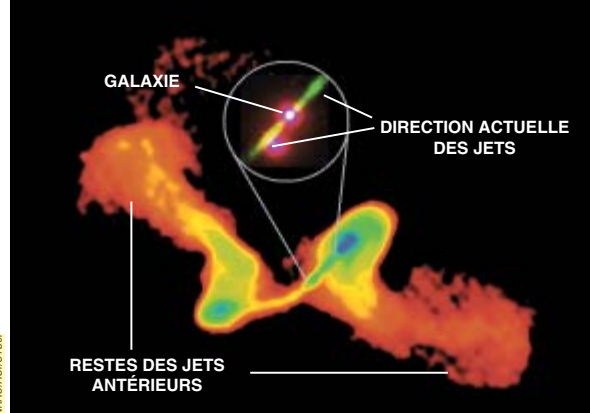
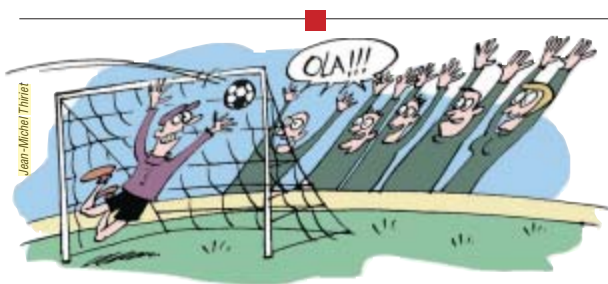


zigzags que l'on imprime à un jet d'eau en modifiant rapidement l'orientation d'un tuyau d'arrosage. D. Merritt et R. Eckers ont observé une telle déformation sur une image radio de la galaxie NGC 326 qui révèle les électrons rapides du plasma éjecté par son noyau. Or, il se trouve effectivement que NGC 326 est une galaxie double résultant de la fusion de deux galaxies spirales. En recensant les jets galactiques de même forme sur des images radio archivées, ils ont estimé le nombre de ces événements : il se produirait environ une fusion de trou noir supermassif par an dans l'Univers observable. Si c'est le cas, il est possible que les détecteurs LIGO et VIRGO, actuellement en cours de développement, perçoivent sans ambiguïté des signaux gravitationnels très peu de temps après leur mise en service. Comme les collisions frontales sont très improbables dans le cosmos, les fusions de trous noirs doivent correspondre, le plus souvent, à la coalescence de deux trous noirs en orbite l'un autour de l'autre. Les astronomes doivent maintenant découvrir de tels couples pour confirmer l'hypothèse de D. Merritt et R. Eckers et surtout leur estimation de la fréquence de ces événements.



Lorsqu'un trou noir en absorbe un autre, le trou noir résultant a un moment cinétique qui est la somme des moments cinétiques des deux précurseurs. Un tel événement se traduit par un changement de l'axe de rotation du trou noir. Lorsque les trous noirs émettent des jets de plasma le long de leurs pôles, une fusion doit se traduire par une déformation de ces jets. C'est ce que l'on observe sur une image radio de la galaxie NGC 326 : les anciens jets pointaient vers «10 heures» et «4 heures». Ils pointent aujourd'hui vers «8 heures» et «2 heures».



Viva la ola!

La ola suit un modèle qui s'applique au fonctionnement des cellules cardiaques et à la propagation des feux de forêts.

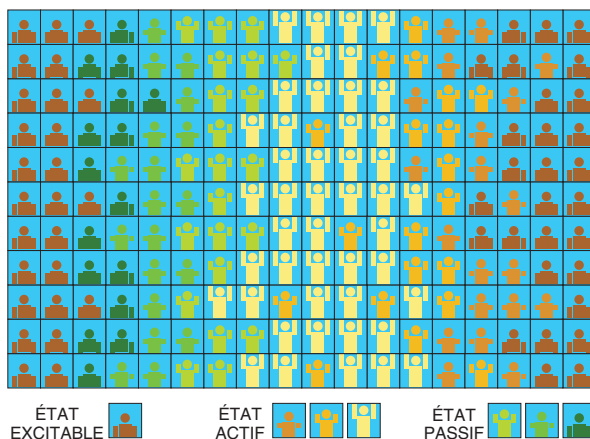
En 1986, lors de la coupe du monde de football au Mexique, un phénomène devient célèbre sous le nom de vague mexicaine ou ola. Depuis, ces vagues de spectateurs qui se lèvent et dressent leurs bras en l'air, puis se rassolent se sont répandues, dans tous les stades du monde. L'équipe de Tamas Vicsek, de l'Université de Budapest, a étudié ce comportement de foule et mis en évidence ses propriétés et les conditions où il apparaît.

À partir des enregistrements de 14 vagues mexicaines ayant eu lieu dans des stades de plus de 50 000 spectateurs, ils ont montré que l'onde humaine se déplace le plus souvent dans le sens des aiguilles d'une montre, à une vitesse d'environ 12 mètres par seconde, soit une vingtaine de sièges par seconde. La longueur d'onde est de 6 à 12 mètres, soit environ 15 sièges. Enfin, seule une trentaine de spectateurs suffit à initier une ola. Le phénomène étant relativement simple, les physiciens hongrois ont réussi à élaborer un modèle qui reproduit les principales caractéristiques de la vague mexicaine. Ce modèle dérive de celui utilisé pour simuler les mouvements du muscle cardiaque, par exemple, ou la propagation des feux de forêts.

Par analogie avec ces modèles, chaque spectateur correspond à une cellule cardiaque ou à un arbre, c'est-à-dire une entité excitable qui passe d'un état actif (il se redresse et lève les bras en l'air) à un état passif réfractaire (il se rassol et attend que la vague termine le tour des tribunes), puis retrouve un état excitable (il est prêt à se relever). L'état d'un spectateur dépend de celui de ses voisins : quand le nombre de voi-

sins activés dépasse un certain seuil, il devient «actif» à son tour, et se lève. Ce modèle simple distingue trois états (état actif, état réfractaire et état excitable), et reproduit les variations de comportement d'un individu d'après les probabilités de transition d'un de ces états à un autre.

Selon le modèle de T. Vicsek, une ola naît plus souvent lorsque les spectateurs sont dans une «humeur» appropriée, c'est-à-dire ni surexcités ni fatigués, et elle se déclenche généralement pendant les moments creux des matchs. Les physiciens ont perfectionné leur modèle en subdivisant les états actif et réfractaire en trois sous-états. Ce modèle simule la naissance de la vague et reproduit, à partir de paramètres, tels le temps de réaction d'un spectateur à son environnement et la concentration de voisins activés dans un périmètre donné, les vagues observées sur les enregistrements vidéo. Ce modèle devrait aider les organisateurs de rencontres sportives à mieux maîtriser le public des stades et, peut-être à améliorer la gestion des foules.



La vague mexicaine (ici, elle se déplace de gauche à droite) est simulée par un modèle où chaque spectateur est une «entité excitable» qui passe par trois états successifs : excitable, actif et passif. Dans un modèle perfectionné, les deux derniers états sont divisés en trois sous-états. Chaque spectateur excitable devient actif quand le nombre de ses voisins actifs dépasse un seuil donné : ce seuil franchi, il se redresse à son tour et lève les bras. Puis il repasse dans un état passif où il se rassol, et attend le retour de la vague. Ce modèle reproduit les olas (le maximum de la vague est en jaune) qui parcourent les tribunes des stades.