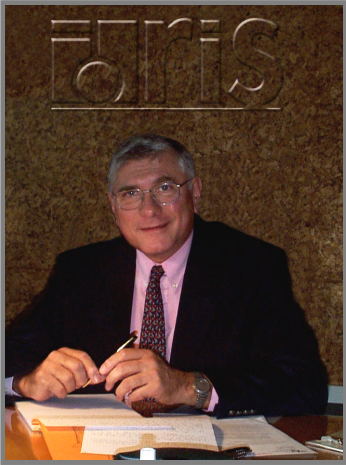


LES ENJEUX DE L'INFORMATIQUE SCIENTIFIQUE

TECHNOLOGIE

Victor ALESSANDRINI



La capacité de diffusion ou d'acceptation d'une technologie dépend toujours en grande partie de facteurs socio-économiques extérieurs à la technologie elle-même.

Pour le calcul scientifique, les années 90 constituent la décennie de la diffusion du calcul parallèle.

1. INTRODUCTION

Cet article se propose de faire le point sur les tendances actuelles de l'informatique scientifique, et sur la manière dont nous voyons son évolution se dessiner au début du 21^{ème} siècle. Sachant bien entendu que, dans cette discipline, les évolutions très rapides fixent des échelles de temps très courtes : cinq ans représentent une échelle de temps pratiquement infinie.

Notre vision est inspirée par l'expérience de l'IDRIS, structure très profondément ancrée à la fois dans l'informatique et dans la recherche scientifique en modélisation et simulation numérique. Cette situation privilégiée, au carrefour de ces deux disciplines, justifie l'une des missions de l'IDRIS : celle d'agent de transfert de technologie de la recherche et développement en informatique, vers les infrastructures nationales de calcul intensif dédiées à la production massive de science. Ce contexte nous oblige donc à chercher à identifier, parmi tout ce qui est possible, ce qui de surcroît est utile à l'ensemble de la communauté scientifique, et susceptible de durer. Tâche difficile quand on sait que la capacité de diffusion ou d'acceptation d'une technologie dépend toujours en grande partie de facteurs socio-économiques extérieurs à la technologie elle-même. Combien de technologies matérielles et logicielles belles et méritantes (architectures parallèles comme celle de Kendall Square, environnements de programmation comme CRAFT) avons-nous vu naître, vivre un temps et disparaître ces dernières années ?

2. LES FAITS MARQUANTS DES ANNÉES 90

Impossible d'évoquer les années 90 sans se référer au Web : les interfaces graphiques ont accéléré de manière importante la diffusion des technologies de transmission des données et de l'information. Mais cette diffusion résulte de l'impulsion des facteurs socio-économiques tels que le commerce électronique, les jeux, etc. L'expansion de l'Internet a engendré la mise en place de plates-formes logicielles de support au développement des applications réparties, couramment utilisées aujourd'hui dans le domaine du transactionnel et des communications (et par certaines industries de pointe). Nous en reparlerons plus loin.

Pour le calcul scientifique, les années 90 constituent la décennie de la diffusion du calcul parallèle, grâce à la mise en place des modèles de programmation portables (applicables à n'importe quelle architecture) et universels (applicables à n'importe quel problème scientifique) d'envoi des messages de facto (comme PVM) ou de jure (comme MPI), garantissant la pérennité de l'effort de développement. A ceci s'ajoute un fait essentiel : ces modèles de programmation entraînent un coût d'apprentissage jugé parfois important mais néanmoins abordable. Cela a provoqué la transition à la situation actuelle, où la programmation parallèle est une option viable, susceptible d'apporter une plus-value scientifique à celui qui accepte d'investir modérément dans cette discipline.

Le calcul parallèle bénéficie du fait que, dans la plupart des cas, un algorithme de parallélisation simple et intuitif, basé sur une décomposition du domaine physique de la simulation, est amplement suffisant. Les scienti-

fiques n'ont pas à se soucier, sauf dans quelques cas exceptionnels, des algorithmes plus sophistiqués, qui demeurent essentiellement du ressort des projets en informatique concernés par le développement de bibliothèques parallèles.

3. LE CALCUL VECTORIEL

Un supercalculateur est un système complexe dont les performances sont conditionnées par son maillon le plus faible. Et les maillons faibles de cette fin de siècle sont d'abord les entrées-sorties, mais aussi les temps d'accès des mémoires (latences) et les débits correspondants (bandes passantes). Les microprocesseurs doublent, certes, leur performance tous les 18 mois. Mais ceci suppose que les données soient déjà dans leurs entrailles. Or, les latences des mémoires diminuent très lentement depuis 15 ans, et les bandes passantes qu'il faudrait mettre en jeu pour alimenter le microprocesseur à un rythme conforme à celui demandé par sa performance, ne sont pas rentables pour un marché de masse. Même en présence de systèmes de mémoires hiérarchiques sophistiqués (mémoires caches), la performance soutenue des microprocesseurs est limitée à environ 10 à 15 pour cent de leur performance de crête.

La nouvelle génération de machines vectorielles japonaises en technologie CMOS constitue la seule et unique alternative - au niveau des machines de production - à cet état de faits. Le parallélisme des données entraîné par les opérations sur les vecteurs est exploité pour amplifier la performance des calculs. D'importantes bandes passantes entre la mémoire et les processeurs - plusieurs dizaines de gigaoctets par seconde - alimentent convenablement les unités de calcul. Les latences sont toujours médiocres, mais elles sont affectées au transfert d'un vecteur, et plus celui-ci est long, plus elles passent inaperçues. On obtient ainsi des performances soutenues de quelques gigaflops par processeur (typiquement, entre 2 et 5 gigaflops) pour des applications bien vectorisées - typiquement, 60% des applications qui s'exécutent à IDRIS. Pour les gros projets scientifiques gourmands en performance et taille mémoire, ce niveau de performance soutenue accompagné de très grosses mémoires est très intéressant au jour d'aujourd'hui. Il faudra attendre quelques années avant d'obtenir des performances comparables sur un microprocesseur. IDRIS est aujourd'hui en phase d'installation d'une grappe de 3 machines NEC SX-5 d'une performance 10 fois supérieure à celle du parc actuellement en exploitation.

Les architectures vectorielles CMOS de nouvelles générations permettent d'accéder à des performances de quelques gigaflops par processeur pour des applications bien vectorisées - typiquement, 60% des applications qui s'exécutent à IDRIS.

4. LE CALCUL SCALAIRE PARALLÈLE

Le parallélisme massif se présentait au début des années 90 comme une technologie révolutionnaire destinée à transformer de manière qualitative et quantitative le calcul scientifique et la modélisation. On constate aujourd'hui que l'évolution du calcul parallèle correspond plus à une évolution naturelle d'une technologie qui aboutit à sa maturité, qu'à une révolution. Le caractère « massif » des machines parallèles a été abandonné en raison de l'augmentation spectaculaire de la performance des microprocesseurs - qui réduit le nombre de processeurs nécessaires pour aborder un problème donné - et par la fin de la course aux armements et de la « guerre des étoiles », qui a limité sévèrement la demande de machines de très haute performance.

TECHNOLOGIE

Aujourd'hui, le marché porteur est celui des machines de 32 à 64 processeurs, et il n'est plus rentable pour un constructeur de concevoir les technologies nécessaires pour assurer une extensibilité au-delà d'une petite centaine de processeurs (typiquement 256). Pour les rares cas où il faut aller au-delà, le choix est de s'appuyer sur les grappes de machines. Ce qui, à son tour, entraîne le développement de technologies logicielles associées au calcul réparti, visant à coupler les supercalculateurs et à en donner une image unique.



5. L'INFORMATIQUE RÉPARTIE

Après une décennie de développement explosif de l'informatique légère distribuée, un nouvel ordre semble émerger. Grâce aux PC puissants tournant sous Linux ou NT, le poste de travail individuel est de plus en plus banalisé. Les investissements en mesoinformatique se décalent des stations de travail puissantes d'autrefois vers les serveurs multiprocesseurs. Une reconcentration intelligente des moyens de puissance intermédiaire se dessine, non seulement dans les milieux scientifiques mais aussi dans les secteurs industriels et privés, en raison de :

- La rareté croissante des compétences humaines nécessaires à l'administration et à la maintenance des systèmes de production,
- Le raccourcissement de la durée de vie des machines, qui force leur partage pour amortir convenablement les investissements.

La mise en place des applications réparties sur plusieurs systèmes où chacun apporte des ressources complémentaires est, bien évidemment, une manière particulièrement efficace d'amplifier le partage des ressources et d'en optimiser leur utilisation. À condition, bien entendu, que la plus-value scientifique soit suffisamment importante pour justifier un effort de développement qui doit dans tous les cas demeurer abordable. Nous pensons, par exemple, au couplage d'une machine vectorielle à une machine scalaire (qui peut s'avérer plus payant que de demander à l'une d'elles de prendre en charge les traitements des données pour lesquelles elle n'est pas efficace), au couplage d'un supercalculateur central à un système local de visualisation ou de post-traitement des données, ou à la mise en place d'un « pool » de ressources de calcul hétérogènes avec un ordonnancement global transparent pour les utilisateurs.

La diffusion du calcul réparti dans les infrastructures nationales de calcul intensif est donc une nécessité qui doit être satisfaite dans les années à venir. Devons-nous attendre, pour le calcul scientifique, une révolution similaire à celle engendrée par le Web pour la transmission de l'information ? Allons nous, dans les cinq ans à venir, vers une « toile universelle de calcul » similaire au « réseau d'électricité », c'est-à-dire, vers un système doté d'un don absolu d'ubiquité où tout est partout possible, et de manière banalisée ? Rien n'est moins évident pour quelqu'un qui constate tous les jours à quel point il est difficile d'extraire un résultat scientifique pertinent d'un ordinateur... sans oublier les facteurs socio-économiques indispensables pour la diffusion d'une technologie, qui ne sont pas de même nature que ceux qui jouent pour le transfert de l'information. Mais il est certain que ces technologies sont néanmoins appelées à jouer un rôle dans le calcul de haute performance.

Le développement des applications distribuées demande la prise en compte d'un certain nombre de problèmes ou caractéristiques : la communication entre les composants distribués sur différents sites ou machines, l'hétérogé-

néité matérielle et logicielle des systèmes qui participent à l'application, l'intégration des applications « patrimoine » dans un contexte réparti, l'interopérabilité de systèmes différents pour ce qui concerne les formats des données et les protocoles régissant leur transmission. Les plates-formes distribuées ou « *middlewares* » sont des logiciels conçus pour apporter une solution générique à ces problèmes et simplifier ainsi la mise en œuvre des applications réparties. Les trois architectures commerciales les plus importantes sont DCOM/ActiveX de Microsoft, JavaBeans de SUN, et la norme CORBA de l'Object Management Group. Cependant, elles n'ont pas été conçues avec un souci de performance spécifique pour le calcul scientifique. Cette question est plus particulièrement adressée par un certain nombre de projets de recherche et développement américains (Legion, Globus, HPVM, etc). Quoiqu'il en soit, le moment est venu de s'attaquer à la question de la diffusion de certaines de ces technologies dans les infrastructures nationales de calcul intensif de haute performance.

L'exemple du calcul parallèle dans les années 90 montre la voie : travailler dans la mesure du possible sur des solutions réutilisables et non sur des problèmes trop pointus, chercher les meilleurs compromis entre performance, simplicité, portabilité et pérennité. Dans cet état d'esprit et après mûre réflexion, IDRIS a mis en place deux activités complémentaires dans le domaine du calcul réparti :

- Une activité qui cherche à identifier l'ensemble des normes et des composants logiciels pertinents pour le couplage de codes et de ressources entre les machines du réseau national de calcul, à susciter et à supporter leur mise en œuvre. Ici, l'accent est mis sur le côté applicatif, en faisant l'hypothèse que les machines hôtes sont en mode partiellement dédié et que les ressources matérielles et logicielles sont disponibles.
- Une autre activité qui s'attaque en revanche aux aspects systèmes et réseau du calcul distribué, comme l'allocation simultanée des ressources, l'authentification ou l'image unique d'un système réparti hétérogène. Un projet en cours vise à la mise en place d'une grappe hétérogène de nœuds de calcul avec une interface Web globale et une image unique assurée par un mélange savant des « *middlewares* » existants. Il va de soi que les nœuds ne sont pas obligatoirement sur le même site, mais IDRIS jouerait le rôle de « site portail » pour la gestion des ressources.

6. L'INNOVATION

Les efforts de recherche et développement dans les secteurs de l'informatique pertinents pour le calcul scientifique de haute performance ont été très importants en Europe et aux USA ces dernières années, et une quantité importante d'innovation est aujourd'hui possible à la fois sur les infrastructures matérielles de calcul et sur les outils et les environnements logiciels. Toutefois, le système informatique le plus perfectionné ne peut pas se substituer à l'intelligence du chercheur qui l'utilise. L'impact de cette innovation sera très limité si elle n'est pas accompagnée d'une grande dose d'innovation dans les esprits, d'une importante créativité dans le maniement des outils existants pour repousser plus loin les frontières de notre connaissance. Les esprits critiques et aigus sont, pour le calcul scientifique et la modélisation, aussi indispensables que les supercalculateurs, les réseaux, ou les « *middlewares* ».

Les plates-formes réparties ou « *middlewares* » sont des logiciels conçus pour apporter une solution générique aux problèmes de communication, d'hétérogénéité, d'inter-opérabilité et d'intégration. Mais elles n'ont pas été conçues avec un souci de performance pour le calcul scientifique.

La « révolution répartie » est probablement derrière nous. La question encore ouverte est de l'adapter convenablement au calcul scientifique.