

LOGIQUE & CALCUL

Au-delà de la loi de Moore ?

La loi de Moore est un cas de loi exponentielle empirique. Certains pensent que des lois de ce type déterminent notre avenir et sont une clef pour comprendre le passé.

Jean-Paul DELAHAYE

La formulation la plus courante de la loi de Moore indique que la puissance des dispositifs informatiques (pour un coût donné) double tous les 18 mois. Elle est assez bien vérifiée depuis plus de 40 ans, mais on annonce aujourd'hui que sa fin est proche. Depuis sa formulation dans les années 1960, il y a toujours eu des sceptiques pour mettre en doute sa validité. A-t-on aujourd'hui de meilleures raisons de penser qu'elle s'épuise et que nous vivons la fin d'une fantastique période qui a vu augmenter d'un facteur un million au moins les performances des technologies numériques (capacité de stockage, puissance de calcul, vitesse de transmission) ?

Les conséquences économiques d'une rupture de la loi seraient graves, tant l'industrie électronique est habituée à ce taux d'accroissement qui lui sert de base pour programmer son développement et décider de ses investissements, au point qu'on a dit de la loi de Moore qu'elle était une prophétie autoréalisatrice. Un ralentissement du progrès perturberait gravement le secteur, en faisant baisser le taux de renouvellement des PC et autres matériels électroniques – ce qui a peut-être déjà commencé.

On affirme aussi que la particularité de l'économie des ordinateurs n'est pas dans l'existence d'une telle loi exponentielle qui en décrit la dynamique, mais seulement dans le temps de doublement (18 mois) très court que l'on y observe. Une étude portant sur des dizaines de technologies montre que des variantes de la loi de Moore y ont

cours, avec des taux de croissance plus bas, mais des dynamiques exponentielles similaires. Il y aurait donc une loi générale affirmant l'existence d'une augmentation exponentielle des performances ou, ce qui revient au même, une décroissance exponentielle des coûts. Cette loi concernerait tous les secteurs économiques fondés sur des développements techniques.

Il est capital de mieux comprendre ces versions généralisées de la loi de Moore dont dépend l'avenir de notre monde. À côté des prévisions de science-fiction que certains tirent, une étrange variante de la loi de Moore apparaît à l'œuvre en biologie et concerne cette fois la complexité des êtres vivants. Même si elle est très discutée, les arguments présentés par Alexei Sharov en sa faveur sont assez soigneusement formulés. Ils conduisent à soutenir l'idée d'une croissance de type exponentiel de la complexité biologique et suggèrent une origine extraterrestre de la vie sur la Terre, idée ancienne déjà défendue par Francis Crick, l'un des découvreurs de la structure de l'ADN. Nous y reviendrons, mais auparavant, voyons ce que dit la loi de Moore et quelle a été sa validité passée.

En 1958, l'Américain Jack Kilby invente, ce qui lui vaudra de partager le prix Nobel de physique en 2000, le premier circuit intégré (on dit aussi puce électronique), qui est rapidement mis en production. Il s'agit d'un dispositif où sont reliés, sur une plaque, plusieurs composants élémentaires, essentiellement des transistors.

Le nombre de transistors qu'on réussit à placer sur une puce électronique augmente

avec régularité dès son invention. C'est en observant cette variation rapide et obstinée que Gordon Moore, l'un des fondateurs de la société *Intel*, formule l'énoncé initial de sa loi.

Diverses formulations

En 1965, il affirme qu'il y a chaque année un doublement de densité des transistors sur les puces et qu'il se prolongera au moins dix ans (voir la figure 1). En 1975, il ajuste sa loi et prévoit alors un doublement de densité tous les deux ans seulement, lui aussi annoncé comme devant se poursuivre une décennie. Traduite pour parler non plus de la densité des transistors sur une puce, dont l'utilisateur se moque un peu, la loi de Moore sous une forme plus vague, mais plus générale et donc plus intéressante, est l'affirmation suivante :

Tous les 18 mois, pour un prix donné, la puissance des dispositifs informatiques double.

La loi concerne aussi bien la capacité de stockage que la puissance de calcul ou la vitesse de transmission de l'information numérique. Puisqu'il y a 60 mois en cinq ans, le petit calcul $2^{60/18} = 10,08$ montre que cette affirmation générale équivaut à l'affirmation plus frappante encore que les performances informatiques sont multipliées par dix tous les cinq ans, et donc par 100 tous les dix ans, et par un million en 30 ans. Ces chiffres étonnants semblent irréels.

Considérons d'abord le nombre de transistors présents dans un microprocesseur. Nous sommes passés de 2 300 transistors en 1971 pour la puce *Intel-4004* à