

Notons que lorsque nous avançons en suivant une méthode déterminée, nous pouvons ne jamais revenir au point de départ et par exemple parcourir des arcs qui, à partir d'un certain moment, forment un cycle a-b-c-d-e-c-d-e-c-d-e-c-d-e... Les questions posées ne sont donc pas évidentes.

Solution: Quand vous suivez la méthode 1 et que vous êtes sur un arc dans une direction donnée, vous savez d'où vous venez: en vous retournant et en allant au nœud dont vous venez, l'arc qui vous y a amené est celui de gauche.

Il n'y a qu'un nombre fini de positions possibles sur un arc du graphe et seulement deux directions possibles à partir d'un nœud, donc il n'y a qu'un nombre fini de parcours d'un arc. Quand vous êtes sur un arc dans une direction donnée, la suite de ce que vous allez faire est déterminée. Il en résulte qu'en appliquant la méthode «toujours à droite», vous finirez par tomber sur un cycle. On est donc dans une situation du type a-b-c-a-b-c-a-b-c... ou du type a-b-c-d-e-c-d-e-c-d-e... Dans ces suites, les lettres minuscules désignent des positions sur un arc, donc un arc avec l'indication d'une direction de parcours.

Deux cas sont possibles: soit on entre tout de suite dans un cycle, soit on y entre après quelques parcours d'arcs où l'on ne repassera plus. Il faut montrer que le second cas est impossible. Si on avait une situation du type a-b-c-d-e-c-d-e-c-d-e..., cela signifierait qu'il y a deux antécédents à c: de l'arc orienté b on passe à c, et de l'arc orienté e on passe à c, cela en suivant la règle «toujours à droite». C'est impossible puisque, comme on l'a expliqué, on peut savoir d'où l'on vient: ou bien, quand on est en position c, on vient de la position b, ou bien quand on est en position c on vient de la position e. Un seul cas est possible. Puisque la situation où l'on entre dans un cycle après le parcours de quelques arcs par lesquels on ne repassera pas est impossible, cela signifie qu'on entre dès le départ dans un cycle, et donc qu'on revient à son arc de départ avec le même sens de déplacement sur l'arc.

Pour le second algorithme, le raisonnement est assez proche, sauf que cette fois on va considérer les parcours en prenant en compte la liste des arcs et sens de déplacement de l'arc par lesquels on passe, auxquels on ajoute l'information indiquant si l'on doit tourner à droite ou à gauche au prochain nœud. Un parcours sera donc la donnée d'une suite d'arcs orientés (désignés comme précédemment par des minuscules) avec pour chacun l'indication droite ou gauche. Par exemple a/droite—b/gauche—c/droite—d/gauche—...

Quand on est dans une position du parcours conçu de cette façon, on peut revenir en arrière, car l'information supplémentaire droite ou gauche nous indique aussi ce qui s'est passé au

nœud précédent et donc quel arc nous y a amenés. Comme dans le raisonnement précédent, il est clair qu'un parcours revient à un moment ou un autre en une position déjà occupée (car il n'y a qu'un nombre fini de positions x/droite y/gauche). Il faut prouver que cela ne peut pas se faire ailleurs qu'en la position de départ. Le raisonnement est le même que précédemment, avec la nouvelle notion de parcours: si on ne revenait pas au point de départ, l'une des positions aurait deux antécédents, ce qui n'est pas possible. Notons que le raisonnement assure qu'on revient à l'arc de départ en le parcourant dans le même sens et avec l'indication droite. Il n'est donc pas exclu qu'on y soit passé avant avec l'indication gauche ou en le parcourant dans l'autre sens, mais, quel que soit le cas, on revient à l'arc de départ.

Le résultat se généralise. Si, toujours avec un graphe dont tous les nœuds possèdent 3 arcs incidents, on applique une méthode de choix entre droite et gauche périodique, par exemple droite/droite/gauche répété, on sera certain de revenir à son point de départ. Pour le démontrer, on ajoute autant d'informations qu'il faut aux éléments de ce qu'on considérera comme des positions dans un parcours de façon à pouvoir revenir en arrière, et on raisonne comme précédemment en montrant qu'une position ne peut pas avoir deux antécédents.

Pour les graphes quelconques, on peut encore généraliser le résultat en procédant comme suit. On suppose que le plus grand nombre possible d'arcs incidents pour un nœud est N . On suppose qu'à chaque nœud, les arcs sont numérotés de 1 à M avec $M \leq N$. On peut d'ailleurs imaginer que cette numérotation est fixée par celui qui suit le parcours quand il arrive à un nœud pour la première fois. On définit la méthode de parcours en se donnant une suite périodique d'entiers entre 1 et N (par exemple 233142331423314...). On décide de suivre le chemin qui, à chaque nouvel arc rencontré, choisira l'arc correspondant à l'entier K de la suite périodique auquel on est arrivé, cela en respectant la convention suivante: on compte les chemins à partir de celui par lequel on est arrivé, éventuellement en tournant plusieurs fois si l'entier K est supérieur au nombre d'arcs incidents au nœud où l'on se trouve. Par exemple, si on arrive par l'arc 2, qu'il y a 5 arcs arrivant sur le nœud où l'on se trouve et que $K=7$, on repartira par le chemin $2+7=9$ qui est le même que l'arc 4, puisqu'on compte les K arcs en tournant: 3, 4, 5, 1, 2, 3, 4.

Une telle méthode, par un argument d'antécédent unique (qui sera applicable si l'on associe suffisamment d'entiers à chaque arc quand on définit la notion de position), vous ramènera toujours à votre arc de départ. De tels algorithmes de parcours engendrent des promenades complexes tout en préservant l'assurance de ne jamais se perdre. ■

BIBLIOGRAPHIE

ÉNIGME 1

P. Winkler, **Mathematical Mind-Benders**, chapitre « The adventures of ant Alice », A K Peters/CRC Press, 2007.

ÉNIGME 2

J.-P. Delahaye, **Le désordre total n'existe pas**, *Pour la Science* n° 376, pp. 86-91, février 2009.

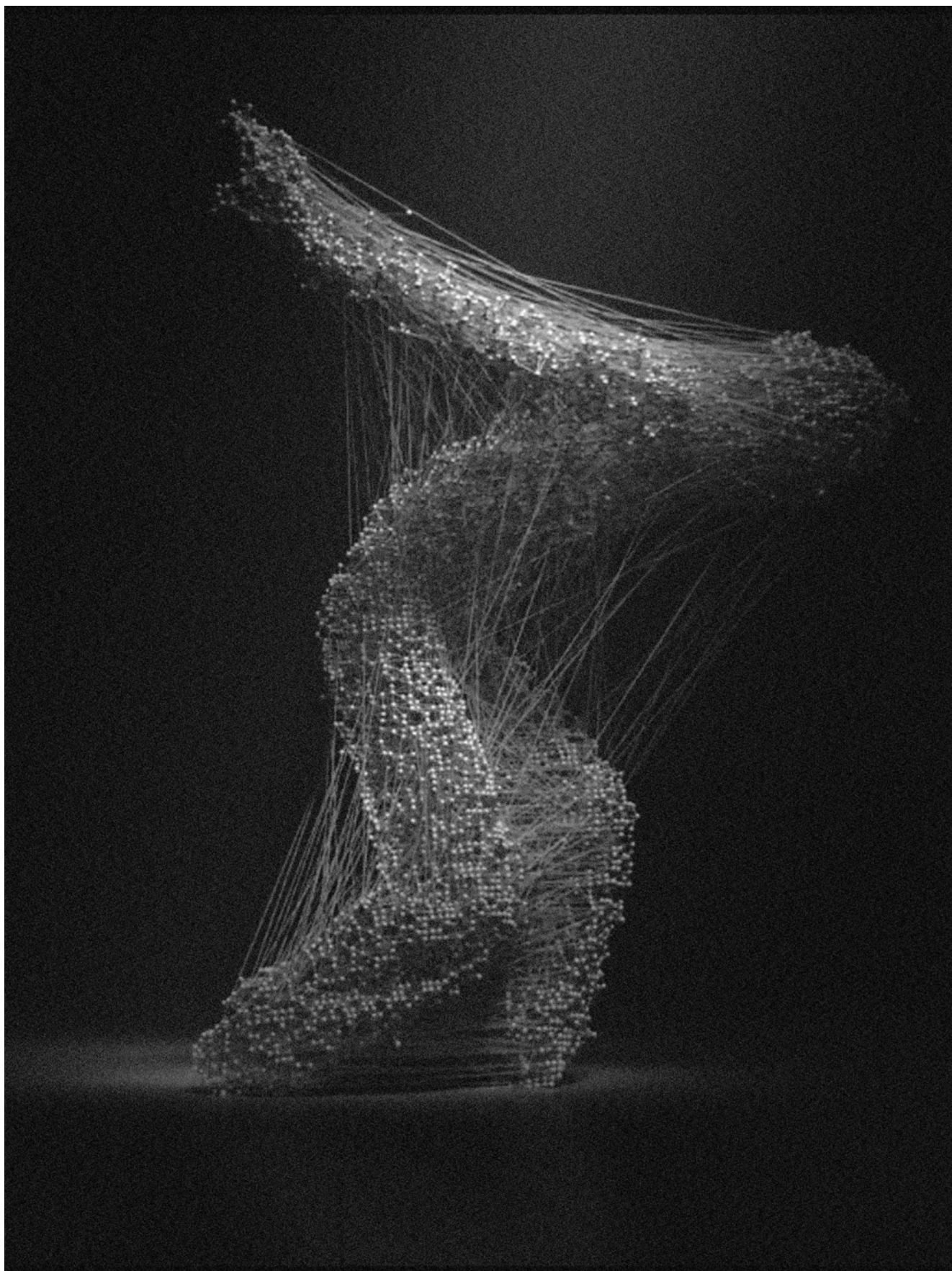
R. Graham et al., **Ramsey Theory**, John Wiley & Sons, 1990.

S. Radziszowski, **Small Ramsey numbers**, 2017 : <http://bit.ly/2h26G2o>

ÉNIGME 4

J.-P. Delahaye, **Persuader de son savoir sans le transmettre**, *Pour la Science* n° 399, pp. 88-93, janvier 2011.

O. Goldreich, **Probabilistic proof systems : A primer**, *Foundations and Trends in Theoretical Computer Science*, vol. 3(1), pp. 1-91, 2008.



© Pulsar

Danser pour mettre en échec les systèmes de reconnaissance automatique de mouvements suspects.

L'AUTEUR



LOÏC MANGIN
rédacteur en chef adjoint
à Pour la Science

LE BUG DES CYGNES

Une installation vous propose de pousser dans ses retranchements un dispositif de reconnaissance des mouvements, et de le mettre en panne.

E

n 2006, l'Agence nationale de la recherche (ANR) décidait de financer le projet CANADA (Comportements Anormaux: Analyse, Détection, Alerte), porté par le Laboratoire d'informatique de Lille. L'objectif était de pouvoir classer automatiquement les comportements d'individus afin de repérer de potentielles menaces. Les travaux, encore balbutiants, ont déjà un certain succès. Ainsi, en 2014, l'aéroport Schiphol d'Amsterdam s'est équipé de caméras «intelligentes» afin de repérer les mouvements suspects. Ce type de technologie est sans doute appelé à se développer et à envahir notre quotidien. Il va devenir difficile de courir sans attirer l'attention d'une caméra!

Cette problématique est au cœur du projet *Bodyfail* conduit par l'informaticien Clément Barbisan, le chorégraphe Jean-Marc Matos et l'artiste et designer Thomas Guillemet. Ils ont été réunis à l'occasion de la première édition du «Pulsar, The Open Art Prize» qui, sous le parrainage de Gilles Babinet (conseiller auprès de la Commission européenne sur les enjeux de l'économie numérique),

organise des rencontres entre les créateurs du monde artistique et ceux du monde digital. *Bodyfail* est l'un des dix finalistes qui seront départagés en octobre 2017, à Station F (l'incubateur de start-up inauguré en juin dernier), à Paris. Les œuvres des trois lauréats récompensés seront exposées à l'espace Centquatre, à Paris, en décembre.

DANSE AVEC LES BUGS

En quoi consiste le projet *Bodyfail*? En un mot, à faire dysfonctionner un dispositif de reconnaissance des gestes et des mouvements! Détaillons.

Dans une première étape, le trio élabore un algorithme qui analyse les gestes d'individus enregistrés par une caméra Kinect, celle des consoles de jeux basés sur la reconnaissance de mouvements. Le programme (des réseaux de neurones) est conçu à partir d'éléments déjà existants, modifiés et améliorés. Il est fondé sur un apprentissage automatique où la machine apprend pour s'adapter à de nouvelles situations et crée pour ce faire de nouveaux éléments de son propre programme.

Puis vient pour le dispositif une phase d'apprentissage. Grâce à une chorégraphie spécialement conçue, une danseuse lui proposera de nombreux gestes que l'on peut qualifier de «défaillants», c'est-à-dire qu'ils seront désordonnés, dissymétriques, instables... à l'inverse de ceux que nous accomplissons au quotidien. Ces mouvements

particuliers, ces motifs visuels, constitueront une base de données de référence. L'anormalité devient en quelque sorte la normalité.

Enfin, après cette préparation en amont, les visiteurs se confronteront à la machine. Dans un espace d'interactions, ils seront invités à bouger, à proposer de façon ludique des mouvements étonnants que l'installation leur renverra à la façon, par exemple, d'une représentation du corps par particules (voir la figure ci-contre) inspirée du projet *Asphyxia*.

Ces mouvements seront en outre comparés à ceux de la base de données. Et, en cas de coïncidence, ils déclencheront l'arrêt de la machine. Ainsi, un mouvement «suspect» ne déclenchera pas l'alerte, mais au contraire l'arrêt du système. En d'autres termes, la logique mise en œuvre dans l'espace public, notamment à l'aéroport Schiphol, est prise à son propre piège. C'est un pied de nez à la société de contrôle et de surveillance dans laquelle nous vivons.

Bodyfail évoque les travaux du Russe Grigory Bakunov dont l'algorithme crée des maquillages, quelques lignes bien placées sur le visage, qui déjouent les logiciels de reconnaissance faciale.

La prochaine fois que vous croiserez dans la rue un individu au visage barré de lignes sombres et faisant des gestes étranges dénués de toute logique, n'oubliez pas qu'il fait son intéressant: il essaie simplement d'être discret, du moins aux yeux des systèmes de surveillance déployés en milieu urbain... ■

Le site du «Pulsar, The Open Art Prize»: <https://www.pulsar.paris/>



Retrouvez la rubrique
Art & science sur
www.pourlascience.fr

LES AUTEURS



JEAN-MICHEL COURTY
professeur de physique
à l'université
Pierre-et-Marie-Curie,
à Paris



ÉDOUARD KIERLIK
également professeur
de physique à l'université
Pierre-et-Marie-Curie

LES TUBES HURLEURS

Des tuyaux en accordéon que l'on fait tourner rapidement produisent un son de hauteur bien définie. Ce n'est pas le cas avec des tuyaux lisses. Quel rôle jouent donc les corrugations des parois?

Le «tube hurleur» est un jouet musical qui chante lorsqu'on le fait tourner rapidement. La particularité de ce tuyau souple, long d'environ 70 centimètres, est d'être «corrugué», c'est-à-dire d'avoir des parois en accordéon comme un tuyau d'aspirateur. En plus d'être passablement assourdissante, cette production spontanée de son peut devenir problématique dans des installations industrielles, notamment les conduites de gaz. Les vibrations engendrées sont parfois assez intenses pour infliger des dégâts aux structures avoisinantes. Quelle est l'origine de ce son? Et de quoi dépend sa hauteur?

UN ÉCOULEMENT FORCÉ POUR PRODUIRE LE SON

Commençons par expérimenter en saisissant un tube hurleur par son extrémité et en le faisant tourner de plus en plus vite. À faible vitesse de rotation, rien ne se

passé. À partir d'une certaine vitesse, le tube produit une note, c'est-à-dire un son de hauteur (ou fréquence) bien définie. Accélérons encore le mouvement: à un deuxième seuil de vitesse, la note change et devient plus aiguë, puis, à un troisième seuil, la note devient encore plus aiguë, et ainsi de suite...

Avec un peu d'entraînement, le musicien amateur jouera à volonté quatre ou cinq notes différentes. Notes dont le mélomane reconnaîtra les intervalles. Entre les deux premières notes, il y a ainsi une quinte, c'est-à-dire un rapport de fréquences de $3/2$. Une octave sépare la troisième note de la première, ce qui correspond à une fréquence double. Ainsi, comme pour un clairon, les notes produites correspondent aux multiples $2f$, $3f$, $4f$ d'une fréquence fondamentale f (qui, elle, n'est pas produite de façon audible).

On reconnaît là les fréquences de résonance d'un tuyau cylindrique ouvert à ses



deux bouts: la période des ondes sonores est un sous-multiple ($1/n$, n étant un entier) du temps que met une perturbation acoustique pour effectuer un aller-retour dans le tuyau. Jusque-là, rien d'étonnant. Toutefois, une question se pose. Dans un clairon, le son a pour origine les vibrations des lèvres du musicien. Or ici, point de lèvres, ni d'anche comme pour la clarinette ou le hautbois, ni même de biseau comme pour la flûte. D'où vient alors le son?

Expérimentons à nouveau. En regardant l'extrémité mobile du tuyau fendre l'air, on pourrait penser qu'il se produit à cet endroit un phénomène équivalent à celui qui permet de jouer une note en