

# Le cerveau, l'arithmétique et la dyscalculie



© DR

**Stanislas DEHAENE,**

*dirige l'unité INSERM-CEA de Neuro-imagerie Cognitive, au service hospitalier Frédéric Joliot, à Orsay. Il est, par ailleurs, membre de l'Académie des Sciences et Professeur au Collège de France*

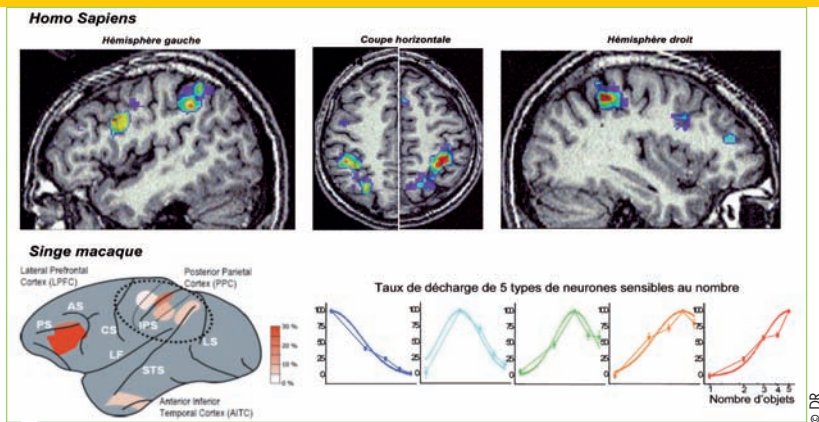
Qu'est ce qu'un nombre pour le cerveau? Comment la représentation cérébrale des nombres se développe-t-elle chez l'enfant? Et pourquoi certains enfants souffrent-ils de **dyscalculie**, un déficit sévère de l'apprentissage de l'arithmétique? Ces questions commencent à recevoir un début de réponse avec la découverte récente de la présence d'un sens élémentaire des nombres présent chez de nombreuses espèces animales et qui se met en place très tôt au cours du développement humain.

## Arithmétique et région intrapariétale

Les études d'imagerie fonctionnelle chez le sujet normal montrent qu'un large réseau fonctionnel qui implique notamment le lobe frontal et le lobe pariétal s'active au cours du calcul

mental, ce qui suggère que l'arithmétique nécessite la coordination de nombreuses aires cérébrales impliquées dans le sens des nombres mais aussi dans la mémoire, l'attention et le langage. Au sein de ce réseau, une région particulière, le

**FIGURE 1** AIRES CÉRÉBRALES IMPLIQUÉES DANS LA REPRÉSENTATION DES NOMBRES CHEZ L'HOMME ET LE SINGE MACAQUE



Chez l'homme, l'IRM fonctionnelle montre que diverses tâches de calcul et de représentation des nombres activent un réseau qui implique systématiquement la région intra-pariétale bilatérale - et ceci, que les nombres soient présentés sous forme symbolique (chiffres arabes, mots) ou sous forme non symbolique (ensembles d'objets concrets). Chez le singe macaque, la présentation d'ensembles de 1 à 5 objets est associée à l'activation de populations de neurones sensibles au nombre dans les régions intrapariétale et préfrontale dorsolatérale.

Stanislas DEHAENE ▶ *Le cerveau, l'arithmétique et la dyscalculie*

sillon **intrapariétal**, s'active automatiquement dans toutes les tâches qui nécessitent une manipulation des quantités (Figure 1). Des études récentes ont montré que la simple présentation d'un nombre, même de façon non consciente, suffit à entraîner une activité dans cette région, ce qui indique l'existence d'un accès automatique à la représentation de la quantité numérique. De fait, même la présentation d'un ensemble concret d'objets suffit à activer cette région et la topologie fine de son activation, en IRM à haute résolution, permet même d'inférer combien d'objets étaient présents sur l'écran (travaux récents d'Evelyn Eger dans notre laboratoire).

### Le sens des nombres chez le singe macaque

L'IRM fonctionnelle ne permet pas de visualiser directement les neurones individuels. La compréhension du code neural des nombres a toutefois considérablement progressé avec l'arrivée d'un modèle animal de l'arithmétique. Pendant des décennies, de nombreux scientifiques sont restés sceptiques quant à la possibilité d'un sens des nombres chez les animaux. Toutefois, de nombreuses études comportementales chez de nombreuses espèces, comme le singe macaque, le dauphin, les oiseaux et les rongeurs, montrent un sens élémentaire des nombres comparable à

celui présent dans l'espèce humaine en l'absence d'éducation mathématique : une capacité d'estimer un nombre d'objets concrets et d'effectuer des additions, soustractions et comparaisons approximatives.

Andreas Nieder et ses collègues ont enregistré des neurones individuels dans la région intrapariétale du singe macaque, en un site homologue de celui observé par imagerie chez l'homme. Dans cette région, ainsi que dans le cortex préfrontal avec lequel cette région entretient des connexions privilégiées, ont été identifiés des neurones qui répondent sélectivement à certaines quantités d'objets (figure 1). Un neurone répond par exemple à la présentation d'ensembles de 3 objets, quelles que soient leur taille, leur forme ou leur position spatiale. D'autres neurones répondent préférentiellement à un objet, deux objets, etc., avec une imprécision qui croît à mesure que le nombre augmente. Collectivement, ces neurones codent donc le nombre approximatif d'objets présents dans un ensemble.

Notre hypothèse, validée par l'imagerie cérébrale, est que la région intrapariétale humaine contient un code neuronal similaire des quantités, hérité de notre histoire évolutive. Cependant, tandis que les neurones des autres primates ne répondent qu'aux ensembles concrets d'objets, la région intrapariétale humaine peut être activée par les notations symboliques des nombres, tels que les chiffres arabes. Elle fournit donc un sens quantitatif, une intuition numérique à des symboles, qui, sans cela, resteraient lettre morte.

### L'enfance de l'arithmétique

Quand cette compétence numérique se met-elle en place ? Contrairement aux théories constructivistes élaborées dans les années cinquante, des tests non verbaux ont montré que le nourrisson dispose de capacités insoupçonnées à discriminer les petites



### MINI-LEXIQUE

du Pr Neurone

**I Dyscalculie** / Difficultés d'apprentissage du calcul et des mathématiques.

**I Intrapariétal** / Relatif à l'intérieur de la paroi du lobe pariétal.

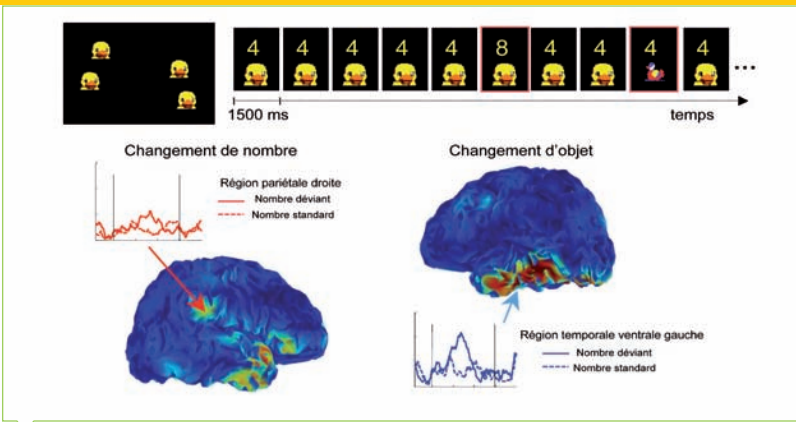
**I Syndrome de Turner** / Anomalie chromosomique.

*“Certains enfants montrent d’importantes difficultés d’apprentissage de l’arithmétique, bien qu’ils soient d’intelligence normale (...). On parle alors de dyscalculie – l’équivalent de la dyslexie dans le domaine de l’arithmétique.”*

quantités numériques, et même à les additionner ou à les soustraire. Dès l’âge de six mois, les nourrissons sont capables de différencier huit objets de seize objets, bien qu’ils échouent dans des comparaisons plus précises de 8 objets avec 12 objets. Avec Véronique Izard et Ghislaine Dehaene-Lambertz, nous avons montré que la région pariétale droite répond déjà au nombre approximatif chez le bébé de trois mois (figure 2). Après une période d’adaptation à une quantité donnée d’objets, 4 canards par exemple, tout changement

important du nombre – par exemple une diapositive comprenant 8 canards – entraîne un potentiel évoqué dont la topographie indique une origine pariétale droite. Il s’agit bien d’une réponse numérique, et non d’une orientation générique de l’attention à toute forme de nouveauté, puisqu’un autre changement, cette fois-ci dans l’identité de l’objet, entraîne une réponse évoquée entièrement différente qui trouve son origine dans le cortex occipito-temporal ventral, particulièrement dans l’hémisphère gauche. Ainsi la distinction entre les

**FIGURE 2** EFFET D’UN CHANGEMENT D’OBJET OU DE NOMBRE CHEZ LE BÉBÉ DE TROIS MOIS (d’après Izard et al., PLOS Biology 2008)



Le bébé est adapté à la présentation répétée d’un nombre donné d’objets (ici, 4 canards jaunes). Occasionnellement, on présente des diapositives où soit le nombre, soit l’identité des objets change. Les changements de nombre sont détectés dans un réseau qui implique notamment la région pariétale droite, tandis que les changements d’objets sont traités par la région occipito-temporale ventrale, particulièrement dans l’hémisphère gauche.

Stanislas DEHAENE ▶ *Le cerveau, l'arithmétique et la dyscalculie*

voies visuelles ventrale et dorsale semble déjà bien en place chez le bébé de trois mois, et la voie dorsale est déjà en partie spécialisée pour représenter le nombre. Plusieurs études chez l'enfant d'âge scolaire montrent que la précision de cette représentation numérique corrèle étroitement avec les résultats scolaires en arithmétique.

### Vers une compréhension de la dyscalculie

Certains enfants montrent d'importantes difficultés d'apprentissage de l'arithmétique, bien qu'ils soient d'intelligence normale, dépourvus de troubles sensoriels ou moteurs, et qu'ils reçoivent une stimulation intellectuelle adéquate. On parle alors de dyscalculie – l'équivalent de la dyslexie dans le domaine de l'arithmétique. Sachant que le bébé possède déjà un sens numérique, une hypothèse vient immédiatement à l'esprit : et si la dyscalculie n'était autre qu'une perte de ce sens des nombres ? La région intrapariétale serait-elle sélectivement perturbée chez les enfants dyscalculiques ?

Il existe relativement peu d'études qui se sont consacrées aux bases cérébrales de la dyscalculie, mais toutes pointent effectivement vers la région pariétale gauche ou droite. La toute première étude, en imagerie de spectroscopie par résonance magnétique, a montré des anomalies métaboliques dans la région pariétale inférieure

gauche chez un adulte brillant mais qui avait souffert de dyscalculie durant toute sa scolarité. Une seconde étude, en imagerie par résonance magnétique anatomique (IRM), a montré une réduction de la densité de matière grise dans la région pariétale inférieure gauche chez des enfants prématurés et dyscalculiques, comparés à un groupe témoin d'enfants nés prématurément mais non dyscalculiques. Enfin, certaines pathologies génétiques rares, comme le **syndrome de Turner**, le syndrome de l'X fragile ou le syndrome de Williams, sont associées à une pathologie développementale qui inclut fréquemment la dyscalculie. Dans le syndrome de Turner, nous avons montré en IRM anatomique et fonctionnelle l'existence d'une désorganisation anatomique du sillon intrapariétal droit, avec une réduction de la densité de matière grise, associée à une modulation anormale de l'activité du sillon intrapariétal droit en fonction de la taille des nombres et de la tâche de calcul effectuée. L'existence d'une désorganisation anatomique du sillon intrapariétal dans le syndrome de Turner oriente vers un trouble précoce du développement cérébral, se situant autour de la 28-30<sup>e</sup> semaine de gestation, qui pourrait être à l'origine d'un développement anormal du sens élémentaire des nombres.

L'ensemble de ces données converge pour suggérer l'importance de l'intégrité du sillon intrapariétal dans l'apprentissage de l'arithmétique. Nos recherches s'orientent maintenant vers la définition de tests comportementaux très simples – par exemple la comparaison numérique de deux ensembles d'objets – afin d'identifier, le plus tôt possible, les enfants à risque. Par ailleurs, notre équipe a développé un logiciel libre de rééducation du sens des nombres, *la course aux nombres* (disponible gratuitement sur [www.unicog.org](http://www.unicog.org)), qui se présente comme un jeu et s'adapte automatiquement aux difficultés de l'enfant.



POUR  
EN SAVOIR +

**I Connectez-vous** sur notre site :  
[www.frc.asso.fr](http://www.frc.asso.fr)

Pour nous joindre, voici nos coordonnées : **Fédération pour la recherche sur le cerveau** : 9, avenue Percier 75008 Paris