

Processeurs : la fin de la loi de Moore... et le début de l'incertitude

L'industrie des semi-conducteurs s'apprête, le mois prochain, à reconnaître ce que tous les experts du sujet prédisent depuis des années déjà : la loi de Moore arrive à son terme. Mais en réalité, comme le raconte un [passionnant article de la revue Nature](#), cette loi énoncée en 1965 par le cofondateur d'Intel Gordon Moore est plus un mode d'organisation de l'industrie, une prophétie auto-réalisatrice, qu'une loi physique. Depuis les années 90, l'industrie des semi-conducteurs établit en effet une feuille de route, la *International Technology Roadmap for Semiconductors* (ITRS), précisément alignée sur les prévisions de la loi de Moore, qui anticipe le doublement du nombre de transistors des microprocesseurs tous les 24 mois. Donc, in fine, le doublement de la puissance des puces. C'est cette feuille de route, permettant de coordonner les efforts de toutes les parties prenantes de l'industrie, qui a rendu la loi de Moore effective.

Rédigée pour la première fois en 1991, ce document de coordination est au départ le résultat d'un effort de l'industrie américaine, qui a mobilisé des centaines d'ingénieurs sur ce projet sous la direction d'un cadre d'Intel. En 1998, les travaux deviennent internationaux et impliquent des groupements d'industriels européens, japonais, taiwanais et coréens. « *A ma connaissance, il n'existe aucun cas similaire dans aucune autre industrie, où tous les fabricants et fournisseurs se rassemblent pour définir ce qu'ils vont faire* », explique dans *Nature* **Kenneth Flamm**, un économiste de l'Université du Texas.

Mur quantique

Mais la mécanique de la loi de Moore, déjà bien grippée, est en passe de se bloquer tout à fait. Un constat que s'apprête à reconnaître officiellement l'industrie, lors de la publication de la prochaine feuille de route, prévue en mars. Car, comme l'anticipent les chercheurs depuis déjà longtemps, les objectifs de la loi de Moore se heurtent désormais à des **limites physiques**. La miniaturisation des circuits – 14 nanomètres de finesse de gravure aujourd'hui, en attendant le 10 nm– devrait faire prochainement basculer les micro-processeurs des lois de la physique traditionnelle à celles de la physique quantique, qui gouverne le comportement probabiliste des atomes. Une échéance que les experts fixent au début de la prochaine décennie.

Un véritable mur pour l'industrie, qui avait su dépasser d'autres difficultés rencontrées avec la loi de Moore. Par exemple au début des années 2000, quand l'effet conjugué de la hausse des fréquences d'horloge et de la diminution de la taille des circuits avait fait bondir la chaleur générée par les circuits. Un obstacle que les industriels ont contourné en optant pour des architectures multicœurs, qui ont mis fin à la course à l'augmentation des fréquences d'horloge.

Les alternatives sont encore dans les labos

Problème pour l'industrie : aucun nouveau paradigme, aussi fiable que l'a été la loi de Moore, ne se dégage aujourd'hui. « *Nous allons être à la peine* », reconnaît An Chen, un ingénieur travaillant pour

GlobalFoundries et qui dirige un comité travaillant sur la feuille de route 'post-Moore'. Concrètement, aucune alternative crédible au silicium n'est aujourd'hui prête à être industrialisée. Pas plus l'informatique quantique, que les processeurs neuromorphiques (inspirés du fonctionnement du cerveau), que les processeurs 3D (limités par les questions de dissipation de chaleur) ou encore que les transistors au graphène (qui fonctionnent par inversion du spin des électrons et non par leur déplacement, comme avec le silicium).

Comme l'explique *Nature*, la prochaine feuille de route ITRS risque fort de sceller **la fin de l'union sacrée** de l'industrie des semi-conducteurs, union qu'avait cimentée la loi de Moore pendant 25 ans. « *Tout le monde se débat pour comprendre ce que cette feuille de route peut désormais signifier* », résume **Daniel Reed**, un chercheur de l'Université de l'Iowa. L'influente SIA (Semiconductor Industry Association), qui fédère les industriels américains, a déjà annoncé qu'elle cesserait sa participation à la construction de la feuille de route après la sortie de la prochaine édition. Une décision qui revient à enfoncer un clou dans le cercueil de l'initiative.

L'économie a tué la loi de Moore ?

Ironiquement, la nouvelle appellation de la feuille de route (*International Roadmap for Devices and Systems*) en dit aussi long sur les raisons qui vont conduire à la fin de l'union sacrée. La prise de pouvoir des terminaux mobiles, avec leurs priorités propres (en particulier concernant l'autonomie), la montée en puissance du Cloud, l'irruption d'une multitude d'objets connectés ont fait éclater les attentes vis-à-vis des semi-conducteurs. « *Dans l'ancien marché, vous conceviez peu de choses différentes, mais vous en vendiez énormément. Dans le nouveau, vous devez construire bien plus de choses, mais vous n'en vendrez que quelques centaines de milliers par modèle*, résume Daniel Reed, dans les colonnes de *Nature*. *Mieux vaut donc que ces semi-conducteurs soient réellement peu chers à concevoir et à fabriquer.* » Une nouvelle donne elle aussi incompatible avec la loi de Moore ; la réduction de la taille des circuits imposée par cette dernière se traduisant par une inflation des coûts. Bâtir une ligne de fabrication avec une finesse de gravure à l'état de l'art coûte aujourd'hui des milliards de dollars...

Pour **Bill Bottoms**, le président de Third Millennium Test Solutions, un fournisseur d'équipements pour l'industrie des semis, « *la fin de la loi de Moore n'est pas un problème technique, c'est un problème économique. Certaines entreprises, notamment Intel, essaient toujours de réduire la taille des composants avant de heurter le mur que dressent les effets quantiques. Mais plus on miniaturise, plus ça coûte cher* ». Une vision que partage d'ailleurs Daniel Reed. Le chercheur explique dans les colonnes de *Nature* : « *mon pari, c'est que nous serons à court d'argent avant d'atteindre les limites de la physique* ».

A lire aussi :

[L'informatique quantique existe, Google l'a rencontrée](#)

[L'après silicium : bientôt des processeurs... en bois ?](#)

[Intel investit dans la recherche sur l'informatique quantique](#)