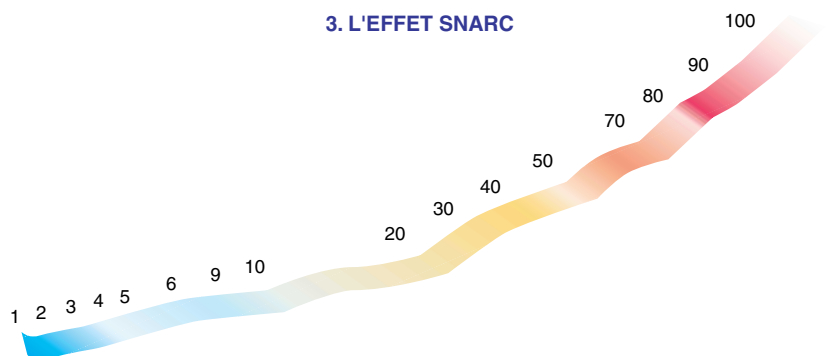


3. L'EFFET SNARC



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

nombres, mais jamais vous ne réussirez à simuler un processus de choix aléatoire équilibré, voir sur ce sujet la rubrique de septembre 1999 «L'intelligence humaine à nouveau dominée?».

HOMMES ET FEMMES

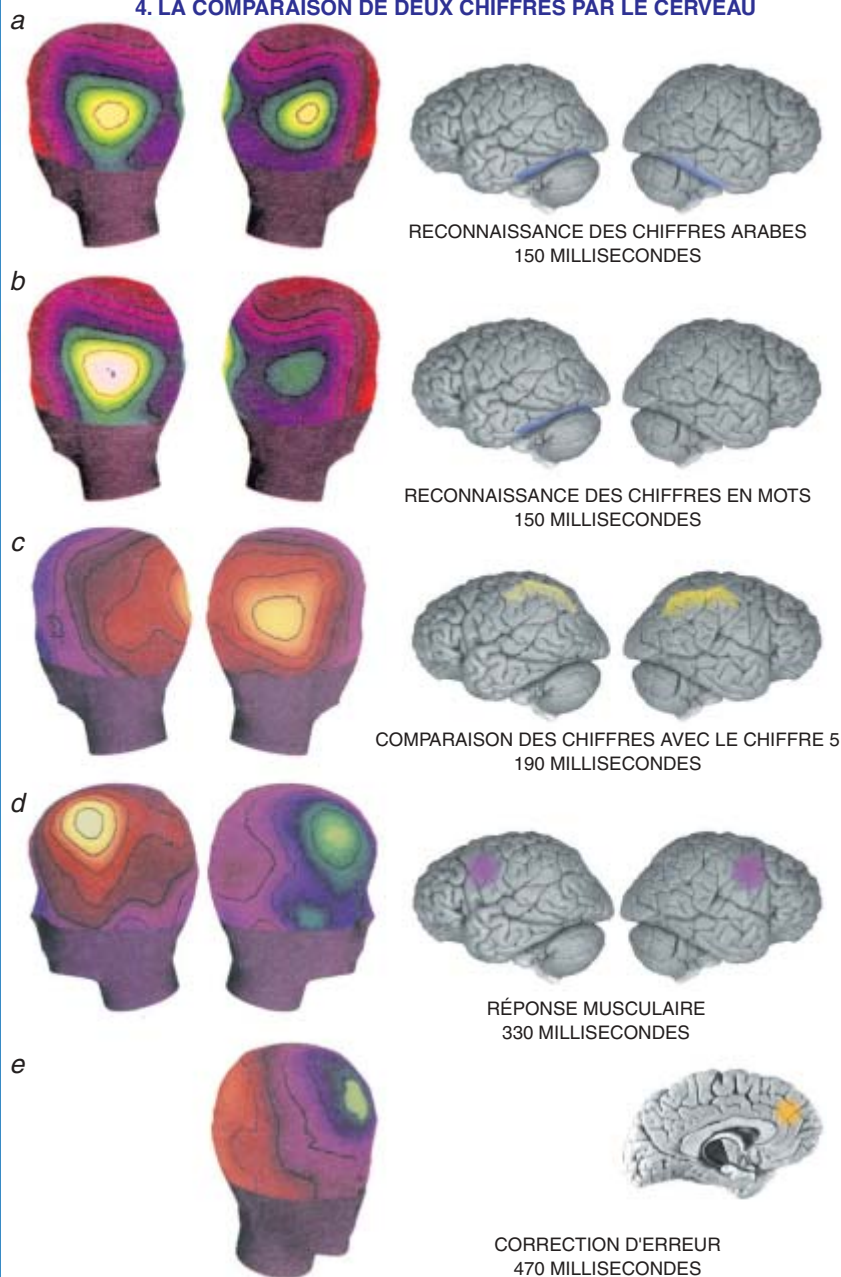
Ces propriétés particulières de nos cerveaux confrontés à des tâches numériques et algorithmiques expliquent en partie nos faibles capacités à maîtriser de longues séries d'opérations : les opérations arithmétiques ne sont pas *programmées* directement à partir de calculs booléens qu'effectueraient certains neurones spécialisés (quelques dizaines suffiraient), mais sont réalisés indirectement par des processus complexes impliquant vraisemblablement des milliards de neurones. Nos cerveaux apparaissent encore plus étranges et éloignés des ordinateurs à base de silicium lorsqu'on découvre le rôle que joue le sexe des personnes *testées* dans les performances en matière numérique et mathématique.

Sur le problème très controversé de la différence d'aptitudes des hommes et des femmes concernant des tâches de nature mathématique il semble maintenant que des résultats sont établis de manière certaine. Sans aller jusqu'à affirmer qu'il y a sur terre trois sortes de machines à manipuler de l'information et à faire des calculs (les ordinateurs, les cerveaux des hommes et les cerveaux des femmes), des tests convergents montrent que les cerveaux humains sont étrangement dépendants du sexe de leur propriétaire.

Alors que les femmes réussissent mieux en général les tests linguistiques, pour les tests *d'aptitude spatiale* (une forme de calcul géométrique) une différence nette en faveur des hommes a été établie par une multitude d'expériences. Le test des rotations mentales (un objet vous est présenté et vous devez le reconnaître lorsqu'on vous le montre sous divers points de vue) est l'un de ceux pour lesquels les résultats sont les plus clairs : les opérations géométriques nécessaires à ces travaux de reconnaissance sont menées avec plus d'efficacité et de réussite par les cerveaux masculins que par les cerveaux féminins.

Doreen Kimura dans un livre récent qui fait la synthèse de tous ces résultats (*Cerveau d'homme, cerveau de femme*, Éditions Odile Jacob, Paris, 2001, voir aussi *Pour la Science*, novembre 1992) évoque plusieurs hypothèses pour expliquer ces succès différents. La première hypothèse se fonde sur le fait que la division du travail dans les sociétés humaines et pré-humaines aurait exercé

4. LA COMPARAISON DE DEUX CHIFFRES PAR LE CERVEAU



Grâce à des appareillages spécialisés l'équipe de S. Dehaene a observé les étapes de calcul d'un cerveau en train de comparer des chiffres au chiffre 5. Les chiffres sont présentés au sujet, soit par leurs symboles (3, 7, 5), soit par leur nom écrit en toutes lettres (trois, sept, cinq). L'activité des régions cérébrales du cerveau est visualisée : 150 millisecondes après le début de la présentation, le chiffre ou le nom du chiffre est reconnu (a et b). Puis, 190 millisecondes après le début, la comparaison est faite dans la région pariétale inférieure. Plus tard (330 millisecondes) le mouvement du doigt pour appuyer sur le bouton correspondant à la réponse est visible (c), en (d) vers 470 millisecondes, la région cingulaire antérieure s'active lors d'une opération de contrôle (le sujet vérifie que le mouvement qu'il a entamé est le bon et l'interrompt s'il y a erreur). Ainsi le calcul dans un cerveau ne se fait pas de manière parallèle, mais de manière séquentielle, des zones de travail étant activées les unes après les autres, comme dans un ordinateur habituel. Toutefois, celui-ci calcule beaucoup plus vite. L'idée que le parallélisme permet de distinguer cerveaux et machines est trop simple : les opérations du cerveau comportent des séquences comme le calcul et certains aspects des calculs faits dans les ordinateurs contemporains sont parallèles.