

n'ont pas eu de bons résultats peut être ainsi parfaitement injuste. Nous aborderons maintenant une question plus délicate : quelle est la probabilité que le vainqueur soit le meilleur ?

Le premier est-il le meilleur ?

Lyon, qui a gagné le championnat de France, méritait-il d'être premier ? Il existe plusieurs méthodes mathématiques pour analyser cette question. Nous allons choisir la plus simple qui réponde à trois contraintes de bon sens.

D'abord si deux équipes finissent premières ex aequo, les probabilités que l'une ou l'autre soit la meilleure sont égales. Ensuite, la probabilité que le gagnant soit le meilleur est d'autant plus grande qu'il a plus de points d'avance sur les suivants. Enfin, si la différence des points entre le premier et les suivants devient très grande, la probabilité que le premier soit le meilleur doit approcher 100 pour cent.

Comme nous l'avons vu, le score réalisé par une équipe ne traduit qu'imparfaitement sa vraie valeur, que nous dénommerons sa «capacité». Cette capacité est dispersée autour du score (qui est néanmoins sa valeur la plus probable) comme elle l'est dans la simulation décrite précédemment qui est un tirage à pile ou face généralisé, un pur «hasard».

Nous prendrons pour la distribution des valeurs des capacités la courbe en cloche de la figure 4, la distribution dite «normale». La dispersion des probabilités est celle que le hasard aurait donnée. La probabilité que la capacité soit juste égale au score obtenu est 5 pour cent, une différence de 8 points a pour probabilité 3 pour cent, et la probabilité que la différence soit 16 est inférieure à un pour cent.

Cela étant, le calcul pour déterminer si le vainqueur est effectivement le meilleur est assez subtil : nous devons considérer toutes les valeurs possibles de la capacité du vainqueur et, pour chacune de ces capacités, prendre en compte toutes les capacités possibles de toutes les autres équipes. Détaillons courageusement ce calcul sur un exemple : pour une valeur donnée de la capacité supposée de l'équipe gagnante, nous calculerons la probabilité que l'équipe classée deuxième ait une capacité inférieure à celle de la première, puis la probabilité que l'équipe classée troisième ait une capacité inférieure à celle de la première, etc. Puis nous additionnerons toutes ces probabilités pour toutes les équipes afin d'obtenir la probabilité que le vainqueur ait la meilleure capacité.

Lyon n'était pas meilleure équipe que l'une des quatre suivantes

Dans notre exemple, nous prendrons le cas où le vainqueur a marqué 80 points à la fin de la saison, et le deuxième 70. Pour déterminer la probabilité que l'équipe gagnante ait une capacité supérieure à celle de la deuxième, nous utiliserons les courbes en cloche de chacune, comme représenté sur la figure 5. La probabilité que le vainqueur ait une capacité de 4 points inférieure à la valeur qu'il a obtenue est mesurée par la hauteur p_1 de la courbe en cloche, soit 0,044. Le vainqueur restera meilleur que le deuxième si la capacité de celui-ci est inférieure à 76 : le domaine où cela est vrai est représenté en grisé sur la figure 6. La probabilité que le deuxième soit dans cette région grisée est

ÉQUIPES	POINTS	PROBABILITÉS QUE CE SOIT LA MEILLEURE ÉQUIPE
LYON	66	42 %
LENS	64	30 %
AUXERRE	59	12 %
PARIS S. G.	58	10 %
LILLE	56	6 %

7. NOMBRE DE POINTS OBTENUS par les cinq premières équipes du championnat de France 2001-2002 et probabilités que ces équipes soient véritablement meilleures que les autres. Comme les écarts entre les cinq premiers sont faibles, il y a 58 chances sur 100 que l'une des quatre équipes, Lens, Auxerre, Paris-Saint-Germain ou Lille soit meilleure que l'équipe gagnante, Lyon.

ici égale à 0,77. La probabilité que l'équipe gagnante ait la capacité 76 et que l'équipe deuxième, une capacité inférieure, est égale au produit $p_1 p_2$, soit ici, $0,044 \times 0,77$ soit 0,034 ou 3,4 pour cent.

Nous devons faire un calcul analogue pour une capacité du vainqueur ... -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, etc. La probabilité que la capacité de cette équipe gagnante soit supérieure à la capacité de l'équipe classée deuxième est la somme de toutes ces probabilités. Dans notre exemple, où l'équipe gagnante a un score 10 points supérieur à celui de la deuxième, cette probabilité est de 81 pour cent et la probabilité que la deuxième soit la meilleure équipe égale à 19 pour cent.

Mais cela n'est pas tout, car il se pourrait que l'équipe ayant la plus forte capacité, et donc la «meilleure», soit la troisième du classement, ou la quatrième, etc. Il faut recommencer le calcul pour toutes ces équipes et additionner toutes les probabilités que chacune des équipes ait une capacité inférieure. On pourra ensuite réitérer le calcul pour chacune des équipes afin de calculer la probabilité qu'elle ait la meilleure capacité. Voyons ce que cela donne pour la saison 2001-2002.

Le championnat a été gagné par l'Olympique Lyonnais. Le RC Lens avait deux points de moins, l'AJ Auxerre, sept, suivie du Paris-Saint-Germain et de Lille. Comme l'équipe suivante, Bordeaux, est loin derrière, il suffit de ne considérer que les cinq premières équipes.

La conclusion du calcul est représentée sur la figure 7 : la probabilité que Lyon soit la meilleure équipe n'est que de 42 pour cent ! Il est probable que la meilleure équipe n'est pas celle qui a gagné le championnat ! Cela ne devrait pas trop nous surprendre, car Lyon n'a gagné que par deux points d'avance. En regardant mieux les scores, on observe que dans 14 matchs de Lyon sur 34 le résultat aurait été changé par une variation d'un but. Et ce but aurait pu être le résultat d'une cause minime : souvenons-nous, un rebond, une erreur d'arbitrage, un penalty manqué, une rafale de vent...

Cela diminue-t-il l'intérêt du football ? Certainement pas : si le résultat des parties était prévisible, plus personne ne regarderait les matchs : la justice dans le sport n'est pas une qualité primordiale et c'est une certaine incertitude qui fait l'intérêt du football.

John WESSON est physicien théoricien et praticien du football depuis de nombreuses décennies. Il est l'auteur de : *The Science of Soccer* (Institute of Physics Publishing, Bristol, 2002).

Le nez de la

KENNETH CATANIA



La taupe au nez étoilé est sans doute dotée du nez le plus étonnant qui soit. Infaillible dans la détection des proies, cet organe est pourvu, de la même façon que la rétine de l'œil, d'une zone d'acuité maximale, une fovea tactile.



taupe



Kenneth Catania

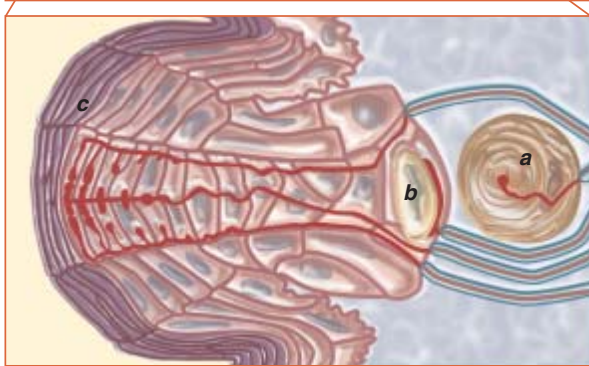
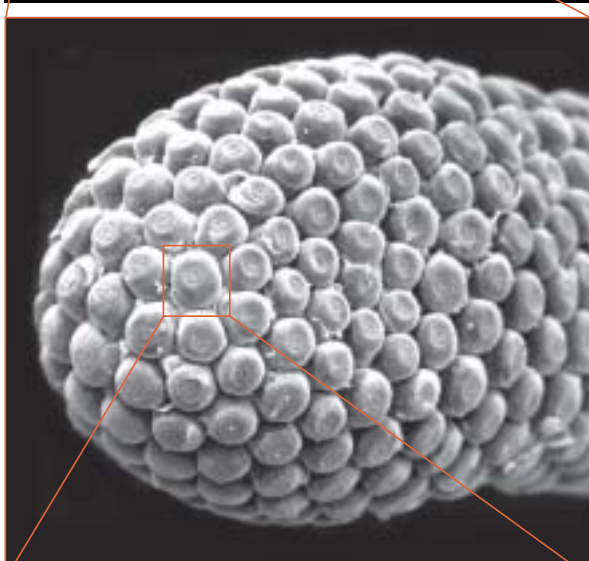
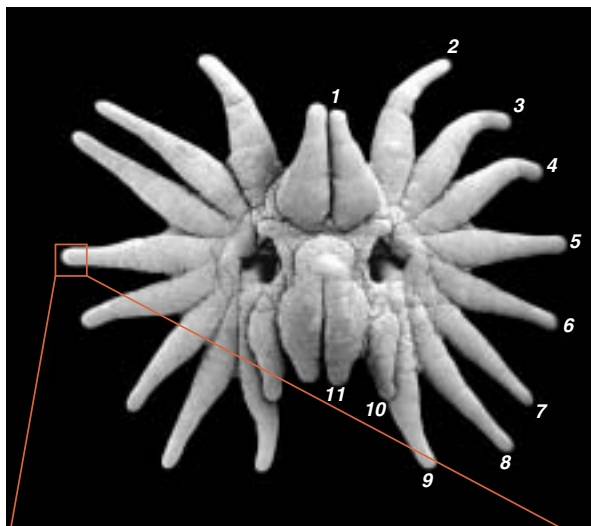
«Le nez de Cléopâtre : s'il eût été plus court, toute la face de la Terre aurait changé» disait Pascal. «Le nez de la taupe au nez étoilé : s'il eût été plus commun, toute l'étude des mammifères aurait changé» ironiserait le zoologiste. Plus encore, dans la *Pensée* qui s'achève par cette phrase, l'inventeur de la calculatrice considère les causes et les effets de l'amour et affirme qu'un «*Je ne sais quoi* [...] remue toute la Terre!» Il connaissait à coup sûr la taupe au nez étoilé, cet animal fouisseur des sous-sols des régions humides de l'Amérique du Nord! Au bout de son museau, 22 appendices charnus disposés en une étoile rose entourent son nez et s'agitent rapidement lorsque l'animal explore son environnement (voir la figure 1). Ses deux gros membres antérieurs griffus complètent le tableau et font de la taupe au nez étoilé un mystère biologique qui rend plus probable l'existence d'animaux réputés fabuleux, tels les dragons et les griffons. Comment cette créature a-t-elle évolué? À quoi sert cette étoile? Comment fonctionne-t-elle? Toutes ces questions mènent à l'étude d'un cerveau remarquablement spécialisé qui éclaire l'organisation et l'évolution du système nerveux des mammifères.

Les taupes au nez étoilé pèsent à peine 50 grammes, et vivent dans des tunnels peu profonds. Elles chassent aussi bien sous la terre que sous l'eau. Insectivores comme la trentaine d'espèces qui compose la famille des taupes, les talpidés, elles ont un métabolisme élevé et donc un grand appétit qui leur impose de trouver beaucoup de proies pour survivre aux froids hivers nordiques. Les taupes au nez étoilé mangent des vers de terre, mais aussi de nombreux petits invertébrés et des larves d'insectes qu'elles trouvent dans la terre meuble et dans les feuillages, ainsi que dans les mares et les cours d'eau dont elles explorent le fond à la recherche de leurs proies. L'étoile est utilisée lors de la chasse : elle n'est ni un élément du système olfactif ni une sorte de patte supplémentaire qui collecterait de la nourriture, mais plutôt un organe du toucher d'une sensibilité sans égale.

L'examen de l'étoile avec un microscope électronique à balayage révèle qu'elle est entièrement constituée d'organes sensoriels, comme la rétine de l'œil des mammifères. La surface de chacun des 22 appendices qui entourent les narines est composé d'un assemblage de protubérances microscopiques, ou papilles, nommées organes d'Eimer (voir la figure 3). Chaque organe d'Eimer est constitué de structures neuronales qui transmettent divers types de signaux tactiles. Ces récepteurs sensoriels sont de trois types. À la base de l'organe, chaque terminaison nerveuse est enveloppée par une cellule de Schwann ; cette cellule de support s'enroule autour de la terminaison. Ce récepteur lamellaire transmet des informations sommaires relatives aux vibrations perçues et au premier contact avec un objet. Puis, au-dessus de ce récepteur, une autre fibre nerveuse est reliée à une cellule dite de Merkel. Contrairement au récepteur lamellaire, cet assemblage – le complexe de Merkel – ne réagit que si la pression sur la peau se prolonge. Ces deux types de récepteurs sont fréquents dans la peau des mammifères.

Enfin, à l'extrémité de chaque organe d'Eimer, de nombreuses terminaisons nerveuses forment des renflements sphériques, juste sous la peau. Ces récepteurs, caractéristiques des taupes, renseignent l'animal sur la texture microscopique de diverses surfaces.

1. LE NEZ de cette taupe est l'un des organes du toucher les plus sensibles du règne animal, un organe qui fonctionne à la façon... d'un œil.



2. LES 22 APPENDICES DE L'ÉTOILE (en haut) sont constitués d'organes sensoriels (au milieu), les organes d'Eimer. Chacun d'eux (en bas) est composé d'éléments communs à un grand nombre d'animaux : à la base, une terminaison nerveuse entourée d'une cellule de Schwann (a) transmet les informations relatives aux vibrations et au premier contact avec un objet, et une autre fibre nerveuse liée à une cellule de Merkel (b) signale une pression prolongée. En revanche, à l'extrémité de chaque organe d'Eimer, le réseau de renforcements neuronaux (c) situé juste au-dessous de la surface extérieure de la peau n'existe que chez les taupes : il confère à l'animal une grande sensibilité aux détails des surfaces.

La surface de l'étoile, inférieure à un centimètre carré, renferme plus de 25 000 organes d'Eimer, eux-mêmes reliés à plus de 100 000 fibres nerveuses qui véhiculent l'information jusqu'au système nerveux central et jusqu'au cortex, le centre de traitement des informations des mammifères, très évolué. Équipée d'une telle panoplie de récepteurs, la taupe a une sensibilité sensorielle hors du commun lorsqu'elle rode dans ses repaires en quête de proies.

Un nez-œil

On ne peut suivre les mouvements de l'étoile à l'œil nu : une caméra ultra-rapide révèle qu'elle touche au moins 12 fois par seconde la surface explorée ! Ainsi, on a observé en laboratoire qu'elle peut détecter cinq proies, par exemple des petits vers, en une seule seconde.

La façon dont la taupe utilise son étoile est encore plus étonnante que sa rapidité d'action : elle s'en sert comme d'un œil. Essayez de lire cette phrase sans bouger vos yeux, et vous comprendrez que notre système visuel est divisé en deux ensembles fonctionnels. Seule une petite partie d'une scène, contenue dans un angle d'environ un degré, est analysée précisément par la zone centrale de la rétine, la fovea, où la résolution est élevée. L'essentiel de la rétine, bien plus vaste, ne sert qu'à localiser les zones potentiellement importantes qui seront analysées ensuite. Les mouvements rapides des yeux, grâce auxquels on recentre la fovea à haute résolution sur la zone importante, sont des saccades.

De même que de nos saccades nous balayons une scène avec nos yeux, les taupes au nez étoilé déplacent l'étoile pour explorer leur environnement tactile au cours de leurs déplacements dans leurs galeries (voir la figure 3). Elles prospectent de vastes zones grâce aux organes d'Eimer des 22 appendices. En revanche, dans une zone qui les intéresse, par exemple une source de nourriture, les taupes au nez étoilé n'utilisent plus qu'une seule paire d'appendices pour des investigations plus précises. L'être humain est doté d'une fovea pour la vue, tandis que la taupe au nez étoilé est pourvue d'une fovea pour le toucher. La fovea de la taupe est constituée de la paire inférieure des appendices courts situés au-dessus de la bouche, la onzième paire d'appendices. Cette partie de l'étoile est la plus riche en terminaisons nerveuses sensorielles. Les mouvements rapides de l'étoile visant à repositionner la fovea tactile vers les objets intéressants équivalent aux saccades du système visuel.

Ces ressemblances se poursuivent dans l'organisation du système nerveux. Non seulement, chez l'homme, l'anatomie de la rétine optimise la résolution de la fovea, mais, en plus, dans le cerveau, les aires dédiées au traitement des informations visuelles privilégient celles de la fovea. Par ailleurs, dans les systèmes sensoriels des mammifères, l'organisation topographique des aires cérébrales qui traitent l'information reflète celle des récepteurs sensoriels : par exemple, les zones corticales dédiées à la vision contiennent des cartes de la rétine, les zones auditives celles des récepteurs de la cochlée et les zones tactiles contiennent des cartes de la surface corporelle. Le système sensoriel de la taupe au nez étoilé est construit de la même façon.

Avec Jon Kaas, de l'Université Vanderbilt, nous avons étudié l'organisation du cortex de la taupe au nez étoilé. Pour ce faire, nous avons enregistré l'activité des neurones de différentes régions corticales. Nous avons ainsi

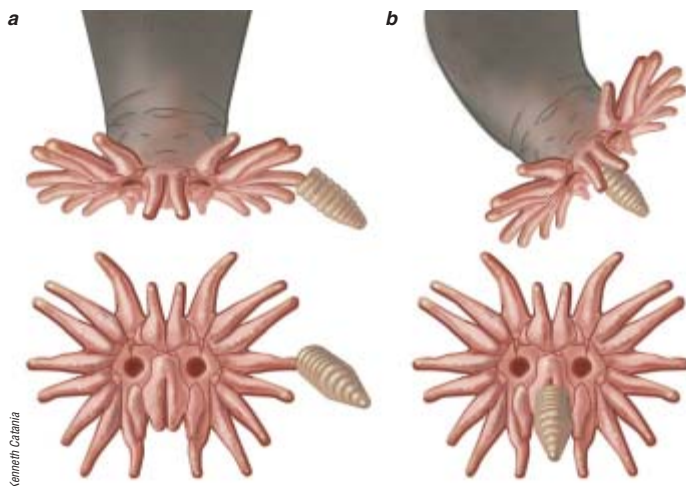
établi trois cartes de la représentation neuronale de l'étoile (voir la figure 4) qui mettent en évidence où et comment les neurones du cortex réagissent aux stimulations tactiles des organes d'Eimer. Ces cartes des réponses neuronales reflètent l'anatomie du nez et, comme chez tous les mammifères, la moitié gauche du corps est représentée dans le côté droit du cortex, et réciproquement.

La comparaison des proportions des cartes corticales et des appendices de l'étoile indique qu'à la onzième paire d'appendices, l'une des plus petites de l'étoile, correspond la plus grande zone de traitement dans le cortex. C'est un exemple de ce que l'on nomme le grossissement cortical : la zone la plus sensible de la surface sensorielle correspond à la plus grande représentation dans le cerveau, quelle que soit la taille réelle de cette surface chez l'animal. De la même façon, dans le système visuel, la plus vaste zone du cortex visuel est dédiée à la toute petite fovea rétinienne.

Par ailleurs, les neurones qui relaient l'information de la onzième paire d'appendices correspondent à de très petits champs récepteurs (les zones sensibles aux stimulations tactiles), tandis que les champs récepteurs des autres appendices sont notablement plus vastes : la sensibilité aux sollicitations tactiles de la onzième paire d'appendices est la plus marquée.

La découverte d'une fovea sensorielle chez la taupe au nez étoilé semble indiquer que ce schéma d'organisation est une solution générale de l'évolution au problème de la constitution d'un système sensoriel à haute résolution. Ainsi, Nobuo Suga, de l'Université de Washington, a mis en évidence une fovea acoustique dans les systèmes d'écholocation des chauves-souris à moustaches. De nombreuses chauves-souris émettent des ultrasons dans une bande étroite de fréquences et analysent les échos en retour pour se repérer et détecter leurs proies. Une grande proportion des récepteurs auditifs de la chauve-souris (des cellules ciliées de la cochlée) et de larges régions du cerveau sont consacrées à l'analyse d'une étroite bande de fréquences qui correspond à un seul harmonique de l'écho en retour.

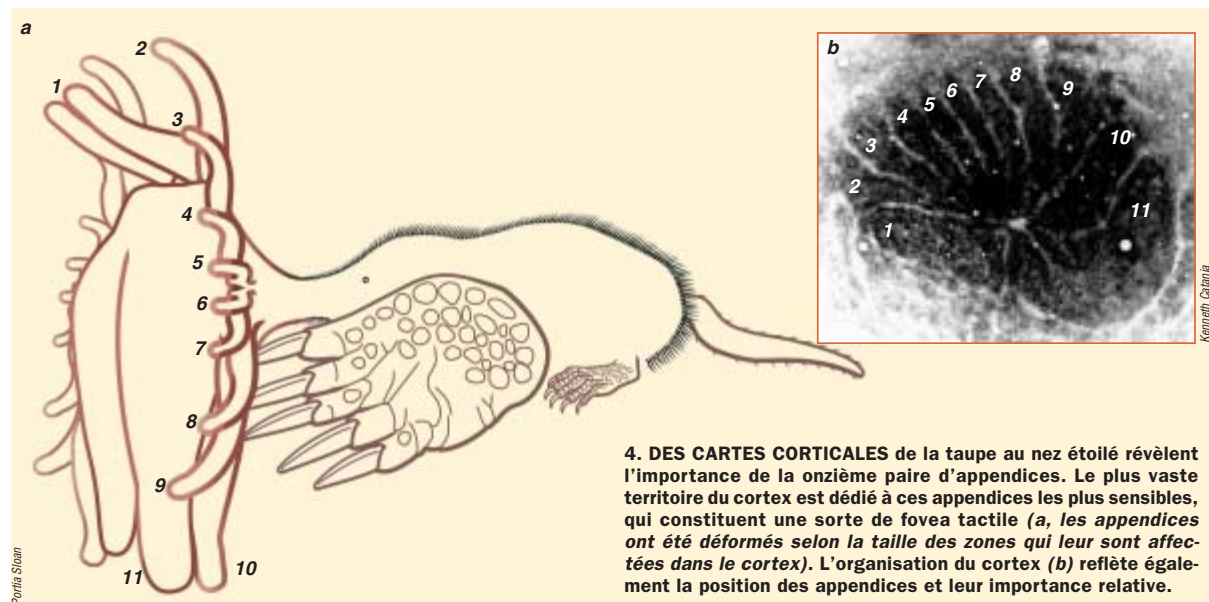
Les chauves-souris ont également une version auditive des saccades visuelles. Cette caractéristique est indispen-



3. LA TAUPE AU NEZ ÉTOILÉ identifie une proie en moins d'une demi-seconde. Lorsque les appendices les plus longs touchent un objet intéressant (a), l'animal déplace son nez de façon à mettre ses appendices les plus courts et les plus sensibles, la onzième paire, en contact avec l'objet (b). Après l'identification rapide, ici d'un fragment de ver de terre, la proie est engloutie (en haut, vue de dessus, en bas vue de face).

sable pour contrecarrer l'effet Doppler des échos, c'est-à-dire un décalage lié à la vitesse de la chauve-souris et à celle de sa cible, souvent un insecte ; les fréquences réfléchies se situent alors en dehors de la gamme de la fovea acoustique. La chauve-souris en chasse, dont la fovea acoustique est fixée, modifie en permanence la fréquence des signaux qu'elle émet de façon à ce que l'écho lui revienne dans la gamme de fréquences de sa fovea acoustique, malgré le décalage Doppler. Ce comportement, nommé compensation de l'effet Doppler, est l'équivalent acoustique du mouvement des yeux ou de celui de l'étoile, qui vise à analyser un stimulus à l'aide de la zone la plus sensible de la surface sensorielle et des régions corticales correspondantes.

Les foveas sensorielles des systèmes visuel, auditif et tactile des mammifères sont un exemple d'évolution convergente et soulignent les contraintes communes auxquelles



4. DES CARTES CORTICALES de la taupe au nez étoilé révèlent l'importance de la onzième paire d'appendices. Le plus vaste territoire du cortex est dédié à ces appendices les plus sensibles, qui constituent une sorte de fovea tactile (a, les appendices ont été déformés selon la taille des zones qui leur sont affectées dans le cortex). L'organisation du cortex (b) reflète également la position des appendices et leur importance relative.



Kenneth Catania

5. L'EMBRYON DE LA TAUPE AU NEZ ÉTOILÉ révèle l'histoire évolutive de cet animal. Les appendices ont d'abord une forme de tubes, faisant partie intégrante du museau de la taupe. Avant la naissance, ils émergent de la peau. Deux semaines après la naissance, ils se courbent vers l'avant. Ces étranges nez étaient peut-être, chez un ancêtre commun aux taupes, des organes disposés à plat contre le museau, tels qu'ils le sont aujourd'hui chez certaines taupes adultes (*ci-dessus*).

l'évolution est confrontée pour construire un cerveau complexe. En effet, pourquoi ne pas doter la totalité du système sensoriel de récepteurs à haute résolution, et ainsi se dispenser des déplacements des yeux ou de l'étoile et du réajustement des fréquences d'écholocalisation? Une raison évidente est l'augmentation notable de la taille du cerveau et du nombre des connexions nerveuses qui en aurait résulté.

Cette stratégie n'a pas été retenue, car elle exigerait une augmentation notable du cerveau et du système nerveux y véhiculant les informations sensorielles. Si la résolution de toute la rétine était identique à celle de la fovea, le cerveau humain devrait être au moins 50 fois plus volumineux! À l'évidence, la stratégie adoptée est plus «économique»: une part importante des capacités de traitement du cerveau est consacrée à une petite partie du système sensoriel, et cette zone sensible, mais limitée, balaye ensuite la région à explorer, à la façon d'un projecteur sur une scène.

La piste aux étoiles

Les observations du système sensoriel de la taupe au nez étoilé ont soulevé diverses questions. Comment une petite zone d'une surface sensorielle peut-elle s'approprier une partie aussi importante de la carte du cerveau? Selon une hypothèse répandue, à chaque entrée sensorielle correspond une région aux proportions identiques dans le cortex: la grande zone de projection de la fovea sensorielle reflète le grand nombre de neurones qui recueillent des informations en provenance de cette zone. Cette hypothèse de répartition équitable des zones corticales en fonction du nombre de neurones est attirante par sa simplicité, mais elle a été récemment remise en question par des études du système visuel des primates mon-

trant qu'un territoire cortical plus vaste est alloué aux signaux de neurones en provenance de la fovea qu'à ceux issus des régions périphériques.

Qu'en est-il de la taupe au nez étoilé? Nous avons mesuré la surface des représentations corticales des 22 appendices et comparé les régions ainsi obtenues au nombre de fibres nerveuses collectant les informations en provenance de chaque appendice. Après avoir compté plus de 200 000 fibres nerveuses, nous avons montré que la superficie des territoires corticaux des neurones sensoriels issus de la onzième paire d'appendices est notablement supérieure à celles des territoires correspondant aux neurones des autres appendices. Cette observation confirme les ressemblances entre le système sensoriel de la taupe et le système visuel des primates. Ainsi, chaque unité des aires sensorielles les plus sensibles est reliée à un nombre de neurones sensoriels collectant les informations plus élevé qu'ailleurs, et ces afférences peuvent bénéficier, dans le cerveau, d'une puissance de traitement supplémentaire.

Comment ces afférences sensorielles envahissent-elles ces grands territoires des cartes corticales? Cette question qui soulève la possibilité de modifier des cartes corticales intéresse les neurobiologistes, car elle touche les capacités d'apprentissage ou de récupération des facultés perdues à la suite d'une lésion cérébrale, due à un traumatisme ou à un accident vasculaire cérébral. Plusieurs études ont montré qu'une combinaison de mécanismes intrinsèques de développement et d'influences extérieures modifie la topographie et la persistance des cartes cérébrales.

Ces résultats sont étonnants dans le cas de la taupe au nez étoilé, car sa façon d'utiliser son nez – l'exploration des objets au moyen des divers appendices – est en étroite correspondance avec le schéma des représentations des appendices

dans le cortex. Cette correspondance signifie peut-être que les comportements modèlent l'organisation du cortex. Cependant, selon une autre hypothèse, les mécanismes intrinsèques du développement adapteraient la taille des cartes corticales à leur importance comportementale. C'est l'éternelle question de l'inné et l'acquis.

L'étude du développement de l'étoile chez les embryons de taupe peut nous aider à trancher. Puisque l'étoile se développe avant que sa représentation dans le cortex n'existe, les afférences sensorielles en provenance de l'étoile influent sur la formation des cartes corticales durant certaines périodes cruciales du développement.

La plupart des embryons ont une apparence originale, mais ceux des taupes au nez étoilé sont particulièrement singuliers, car ils ont des «mains» géantes et un nez unique en son genre (voir la figure 5). Au début du développement de l'embryon, les appendices de la onzième paire sont les plus grands, alors qu'ils sont réduits chez l'adulte. D'autre part, les organes d'Eimer de l'étoile, ainsi que les structures neuronales de chacun d'eux parviennent à maturité d'abord sur la onzième paire d'appendices. Tout se passe comme si cet appendice prenait le départ avec une longueur d'avance sur tous les autres qui, par la suite, le dépassent en taille et en nombre d'organes d'Eimer. Or, dans le système visuel des mammifères, la fovea rétinienne se développe précocement.

Une étoile est née

Nous avons observé que l'activité métabolique apparaît en premier dans la représentation corticale de la onzième paire d'appendices. Le développement précoce de la fovea tactile s'accompagnerait d'une augmentation de l'activité dans la représentation corticale de cette zone à mesure de son élaboration : en conséquence, les neurones correspondants s'approprieraient une vaste zone de la carte corticale. L'étude du développement du système visuel des primates montre que les afférences

sensorielles les plus actives s'adjugent les régions les plus étendues du cortex. Cependant, les modèles de comportement précoce chez les jeunes taupes au nez étoilé, qui utilisent la onzième paire d'appendices pour têter, contribuent peut-être eux aussi à une expansion de la fovea dans les cartes corticales. L'objectif de nos travaux est de reconnaître les contributions relatives de ces différents mécanismes.

La clef réside vraisemblablement dans le développement de la taupe au nez étoilé. La formation des appendices de l'étoile n'est comparable à celle d'aucun autre appendice d'animal connu. Plutôt que de croître directement vers l'extérieur du corps, les appendices de l'étoile forment d'abord des cylindres orientés vers l'arrière et inclus dans les parois du museau. Puis ils émergent lentement du museau, se détachent de la peau, et, environ deux semaines après la naissance, se courbent vers l'avant pour constituer l'étoile observée chez l'adulte. On postule que l'ontogénie (le développement embryonnaire) récapitule la phylogénie (l'évolution des espèces), ce qui nous laisse supposer que les ancêtres des taupes au nez étoilé auraient été dotés de bandes d'organes sensoriels plaquées de chaque côté du museau et qui, au fil des générations, se seraient relevées jusqu'à former l'étoile.

Sans preuve (par exemple des fossiles), cette hypothèse reste à démontrer. Cependant, chez deux espèces de taupes, *Scapanus orarius* et *Scapanus townsendii*, des bandes courtes d'organes sensoriels sont situées à plat le long de la partie supérieure du nez, et le nez des adultes ressemble beaucoup à l'étoile embryonnaire des taupes au nez étoilé. Ainsi, ces structures intermédiaires confirment l'hypothèse d'un ancêtre qui aurait donné naissance à l'étoile bien formée que nous observons aujourd'hui. Toutefois, quelle que soit leur histoire évolutive, ces nez étonnants nous aideront peut-être à comprendre l'influence des mécanismes innés de développement et des comportements sur l'organisation du cortex. À nous d'avoir du flair !

Kenneth CATANIA est professeur de biologie à l'Université Vanderbilt.

Martyn GORMAN et David STONE, *The natural history of moles*, Cornell university press, 1990.

Howard HUGUES, *Sensory exotica : a world*

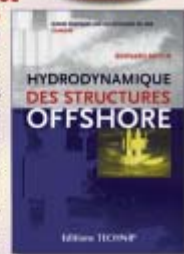
beyond human experience, MIT press, 1999.

Kenneth CATANIA, *A nose that looks like a hand and acts like an eye : the unusual mechanosensory system of the star-nosed mole*, in *Journal of comparative physiology*, vol. 185, pp. 367-372, 1999.

Editions TECHNIP
27, rue Ginoux, 75737 PARIS Cedex 15
Tél. 01 45 78 33 80 • Fax 01 45 75 37 11
E-mail : info@editionstechnip.com
www.editionstechnip.com

HYDRODYNAMIQUE DES STRUCTURES OFFSHORE.

NOUVEAUTE
Une synthèse rigoureuse et pédagogique des connaissances les plus récentes en matière de comportement hydrodynamique des ouvrages en mer, indispensable à l'ingénierie offshore. Claron, B. Molin. Broché, 440 p. €95



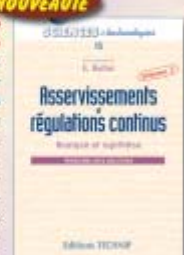
LE MANUEL DU SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS. Lexique et conversions. Conversions, règles d'écriture, origine, étymologie ; grâce à cet ouvrage, l'utilisateur pourra aisément aborder les manipulations d'unités. M. Dubesset. Broché, 192 p. €21

LE LANGAGE JAVA™. Programmer par l'exemple. Une approche résolument pédagogique, pratique et progressive pour découvrir ou redécouvrir le langage Java. Recommandé par Sun Microsystems, le développeur du langage. T. Leduc, D. Leduc. Broché, 288 p. €28

ASSERVISSEMENTS ET RÉGULATIONS CONTINUS. Analyse et synthèse. Problèmes avec solutions. VOL. 1. F. Boillot. Broché, 216 p. €32

ASSERVISSEMENTS ET RÉGULATIONS CONTINUS. VOL. 2

NOUVEAUTE
Analyse et synthèse. Problèmes avec solutions. Le second volume d'un ouvrage à succès. Dix nouveaux problèmes d'automatique abordant des systèmes réels rencontrés dans l'industrie, avec leurs corrigés complets. E. Boillot. Broché, 240 p. €34



MANUEL D'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES PROCÉDÉS.

Présenté, avec des exemples détaillés, l'ensemble des étapes indispensables à l'évaluation économique d'un projet. A. Chauvel, G. Fournier, C. Raimbault. Nouvelle édition revue et augmentée. Relié, 512 p. €125



ACYCLISME ET VIBRATIONS

NOUVEAUTE
Applications aux moteurs thermiques et aux transmissions. 1. Notions de base. 2. Analyses avancées et expérimentales. Cet ouvrage, unique en son domaine, analyse les phénomènes et mécanismes mis en jeu dans la rotation non uniforme du vilebrequin afin d'en limiter efficacement les effets. J.-L. Ligier, E. Baron. Relié, 864 p. €129

