

**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*

**RESUME**

**Mai 2005**

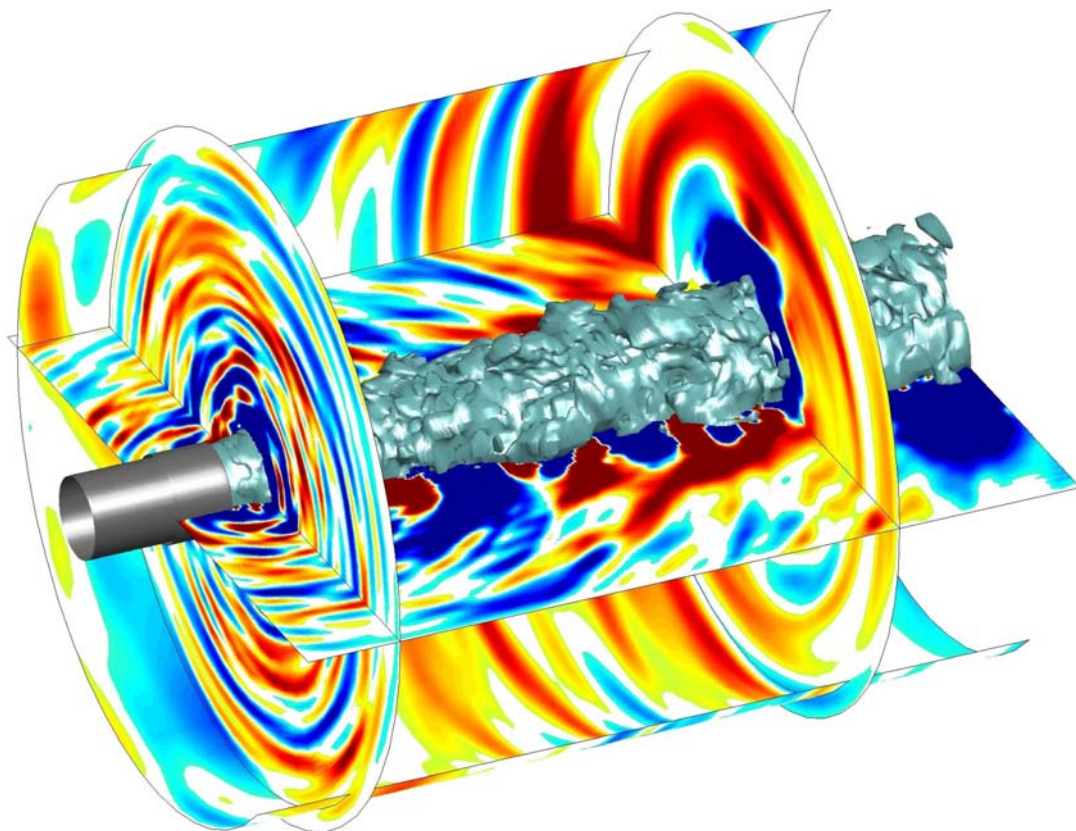
Académie des technologies  
28, rue Saint Dominique, Paris 7<sup>ème</sup>  
tél : 01 53 85 44 49  
[secretariat@academie-technologies.fr](mailto:secretariat@academie-technologies.fr)

# Enquête sur les frontières de la simulation numérique

La situation en France et dans le Monde

## RESUME

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

Publié en 1992, le rapport du CADAS sur "Le calcul scientifique" se présentait à la fois comme un "manifeste" et comme un pari sur l'avenir. Il analysait les progrès que l'usage de la simulation était en train de faire et prévoyait que cet usage se répandrait progressivement dans tous les secteurs de la Recherche et de l'Industrie. Douze années plus tard, on peut affirmer que le pari a été gagné. Mais on peut 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 différentes au cours des dernières années.

La première de ces questions concerne l'usage courant de la simulation. 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 au printemps 2004 le montrent clairement. Industrie et Recherche ont su tirer parti de la révolution dont le rapport de 1992 constatait déjà le succès.

Toutefois il est vite apparu, et c'est la seconde question, 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 situe "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 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. 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. La "nouvelle simulation", qui est en train de naître, ambitionne de prendre en compte toute la complexité du réel.

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, la base de la pyramide, vive et se développe. Car les modèles qui seront d'usage courant en 2010 seront fondés, pour une large part, sur 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 ne pouvons le savoir qu'en examinant la situation faite à la pointe de la pyramide, aux "simulations-frontières" et aux développements exploratoires.

Trois chapitres du rapport sont consacrés à faire l'état des lieux et à comparer la situation française à celle de ses grands voisins et compétiteurs. Le résultat de cette comparaison est loin d'être satisfaisant : ce constat n'est d'ailleurs mis en doute par personne et de nombreux rapports s'en sont fait l'écho, sans toutefois parvenir à déclencher une réaction à la mesure des défis à relever.

A partir de cet état des lieux, il devient possible d'analyser le fonctionnement des industries et des organismes de recherche. Et donc de proposer un diagnostic.

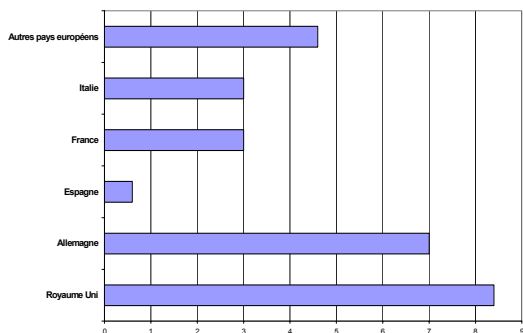
## Un diagnostic qui n'est pas très rassurant

On peut d'abord remarquer que tous les indicateurs concordent. Il y a d'abord l'évolution du "classement français" au sein du "TOP 500" (qui est le classement des 500 installations les plus

---

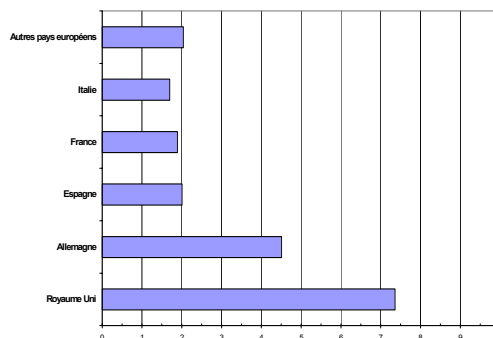
<sup>1</sup> On peut considérer que, en ce qui concerne les ordinateurs utilisés pour la simulation, la "base de la pyramide" est occupée par les serveurs de 10 à 100 Gflops, le milieu par les machines de 1 à 10 Téraflows et la pointe par les machines (qui se comptent sur les doigts de la main) au dessus de 40 Téraflows.

puissantes dans le monde) et la médiocrité de la place qu'occupe notre pays, en terme de moyens informatiques, dans l'ensemble européen<sup>2</sup>.



**Figure 2 : Nombre de systèmes européens en pourcentage du total du TOP500**

(au 8/11/2004)



**Figure 1 : Performance européenne en pourcentage du total du TOP500**

(au 8/11/2004)

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 que l'on peut faire des nombreux domaines où la France a beaucoup de difficultés à faire jeu égal avec ses compétiteurs.

Les auditions que l'Académie a menées, les réponses qu'elle a reçues à son questionnaire, la journée de réflexion qu'elle a organisée, lui ont permis de préciser ce premier 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" des entreprises. Les services qu'elle peut rendre pour explorer des opportunités stratégiques, pour éclairer les décisions majeures, 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 ce que font des entreprises de services (par exemple les Télécommunications), pour lesquelles l'informatique est indissolublement liée à l'offre qu'elles proposent. 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, ou si elle pourrait, le cas échéant, déboucher sur de véritables percées si on lui en donnait les moyens : on est loin d'un fonctionnement "conjoint et solidaire" qui seul permettrait d'afficher de grandes ambitions. Cela signifie également qu'ils laissent facilement s'établir un fossé entre la simulation opérationnelle et la simulation de pointe, et que ce fossé peut s'élargir au point de devenir infranchissable, de sorte qu'on peut parler de "développement dual".

<sup>2</sup> On doit écarter 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. Et le décalage qu'il indique est suffisamment marqué pour que cet indicateur ne soit pas récusé.

Dans ce panorama en demi-teinte, *quelques secteurs font exception*. C'est le cas notamment du secteur des services opérationnels de prévision et de surveillance<sup>3</sup>. MétéoFrance 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. Cette situation résulte, pour partie, d'une insuffisance en taille des équipes impliquées, d'un manque de confiance et de vision à long terme, d'une difficulté à s'organiser autour de projets fédérateurs largement assumés par tous les acteurs. On peut noter le manque de projets pilotes ayant une visibilité suffisante. Il apparaît qu'une certaine autocensure est à l'œuvre : le sentiment que les acteurs peuvent avoir de limites qu'ils ne pourraient dépasser dans le cadre de leur environnement et de difficultés qu'ils auraient à surmonter pour s'organiser plus efficacement, suffit sans doute à l'expliquer. La dispersion des équipes et leur taille sous-critique sont, de ce point de vue, les facteurs les plus sensibles et les plus souvent cités pour expliquer la situation<sup>4</sup>.

*Ces difficultés sont le pendant de ce qu'on a constaté chez les acteurs opérationnels*. La simulation n'a pas encore, dans l'esprit des responsables scientifiques, complètement atteint sa majorité. 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, sans que cela conduise à un nouveau mode de travail et à une organisation qui permette de retrouver l'autonomie nécessaire.

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 plutôt supérieure en France à ce qu'elle est en Allemagne, au Japon, ou aux Etats-Unis. Dans ce dernier pays en particulier, les projets de simulation extrême que l'on trouve, par exemple dans le réseau ASCI ou dans d'autres programmes du DOE, ne sont pas développés en collaboration avec les industriels. En France, cette collaboration existe souvent mais manque d'ampleur et garde souvent ce qu'on a appelé un caractère opportuniste. Mais elle est, malgré tout, très active et porteuse d'avenir.

---

<sup>3</sup> La simulation des armes nucléaires constitue, elle aussi, un secteur qui échappe à la majorité des faiblesses de l'industrie en général.

<sup>4</sup> Les réussites existent cependant lorsqu'un leader s'est dégagé et qu'il a pratiqué l'ouverture à grande échelle. Le succès est au rendez-vous quand une organisation de type projet a été mise en place et qu'elle a pu démontrer l'intérêt de la démarche, drainant l'adhésion de tous les acteurs.

## Conclusions et Recommandations

En publiant ce rapport, l'Académie 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 le montre dans le chapitre III du rapport, ont à prendre en compte le rôle de la simulation, 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 "passer en deuxième division", danger qui, on l'a vu dans le "diagnostic", 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<sup>5</sup>. 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 problèmes. 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 : dans la mesure où ils ne sont pas "universels", ils l'excluent même expressément.

Ces deux voies sont celles que privilégient aussi bien les Etats-Unis que le Japon. Les grands projets financés par le DOE, que le rapport cite à maintes reprises, se développeront sur le réseau national des centres ASCI. Le Japon a d'abord mis en place "l'Earth Simulator" en privilégiant la communauté du climat et de la géophysique, 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*.

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 déjà souligné<sup>6</sup>. Enfin, même s'il ne peut se

---

<sup>5</sup> La puissance des ordinateurs est mesurée par le nombre d'opérations par seconde. Un Téraflopp signifie 10\*\*12 opérations par seconde. L'Earth Simulator japonais atteint 40 Téraflopps. Un Pétaflopp représente 1000 Téraflopps.

<sup>6</sup> Le concept même de ces centres exclut qu'ils puissent être utilisés comme "centres de calcul à la demande" partagés entre industriels. L'objectif est bien de servir de support à des projets recherche – industrie.

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 ce qui suit.

## **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 ainsi que 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>7</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 envergure<sup>8</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 de ce rapport. 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 deviendra 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 lorsque ils en auront besoin. *Pour assurer leur propre développement sur le 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.

## **B - Les acteurs et décideurs de la recherche**

Dans la mesure où la recherche française pourra disposer de ressources 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.

---

<sup>7</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>8</sup> Cet objectif ne doit pas se limiter au développement de solutions, mais comprendre également une analyse quantifiée des apports et des risques.

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 tels

que le climat, la Chromodynamique quantique, etc. Les acteurs français partageront alors, avec d'autres 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>9</sup> qui fassent découvrir l'importance de la simulation.
- Créer des chaires de simulation dans les établissements d'enseignement supérieur qui sont prêts à s'engager résolument sur ce thème, 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 de "grands défis" bien identifiés.* 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-frontières, 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.*

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

---

<sup>9</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 ainsi qu' à un changement de l'image interne de la simulation.

<sup>9</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.

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 ont 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 qui ressort du "Diagnostic" et qu'indique l'évolution du TOP500. On rappelle ici que les investissements consentis aujourd'hui pour renouveler les machines ne permettent pas d'assurer une progression semblable à celle observée par ailleurs, en Europe, au Japon ou aux Etats-Unis<sup>10</sup>. 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.



---

<sup>10</sup> La disponibilité des moyens constitue un paramètre dimensionnant de l'effort de recherche dans les secteurs où la compétition est la plus vive, comme le climat, la bioinformatique, la mécanique des fluides, l'aéroacoustique, la combustion ... Il faut aussi noter la relative faiblesse des moyens humains et des équipes impliquées dans le domaine de la simulation. Là encore, il faudrait identifier les projets les plus porteurs et consolider les équipes.