

aussi augmenter leur vitesse de travail, car les distances entre les transistors deviennent plus petites. Ainsi, le nombre de mémoires sur une puce évolue à peu près proportionnellement au nombre de transistors que l'on peut y mettre, en gros selon la loi de Moore de 1975, alors que la puissance de calcul qu'on en tire augmente plus vite que ce nombre de transistors, car elle bénéficie à la fois des progrès en nombre de transistors et en vitesse des processeurs. La vitesse de calcul des puces, mesurée en hertz, a d'ailleurs considérablement augmenté depuis les premiers microprocesseurs. C'est l'explication la plus simple des progrès supérieurs du calcul, comparé au stockage, au cours des cinquante dernières années.

On le voit sur cet exemple, la loi de Moore générale simplifie bien trop les choses et, d'ailleurs, si l'on regarde de près, aucun domaine de l'électronique n'a progressé à un rythme parfaitement régulier. Le cas de la vitesse des processeurs est caractéristique. Elle a progressé de 15% par an de 1978 à 1988, puis de 40% par an de 1988 à 2004, et de seulement 2% par an depuis.

Les capacités de calculs dont nous disposons ont permis le développement des réseaux et en particulier d'internet, et c'est pourquoi une autre mesure est aujourd'hui devenue importante, celle de la circulation de l'information dans les réseaux.

TRAFIC RÉSEAU : LE ZETTA AUSSI

Cette circulation des données a elle aussi atteint l'ordre de grandeur du zettaoctet. Les évaluations des experts n'aboutissent pas au même nombre pour l'année 2021. Ils concluent que le nombre d'octets qui circulent chaque seconde sur les réseaux entre ordinateurs, téléphones, tablettes, box-internet, petits objets connectés, etc. est compris entre 5 et 40 zettaoctets. On peut tout de même en déduire que, comme pour la mémoire, nous en sommes à 10^{22} en ordre de grandeur. Puisqu'il faut bien évidemment exécuter largement plus de 1 instruction pour faire circuler 1 octet d'information entre deux machines d'un réseau, ces évaluations du trafic d'internet confirment que pour le calcul en instructions par seconde, les ordres de grandeur 10^{23} et 10^{24} sont un minimum qui ne fait aucun doute.

Notons que les flux vidéo représentent plus de la moitié de ce trafic. Cela est en grande partie dû à l'explosion récente de la consommation de vidéos par internet, engendrée par le développement de la fibre optique et des offres de YouTube ou Netflix, du «replay» d'émissions télévisées, et plus récemment des visioréunions par Zoom et autres services du même type. L'importance en volume de tout cela écrase les autres types de consommation de la bande passante.

BIBLIOGRAPHIE

Wikipedia, **Zettabyte Era**, consulté en mai 2021 (https://en.wikipedia.org/wiki/Zettabyte_Era).

Ademe, **La face cachée du numérique**, janvier 2021 (<https://bit.ly/3lq6N7A>).

A.-C. Orgerie et L. Lefèvre, **Le vrai coût énergétique du numérique**, *Pour la Science*, n° 518, pp. 48-59, décembre 2020.

Arcserve, **The 2020 Data Attack Surface Report**, 2020 (<https://bit.ly/3jq0KNs>).

Cisco Annual Internet Report (2018-2023), mars 2020 (<https://bit.ly/37oRt2A>).

L. Dedryver, **Maîtriser la consommation du numérique**, Rapport n° 2020-15 de France-Stratégie, octobre 2020 (<https://bit.ly/3fqGz0X>).

J. Hennessy et D. Patterson, **Computer Architecture : A Quantitative Approach**, Elsevier (6^e édition), 2019.

D. Efnusheva et al., **A survey of different approaches for overcoming the processor-memory bottleneck**, *International Journal of Computer Science and Information Technology*, vol. 9(2), pp. 151-163, 2017.

J.-P. Delahaye, **Les chiffres de la complexité informatique**, *Pour la Science*, n° 314, décembre 2003.

Sur ce sujet, il semble que certaines personnes manquent singulièrement de bon sens.

Quand vous envoyez un courriel ne contenant que du texte, sauf s'il est très long, vous faites circuler environ un kilooctet de données, alors que lorsque vous parcourez des pages internet en surfant, vous faites circuler des images et aurez rapidement fait se déplacer plus d'un mégaoctet de données. Et cela n'est rien comparé à ce qui se passe quand vous regardez un film en «replay» ou en utilisant un site de vidéo à la demande : en une heure, vous aurez fait circuler un gigaoctet de données au minimum. Il y a donc, en gros, mille fois plus de dépense électrique pour le surf sur internet et un million de fois plus pour une heure de vidéo en flux continu (*streaming*) que pour un courriel.

POUR ÉCONOMISER, REGARDONS MOINS DE VIDÉOS !

À partir de 2009, la presse a largement repris l'affirmation, tombée d'on ne sait où, qu'un courriel ou une requête sur un moteur de recherche dépense autant d'électricité qu'une ampoule allumée pendant une heure. Si c'était vrai, regarder une vidéo de une heure, ce qui demande un million de fois plus de transfert de données qu'un courriel, engendrerait une consommation invraisemblable que ni vous, avec votre facture d'électricité, ni le centre qui gère l'envoi de la vidéo ne pourrait supporter.

D'après un rapport de France-Stratégie (*voir la bibliographie*), le numérique consomme aujourd'hui 4000 térawattheures (TWh) par an dans le monde, alors que la production totale d'électricité est de l'ordre de 26000 TWh par an (un réacteur nucléaire produit environ 8 TWh/an). Certes, le numérique consomme de l'énergie, mais il en fait économiser beaucoup, car envoyer des documents par internet évite l'envoi des mêmes documents par la poste, et les réunions virtuelles évitent de nombreux déplacements.

Ceux qui évitent d'envoyer des courriels ou limitent le nombre de requêtes sur les moteurs de recherche pour éviter de polluer la planète se trompent d'ennemi. S'ils veulent avoir une action sensible, c'est à la vidéo qu'ils doivent penser !

Les chiffres de l'ère numérique du zetta sont le résultat du formidable travail des chercheurs et ingénieurs de l'électronique et de l'informatique. Cela a changé l'univers dans lequel nous vivons et, même si ces chiffres montrent qu'une part importante d'énergie doit être consacrée au monde nouveau et virtuel que nous avons créé, nous devons avoir pleinement conscience de tout ce que cela nous apporte. Par exemple, reconnaissons que la pandémie de Covid-19 aurait été bien plus difficile à vivre sans l'existence des réseaux et leur gigantesque puissance. ■