la construction des "systèmes de simulation" adaptés à l'étude des problèmes limites.

Ce qui caractérise ces grands problèmes, c'est évidemment le fait qu'il faut, pour avancer dans leur résolution, *mobiliser des ressources importantes* (le problème est alors de mettre en place des collaborations) *sur des périodes de temps longues* (le problème est de garantir une certaine pérennité). Il suffit, pour s'en convaincre, de se reporter aux différents "Plans de Développement" de systèmes très connus, comme la Météo ou le Climat.

L'organisation à mettre en place est d'autant plus complexe que le travail à faire concerne (au moins) cinq domaines très différents, comme l'indique le schéma ci-dessous :



**Schéma 1**

Chacun des domaines nécessite des ressources et une expertise spécifique. Chacun obéit à des plannings (des constantes de temps) spécifiques. Construire une "cathédrale" commune soulève donc beaucoup de difficultés. Cette cathédrale est, en effet, composée de différentes parties (on verra plus loin que le système est la plupart du temps décomposé en sous-systèmes) qui se

développent d'autant mieux et d'autant plus rapidement qu'elles peuvent être considérées comme autonomes. Le défi posé aux responsables est donc de garantir *la cohérence de l'ensemble*, en même temps que *l'extensibilité, la souplesse des parties*. Ce défi peut se décliner en notant qu'on veut à la fois :

- garantir une véritable autonomie dans la modélisation et l'écriture des codes des Sous-systèmes (par exemple, changement de modèle de maille).
- Garantir l'indépendance des codes par rapport aux données, car les responsables des uns et des autres sont différents.
- Garantir l'autonomie des sous-systèmes, et du système lui-même, par rapport aux Architectures de Traitement.
- Tout en assurant la cohérence d'ensemble qui est nécessaire (tous ces systèmes sont couplés) pour que l'ensemble fonctionne.

## Questions

1 - Quelle est l'organisation adoptée ? Il y a-t-il plusieurs Maîtres d'Ouvrage (Organismes, Industriels) ? A-t-on créé une instance spécifique, du type Direction Collégiale ? Les plans de Développement successifs sont-ils approuvés par cette instance ?

2 - Le problème étudié se décompose-t-il en sous-problèmes (correspondant, par exemple, à différents compartiments physiques), auxquels on peut associer autant de *sous-systèmes* (et souvent de Maîtres d'Ouvrage) et pour lesquels les cases 1, 2, et 4 du Schéma 1 sont relativement autonomes ? Le plan de Développement reproduit-il ce découpage ?

3 - Les Maîtres d'ouvrage adoptent-ils, pour leurs besoins propres, les sous-systèmes qu'ils développent en commun, ou maintiennent-ils un effort autonome ?

4 - Chaque sous-système possède-t-il ses propres données ? A-t-on pu définir un modèle commun de données (ce qui est plus souple que des données communes) ? L'interfaçage avec des Bases de Données internationales est-il un service mis en commun ?

5 - Y a-t-il un format unique d'échange (ou autant de formats que de liaisons entre codes) ? L'existence de formats associés aux échanges est-elle une *contrainte a priori* à l'écriture des codes ?

6 - Qui définit la politique des normes, formats, etc. Remonte-t-elle à la Direction collégiale du Programme ? Les coupleurs eux-mêmes sont-ils une responsabilité commune ? Sont-ils sous-traités ou fournis commercialement ?

7 - L'utilisation de codes commerciaux est-elle possible pour certains sous-systèmes, sans remettre en question l'ensemble ?

Par ailleurs, il est clair que la construction de grands systèmes pose des problèmes spécifiques de formation et de recrutement. Si on veut que le système fonctionne, il faut qu'une majorité des chercheurs et ingénieurs soient à leur aise "dans deux boîtes au moins" simultanément. D'où les questions 8 et 9.

8 - Quels problèmes de recrutement et de formation rencontre-t-on pour la catégorie "Modélisation + Ecriture de codes". Quelles solutions sont-elles mises en oeuvre ?

9 - Quels problèmes similaires (en insistant sur le recrutement et la carrière) pour la catégorie "Urbanisme logiciel - Mise en place de "Middleware" - etc.

L'ensemble de ces questions peut évidemment être affiné, et il est peu probable qu'elles s'adaptent *toutes* aux situations ou aux projets existant réellement. Mais il est probable que, pour chaque situation, *une partie des questions* sera pertinente. On peut ajouter que des questions très voisines se

posent aux Projets de GRID, surtout lorsqu'ils rassemblent des communautés rassemblées autour d'un problème.

# NATIONAL ACADEMY OF TECHNOLOGIES OF FRANCE

## Working Group "Simulation"

### QUESTIONNAIRE

\*\*\*\*\*

The purpose of the activities of the Simulation Working Group organised by the French Academy of Engineering, is to evaluate the standards reached in France in numerical simulation, in particular in the domain of High Performance numerical calculations. This covers calculations which are at the limits of what can be solved today with existing computational tools, including hardware and software.

This should allow the main difficulties and obstacles limiting today's calculations to be identified and evaluate present computing facilities and their capacity for development.

The Working Group has already interviewed about 20 French organizations strongly involved in numerical simulations, including climate modelling, combustion, computational molecular science, biochemical simulations, mechanical structural calculations, finance, etc... The Working Group would like to gather further information from other European Organizations.

The size of a problem can be defined by reference to two types of consideration :

- the complexity of the representation adopted which has a strong effect on the input data and on the results : the number of representative points and iterative time steps and the number of variables at each representative point;
- the complexity of solving the calculations : number of instructions per unit time step. Ex.: stationary Navier – Stokes calculations requiring between  $5 \cdot 10^6$  and  $10^8$  points with  $10^9 - 10^{11}$  instructions per time step.

When the problems that are solved do not correspond to scalar or vectorial fields, other scales are used : number of variables, number of nodes in the graph, etc... In all cases, the complexity of the problems and its time for evaluation can be determined.

### QUESTIONS

- 1) What is the size of the High Performance calculations which are performed in your Institute ?
- 2) What is the size of similar calculations performed in the US, in Japan, in Europe ?
- 3) How has this size evolved over the past ten years ?
- 4) What is the desired rate of growth in your computing field over the next ten years ? Is it possible to associate an increase in the frontiers of calculation with a multiplication of computational capacity ?
- 5) What is the likely growth factor expected in your computing field over the next ten years ?

### IDENTIFICATIONS OF THE MAIN OBSTACLES

Various difficulties can hinder the development of numerical simulations, including :

- uncertainties in the appropriate modelling and difficulties with experimental verification,
- lack of available data,
- algorithms and their poor applicability,
- cost and maintenance of software codes,
- calculation capacity,

- pre and post treatment tools.

What is the situation in your field ? Can you identify the existing bottlenecks ?

## SHARING RESSOURCES

In order to overcome the above difficulties, most research teams (public or industrial) tend to partly share their resources using European Projects, networks of excellence, Grids. In particular, it can be noted :

- the existence of commercial software codes which can be used to solve all or parts of the problems. What are the performance limits of commercial software codes in your field ?
- the participation in collaborative programs to develop reference software codes. What is the situation in your field ?
- the use of software codes which are distributed by firms or research laboratories. What is the position in your field ?
- the formation of scientific communities which eventually are transformed into networks of excellence. Do you participate to such networks ?
- the sharing of computing capacity power. Do you share computational facilities ? the latter three points form the basis of the GRID concept. Do you participate in GRID ?