

## CAPACITÉS DE CALCUL DEPUIS UN SIÈCLE



La loi de Moore n'a de sens que pour la période, commençant en 1958 et se terminant sans doute prochainement, des circuits imprimés obtenus par lithographie optique. Pour savoir s'il existe une loi plus générale incluant plusieurs technologies de calcul différentes, Ray Kurzweil dans son livre *The Age of Spiritual Machines* (Penguin Books, New York, 1999) a évalué la puissance de calcul des machines en instructions par seconde pour un dollar sur toute la durée du XXe siècle. Durant cette période, cinq technologies de calcul différentes se sont succédées.

Ray Kurzweil évalue que, de 1900 à 2000, nous sommes passés de  $10^{-8}$  à  $10^5$  instructions par seconde pour un dollar. En un siècle, la puissance de calcul pour une somme d'argent donnée a donc augmenté d'un facteur  $10^{13}$ , ce qui correspond à un accroissement moyen de 35

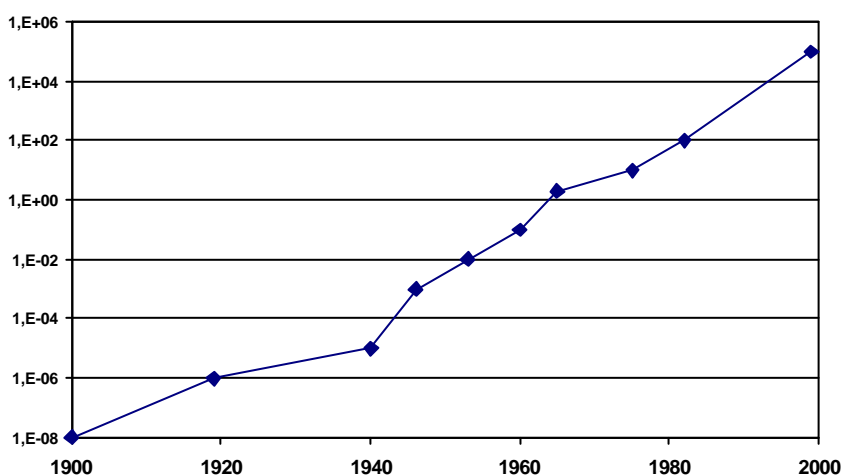
pour cent par an, soit un doublement tous les 2,4 ans.

Ce résultat suggère que la loi de Moore est généralisable. On peut donc espérer que, lorsque la technologie de la gravure optique des circuits intégrés aura atteint ses limites (vers 2020 ou avant), elle sera remplacée par une autre technologie qui prendra le relais et permettra la poursuite des gains réguliers des performances informatiques.

Indiquons quelques repères donnés par le spécialiste Ray Kurzweil (les chiffres représentent le nombre d'instructions par seconde, par dollar dépensé) :

Machine analytique 1900	$10^{-8}$
Tabulateur IBM 1919	$10^{-6}$
Calculateur Bell Modèle I 1940	$10^{-5}$
ENIAC 1946	$10^{-3}$
Univac1103 1953	$10^{-2}$
DEC PDP1 1960	$10^{-1}$
DEC PDP8 1965	2
Altair 8800 1975	10
IBM PC 1982	$10^{+2}$
Pentium II 1999	$10^{+5}$

Nombre d'instructions par seconde pour 1€ dépensé



## QUELLE EST LA PUISSANCE DU CERVEAU HUMAIN?

Se fondant sur une étude détaillée de la rétine humaine, Hans Moravec, de l'Université Carnegie Mellon, évalue que le cerveau humain est équivalent à un ordinateur d'une puissance de  $10^{14}$  instructions par seconde.

CALCULER EN EUROS  
UTILISE 6,55 FOIS  
PLUS DE NEURONES !



Nick Bostrom, de l'Université de Yale, propose une évaluation fondée sur le raisonnement suivant. Dans le cerveau humain, il y a environ  $10^{11}$  neurones, chacun possédant environ 5 000 synapses ; les signaux circulent au travers de ces synapses à la vitesse de 100 décharges par seconde environ, et chaque signal porte approximativement 5 bits d'information. Au total, le cerveau opère donc un calcul d'environ  $25 \times 10^{16}$  opérations binaires par seconde qui, ramenées en instructions par seconde, donnent le nombre approximatif de  $10^{17}$  instructions par seconde.

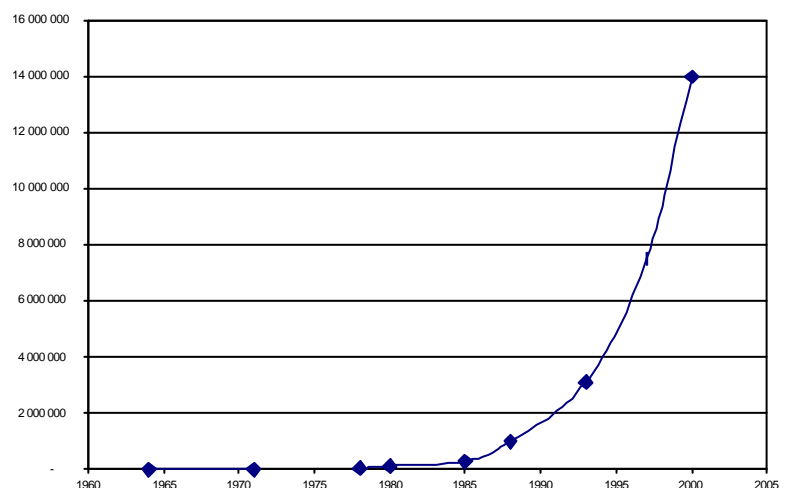
Ray Kurzweil, par un calcul analogue, arrive au nombre un peu inférieur de  $2 \times 10^{16}$  instructions par seconde.

Ralph Merkle qui, lui, fait une estimation en se fondant sur la consommation d'énergie par un neurone comparée à la consommation totale du cerveau, obtient une fourchette : le cerveau humain aurait une puissance comprise entre  $10^{13}$  et  $10^{16}$  instructions par seconde.

Certains spécialistes, arguant de la complexité interne des neurones, qui seraient chacun de petits calculateurs, suggèrent que ces nombres doivent être multipliés par 100, ce qui conduit à  $10^{19}$  instructions par seconde.

Notons encore que le véritable équivalent informatique en calcul du cerveau pourrait être plus faible que l'estimation la plus basse de  $10^{13}$  (Merkle). En effet, il est certain que, pour effectuer une multiplication comme  $43 \times 52$ , un cerveau humain mobilise une énorme force de calcul impliquant des millions de neurones pendant plusieurs secondes, qui effectuent donc l'équivalent de millions d'instructions, alors qu'une puce fait une telle multiplication en quelques instructions. Si d'autres activités mentales sont aussi "mal programmées" dans notre cerveau, alors l'imitation du cerveau pourrait être obtenue avec une puissance bien inférieure à celle qu'il possède.

En résumé, les estimations de la puissance du cerveau humain oscillent entre  $10^{13}$  et  $10^{19}$  instructions par seconde, cette fourchette pouvant peut-être être élargie vers le bas. Cela est certes très imprécis, mais reflète l'ignorance où nous sommes de ce que fait un cerveau.



Nombre de transistors par processeur (milliers) - Source : © 01 Informatique.