

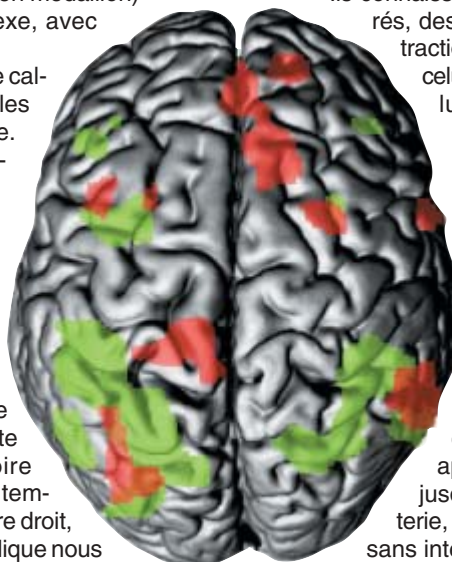
2. CALCULATEUR PRODIGE ET MÉMOIRE

Récemment, l'équipe de Nathalie Tzourio du groupe l'imagerie neuro-fonctionnelle du CNRS de Caen en collaboration avec celle du neuropsychologue Mauro Pesenti de l'Université Catholique de Louvain à l'aide d'un tomographe à émission de positons (qui permet de connaître avec précision les débits sanguins des diverses parties du cerveau) ont comparé le fonctionnement du cerveau du



calculateur prodige Rüdiger Gamm (en médaillon) en train de mener un calcul complexe, avec celui d'une personne normale.

Chez les calculateurs normaux, le calcul s'effectue dans les aires pariétales et frontales de l'hémisphère gauche. Ces zones (*en vert*), traitent les informations spatiales et sont le siège de la mémoire de travail, où les résultats intermédiaires d'un calcul complexe sont stockés lors de sa réalisation. Cette mémoire a une petite capacité et les nouvelles informations y chassent immédiatement les anciennes. Le calculateur prodige Rüdiger Gamm, d'après l'étude menée, n'utilise pas seulement cette zone, mais utilise aussi sa mémoire épisodique (localisée dans les aires temporales et préfrontales de l'hémisphère droit, *en rouge*). Grâce à la mémoire épisodique nous



nous souvenons, pendant plusieurs jours, des événements de notre vie (le repas de ce matin, quelles personnes nous avons rencontré hier, etc.). C'est une reprogrammation du calcul qu'a effectué le calculateur prodige et ces expériences confirment ce que l'on savait déjà sur les calculateurs prodiges.

En plus de trucs permettant des effets faciles ces calculateurs s'entraînent longuement et apprennent par cœur un grand nombre de données. Souvent par exemple ils connaissent les tables de multiplication jusqu'à 100 et parfois même jusqu'à 1 000.

Ils connaissent aussi les tables des carrés, des cubes ce qui rend plus facile l'extraction des racines. Leur don est parfois plus celui de la mémoire que celui du calcul, acquis, lui, par des efforts persévérants durant des séances d'entraînement de plusieurs heures par jour pour nombres d'entre eux.

Alexander Aitken (1895-1967) fut sans doute le plus fantastique calculateur prodige du XX^e siècle (ci-dessus). Professeur de mathématiques à l'Université d'Édimbourg sa mémoire des chiffres était déconcertante. Il avait appris les 707 décimales de π calculées à la main par W. Shanks en 1873. Lorsqu'on découvrit que ces décimales étaient fausses à partir de la 528-ème, il apprit les nouvelles décimales et poussa jusqu'à la millième, précisant, avec coquetterie, qu'il «ne se serait pas astreint à cet exploit sans intérêt si cela n'avait pas été très facile».



à mener des opérations numériques volumineuses et, plus généralement, à exécuter tout calcul algorithmique un tant soit peu complexe.

Deux types de machines à traiter de l'information coexistent aujourd'hui :

- les cerveaux biologiques, très puissants si l'on considère la puissance cumulée de leurs composants élémentaires, mais spécialisés et étrangement incapables de faire des calculs numériques ou algorithmiques de manière fiable ;
- les ordinateurs et leurs dérivés électroniques (consoles de jeux, lecteurs de CD-DVD, téléphones portables, etc.), bien moins puissants, mais capables d'opérer des additions entre grands nombres, d'extraire instantanément des racines cinquièmes, de factoriser des nombres de cent chiffres, de classer en quelques secondes des listes de centaines de mots, de décompresser des images ou des sons, d'échanger des volumes importants de données, etc.

Les auteurs de science-fiction imaginent qu'un jour nous suppléerons aux terribles faiblesses de notre organe de traitement de l'information en lui adjoi-

gnant, directement connecté à notre cerveau par quelques électrodes bien disposées dans notre boîte crânienne, une calculatrice électronique que nous pourrions invoquer par de simples commandes mentales. En attendant, il est intéressant de nous interroger sur les raisons qui font que notre cerveau est un si piètre calculateur numérique et qu'il reste inégalé pour tant de tâches nobles et qualifiées d'«intelligentes».

Les résultats d'Alan Turing sur les calculateurs universels semblent aussi indiquer que notre cerveau est d'un point de vue théorique un mécanisme peu puissant. Alan Turing a en effet établi que dès qu'un mécanisme de calcul sait exécuter et combiner un certain nombre d'opérations élémentaires, ce mécanisme est en mesure d'exécuter tout algorithme imaginable : être un *calculateur universel* est relativement facile et nos ordinateurs en sont tous, bien évidemment.

Notre cerveau, malgré sa complexité et sa colossale capacité en calculs élémentaires, du fait de son incapacité à mener de manière fiable de longs enchaînements d'opérations n'est pas un cal-

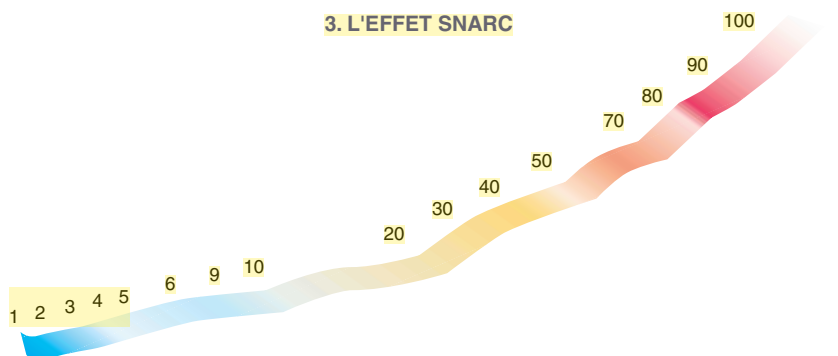
culateur universel : il est *concrètement* très puissant, mais *en théorie* n'atteint pas ce palier facile qui en ferait une machine apte à l'exécution de toute procédure programmable !

LA PERCEPTION DES NOMBRES

Stanislas Dehaene, spécialiste de sciences cognitives et auteur d'un excellent ouvrage (*La bosse des maths*, Éditions Odile Jacob, Paris, 1997) a étudié le fonctionnement du cerveau calculateur et a, en particulier, noté une caractéristique étonnante de notre perception des nombres ; en hommage à Lewis Carroll il a dénommé l'effet SNARC.

Cette caractéristique, dont rien d'équivalent n'existe dans un ordinateur, est que notre représentation des nombres se fait sur une ligne mentale orientée de gauche à droite : les petits nombres étant à gauche et les plus grands à droite. Cette orientation, l'effet SNARC, a de nombreuses conséquences pratiques dans nos activités de calcul : elle les facilite parfois, mais souvent les perturbe.

3. L'EFFET SNARC



Stanislas Dehaene a mis en évidence une caractéristique étonnante de notre perception des nombres qu'en hommage à Lewis Carroll il a appelé l'effet SNARC pour *Spacial-Numerical Association of Response Codes* (Association spacio-numérique des codes de réponses) : notre représentation des nombres se fait sur une ligne mentale orientée de gauche à droite, les petits nombres étant placés à gauche et les plus grands à droite. De plus sur cette ligne mentale les nombres occupent une place d'autant plus importante qu'ils sont petits. Certaines personnes visualisent cette représentation sous la forme d'un ruban coloré et onduoyant.

Dès que nous voyons écrit un nombre ou un chiffre notre cerveau fait le lien avec sa position sur cette ligne mentale orientée. De multiples expériences prouvent cette association que nous ne contrôlons pas. Par exemple, si nous demandons à des sujets d'indiquer, dans une paire de chiffres écrits dans des polices de caractères de tailles variées (1-3, 2-5, 4-9) etc, lequel des deux chiffres a la plus grande taille, alors les temps de réponse sont bien meilleurs lorsque les deux chiffres d'une paire ont des tailles correspondant à ce qu'ils désignent (comme 2-5, 1-7) que lorsque ce n'est pas le cas (comme 1-3, 4-9). Impossible d'oublier ce que représentent les nombres!

Dans une expérience très simple qu'il réalisait avec des sujets humains à qui on proposait de classer des nombres par rapport à 65, Stanislas Dehaene remarqua que si on demandait aux sujets d'appuyer sur un bouton placé à gauche à chaque fois que le nombre présenté était plus petit que 65 et sur un bouton placé à droite à chaque fois que le nombre présenté était plus grand que 65, on obtenait des temps de réponse nettement meilleurs que lorsqu'on inversait le rôle des boutons (celui de droite pour les nombres inférieurs à 65 et celui de gauche pour les nombres supérieurs). Lorsqu'on demande à un sujet de distinguer des nombres pairs ou impairs, ou si des nombres ont des graphies symétriques ou non, l'effet reste le même : les réponses qui doivent être données par le bouton de droite sont données plus rapidement si le nombre est grand que s'il est petit, et inversement pour le bouton de gauche.

Des propriétés de cette représentation orientée des nombres dans notre cerveau ont été établies. L'association n'est pas liée aux mains elles-mêmes : si on demande au sujet testé de croiser les mains (de façon à ce qu'il appuie sur le

bouton de gauche avec la main droite et inversement) c'est toujours le bouton droit qui est rapide pour les grands nombres et lent pour les petits. Les gauchers possèdent la même ligne numérique mentale orientée de gauche à droite. En revanche, des expériences menées avec des Iraniens (qui lisent et écrivent de droite à gauche), montrèrent que pour ceux d'entre eux qui n'avaient pas été trop exposés à la culture occidentale, l'association était inversée : les petits nombres étant placés à droite sur leur ligne numérique mentale et les plus grands à gauche. La ligne mentale numérique n'est donc pas innée mais le résultat d'une construction culturelle et sociale qui s'installe très tôt puisqu'on a remarqué que dans les écoles maternelles américaines les jeunes enfants exploraient leur environnement de gauche à droite tandis que dans les pays où les enfants apprennent à lire de droite à gauche, ils explorent de même leur environnement.

Notre ligne numérique mentale est par ailleurs graduée de manière logarithmique : l'espace occupé par les nombres diminue au fur et à mesure que les nombres deviennent plus grands.

Une lumineuse expérience mettant en évidence cette inégalité d'espace occupé par les nombres est la suivante : on demande à une personne d'indiquer parmi deux nombres lequel est le plus petit et on mesure le temps nécessaire à cette comparaison (ainsi que le taux d'erreur). On constate alors qu'il faut moins de temps pour comparer 4 et 5 que 13 et 14, qui demandent moins de temps que 58 et 59. Les taux d'erreurs sont aussi plus grands quand les nombres augmentent. Des jeunes mathématiciens élèves de l'École normale supérieure et des élèves de l'École polytechnique à qui on faisait passer ce test ont été fascinés par la constatation que, même prévenus, il leur fallait plus de temps pour répondre à une question concernant 8 et 9 que 3 et 4. Pour Stanislas Dehaene «il y a quelque part dans nos circonvolutions cérébrales une représentation des nombres sous forme de quantités continues et c'est cette représentation quantitative que nous nous empressons de réactiver dès que nous voyons un chiffre ou un nombre».

La comparaison des nombres de deux chiffres confirme cette idée. Alors qu'il est, en théorie, plus facile de voir que 65 est inférieur à 71 (car leurs premiers chiffres diffèrent et que c'est suffisant pour les classer) en réalité dans les tests de classement on découvre qu'il faut presque le même temps pour comparer 69 et 65 que 65 et 71 : le cerveau semble comprendre un nombre de deux chiffres globalement comme une quantité continue et non pas comme une juxtaposition de deux symboles dont la prise en considération du premier, si c'est un 7, permet déjà de savoir qu'il est plus grand que 65. Un autre test consiste à proposer à une personne de mémoriser une suite de chiffres, par exemple 6, 9, 7, 8. On lui demande ensuite si 5 était dans la liste, on lui demande si 1 était aussi dans la liste. Le temps pris pour 5 est systématiquement plus long que pour 1. Cette représentation déformée des nombres sur la ligne mentale numérique a une autre conséquence : si l'on vous demande de choisir au hasard, comme pour un tirage du Loto des nombres entre 1 et 50, les nombres que vous proposerez (par exemple dans une série de cent essais) comporteront une sur-représentation des petits nombres comparés aux grands nombres.

Malgré tous les efforts que vous tenterez pour contrer ces effets, jamais vous ne parviendrez à reprogrammer votre cerveau pour qu'il se libère de cette représentation orientée, linéaire, déformée et donc perturbante des nombres. Dans le cas des nombres aléatoires, vous pouvez bien sûr éviter de mentionner les petits