

Par exemple, lorsqu'on place un bonbon violet sur l'entrée du « fil » en bas à gauche de la grille de départ représentée dans l'encadré, on crée une chaîne de trois bonbons violets. Cette chaîne est effacée, conformément aux principes de base du jeu, ce qui déplace vers le bas les bonbons des deux colonnes concernées. Et ainsi de suite, le signal se propage et est transmis : à la fin, un bonbon violet apparaît dans la case de sortie.

Nous avons également besoin d'interrupteurs que l'utilisateur peut actionner pour décider quels fils sont actifs. Ces interrupteurs représentent le choix des valeurs de vérité (vrai ou faux) d'une proposition logique. L'utilisateur déplace un bonbon violet soit vers le haut, soit vers le bas, ce qui va envoyer un signal soit vers la gauche, soit vers la droite (voir l'encadré).

Enfin, on peut construire des portes logiques telles que ET, OU et NON à partir d'autres bonbons violets en utilisant ces composants de base. Il nous reste alors simplement à connecter les interrupteurs à ces portes logiques avec des fils suffisamment longs pour obtenir un circuit électrique qui simule notre formule logique. Le circuit électrique a alors une sortie qui représente la valeur de vérité de la formule logique.

En termes de circuits logiques électriques, jouer à Candy Crush consiste à décider judicieusement sur quels interrupteurs agir de façon que les portes logiques s'activent convenablement et que la sortie soit « vrai ». De cette manière, le problème consistant à satisfaire une formule logique est réduit à résoudre un problème dans Candy Crush. Et puisque satisfaire une formule logique est un problème difficile, il en va de même de la résolution d'une grille de Candy Crush.

On peut également montrer l'inverse. En d'autres termes, on peut réduire un problème Candy Crush à celui de la satisfaction d'une formule logique. Il faut simplement écrire une séquence de formules qui représentent le jeu sur une grille de Candy Crush. Or pour l'essentiel, une description logique de Candy Crush se trouve dans n'importe quel programme qui y joue. Par conséquent, Candy Crush

n'est pas plus difficile que l'un ou l'autre des problèmes NP-difficiles, et le jeu est exactement aussi difficile qu'il est difficile de résoudre tous les autres problèmes de la classe NP.

Si nous avions une manière efficace de jouer à Candy Crush, nous aurions un moyen efficace (et prouvable) d'organiser les tournées de livraison, de faire les tableaux de service des hôpitaux et les emplois du temps des lycées. Inversement, si nous avions un moyen efficace de préparer les tournées, faire les tableaux de service et les emplois du temps, alors nous disposerions d'un moyen efficace de jouer à Candy Crush. C'est toute la puissance de la réduction de problème.

**Pourquoi
ne pas profiter de
Candy Crush
pour que les joueurs
effectuent des calculs
longs et utiles ?**

La prochaine fois que vous calez pour résoudre une grille de Candy Crush avec le nombre de coups impartis, vous pourrez vous consoler en sachant que c'était un problème mathématiquement difficile à résoudre. De fait, cette caractéristique participe sans doute à l'attrait du jeu et à son caractère addictif. S'il était aussi facile à résoudre que le morpion, par exemple, il ne serait sans doute pas aussi captivant.

Au cœur de tout cela, il y a la belle notion de réduction de problème, qui a permis aux informaticiens de simplifier le labyrinthe des différents problèmes calculatoires en un nombre plus petit de classes fondamentales telles que P et NP, que les informaticiens appellent le zoo

de la complexité. Actuellement, ce zoo contient 500 classes de problèmes.

Dans l'hypothèse improbable où l'on démontrerait que $P = NP$, le nombre de classes distinctes du zoo de la complexité chuterait brutalement. De nombreuses classes se révéleraient être identiques. En revanche, si $P \neq NP$, comme le croient la plupart des informaticiens, alors le zoo contient effectivement de nombreuses classes distinctes de problèmes. En fait, le zoo continue à s'élargir. Les zoologistes de la complexité ont récemment introduit de nouvelles classes pour décrire la complexité des problèmes que pourraient résoudre de futurs ordinateurs quantiques.

L'idée de réduction de problème offre une possibilité intéressante pour les mordus de Candy Crush. Peut-être pourrait-on tirer parti des millions d'heures passées par l'humanité à résoudre des grilles de Candy Crush ? En exploitant l'idée de réduction de problème, nous pourrions dissimuler des problèmes calculatoires utiles dans ces casse-tête.

D'autres problèmes calculatoires bénéficient de telles interactions : chaque fois que vous prouvez à un site web que vous êtes une personne et non un robot en résolvant un Captcha (acronyme de *Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart*, « test de Turing complètement automatisé pour distinguer les ordinateurs des humains » – un tel test vous demande de taper une séquence de lettres et chiffres apparaissant déformés à l'écran), la réponse aide Google à numériser les anciens ouvrages et journaux. Peut-être devrions-nous atteler les casse-tête de Candy Crush à des tâches non moins importantes !

Nos études de Candy Crush nous ont inspiré un profond respect pour ce passe-temps apparemment anodin. Il offre un éclairage original sur l'une des questions ouvertes les plus importantes des mathématiques d'aujourd'hui, et les implications de cette question s'étendent à de nombreuses applications telles que les algorithmes de chiffrement utilisés pour garantir la sécurité des comptes bancaires. Vous pourrez ainsi expliquer ces enjeux supérieurs à votre patron la prochaine fois qu'il vous surprend à essayer de vous hisser un niveau plus haut ! ■

Changement

Les mauvaises

La montée du niveau des mers menace à long terme les populations des îles coralliennes. Mais l'aide précipitée qu'on leur apporte menace de leur faire plus de mal que de bien. Le cas des îles Kiribati, dans le Pacifique, illustre bien cette situation.

climatique

solutions de Kiribati

Simon Donner

L'ESSENTIEL

■ À long terme, l'habitat des petites nations des îles coralliennes risque d'être réduit par la montée du niveau de la mer.

■ Nombre d'organisations et d'États investissent de façon précipitée pour sauver ces nations pauvres de la menace, ce qui crée des problèmes inattendus.

■ Pour l'heure, la sédimentation a agrandi certaines îles, tandis qu'aucun lieu habité n'a été submergé.

■ L'accompagnement international de ces nations insulaires devrait être repensé à plus long terme.

Claire Martin Institute

LA MOITIÉ DE LA POPULATION des Kiribati vit dans l'atoll de Tarawa, formé d'étroites et luxuriantes îles.

Une fois de plus, j'ai atterri en serrant les dents pendant que l'avion roulait vite, bien trop vite, sur l'unique piste de l'aéroport de Tarawa-Sud. J'étais à trois jours de la fin d'un périple de trois semaines dans l'archipel de Kiribati et j'ai enfin vu ce que j'étais venu voir : l'océan en train de noyer une île corallienne.

Aidé par les grandes marées annuelles, le vent de nord-ouest poussait les vagues par-dessus les digues, de sorte que la mer envahissait les routes et les maisons de l'atoll surpeuplé, qui est aussi la capitale de l'État-archipel de Kiribati. Pour la première fois depuis qu'il y avait un marégraphe à Kiribati, la marée est montée ce jour-là trois mètres au-dessus de son niveau de référence... Persuadé que l'impact du réchauffement climatique serait évident dans ce pays en développement et manquant de

L'AUTEUR



Simon DONNER est maître de conférences en climatologie au département de géographie de l'université de la Colombie-Britannique, à Vancouver au Canada.

savoir-faire technique, j'étais venu constater le phénomène sur place. J'étais servi : nous étions alors en 2005 et le futur était arrivé !

Nous sommes aujourd'hui en 2015 et aucune des îles coralliennes de l'archipel de Kiribati n'est noyée. Je suis par ailleurs revenu dix fois étudier l'adaptation de la petite nation kiribatienne aux effets du réchauffement climatique, et jamais le marégraphe n'est remonté au niveau de 2005... Pour autant, la menace que la montée des océans fait peser sur les îles basses, telles Tuvalu, les îles Marshall, les Maldives ou encore les Kiribati est bien réelle... mais à long terme. À court terme, les efforts précipités et les nombreuses bonnes intentions de la communauté internationale pourraient faire plus de mal que de bien. Il n'est pas urgent de réparer les îles, ni de les évacuer, comme je vais l'expliquer ici.

Au cours des dix années passées à étudier le climat et le régime des marées de Kiribati, j'ai aussi étudié leurs habitants et ils m'ont étudié. Ils m'ont par exemple testé en m'invitant à m'asseoir pendant des heures en tailleur dans leurs assemblées ; ils m'ont demandé des miracles pour réparer sans outils leur matériel de plongée, m'ont soigné de la dengue et fait aussi bénir par leurs anciens... Infiniment plus instructive que tout ce que j'aurais pu faire depuis mon bureau, cette expérience de terrain m'a ouvert les yeux : non, les Kiribatiens ne sont pas de pauvres victimes sans défense face à la mer ; il est clair qu'actuellement, ils n'ont pas besoin d'ériger des murs ou d'évacuer des habitants ; ce dont ils ont besoin, c'est d'élaborer des



LES KIRIBATIENS disposent de mille moyens d'agir contre la menace océanique. Ci-dessus, une femme et son fils sont en train d'entretenir la digue qui les protège. Ci-contre, un homme a choisi de vivre dans une maison sur pilotis.

