

troubles de l'équilibre et déclenche des mouvements réflexes des yeux. Une fois les vertiges passés, l'hémisphère opposé à l'oreille «refroidie» est en sursurveillance et ne remplit plus son rôle. À l'inverse, la stimulation du lobe pariétal d'un des hémisphères cérébraux par un champ magnétique de un tesla interrompt temporairement la plupart des activités neuronales de ce même hémisphère.

Et les histoires drôles ? On ne connaît pas exactement les effets d'un bon fou rire sur le cerveau bien que l'on ait repéré en imagerie cérébrale des régions spécifiquement activées. Cependant, de longs accès d'hilarité entraînent souvent des faiblesses, des manques de coordination, des difficultés à respirer, et une sudation. Par ailleurs, les individus atteints de cataplexie (un trouble du sommeil) souffrent parfois d'une paralysie partielle ou totale pendant plusieurs minutes après un éclat de rire. Selon le neurobiologiste australien, des anomalies des connexions entre les deux hémisphères expliqueraient ces symptômes.

Les résultats sont étonnants : la plupart des sujets testés qui ont reçu de l'eau froide dans l'oreille perçoivent

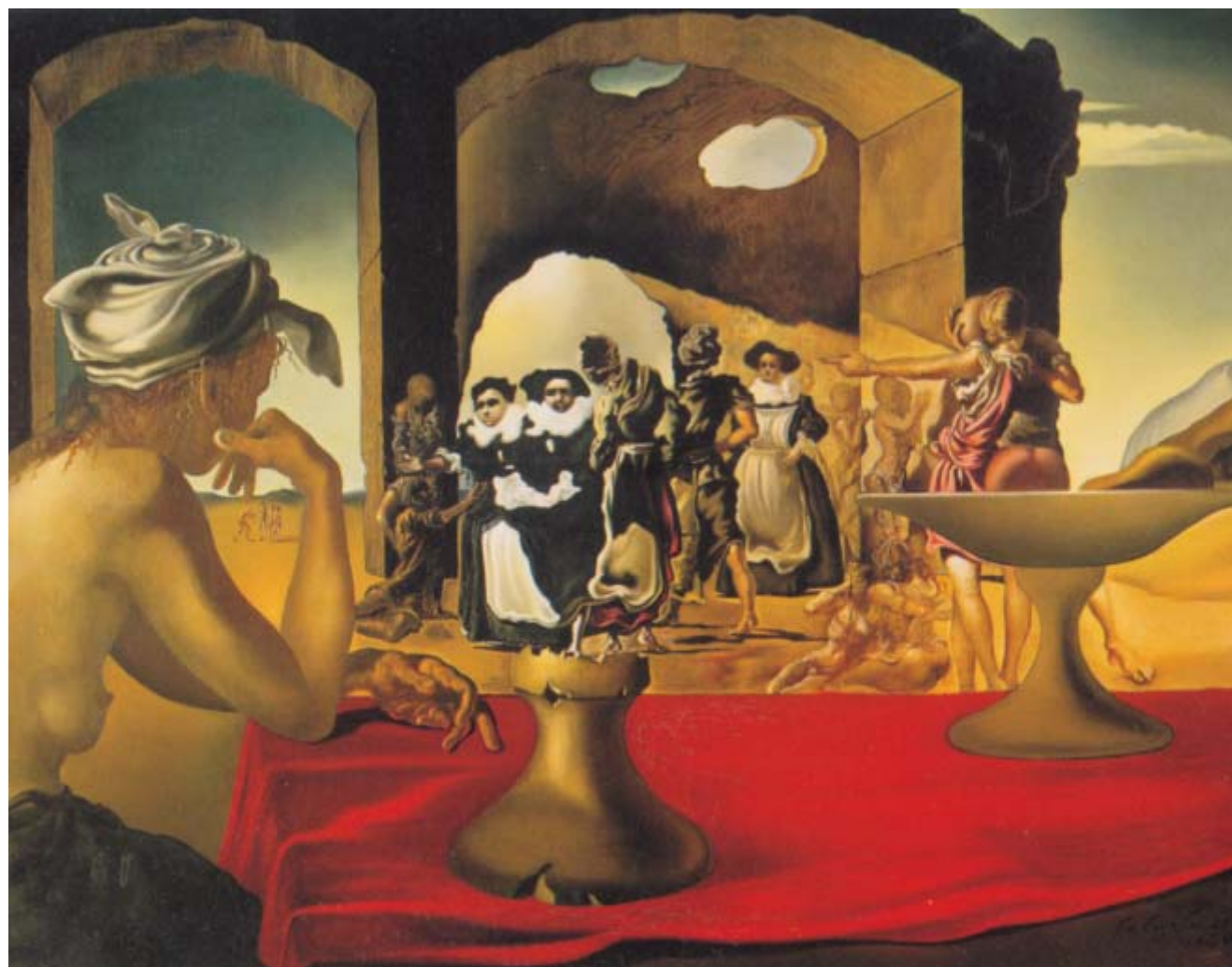
plus longtemps l'un des deux motifs du stéréoscope, alors que les sujets témoins qui ont reçu de l'eau tiède alternent de façon équilibrée entre les deux perceptions. Les impulsions magnétiques émises sur l'hémisphère gauche ont interrompu l'alternance des deux représentations du cube chez cinq des sept personnes testées. Et parmi tous les 20 volontaires testés, le fou rire a supprimé, ou atténué, la rivalité binoculaire pendant presque une demi-heure : ils voient dans le stéréoscope une grille de lignes horizontales et verticales.

De ces résultats découle une interprétation nouvelle de nos perceptions illusoirs devant des tableaux de peintres surréalistes. Face à la scène ambiguë du tableau de Dali, l'hémisphère gauche construit une représentation, par exemple le marché aux esclaves, tandis que le cerveau droit en élabore une autre, le buste de Voltaire. Un interrupteur entre les deux hémisphères alterne la conscience de l'une ou de l'autre. Le rire court-circuite l'interrupteur ou bien l'accélère, on l'ignore encore, si bien que, sous son emprise, nous voyons les deux repré-

sentations simultanément : il crée un nouvel état d'esprit hybride.

Cette superposition d'états n'est pas sans rappeler la schizophrénie, une psychose caractérisée par une ambivalence des pensées et une conduite paradoxale, une sorte de dédoublement de la personnalité. Keith White, de l'Université de Floride, a découvert que de nombreux schizophrènes avaient une rivalité binoculaire déficiente. Des résultats de J. Pettigrew naîtra peut-être un test diagnostic original recommandant la visite du Musée Dali de Saint Petersburg. Les gardiens du musée seront tous diplômés en neuropsychologie clinique. Ils auront pour tâche d'observer la réaction des visiteurs devant les tableaux de Dali, alors que leurs collègues raconteront des histoires drôles. À chaque instant, des nonnes s'enfuient à l'entrée de Voltaire. Cette nouvelle forme de dépistage de la schizophrénie n'aurait certainement pas déplu au Maître espagnol.

Yves FRÉGNAC est directeur de l'unité de neurosciences intégratives et computationnelles, à Gif-sur-Yvette



Musée Salvador Dalí, Saint Petersburg, Floride © État espagnol, Fondation Gala-Salvador Dalí, ADAGP Paris, 2001



Jusqu'où l'ordinateur calculera-t-il?

JEAN-PAUL DELAHAYE

Votre ordinateur de bureau finira-t-il par avoir la puissance de calcul du cerveau humain?

Si tu t'imagines, fillette, fillette, Si tu t'imagines que ça va durer, Ce que tu te goures, ce que tu te goures...

En 1949 déjà, quand Juliette Gréco chantait la chanson *Si tu t'imagines* dans les caves de Saint-Germain-des-Prés, on peut penser que le célèbre Dr. Schutz célébré par Boris Vian comparait des machines qui n'avaient même pas la puissance de calcul de nos

téléphones portables à des cerveaux électroniques! Pourtant, après cinquante ans de progrès, nos ordinateurs n'égale-t-ils toujours pas nos cerveaux sur de nombreux points.

Lorsque tout va très vite, on perd ses marques, et, en matière de performances informatiques, il y a si longtemps qu'on nous prétend que la nouvelle machine est incomparablement supérieure aux précédentes qu'on finit par ne plus rien y comprendre.

Dans le vertige du progrès rapide et continu, on pourrait croire que tout est possible... y compris ce qui ne l'est pas : certains calculs sont à la limite de ce qui est envisageable, certains autres devront attendre quelques années, d'autres enfin sont hors de portée pour des décennies, voire pour des siècles ou à tout jamais. Tentons de fixer des repères.

LES LOIS DE MOORE

En avril 1965, dans un article publié dans la revue *Electronics Magazine*, Gordon Moore (qui dirige alors la recherche chez *Fairchild Semiconductors* et qui cofondera avec Robert Noyce la firme *Intel* en 1968) remarque que, depuis l'invention du circuit intégré (en 1958), on observe un doublement annuel du nombre de transistors par unité de surface. Il prédit que ce doublement durera encore dix ans.

Sa prévision se réalisera assez bien ; pourtant, en 1975, dans un exposé où on lui demande de proposer un nouveau pronostic, G. Moore, analysant les difficultés technologiques présentes, annonce cette fois un doublement du nombre de transistors par unité de surface tous les deux ans (au lieu de tous les ans).

En prenant en compte l'augmentation de la fréquence d'horloge des microprocesseurs (la vitesse avec laquelle on les fait calculer), ou en faisant la moyenne entre les prédictions de 1965 et celles de 1975, certains des collègues électroniciens de Moore ont reformulé les prédictions et ont parié sur un doublement de performance tous les 18 mois. C'est ce qu'abusivement aujourd'hui nous dénommons la *Loi de Moore* et que nous dénommerons ici la loi de Moore *standard* : «les performances informatiques doublent tous les 18 mois».

Il existe dans la littérature d'autres versions de ce qu'est la loi de Moore, mais la réalité (que G. Moore lui-même atteste quand on l'interroge) correspond

1. CAPACITÉS DE CALCUL DEPUIS LE DÉBUT DU 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 XX^e siècle. Durant cette période, cinq technologies de calcul différentes se sont succédé.

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 indiqués 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}

