

des résultats inverses on s'interroge toujours. Est-ce que les femmes sont plus organisées et mettent en œuvre de meilleures méthodes de travail ? Est-ce simplement qu'elles travaillent plus et sont plus motivées pour obtenir des bonnes notes ? Ou encore, réussissent-elles mieux quand elles sont confrontées à des questions qui leur sont familières et dont des cas analogues leur ont déjà été expliqués ? Les spécialistes hésitent et ce sera sans doute l'un des objectifs des travaux à venir que de répondre.

Ces précisions outre qu'elles confirment que les différences entre hommes et femme sont profondes, montrent à nouveau que ce qui se passe dans un cerveau qui calcule n'a rien à voir avec ce qui se passe dans un ordinateur qui calcule. Les calculateurs prodiges aussi impressionnants que soient leurs exploits, ont des limites incroyablement inférieures à celles des ordinateurs : sans même évoquer la rapidité des calculs un être humain peut, dans des cas exceptionnels, mémoriser quelques dizaines de milliers de chiffres alors qu'un ordinateur d'aujourd'hui n'a pas de mal à en mémoriser plusieurs milliards.

POURQUOI DONC UNE TELLE ARCHITECTURE ?

Notre cerveau est une machine à calcul multi-spécialisée mais pas une machine aux possibilités évolutives nombreuses. Contrairement à ce qui s'est définitivement imposé comme modèle d'architecture des ordinateurs, il n'est pas construit autour d'un mécanisme universel de calcul auquel l'évolution aurait ajouté des modules.

Tous les ordinateurs d'aujourd'hui sont conçus autour d'un noyau de calcul universel qui est utilisé sans cesse pour exécuter les algorithmes du système d'exploitation et des couches plus hautes du logiciel. Le tout est complété de modules ou des puces spécialisées (pour les traitements graphiques par exemple), qui permettent de résoudre plus rapidement certains problèmes rencontrés fréquemment que ne le permettrait la programmation du noyau universel.

Le parallélisme (c'est-à-dire l'exécution simultanée de plusieurs opérations de calculs en des endroits différents d'une machine) qu'on évoque souvent comme différence essentielle entre le fonctionnement du cerveau et celui de nos ordinateurs n'est en fait ni absent de nos machines, ni toujours présent dans le cerveau. En effet, dans presque tous les ordinateurs actuels, des formes plus ou moins complexes de parallélismes sont dorénavant utilisées : plusieurs processeurs peuvent être présents et travailler simul-

tanément ; dans le fonctionnement de base des microprocesseurs récents certaines formes de parallélisme dans le traitement des données sont implantées. Il est certain que cette parallélisation à tous les niveaux des ordinateurs va se poursuivre. En revanche, dans le cerveau en train de calculer, des séquences bien précises d'activations cérébrales ont été observées (à l'aide de dispositifs d'électrodes placées à la surface du crâne qui permettent de suivre zone par zone les diverses parties du cerveau en activité) et l'on sait donc maintenant que dans le cerveau le traitement de certains problèmes se fait séquentiellement et non pas en parallèle.

Bien sûr les millions d'années de l'évolution ont optimisé les performances des modules du cerveau au point qu'on ne sait pas aujourd'hui les imiter, ni concevoir d'assemblages artificiels aux propriétés équivalentes, mais cette organisation, figée, est inapte à mener des traitements informationnels élémentaires (calculs, mémorisations, réception/émission de signaux). Ce *défaut d'architecture* que rien n'explique vraiment a de nombreuses conséquences désagréables et navrantes comme notre incapacité à mémoriser un agenda et à vérifier de tête nos comptes bancaires courants, nos difficultés à retrouver un chemin compliqué, à optimiser une route en regardant une carte, à mesurer le temps avec précision, et bien sûr l'impossibilité à percevoir un signal et à le convertir sous forme sonore comme le fait un téléphone mobile, etc. Toutes ces choses qui nous seraient si utiles dans le monde actuel et que nous n'obtenons qu'en nous adjoignant une multitude de machines qui encombrant nos poches, nos cartables, nos voitures et nos maisons, sont hors de portée de l'évolution possible de notre système nerveux.

Avec des composants aussi nombreux et performants que le sont les neurones la construction d'un noyau universel de calcul ne présente en théorie pourtant aucune difficulté. Son ajout, même à titre de module supplémentaire, sans changer le reste de l'organisation du cerveau, donnerait une plasticité et une capacité adaptative formidable au cerveau : nous ne comprenons pas pourquoi l'évolution n'a pas choisi cette option ?

Tout cela semblerait provocateur (comment peut-on se permettre de discuter les choix de l'évolution !), mais la question est sérieuse. Il faut s'interroger : pourquoi nous sommes si mauvais pour mener les tâches les plus élémentaires du traitement de l'information ? Il n'y a rien de nécessaire à cela et notre cerveau est aujourd'hui un handicapé de la société de l'information car rien en lui ne le pré-

parait au monde numérique et informationnel qui s'est imposé, et il ne s'y adapte que difficilement à coup d'appendices artificiels astreignants.

Ce mystère est sans doute de la même nature que l'absence dans le monde des êtres vivants de roues ou d'hélices à axe, d'engrenages, de chaînes de transmission, de moteurs à explosion : les choses les plus simples de la mécanique que nous avons découvertes et apprises à maîtriser quand nous avons conçu les premières machines artificielles sont absentes du monde vivant. L'évolution a suivi d'autres chemins élaborant un autre ensemble de solutions mécaniques et chimiques. Cet univers de la mécanique naturelle est parfois infiniment plus complexe et plus performant que celui que nous avons inventé – nous ne savons parfois pas l'imiter ni même le comprendre (voir l'article sur *Le vol des insectes*, août 2001) –, mais parfois il est moins complexe et moins performant – aucun oiseau ne dépasse la vitesse du son, et aucun n'a la capacité de transporter des masses aussi lourdes que celles confiées à nos avions-cargos. La situation concernant le traitement de l'information et le calcul est identique : ce qui nous est apparu comme le plus simple, ce que nous avons su faire dès les premières machines à traiter l'information, la nature ne l'a pas fait préférant emprunter d'autres voies que nous ne comprenons aujourd'hui que très imparfaitement et qui nous étonnent aussi bien par leurs réussites (par exemple notre système visuel) que par leurs échecs qui nous condamnent à être d'exécrables calculateurs.

Stanislas DEHAENE, *La bosse des maths*, Éditions Odile Jacob, Paris 1997.

Stanislas DEHAENE, *Comment notre cerveau calcule-t-il ?* in *Pour la science*, n° 236, pp. 50-57, juin 1997.

Martin GARDNER, *Mathematical Carnival*. Chapitres 7 : *Calculating Prodiges*, Chapitre 8 : *Tricks of Lightning Calculators*, Alfred A. Knopf, New York, 1975.

Philip N. JOHNSON-LAIRD, *L'ordinateur et l'esprit*, Éditions Odile Jacob, 1994.

Doreen KIMURA, *Le sexe du cerveau*, *Pour la science*, n° 181, pp. 98-107, novembre 1992.

Doreen KIMURA, *Cerveau d'homme, cerveau de femme ?* Éditions Odile Jacob, Paris 2001.

Stevens B. SMITH, *The Great Mental Calculators*, Columbia University Press, New York, 1983.

***La mémoire*, Dossier *Pour la science*, avril-juillet 2001.**

***Le calculateur prodige*, in *Pour la science*, n° 280, p. 15, février 2001.**



Un nain contestable

VALÉRIE CORMIER-DAIRE

Seneb, le chef de la garde-robe du pharaon il y a 4500 ans, était un nain. Quelle maladie avait causé son nanisme ?

Les Égyptiens ne redoutaient pas de représenter les difformités et les malformations : le nain Seneb, dont la sculpture (voir la page ci-contre) est exposée au Musée du Caire, illustre ce souci de réalisme. La sculpture date de l'Ancien Empire, pendant la quatrième ou au début de la cinquième dynastie, vers 2475 avant notre ère.

À cette époque, ceux qui devaient leur petite taille à une malformation étaient souvent chargés de l'entretien des habits, de la garde des animaux domestiques ou des divertissements (coutume que l'on retrouve chez les « fous » des rois de France). D'autres nains étaient orfèvres, sculpteurs ou artisans. En revanche, les Pygmées, petits naturellement, étaient dans les temples égyptiens, les « nains des danses du dieu ». Un texte des Pyramides affirme que « le mort dansera comme un nain devant Osiris ».

À l'inverse d'autres civilisations pour qui ils étaient des « monstres », l'œuvre du diable ou le signe de malheurs à venir, les nains étaient chez les Égyptiens l'égal des hommes normaux. Un nain, Bès, a même accédé à la dignité divine dans le panthéon égyptien (voir la figure à côté du titre). Par ses danses grotesques, il protégeait contre les êtres malins ou les mauvais sorts, contre les reptiles et les scorpions. Par ailleurs, il veillait sur les femmes enceintes, les nouveau-nés et l'ensemble du foyer.

Seneb était, d'une part, le chef de tous les nains du palais chargés de la garde-robe royale, d'autre part, un prêtre attaché aux cultes funéraires des pharaons Chéops et Djedefrè. Les inscriptions de la fausse porte de sa tombe révèlent qu'il était riche, avait un important troupeau, et qu'il se déplaçait en chaise à porteur ou en barque.

Seneb est représenté avec sa femme Senetités et ses deux enfants. Senetités,

qui enlace son mari, était prêtresse d'Hathor et de Neth, et à ce titre, une grande dame de la cour. Les enfants, entourés d'inscriptions qui rappellent les noms et les titres des membres de la famille, sont conformes à l'iconographie égyptienne des enfants en bas âge : l'index devant la bouche et une tresse sur le côté de la tête. Loin d'être un phénomène de foire, Seneb était un notable dont la malformation n'entravait pas la fonction sociale.

Le nanisme, ou dysplasie osseuse, est la conséquence visible de différentes maladies génétiques qui touchent le développement des os ou du cartilage. À partir de cette seule représentation, vieille de plus de quatre millénaires, peut-on identifier la maladie ?

Les dimensions du tronc et du crâne de Seneb, équivalentes à celles de sa femme, indiquent une maladie constitutionnelle des os longs (ceux des membres). On observe également une micromélie, c'est-à-dire des membres courts, accompagnée d'une brièveté des extrémités (les doigts). Toutefois, le diagnostic d'une achondroplasie (le nanisme le plus répandu, dont la cause génétique a été identifiée en 1994) est peu probable, car les membres sont courts dans leur totalité, alors que chez les malades atteints d'achondroplasie, il existe une rhizomélie, c'est-à-dire que les os du bras (l'humérus) sont notablement plus courts que ceux de l'avant-bras (le radius et le cubitus).

Une des premières causes possibles de la morphologie de Seneb est un nanisme acromicrique, caractérisé par une micromélie et des mains très courtes. Cependant, la certitude est impossible. Il pourrait également être atteint d'un nanisme acromésomélisme, caractérisé par une brièveté des os de l'avant-bras et de la jambe associée à des extrémités courtes et trapues, sans dysmorphie faciale, ni retard intellectuel. Le gène dont la mutation explique cette maladie a été localisé sur le bras court du chromosome 9, mais il n'a pas encore été identifié.

Enfin, il pourrait s'agir d'une maladie de la formation du cartilage, des chondrodysplasies métaphysaires. Le cartilage est un tissu résistant et flexible composé

d'une matrice de protéines, du collagène, sécrétée par les cellules de l'os, et d'une molécule, la chondroïtine-sulfate. Là encore, deux hypothèses s'affrontent : la chondrodysplasie métaphysaire de Schmid et celle de Mac Kuskick.

La première se distingue par des jambes incurvées. Hélas, la posture en scribe du chef de la garde-robe les rend invisibles. Cette maladie résulte d'une mutation sur le gène qui code le collagène X. Cette protéine est constituée de trois chaînes identiques dont l'assemblage est autorisé par la présence d'un module de 140 acides aminés, nommé *Clq*. Les mutations observées chez des patients atteints de chondrodysplasie métaphysaire de Schmid sont sur le segment du gène qui code ce module. Toutefois, on ignore encore le mécanisme de trimérisation.

La chondrodysplasie métaphysaire de type Mac Kuskick, l'autre maladie possible de Seneb, a été identifiée la première fois en 1965 chez les Amish. Depuis, elle a été observée dans de nombreuses autres populations. Les symptômes en sont une extension réduite du coude et une déformation du thorax. Par ailleurs, les cheveux des malades atteints de ce trouble sont très fins, cassants et blonds. Hélas encore, le bonnet qu'arbore Seneb ne nous permet pas d'affiner notre diagnostic. En 2001, le gène incriminé dans cette maladie génétique a été identifié : il s'agit du gène d'une endoribonucléase mitochondriale. Cette enzyme est responsable de l'épissage de l'ARN. Toutefois, le rôle de cette enzyme dans la croissance et le développement du cartilage est encore inconnu.

D'autres diagnostics sont possibles pour expliquer le nanisme de Seneb. Seul un examen radiologique permettrait de trancher. Quoi qu'il en soit, le dieu Bès a veillé sur sa femme : les deux enfants sont de taille normale. Ils remplacent, pour l'unité de la statue, les jambes atrophiées de leur père.

Valérie CORMIER-DAIRE, Hôpital Necker, Paris





La physique de l'aviron

ROLAND LEHOUCQ • JEAN-MICHEL COURTY

Pour réduire le temps de parcours, il faut alléger le bateau et ramer aussi régulièrement que possible pour que la vitesse soit constante.

En août 2001, huit athlètes français sont devenus champions du monde d'aviron en catégorie «poids légers», après avoir ramé 2 000 mètres à la vitesse moyenne de 21,4 kilomètres par heure. Comment ont-ils fait? Les rameurs propulsent leur bateau en faisant levier sur l'eau à l'aide de leurs rames. Ceux qui pratiquent l'aviron s'assoient face à l'arrière de leur esquif et plongent leurs avirons dans l'eau le plus «souplement» possible avant d'appuyer. Afin de réduire le nombre d'immersions des avirons dans l'eau, les rameurs sont assis sur des chariots mobiles ; ils plongent les rames quand les jambes sont repliées, et sortent les rames de l'eau quand ils sont couchés vers l'arrière, jambes étendues. Cette combinaison de mouvements amplifie la course des avirons, de sorte que l'effet de levier dure plus longtemps.

Leur esquif lancé, l'objectif des rameurs est de contrebalancer, par un effort continu et régulier, l'usure naturelle du mouvement par les divers frottements liquides. À l'évidence, les causes de déperdition d'énergie sont nombreuses : chaque aviron frotte sur l'eau et les avirons cèdent une partie de leur quantité de mouvement au liquide, perdant ainsi une petite fraction de l'énergie développée par le rameur. Un rameur habile minimise cette perte en «s'appuyant» sur l'eau au maximum plutôt qu'en la mettant en mouvement. C'est pourquoi, quand les rameurs sont de bons techniciens, l'essentiel de la résistance à l'avancement du bateau provient du frottement de la coque sur l'eau et de la résistance de la vague, dite d'étrave, créée à l'avant du bateau.

Dans les conditions calmes habituelles des compétitions d'avirons, la force de frottement est égale au carré de la vitesse du bateau multiplié par la valeur de sa surface immergée et par un certain coefficient de structure. Comme son nom l'indique, ce «coefficient de structure» dépend de la texture et de la forme de la partie immergée de la coque ; le matériau ultralisse et la forme longue et effilée adoptés pour construire les bateaux de compétition abaissent ce coefficient et réduisent les vagues et les remous. Selon le principe d'Archimède, le volume immergé est égal à la masse du bateau divisée par la masse volumique de l'eau. Pour que le volume, et donc la surface immergée, et donc les frottements, soient aussi réduits que possible, les constructeurs allègent au maximum leurs esquifs : le poids d'un skif – un bateau à un seul rameur –, est d'à peine 20 kilogrammes, celui d'un bateau à huit rameurs n'excède guère 100 kilogrammes.

Pour que le bateau avance à une certaine vitesse, les rameurs doivent fournir une puissance constante égale à la puissance

développée par la force de frottement. Cette force étant proportionnelle au carré de la vitesse du bateau, la puissance de propulsion nécessaire (force multipliée par la vitesse) croît comme le cube de cette vitesse. Lorsque les rameurs redoublent d'efforts, ils n'accroissent la vitesse que de... 26 pour cent. Une comparaison entre les performances d'un rameur moyen et celles d'un champion illustre encore mieux le phénomène : seul sur son skif, un rameur en bonne santé atteint et maintient facilement environ 14 kilomètres par heure. Pendant toute la durée de l'effort, il dépense 250 watts. Toutefois, s'il souhaite devenir un champion, il lui faut presque doubler cette puissance. Il n'accroît alors sa vitesse que de... 3,6 kilomètres par heure. Lancé sur 2 000 mètres à une vitesse moyenne d'environ 17,6 kilomètres par heure, un champion de skif maintient cet effort considérable pendant sept minutes!

CONVERSION PUISSANCE/VITESSE

La faible conversion puissance/vitesse explique qu'un «huit» soit à peine plus rapide qu'un «skif». Comparons la performance des champions du monde français en bateau à huit à celle des champions de skif sur la même distance. Nos athlètes ont fourni une puissance de propulsion totale voisine de 4 000 watts, qui servait à emmener le poids du bateau plus celui du barreur et des rameurs. À peu près neuf fois plus lourde qu'un skif, leur embarcation était freinée en proportion de sa surface immergée, laquelle varie à peu près comme la puissance $2/3$ du volume immergé : celle d'un bateau à huit rameurs est donc quelque $4,33$ ($9^{2/3}$) fois plus grande que celle d'un skif. Ainsi, alors que les huit rameurs fournissent environ huit fois plus de puissance, leur poids et celui du barreur engendrent $4,33$ fois plus de frottements. Si l'on suppose que chaque équipier fournit la même puissance qu'un rameur de skif, la vitesse du bateau à huit est égale à celle du skif multipliée par la racine cubique du rapport $8/4,33$, ce qui représente un accroissement de seulement 23 pour cent. Nous déduisons de ce raisonnement que la vitesse d'un bateau de huit équipiers, tous capables de soutenir une vitesse de 17,6 kilomètres par heure en skif, est d'environ 21,6 kilomètres par heure, une valeur voisine des 21,4 kilomètres atteints par nos champions.

Pour utiliser l'énergie de son équipe de façon optimale, le barreur veille à ce que la vitesse du bateau soit aussi constante que possible pendant toute la course, les rameurs s'efforçant quant à eux de maintenir cette vitesse constante pendant chacun de leurs mouvements synchronisés.



Dessiné de Bruno Vacaro

Se pliant et se dépliant, le rameur allonge au maximum le mouvement de levier sur l'eau, par lequel il propulse son bateau.