

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.