

EXTRAIT

LA BARRIÈRE DE LA COMPLEXITÉ (...) Apollo, Nixon et la guerre contre le cancer

Le premier exemple que nous retenons est celui de la lutte contre le cancer, qui reste en 2010 l'un des grands fléaux de l'espèce humaine. En 1972, au lendemain du triomphe américain dans la conquête de la Lune, le président Richard Nixon voulut prendre comme modèle le projet *Apollo* pour engager un programme focalisé et accéléré destiné à « vaincre le cancer ». Si les astronautes de la NASA avaient réussi à débarquer sur la surface lunaire un peu plus de huit ans après la décision du président Kennedy¹ d'envoyer des hommes sur la Lune, pourquoi un autre programme prioritaire, bénéficiant de moyens considérables, ne permettrait-il pas de guérir le cancer ? Le projet fut effectivement décidé, approuvé par le Congrès des États-Unis, et engagé. Mais, contrairement à ce qui s'est passé avec le programme *Apollo*, un résultat spectaculaire et définitif n'a pas été atteint. En 2010, le cancer demeure une maladie, ou plutôt un ensemble de maladies, difficile à combattre, et encore bien souvent mortel.

Quelle est donc la différence entre l'« objectif Lune » et l'« objectif cancer », qui fait que le premier peut être atteint en moins d'une décennie alors que le second, en dépit de progrès considérables dans la connaissance de la maladie et dans les techniques thérapeutiques, demeure un espoir distant ? Débarquer sur la Lune était sans aucun doute un défi technologique majeur, mais celui-ci ne se heurtait à aucun obstacle fondamental : les techniques de base existaient et le succès dépendait des moyens dont disposerait l'agence américaine de l'espace, la NASA, ainsi que des capacités d'organisation et de l'audace dont feraient preuve ses ingénieurs. La NASA fut brillante et, en dépit de quelques accidents, le triomphe couronna ses efforts. Vaincre le cancer implique une confrontation avec l'extrême complexité des processus génétiques et biologiques à l'œuvre dans la structure de base des êtres vivants évolués, la cellule, et dans les associations de ces cellules que sont les organismes.

L'expression « extrême complexité » semble même bien faible pour traduire l'ampleur du problème. En partant de réactions chimiques simples, traduisant elles-mêmes des lois physiques universelles et peu nombreuses, l'apparition puis l'évolution « darwinienne » de la « vie » ont conduit à l'apparition d'êtres au sein desquels a lieu une multitude presque infinie d'interactions moléculaires locales. Elle se traduit par l'émergence et le maintien de propriétés extraordinaires, comme la persistance et la reproduction cellulaire, l'existence d'organismes pluricellulaires, la mobilité, l'intelligence, et pour l'être humain, la conscience. Le cancer est une maladie du « système vivant », dont la compréhension et le contrôle (plutôt qu'une guérison totale de tous les cancers) progresseront lentement, de concert avec les avancées dans la connaissance du « vivant », dans ses aspects biochimiques, métaboliques, génétiques... et « systémiques ».

La « complexité » du sujet est telle que, en dépit des progrès accomplis (décryptage du génome, appareillages de visualisation, thérapies chimiques et

¹ Annoncée devant le Congrès des États-Unis le 25 mai 1961, et réalisée le 20 juillet 1969 avec les premiers pas sur la Lune de Neil Armstrong et de Buzz Aldrin.

radiologiques, etc.), nous n'en sommes encore qu'aux premiers pas dans ce domaine. Certes, certains cancers se prêtent bien aux traitements disponibles. Mais d'autres résistent à toutes les approches. La « victoire sur le cancer » est encore loin. Le combat continue mais il ne faut pas que l'accélération des progrès dans les « NBIC » (nanotechnologies, biotechnologies, technologies de l'information, sciences cognitives), bien réelle, donne l'illusion que le cancer, et plus généralement la maladie, ne sera bientôt plus qu'un mauvais souvenir. Nous assistons plutôt à une guerre livrée sur un large front, avec de multiples batailles, dont certaines sont gagnées rapidement, quand d'autres s'enlisent.

Supercalculateurs et météorologie

Le second exemple que nous voulons mettre en avant découle d'une visite faite par l'un des deux auteurs, au printemps 2009, dans l'un des plus puissants ensembles de « supercalculateurs » du monde, situé dans le centre de recherche « Ames » de la NASA, près de San Francisco, dans la « Silicon Valley ». Les responsables de ce centre de calcul, dont la puissance vient d'atteindre le « Teraflop » (c'est-à-dire la capacité de réaliser mille milliards d'opérations élémentaires par seconde), fêtaient alors le quart de siècle de l'installation, en soulignant que, pendant cette période, ses performances avaient été multipliées par vingt-cinq millions ! Nous retrouvons là l'extraordinaire croissance des capacités des circuits électroniques, décrite par la « loi de Moore » déjà évoquée, et qui est largement au cœur du raisonnement sur l'imminence d'une « singularité » dans l'évolution de l'humanité. À quoi sert cette formidable puissance de calcul ? Les « supercalculateurs » sont principalement utilisés pour réaliser des « simulations » de l'évolution dans le temps de « systèmes complexes », à partir de « modèles » physiques et mathématiques de ces systèmes. Nous rencontrons là deux mots qui se trouvent au cœur du problème des relations entre « accélération » (du progrès technologique dans une série de domaines) et « complexité » (des questions que l'humanité veut ou doit résoudre) : « modèle » et « simulation ».

Les « systèmes complexes », comme par exemple la « machine climatique » (ensemble de l'atmosphère et des océans, incluant leurs interactions mutuelles et avec les continents) ne peuvent pas, du point de vue de leur fonctionnement, être décrits exactement en prenant en compte la réalité au niveau moléculaire (là où se produisent les interactions physiques, chimiques et biologiques). Il faut les « modéliser » en procédant à des approximations très importantes : les « modèles »² utilisés pour « simuler » (autrement dit pour calculer l'évolution dans le temps des principaux paramètres qui caractérisent le système) la « machine climatique » se contentent de considérer l'atmosphère comme un ensemble de cellules en forme de parallélépipèdes d'environ 50 km de côté et de 500 m en hauteur, et utilisent des « équations » approchées pour décrire les changements des différents paramètres décrivant ces cellules et leurs relations (températures, pressions, vents, etc.) ; par ailleurs ils ne prennent pas en compte la réalité des nuages mais une approximation de la nébulosité moyenne dans les cellules. Bref, les « modèles » utilisés pour les prévisions météorologiques sont très éloignés de la réalité et le problème est de savoir dans quelle mesure les calculs sur lesquels ils sont basés vont fournir des prévisions correctes, et à quelle échéance ?

Nous avons choisi à dessein l'exemple des prévisions météorologiques car chacun de nous s'y intéresse – il s'agit du rendez-vous télévisuel le plus suivi avant et après les journaux du soir des grandes chaînes – et peut constater le caractère incertain de ces prévisions. Pourtant celles-ci bénéficient de la grande compétence des physiciens et des mathématiciens, qui améliorent sans cesse les « modèles » numériques utilisés, et

² Ces modèles sont connus sous le nom de « Modèle de circulation globale » ou CGM, qui correspond à leur sigle en anglais (*Global Circulation Model*).

des informaticiens qui « programment » les calculs sur des ordinateurs parmi les plus puissants du monde, dont les capacités augmentent de manière continue.

Certes, des progrès ont été effectués : les « prévisions à trois jours » démontrent, statistiquement, une « fiabilité » de 80 % et celles à « cinq jours » sont justes à 50 %. Mais, par rapport à la situation d'il y a vingt-cinq ans, les avancées accomplies sont sans commune mesure avec la croissance de la puissance des superordinateurs. D'un côté, un gain de deux jours sur les prévisions fiables à 50 %. De l'autre, une progression d'un facteur 25 millions ! Où est l'erreur ? Elle réside simplement dans la « modélisation » et la « simulation » de la machine météorologique : la complexité de celle-ci se révèle largement hors de portée des sciences et des techniques de l'information de 2010 et l'on peut gager qu'il en sera encore de même en 2020, avec des supercalculateurs encore cent fois plus puissants. La réalité est que pour accomplir « un (tout) petit pas » dans la « simulation » (donc la prévision) des systèmes complexes comme la machine climatique, il faut faire « un (très) grand bond » dans les technologies de l'information.