

2. L'importance de l'énergie : la loi de Koomey

Une loi plus précise que la loi de Moore a été énoncée dans un article récent de Jonathan Koomey, de l'Université Stanford, et ses collègues (*IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 33(3), pp. 46-54, 2011).

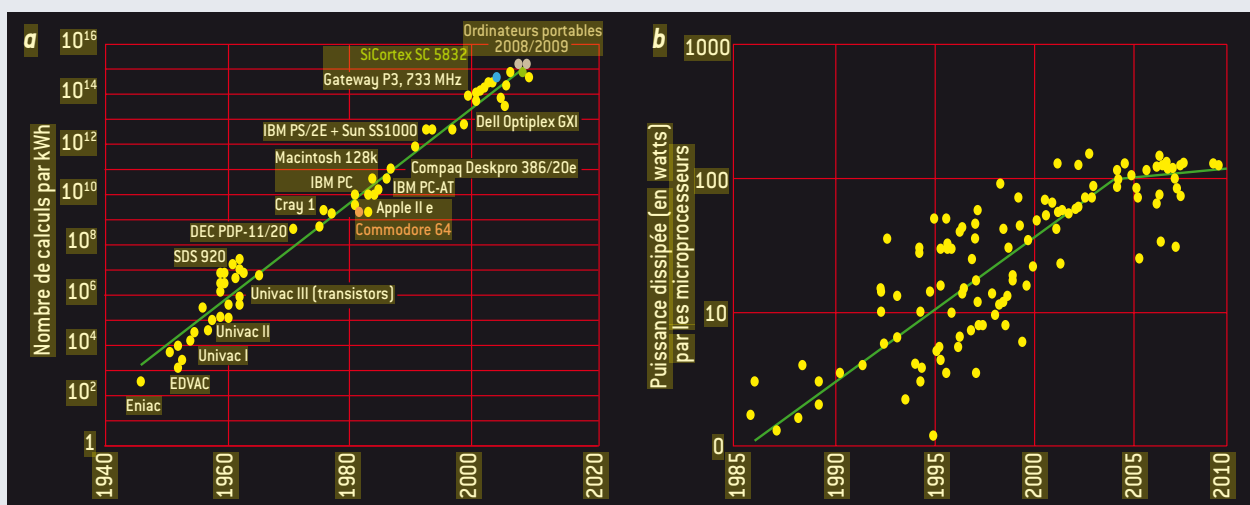
La loi de Koomey se réfère au nombre de calculs faits par unité d'énergie dissipée, nombre qui double à peu près tous les 1,57 ans depuis 1950 (a). Cet énoncé centré sur l'énergie et donc aussi sur l'échauffement produit par

les calculs est une reformulation pertinente, puisque plus régulière et précise, et puisqu'une part importante des problèmes de l'industrie des microprocesseurs est liée à des questions énergétiques. La vitesse de calcul des microprocesseurs est entravée par l'échauffement dû à l'effet Joule.

Par ailleurs, la commodité des dispositifs informatiques mobiles (ordinateurs portables, téléphones, tablettes) dépend des batteries, qui re-

présentent une part importante de leur prix et dont la capacité est toujours jugée insuffisante par les utilisateurs. Enfin, les microprocesseurs sont toujours plus gourmands en énergie (b). Les gros centres de calcul dénommés *datacenters* (comme ceux des firmes *Google*, *Facebook*, etc.) sont confrontés à des problèmes de consommation énergétique si importants qu'on choisit de les installer dans des régions froides ou bien là

où l'énergie est moins chère. Selon l'Université Stanford, la consommation des *datacenters* a augmenté de 56 % de 2005 à 2010 et elle représente aujourd'hui près de 1,5 % de la consommation mondiale d'électricité, soit l'équivalent de 30 centrales électronucléaires. Aux États-Unis, les *datacenters* consommeraient autant d'énergie que l'industrie automobile, d'après un article du *New York Times* (J. Glanz, 22 septembre 2012.)



Graphique de droite d'après S. H. Fuller et L. J. Millett, *The Future of Computing Performance*, 2011

quelques années. Cependant, dit-il, « si je devais engager un pari, je dirais qu'après, nous devons passer aux ordinateurs moléculaires et, peut-être beaucoup plus loin dans le cours du XXI^e siècle, aux ordinateurs quantiques ». Or il s'agit de technologies qui ne semblent pouvoir aujourd'hui assurer la relève de l'électronique à silicium sur laquelle, depuis un demi-siècle, tous nos efforts ont été concentrés, sans vraiment préparer d'alternatives.

Linus Torvalds, l'acteur principal du développement de *Linux*, pense lui aussi que nous allons rapidement nous retrouver dans une situation totalement nouvelle en informatique quand la loi de Moore cessera de se vérifier et qu'alors nous devons apprendre à vivre autrement.

John Gustafson, architecte chargé de la conception et du dessin des produits de

la société AMD (seconde entreprise mondiale de production de microprocesseurs juste derrière *Intel*) est lui aussi formel et annonce que « vous assistez au début de la fin de la loi de Moore ».

Tout le monde n'est pas d'accord. Certains, comme Hans Moravec (roboticien, professeur à l'Université de Carnegie-Mellon), Raymond Kurzweil (inventeur et écrivain) ou John Smart (philosophe, futurologue et directeur de l'*Acceleration Study Foundation*) défendent qu'il y a toutes sortes de raisons de penser que la loi de Moore sous une forme généralisée restera vraie encore longtemps.

Ils évoquent les nombreuses pistes technologiques permettant de contourner les obstacles, comme déjà tant d'autres ont été contournés. Certes, une transition technologique sera prochainement

nécessaire. Ce qui semblait devoir ne durer que dix ans a duré plus de 40 ans et l'on peut envisager d'introduire des éléments moléculaires, optiques ou quantiques et les combiner et les intégrer aux éléments de silicium. N'y a-t-il pas encore de quoi maintenir le rythme plusieurs décennies ? Pourquoi ne pas croire que ce miracle se prolongera ? Les transitions technologiques passées, que ce soit le passage des calculateurs mécaniques aux calculateurs à relais, ou celui des calculateurs à relais aux calculateurs électroniques, ont à chaque fois accéléré le rythme des gains. Si nous tirons les leçons de l'histoire de l'informatique, nous devons donc non pas craindre la prochaine transition technologique, mais, au contraire, compter sur elle pour qu'elle maintienne, voire accélère, la dynamique du progrès.

3. La croissance de la complexité du vivant

Alexei Sharov a proposé une méthode de mesure de la complexité (entendue comme richesse en fonctions et en organisation) à l'aide de l'évaluation de ce qu'il dénomme l'ADN fonctionnel non répétitif (en gros, les gènes et les séquences promotrices des gènes). Il obtient une courbe qui, en échelle logarithmique, est constituée de points assez bien alignés. Cette courbe, si on la considère comme repré-

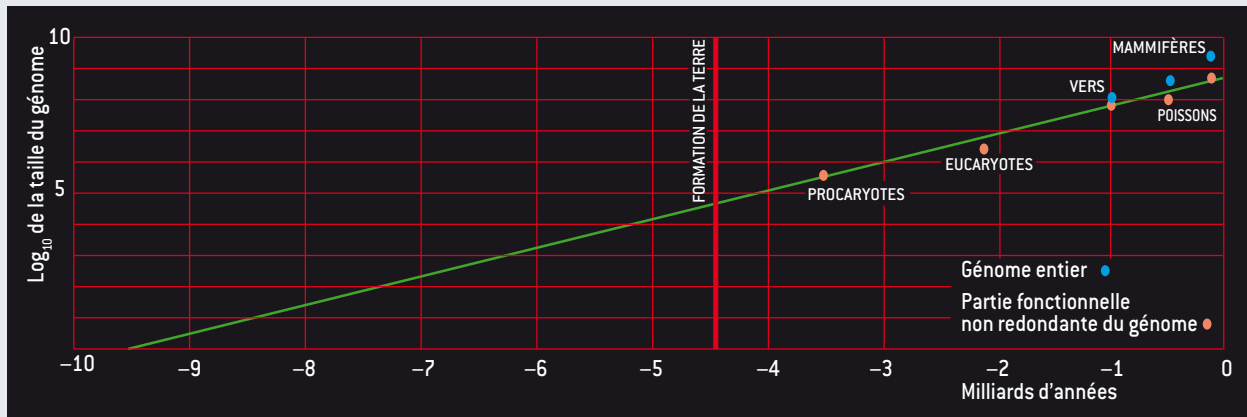
sentative d'une évolution de la complexité du vivant, signifie que celle-ci double tous les 350 millions d'années environ. C'est une sorte de loi de Moore pour la vie.

En prolongeant la courbe vers la gauche, elle touche l'axe des abscisses en un point correspondant environ à -10 milliards d'années, ce qui est plus ancien que l'âge de la Terre. On pourrait en conclure qu'il ne faut pas

prolonger la courbe et qu'il y a sans doute eu une phase où la croissance de la complexité a été plus rapide. A. Sharov préfère une autre explication de ce point d'intersection, selon laquelle la vie est arrivée sur la Terre avec une certaine complexité après son apparition ailleurs. Pour lui, le transport d'un point à l'autre de l'espace n'est pas le fait d'extraterrestres qui auraient ensemencé volontairement

la Terre (théorie de la panspermie dirigée), mais le résultat de déplacements – rares, mais possibles – de matière portant les structures moléculaires propres à la vie, par exemple sous la forme de spores résistantes.

Inutile de dire que les idées de A. Sharov ne font pas l'unanimité et que les spécialistes de l'origine de la vie y voient au contraire de nombreuses objections.



L'idée que l'avenir nous réserve une accélération du progrès produisant des doublages de plus en plus rapprochés des diverses mesures de performance de nos dispositifs numériques nous plonge dans des visions de science-fiction. On évoque la naissance de machines super-intelligentes contribuant elles-mêmes à la conception de nouvelles machines encore plus puissantes, etc.

De la science-fiction ?

Une volumineuse littérature futuriste s'est développée qui se plaît à discuter une loi « des retours accélérés » (due à R. Kurzweil), sorte de généralisation un peu imprécise de la loi de Moore à tous les domaines. Elle conduirait à un instant nommé « la singularité » (idée introduite par Vernor Vinge, professeur d'Informatique à l'Université de San Diego) et pronostiqué avant la fin du XXI^e siècle, où l'intelligence humaine aura engendré des machines qui la dépasseront.

Heureusement (?), selon certains, nous pourrions alors transférer, télécharger, nos esprits dans ces machines, ce qui nous permettrait d'accéder à une forme d'immortalité. Une question vient naturellement à l'esprit : pourquoi ces machines nous accepteraient-elles en leur sein si nous leur sommes inférieurs et que nous ne servons plus à rien ? Bien d'autres questions sont abordées et débattues par ceux qui se nomment eux-mêmes « transhumanistes » ou « extropiens ».

Une idée développée par Hugo de Garis (chercheur en intelligence artificielle) évoque la survenue prochaine d'une inévitable et terrible guerre entre ceux qui s'opposeraient aux développements de cette intelligence nouvelle, qui condamne à terme les êtres humains, et ceux qui y verraient simplement la continuation de l'humanité sous d'autres formes matérielles. La question de savoir si les cyborgs, hybrides d'humains et de machines, seraient en mesure d'ouvrir une troisième voie est aussi posée et donne lieu

à de rudes controverses entre ces futurologues, parfois qualifiés de technoprophètes.

Parmi les pistes de réflexion, John Smart défend une idée inattendue. Non seulement les performances technologiques en général continueront de progresser, mais elles s'accompagneront d'une réduction des tailles, qui finira à long terme par rendre si petits les lieux où la vie se poursuivra dans ses formes nouvelles qu'elle disparaîtra du monde physique macroscopique. Cette idée résoudrait le paradoxe de Fermi : « Nous ne voyons pas les civilisations intelligentes qui devraient être apparues avant la nôtre et dont l'existence est pourtant probable, puisque la nôtre est assez récente en regard des durées astronomiques. »

Il existe aussi des spécialistes de l'histoire de l'économie et des techniques qui contestent que le progrès va en s'accéléralant. Ils tentent de montrer que nous sommes en train d'observer une baisse du rythme de l'évolution technique. Les difficultés rencontrées par l'industrie des microprocesseurs