



L'informatique : la science au cœur du numérique

Conseil scientifique de la SIF¹

Pourquoi ce texte

Nous sommes régulièrement confrontés à la question de définir notre domaine. La question est complexe, les réponses parfois passionnelles. Le Conseil scientifique de la Société informatique de France a réfléchi collectivement sur ce sujet.

Conseil scientifique de la Société informatique de France, 2013

Informatique – quèsaco ?

L'informatique est la science et la technique de la représentation de l'information d'origine artificielle ou naturelle, ainsi que des processus algorithmiques de collecte, stockage, analyse, transformation et communication de cette information, exprimés dans des langages formels ou des langues naturelles et effectués par des machines ou des êtres humains, seuls ou collectivement.

1. Le Conseil scientifique de la SIF est composé des personnalités suivantes : Serge Abiteboul, Gérard Berry, François Bourdoncle, Max Dauchet, Colin de la Higuera, Gilles Dowek, Anne-Marie Kermarrec, Claire Mathieu, Anca Muscholl, Laurence Nigay, Maurice Nivat, Jean-Marc Petit, Catherine Rivière, Gérard Roucairol, Marie-France Sagot, Florence Sèdes, Pascale Vicat-Blanc.

L'informatique est la science et la technique des interactions entre divers processus qui coopèrent dans la poursuite d'un but commun, souvent *en coopérant* avec des opérateurs humains. Cette coopération nécessite des échanges d'informations que la science informatique nous apprend à collecter, stocker, protéger, transmettre et transformer et que les techniques informatiques, puces et machines électroniques, permettent de manipuler en quantité avec rapidité et fiabilité. L'universalité de la représentation des informations, qu'elles soient textuelles, chiffrées, visuelles, sonores, rend possible le traitement simultané de toutes les informations liées à une activité donnée, à une entreprise, à une administration, à un chantier, à une chaîne de fabrication, et l'automatisation de tout ce qui peut être automatisé, c'est-à-dire entièrement confié à des machines. Réseaux informatiques et bases de données permettent à des milliards d'individus de partager et conserver les informations lorsqu'ils le jugent nécessaire, utile ou agréable. Les utilisations de l'informatique vont des actions les plus simples dans la vie de tous les jours aux plus sophistiquées, calculs des mathématiciens, simulations des physiciens, séquençage et décryptage du génome en biologie, exploitation de gigantesques quantités de données.

L'informatique décompose des opérations complexes en opérations simples, que ces opérations soient destinées à être effectuées par une seule machine ou un seul opérateur humain, ou un ensemble de machines et d'opérateurs humains. L'informatique permet de faire réaliser efficacement des tâches par des machines. La conception, l'écriture, la mise au point des programmes qui spécifient ces séquences d'opérations constituent des aspects essentiels de l'informatique. La programmation est proche du raisonnement logique par sa précision et sa rigueur. Elle peut être, notamment pour le programmeur néophyte, source d'émerveillement quand le raisonnement par le biais du programme devient réalisation concrète, en prise avec le monde réel.

*Il faut apprendre à nos enfants à raisonner/programmer
comme on leur apprend à lire, écrire et compter²*

La construction d'ordinateurs fait intervenir d'autres sciences, comme la physique du silicium, et des techniques très poussées pour la miniaturisation des circuits des processeurs et des mémoires. L'utilisation d'ordinateurs conduit à des disciplines très concrètes comme la compilation de programme ou le génie logiciel, avec des défis comme de concevoir, analyser, contrôler, optimiser, vérifier les systèmes informatiques. Pourtant, l'informatique n'est pas *que* la science des ordinateurs (même si le terme anglais est « computer science ») : son outil ne peut pas être seul objet d'étude. Indépendamment d'ailleurs de toute machine particulière, l'informatique

2. Quand nous parlons ici d'apprendre à programmer, il ne s'agit pas juste d'apprendre un langage de programmation, de la même façon qu'apprendre à lire ne se limite à savoir épeler des mots. Au cœur de l'activité de programmation, il y a le raisonnement que l'on conçoit et qu'on demande à la machine.

s'attaque à des problèmes fondamentaux comme de comprendre les frontières entre ce qui calculable ou non, ce qui réalisable avec des ressources en temps et espace raisonnables. À leurs débuts, les ordinateurs tenaient plus de la prouesse technique que d'une science informatique encore balbutiante. Avec le temps, l'informatique nous a permis de mieux comprendre ce que font les ordinateurs, de mieux les utiliser. Les liens entre la science informatique et les ordinateurs se sont intensifiés avec la complexité des logiciels et des matériels qui composent ces machines. On peut donc dire aujourd'hui que si l'informatique n'est pas la science des ordinateurs, *elle est la science qui rend véritablement possible les ordinateurs*. Elle rend également possible des objets comme des téléphones intelligents, et permet de développer des systèmes complexes mettant en jeu de grands nombres de machines comme par exemple des moteurs de recherche du Web.

*« La science informatique n'est pas plus la science des ordinateurs
que l'astronomie n'est celle des télescopes »,
souvent attribuée à Edsger Dijkstra*

L'informatique a une place cruciale dans notre société. Nombre des plus grandes sociétés qui se sont imposées pendant ces cinquante dernières années ont l'informatique au cœur de leur métier (IBM, Microsoft, Oracle, Apple, Google, Facebook, etc.). L'informatique participe aux menaces sur l'environnement (pollutions par les fermes de serveurs) mais aussi aux solutions (informatique durable). L'informatique bouleverse la vie de chacun avec la transformation de notre monde en « monde numérique ».

Le numérique

Les mots s'usent, et on en invente de nouveaux pour dire presque les mêmes choses. Par exemple, *surprise-partie* est devenue *surboum*, passée en *boum*, pour devenir *soirée*. Le langage scientifique est censé échapper à ce principe. On n'est pas censé se lasser du mot *triangle* et le remplacer par un mot plus à la mode comme *tri-côté*. Des mots mathématiques comme *géométrie*, *physique* ou *chimie* sont relativement imperméables aux modes. Le mot *informatique* est une exception à l'exception. Comme les ados qui ne veulent pas utiliser le même mot que leur parents pour parler de surprise-partie, les informaticiens changent (ou laissent les autres changer) le nom de leur discipline régulièrement. Par exemple, le CNRS invente régulièrement des néologismes pour désigner l'informatique : STIC pour « sciences et techniques de l'information et de la communication » a eu un temps le vent en poupe. Ce qui gêne sans doute, et conduit à changer de mot, ce sont les multiples facettes de l'informatique. Nous avons revendiqué ici que l'informatique soit à la fois une science et une technique. Oui on peut être un scientifique en informatique, comme on peut être ingénieur en informatique ! Oui on peut faire de l'informatique en amateur et

trouver son bonheur dans un livre sur PHP mySQL du rayon d'informatique de la FNAC. La Lisbeth Salander de Millenium elle aussi fait de l'informatique. Ce sont autant de facettes de l'informatique. Et il n'est pas nécessaire de trouver un nouveau mot pour chacune d'entre elles.

« Autrement, les mots s'usent. Et parfois, il est trop tard pour les sauver. »

Erik Orsenna

Le dernier mot à la mode est *numérique* (« digital » en anglais). Attention ! Il ne faut surtout pas le voir comme un synonyme d'*informatique*. L'adjectif « *numérique* » qualifie toutes les activités qui s'appuient sur la numérisation de l'information comme le livre, l'image ou le son numérique, la commande numérique de voiture ou d'avion, le commerce numérique (e-commerce), l'administration numérique, l'édition numérique, l'art numérique, etc. On parle de « monde numérique ». La recherche dans le domaine du numérique touche ainsi, juste pour les sciences humaines, à des sujets aussi distincts que la fiscalité de l'internet en économie, ou la nature des liens sociaux induits par des systèmes de réseaux sociaux en sociologie. On observera d'ailleurs le dynamisme du numérique, en s'autorisant à penser qu'il tient au moins en partie de la créativité de l'informatique. Si on numérise l'information, c'est pour la possibilité de la traiter avec toutes les méthodes de l'informatique. En ce sens, l'informatique est au cœur du numérique. Malgré cela, étant donné la variété des thèmes en jeu, on est clairement hors de la sphère de l'informatique. Par exemple, pour véritablement participer à l'art numérique, il est utile de bien maîtriser la pensée informatique, ainsi sans doute que la technique informatique, au-delà d'une simple expérience de logiciels comme Photoshop. Reste que l'objectif essentiel reste la réalisation d'œuvres d'art.

La frontière entre *informatique* et *numérique* est mouvante. Certains limitent les sciences du numérique à une liste plus ou moins exhaustive de domaines comme la robotique, l'automatique, les télécoms, les mathématiques appliquées, le traitement du signal, les circuits électroniques. On notera que, dans leurs incarnations modernes, ces domaines accordent une place essentielle à l'informatique. On n'imaginerait par exemple pas de robotique sans l'utilisation de techniques fondamentales de l'informatique comme la géométrie algorithmique ou l'apprentissage automatique. Mais le même robot aura une main avec peut-être une perception haptique faisant intervenir des mécanismes compliqués de retour de force ; nous sommes aussi dans la mécanique et l'automatique. La robotique inclut beaucoup d'informatique mais pas uniquement. Rien n'empêche un roboticien de se déclarer informaticien, ou mécanicien, voire les deux s'il le souhaite.

Ne confondons pas numérique et informatique.

Sciences et informatique

Nous utilisons ici le mot science dans un sens très large désignant un domaine où le critère de vérité d'un énoncé est objectif, parce qu'il s'appuie sur l'observation, l'expérience, la démonstration, le calcul, etc. Ce terme inclut donc les sciences de la nature ou de la vie (qui correspondent plutôt au terme « science » en anglais) ; mais aussi, par exemple, les mathématiques.

La science informatique

L'informatique est une science. Elle permet comme les mathématiques, la physique, la biologie et les autres sciences d'expliquer le monde. Elle se fonde sur des critères objectifs, par exemple « le résultat du tri de la liste [3; 1; 2] est [1; 2; 3] ». Elle aide les autres sciences à expliquer les phénomènes naturels, par exemple la simulation en climatologie. Et comme le monde qui nous entoure est maintenant numérique, l'informatique est essentielle pour expliquer ce monde.

L'informatique est entrée de manière fracassante dans l'univers des sciences avec des travaux de mathématiciens comme Kurt Gödel ou Alan Turing. Par exemple, Turing introduisit un modèle abstrait de machine capable de réaliser n'importe quel calcul mathématique représentable par un algorithme. Il s'en servit pour résoudre un problème ouvert de mathématiques, le problème de décision de Hilbert. Il démontra aussi « en passant » qu'on ne peut pas décider en général si un programme termine pour une entrée donnée ou s'il va continuer à calculer pour toujours. C'est l'ancrage de l'informatique dès sa naissance dans les sciences. Mais, pour construire les premiers ordinateurs tels l'ENIAC ou les premières machines à architecture von Neumann, il va falloir des efforts considérables en ingénierie. C'est l'ancrage du domaine dans la technique.

L'informatique et les autres sciences

Dès ses débuts, l'informatique affirme des liens étroits avec les autres sciences. L'informatique, avec l'automatisation du calcul, fournit un nouvel angle pour des problèmes auxquels s'attaquaient déjà d'autres sciences. Elle s'intéresse aux mêmes phénomènes que d'autres sciences mais *différemment*. Prenons l'exemple des images. Un physicien peut étudier la propagation des rayons lumineux et la transformation des images quand ces rayons traversent des milieux transparents ou changent de direction en rencontrant divers types de miroirs. L'optique conduit à la construction de verres qui corrigent la vue ou de lentilles pour les appareils photo. Avec la photo argentique, la chimie permet la reproduction d'images sur une surface par dépôt de pigments colorés qui se fixent sur la surface. Les géomètres mathématiciens s'intéressent aux formes qui peuvent être dessinées dans le plan ou exister dans l'espace euclidien et à leur représentation sous forme d'images visibles dans le plan. Les médecins soignent les problèmes de l'œil et des nerfs optiques qui nous permettent de voir les images. Les neurophysiologues s'intéressent à

la perception des images par notre cerveau. De son côté, l'informatique propose une autre manière d'appréhender les images. En les « pixélisant », on obtient une représentation de l'image qui permet de la transmettre, la reproduire, la compresser, la transformer, la comparer à une autre. Les appareils photo numériques apparus il y a une vingtaine d'années sont le fruit des efforts conjoints de physiciens, d'opticiens et d'informaticiens. Il est d'ailleurs fréquent que des ruptures technologiques ou scientifiques soient pluridisciplinaires comme c'est le cas ici.

Science de l'artificiel et science de la nature

Des algorithmes existaient avant l'ordinateur. Quand on enseigne les quatre opérations à des enfants, on leur apprend des algorithmes. On fait des mathématiques mais aussi de l'informatique sans le savoir. L'informatique a peut-être moins révolutionné qu'on ne le dit : des machines programmables comme les métiers à tisser de Jacquard existaient ; on utilisait déjà des langages de programmation par exemple dans les partitions musicales. Mais en moins de cent ans, l'informatique a modifié nos façons de penser.

On a vite accepté l'informatique comme une science de l'artificiel, quelque part à coté des mathématiques. Comme les mathématiques, l'informatique permettait d'énoncer des vérités absolues. De même que les médiatrices d'un triangle continueraient à être concourantes si la constante de la gravitation était différente, le résultat du tri de la liste $[a_3; a_1; a_2]$ continuerait à être $[a_1; a_2; a_3]$ quels que soient les objets a_1, a_2 , et a_3 avec un ordre entre eux tel que $a_i < a_j$ si $i < j$.

L'informatique permettait de résoudre des problèmes comme de mieux concevoir des ailes d'avion ou organiser son carnet d'adresses et ses rendez-vous. L'informatique bouleversait aussi les sciences par la simulation et l'analyse des données. Et puis, on a réalisé que l'informatique était aussi une science de la nature. Avec l'ADN, le codage et la transformation de l'information se retrouvaient au cœur de l'étude des organismes biologiques. Et dans les sciences humaines, l'informatique faisait également une entrée remarquée. Les lois qu'imaginaient les sociologues, les linguistes, les économistes, etc., pouvaient, grâce aux simulations, être confrontées à l'expérience. Avec l'informatique, les sciences humaines s'arrimaient un peu plus au sein des autres sciences.

Non seulement l'informatique est une science, mais un peu à la manière des mathématiques qui se marient avec tout le spectre des autres sciences, l'informatique se marie aux autres sciences dans de riches combinaisons.

Savoir et savoir faire

Les apprentissages combinent une phase d'acquisition de *savoir* avec une phase d'expérimentation des connaissances acquises, pour aller vers le *savoir faire*. En informatique, ces deux notions se répondent. L'informatique donne des réponses à

la question « comment faire », qui se conjuguent dans de nombreux contextes. On peut expliquer l'organisation des tâches dans un hôpital ou la logistique d'un grand groupe de distribution avec le même langage de workflow. Et pour ce qui est des logiciels, par exemple, un système de gestion de données est générique, le système ignore la nature des données, qu'importe qu'elles soient biologiques ou commerciales, un même langage (la logique du premier ordre) et de mêmes algorithmes sont utilisés. On retrouve la place prépondérante du savoir faire dans l'enseignement de l'informatique, qui laisse une place très importante aux travaux pratiques individuels ou en groupe.

Science et technique

Cette dichotomie entre savoir et savoir faire se retrouve dans un constat : l'informatique est à la fois *science* et *technique*. Comme technique, elle nous permet de créer. L'informatique est essentielle au développement de nombreux objets. Par exemple, le logiciel entre aujourd'hui pour une grande part du coût de conception d'une voiture. L'utilisation de logiciels est indispensable dans les industries du transport, du nucléaire, chimique, etc. Pour ce qui est de l'industrie informatique, il faut savoir la complexité des logiciels développés aujourd'hui. Certains contiennent des millions, voire des centaines de millions de lignes de code par exemple pour des distributions de Linux. (En comparaison, le roman « Madame Bovary » n'était composé que de 4 500 feuillets manuscrits, soit de l'ordre de mille fois moins de lignes.) Cela place ces logiciels parmi les objets les plus complexes jamais construits par des humains.

L'industrie s'est transformée dans un premier temps par l'automatisation des processus de fabrication. Elle a ensuite été transformée par l'informatique pour ce qui concerne notamment les services comptables, la gestion des ressources humaines, la logistique des achats et des livraisons. Toutes les tâches de l'industrie s'automatisaient. Dans un deuxième temps, la technique informatique avec internet, le web, les réseaux sociaux, les téléphones intelligents, a transformé la vie de chacun. On a pu constater à quel point l'informatique était par essence porteuse de créativité.

Concluons cette partie par une illustration. Considérons la production de logiciel. On fait appel à des méthodes comme la programmation agile ou la redondance des matériels pour garantir la qualité et la sûreté des applications. Mais on réalise vite les limites de ces développements. Au-delà d'un certain niveau de complexité, il faut des logiciels complexes pour vérifier que les logiciels sont corrects, pour prédire leurs performances et les taux d'erreur. Leur réalisation demande des bases théoriques poussées. Pour se réaliser, la technique informatique doit trouver ses inspirations dans la science informatique.

*L'informatique est science et technique et oublier
l'une de ces facettes est violemment réducteur.*

Innovation et créativité

Les mathématiques sont beauté, esthétique de l'absolu, du zéro et de l'infini. Elles définissent la pensée, posent des lois. Elles participent de la vérité. La physique et la chimie proposent des lectures de la nature, depuis les structures de l'infiniment petit jusqu'aux espaces galactiques. De l'explosion du Big Bang au magma plasmatique, elles révèlent les équations qui régissent le monde. La biologie est le royaume de la complexité. De la plus petite bactérie au cerveau le plus élaboré, la vie se multiplie, se compose, se combine, se reproduit dans des mystères insondés. Avec la médecine, il s'agit de repousser les limites de la maladie et de la mort. Les sciences humaines brillent dans leur diversité. Elles sont miroirs et mémoires de nos combats, reflets de nos illusions. Elles révèlent le mystère de l'humain. Peut-être un jour nous aideront-elles à comprendre nos folies.

Et l'informatique ? Science et technique, l'informatique bouscule les frontières. Avec les mathématiques, elle tient du rêve ; elle se marie à la physique et la chimie dans des expériences prodigieuses ; elle est peut-être la clef pour décrypter les intrications de la biologie. Ses algorithmes disent pourquoi ; ils disent comment. Et de l'informatique, donc, quelle est l'essence ? Si les mathématiques définissent la vérité, si physique et chimie expliquent les merveilles du monde et si la biologie donne les clés de la vie, l'informatique est, quant à elle, le pouvoir de créer. Elle nous permet d'inventer notre propre monde.

L'informatique fait chaque jour preuve de son inépuisable créativité. Elle ne cesse d'inventer de nouvelles applications, de nouvelles manières de communiquer, de nouveaux moyens de diffuser l'information. Grâce à l'informatique, on peut rêver dans un garage (Steve Jobs pour Apple), depuis un laboratoire universitaire (Sergueï Brin et Larry Page pour Google) ou même dans son dortoir (Mark Zuckerberg pour Facebook) d'un nouveau logiciel et poser ainsi les bases d'un empire industriel. On peut aussi être un dingue de liberté comme Richard Stallman et devenir l'artisan principal d'une des suites logicielles les plus utilisées au monde, le logiciel libre GNU/Linux.

L'informatique étend le champ du possible.
