



*Séance solennelle de l'Académie des sciences / 21 juin 2011
Réception des nouveaux Membres sous la coupole de l'Institut de France*

L'Évolution de l'Informatique - Perspectives et Défis

Joseph Sifakis

L'Informatique est une discipline jeune. Ses fondements ont été posés par A.M. Turing et K. Gödel en 1936. Depuis son périmètre et son barycentre ont continuellement changé au cours des sept dernières décennies. Les premiers ordinateurs ont servi pour des applications militaires. Au cours des années 70, l'arrivée des premiers gros ordinateurs d'IBM ouvre leur champ d'application aux services et au commerce. En parallèle, l'apparition des circuits intégrés permet une augmentation exponentielle de la puissance de calcul. Dans les années 80, la convergence entre les technologies de l'information et les télécommunications ouvre la voie vers internet et le web. Les années 90 ont connu une révolution aussi importante que celle de la société de l'information avec la dissémination massive des systèmes embarqués dans les produits évolués.

Plus de 95% des puces produites aujourd'hui sont affectées à des applications embarquées. Elles sont cachées dans des équipements, produits de consommation, et des infrastructures pour y fournir des services divers et variés. Il y a aujourd'hui des centaines de milliards de systèmes embarqués dans les téléphones portables, les appareils électroménagers, les moyens de transport, les appareils médicaux, etc.

Dans un avenir très proche l'Internet des objets, résultat de la convergence entre les technologies de l'embarqué et les technologies d'Internet sera un pas significatif vers l'intelligence ambiante : observation et mesure à distance de l'état des processus physiques et socioéconomiques; communication et interaction multimodale entre hommes et objets; enfin, utilisation de l'intelligence du réseau pour améliorer la prédictibilité des phénomènes climatiques, la gestion globale des ressources énergétiques, et la qualité de vie grâce à l'intégration des services.

Il est difficile d'imaginer ce que deviendra l'Informatique dans les 20 ans qui viennent. Plus que d'autres disciplines elle évolue grâce au progrès vertigineux des applications et des technologies des

composants. Cette évolution pose de façon urgente un certain nombre de défis scientifiques dont certains aspects ont fait l'objet de mes recherches au cours de vingt dernières années.

Les systèmes embarqués, sont des systèmes qui interagissent de façon continue avec leur environnement physique. Ils rapprochent informatique et physique. Un grand défi pour l'informatique, aujourd'hui, est le développement de cadres théoriques pour étudier la dynamique de l'interaction entre ces systèmes informatiques et les systèmes physiques qu'ils contrôlent. Ce défi pose une série de problèmes techniques non triviaux sur lesquels je ne veux pas m'étendre. Je dirai simplement que les systèmes physiques sont caractérisés par des lois exprimées dans des modèles continus qui sont déclaratifs par leur nature, par exemple un système d'équations différentielles, tandis que les modèles de calcul sont procéduraux comme l'est la séquence d'exécution d'un programme. Les modèles de calcul sont fondés sur un concept de temps discret difficile à lier au temps physique. Pour obtenir une réactivité garantie des systèmes critiques complexes, une gestion optimale de l'énergie, donc une meilleure autonomie des systèmes mobiles, ou encore le contrôle thermique efficace des puces multi-cœurs, il faut enrichir les modèles de calcul par des concepts et des paradigmes venant des sciences physiques.

Un deuxième défi pour l'informatique est le développement de systèmes dits intelligents, l'intelligence étant la capacité de s'adapter un à environnement changeant afin de satisfaire au mieux certaines propriétés. Ce nouveau concept d'intelligence privilégie l'adaptivité et s'éloigne de la vision initiale de l'Intelligence Artificielle qui avait pour objectif principal le développement de systèmes capables de défier l'intelligence humaine. Elle rapproche l'informatique des sciences du vivant. Les organismes vivants ont des capacités d'adaptation remarquables. Ils s'animent par des phénomènes physicochimiques et des processus de calcul très intimement liés ayant un impact profond sur leur développement et leur évolution. Ils partagent plusieurs caractéristiques avec les systèmes informatiques tels que l'utilisation de la mémoire, la distinction logiciel/matériel, l'utilisation de langages. Toutefois, quelques différences significatives existent. Les processus de calcul des organismes vivants sont robustes, adaptatifs et chez certaines espèces permettent l'émergence d'abstractions et de concepts. L'étude approfondie de ces différences est essentielle pour affronter le défi de l'intelligence.

L'informatique est une discipline scientifique à part entière avec ses propres paradigmes et concepts. Elle étudie les processus de calcul et les méthodes de leur réalisation. L'information est une entité distincte de la matière et de l'énergie. Elle est immatérielle mais elle nécessite des media physiques pour sa représentation.

L'informatique n'est se réduit pas à un ensemble de théories mathématiques. Comme toute discipline scientifique, elle est fondée sur les mathématiques mais elle développe également des théories spécifiques qui peuvent être validées expérimentalement.

Je terminerai en soulignant une complémentarité qui me parait importante. L'informatique diffère des disciplines qui cherchent principalement à expliquer par des lois le comportement d'univers physiques donnés. Elle met l'accent sur la construction d'artefacts, la création d'univers artificiels qui satisfont des lois données. Ses théories ont une portée universelle et ne s'appliquent pas seulement aux ordinateurs. Elles enrichissent nos connaissances par un corpus de résultats permettant une compréhension approfondie des systèmes dynamiques discrets. Elle propose une façon constructive et opérationnelle de voir le monde, complémentaire de l'approche déclarative des autres disciplines. Cette complémentarité et le besoin de synthèse multidisciplinaire, ouvrent des perspectives nouvelles pour le développement des connaissances. L'Académie des sciences étant le lieu par excellence pour traiter de ces problèmes, je me réjouis d'avoir été élu par votre Compagnie et je suis honoré de me compter, maintenant, parmi ses membres.