

Cette dernière situation est la plus fréquente, d'une part parce qu'il y a des corps sans solution et d'autre part parce qu'il arrive souvent qu'un point de départ conduise à une boucle même quand il existe une solution. La phrase sans *e* n'a pas été trouvée une seule fois par le programme, bien qu'il ait essayé 200 000 points de départ.

Il arrive aussi que l'on ne trouve pas de solution parce que l'on n'a pas poussé assez loin les itérations : certaines solutions n'apparaissent qu'après plus de 10 000 itérations. Dans la plupart des cas, on les trouve toutefois avant 5 000 itérations, et souvent avant 2 000. Par ailleurs, une solution obtenue après beaucoup d'itérations pour un point de départ peut l'être avec bien moins d'itérations pour un autre point de départ. Il est donc préférable d'augmenter le nombre de points de départ et de diminuer le nombre d'itérations.

Avec des valeurs assez grandes pour les nombres de points de départ et d'itérations, le programme trouve au moins une solution pour plus de la moitié des corps. Le nombre total de solutions est encore plus élevé à cause des solutions multiples : il vaut environ trois quarts du nombre de corps essayés.

Ces méthodes réussissent parce que, l'expérience le montre, la probabilité est grande qu'il existe une solution pour un corps quelconque. Elles sont toutefois inefficaces pour trouver une phrase sans *e*, parce qu'il est très improbable qu'un corps conduise à une telle solution : on ne peut utiliser qu'à peine la moitié des nombres inférieurs à 30 (et aucun au-delà), et la probabilité que tous les 18 nombres cherchés soient dans cet ensemble est faible. Aussi ai-je construit sans l'aide de l'ordinateur la phrase sans *e* citée plus haut. J'ai d'abord choisi les nombres affichés pour chaque lettre. En enlevant les lettres de ces nombres de l'ensemble des lettres décrit par ces mêmes nombres, j'ai obtenu l'ensemble des lettres du corps : si je décide que la phrase contiendra cinq *q*, j'enlève une unité pour le *q* qui est dans cinq que je viens d'affecter à *q* ; le corps de la phrase contiendra quatre *q* (dont la lettre isolée). J'enlève aussi un des quantités affectées aux lettres *c*, *i* et *n*. Ayant ainsi obtenu les lettres du corps, j'ai recherché un anagramme constituant une phrase correcte au point de vue de la syntaxe et du sens. Mon choix initial des nombres affichés a été guidé par les fréquences des lettres en français, afin de maximiser mes chances de résoudre ensuite l'anagramme.

«Au fond, est-ce bien utile de savoir que cette phrase contient cinq *a*, deux *b*, huit *c*, huit *d*, vingt *e*, quatre *f*, cinq *g*,

six *h*, vingt-deux *i*, un *j*, un *k*, deux *l*, un *m*, vingt-deux *n*, cinq *o*, trois *p*, sept *q*, cinq *r*, huit *s*, dix-neuf *t*, vingt *u*, six *v*, un *w*, huit *x*, un *y* et enfin un *z*?» De nombreux problèmes du monde réel, à cause de liens très étroits entre différents domaines, ont les mêmes caractéristiques que la construction de phrases réflexives : chaque action a des répercussions importantes sur la situation et détruit ce qui était satisfaisant.

L'évolution des espèces, par exemple, est mue par un tel mécanisme, selon l'hypothèse de la Reine Rouge proposée par Leigh Van Valen : si l'une des espèces qui exploitent un milieu évolue dans le sens d'une meilleure adaptation, accroissant ainsi son succès reproductif, elle diminue la qualité de l'adaptation des autres espèces. Ces dernières évoluent alors pour survivre, annulant ainsi l'avantage de la première. De même, la protection d'un carnivore devenu rare dans un milieu naturel a des répercussions sur la survie de ses proies, qui peuvent à leur tour se raréfier exagérément. Les hommes politiques veulent tous relancer l'économie et réduire le chômage : ils prennent une mesure qui paraît raisonnable pour le but cherché, mais qui a des conséquences imprévues et néfastes sur d'autres points ; cela les oblige à prendre une autre mesure pour y remédier, mais cette nouvelle mesure a des conséquences négatives pour le but initial. Il serait intéressant de trouver des méthodes efficaces pour résoudre de tels problèmes.

En outre, la méthode utilisée donne de bien meilleurs résultats que ce que nous attendions. Capte-t-elle une régularité encore inconnue du problème, voire du monde ? Y a-t-il d'autres problèmes pour lesquelles une méthode analogue obtient des succès contre toute attente ? Le succès est-il dû à l'utilisation d'un mécanisme évolutif, où l'on corrige systématiquement les erreurs décelées sans se préoccuper des conséquences souvent néfastes de ces corrections ? Nous sommes surpris, et il est toujours utile de réfléchir pour comprendre les raisons d'une surprise.

Jacques PITRAT est directeur de recherche CNRS au Laboratoire d'informatique de l'Université Paris 6.

Jacques PITRAT, *Ce titre contient quatre a, un b, cinq c...*, rapport de recherche 96/26 du LAFORIA (Paris 6). Ce rapport contient le listing du programme C qui a créé ces phrases réflexives. Il est téléchargeable à l'adresse <http://www.apa.lip6.fr/META/pitrat.html>

Douglas HOFSTADTER, *Ma Thémagie*, InterEditions, 1988.

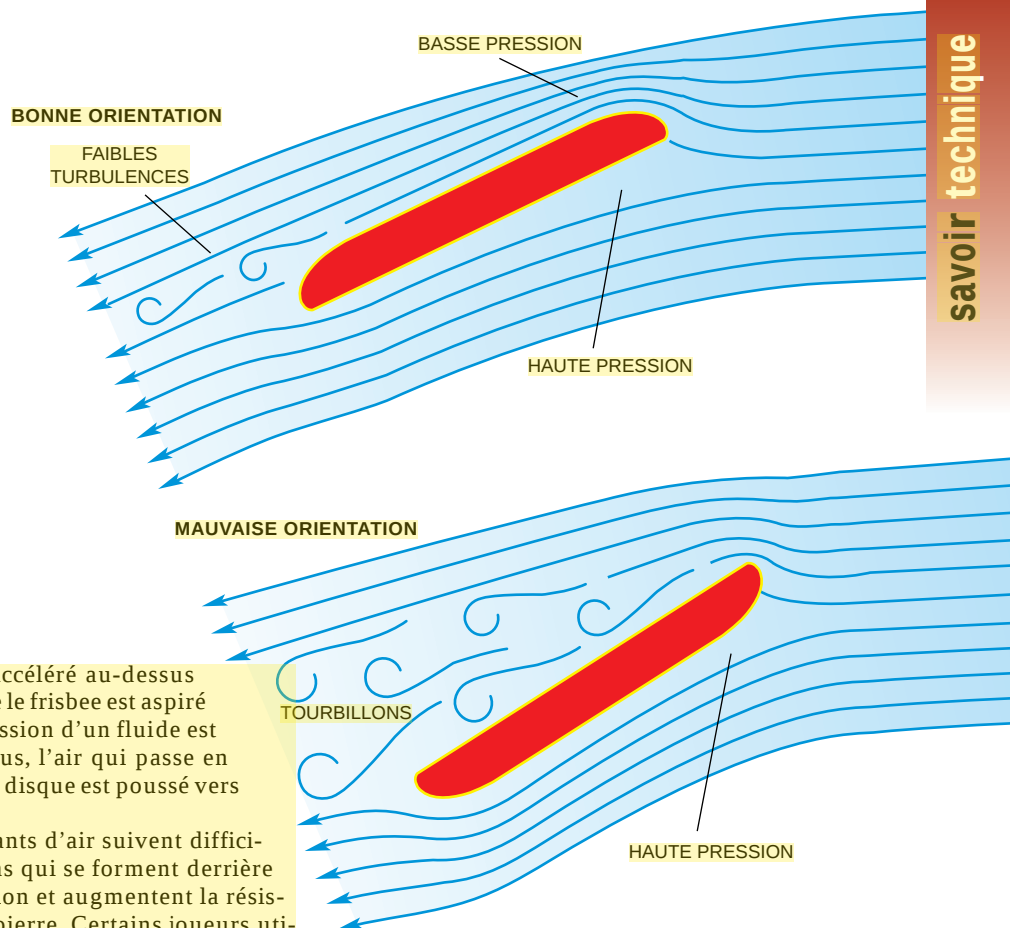
Le vol du frisbee

LOUIS BLOOMFIELD

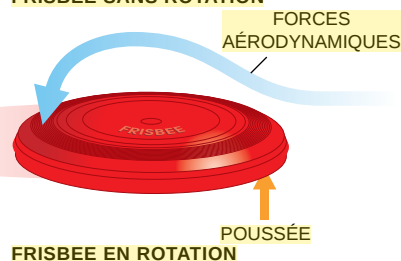
Les frisbees modernes ne ressemblent plus beaucoup aux plats à tarte de la Société *Frisbie Pie* et que s'amusaient à lancer les étudiants et les militaires américains il y a plusieurs décennies. Cependant, les mêmes phénomènes assurent la sustentation des deux objets : la poussée aérodynamique s'ajoute à l'effet gyroscopique.

EN VOL, le disque fend l'air : celui-ci est accéléré au-dessus du frisbee (filets d'air resserrés), de sorte que le frisbee est aspiré vers le haut (selon la loi de Bernoulli, la pression d'un fluide est réduite quand la vitesse augmente). De plus, l'air qui passe en dessous du disque est dévié ; par réaction, le disque est poussé vers le haut.

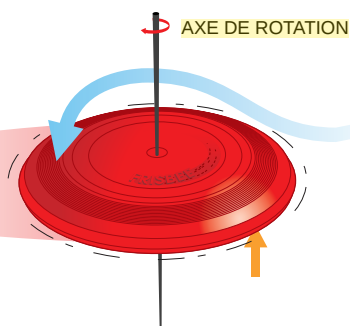
Un frisbee vole mal à l'envers, car les courants d'air suivent difficilement une surface concave. Des tourbillons qui se forment derrière le frisbee détruisent le phénomène de succion et augmentent la résistance à l'air : le frisbee tombe comme une pierre. Certains joueurs utilisent cet effet pour des lancers difficiles à rattraper.



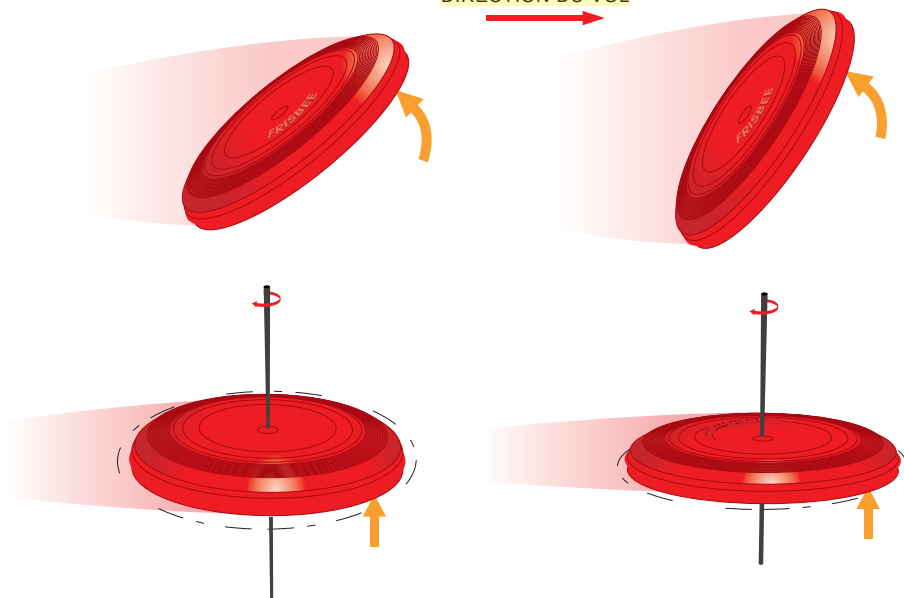
FRISBEE SANS ROTATION



FRISBEE EN ROTATION



DIRECTION DU VOL



LA ROTATION joue un rôle crucial. Sans elle, même un frisbee bien orienté oscille et tombe comme une feuille morte, car les forces aérodynamiques ne sont pas parfaitement centrées : la succion est plus importante à l'avant du frisbee, qui peut se relever et se retourner. En revanche, un frisbee en rotation maintient longtemps son orientation grâce à l'effet gyroscopique, que l'on observe nettement quand on soulève l'avant d'un vélo et qu'on fait tourner la roue avant : on tourne alors difficilement le guidon, la rotation

s'opposant aux couples qui tendent à changer le plan de rotation de la roue.

La silhouette adaptée d'un frisbee place les forces ascensionnelles presque en son centre. Plus épais, les bords du disque augmentent le moment cinétique – donc la stabilité –, tandis que les rainures à la surface du frisbee produisent des turbulences microscopiques dans l'air. Ces turbulences maintiennent les courants d'air supérieurs collés à la surface du frisbee et lui permettent de s'envoler plus loin.

Science de la Terre

Les volcans

Claude Jaupart. Éditions Flammarion, 1998.

Au-delà d'un titre un peu galvaudé (une douzaine de livres homonymes sont aujourd'hui en vente), on découvre un ouvrage original et attendu. En 128 pages judicieusement illustrées, Claude Jaupart situe de manière synthétique les enjeux de la volcanologie moderne et fait le point des voies de recherche et des connaissances dans sa discipline. Par un discours clair et accessible, sans jargon scientifique inutile qui en limiterait la portée, l'auteur brosse un tableau général du phénomène volcanique, des principes physiques qui le régissent, jusqu'à la manière dont on envisage la prévention de ce risque naturel, en passant par ses principaux produits et par les aspects sociologiques de la question.

Dans son ouvrage, Cl. Jaupart présente les concepts modernes en volcanologie dans toute leur diversité. La complexité des phénomènes naturels est prise en compte par un faisceau d'études couplées, allant de l'observation naturaliste, traditionnelle et indispensable, à l'utilisation de méthodes chimiques, physiques et mathématiques, qui font appel à de multiples développements techniques et méthodologiques. L'auteur nous entraîne ensuite dans une réflexion sur les relations entre les volcans et les hommes, qui nous conduit naturellement aux enjeux et aux techniques de la surveillance et de la prévision ; il conclut à la nécessité de prendre en compte le phénomène volcanique de manière globale, à travers tous les phénomènes élémentaires qui le déterminent.

La prévention du risque volcanique a pris de l'importance, car le monde contemporain développe deux caractéristiques : la concentration urbaine et l'intensification du transport aérien. On estime que 500 millions de personnes sont exposées au risque volcanique. Durant les cinq derniers siècles, plus de 200 000 personnes ont perdu la vie en raison d'éruptions et, depuis le début du siècle, la mortalité annuelle liée aux volcans a triplé par rapport aux siècles précédents. Cela n'est pas dû à un accroissement de l'activité vol-

canique, mais, en partie, au développement de l'information et des moyens de recensement des victimes et, surtout, à l'augmentation de la population et à sa concentration dans des zones à risque. Près de la moitié des habitants de la planète vivent dans des villes, et cette proportion s'accroîtra encore dans l'avenir. Cette évolution est surtout sensible dans les pays en développement, dont la faiblesse économique ne permet pas des investissements adéquats en infrastructures. Parallèlement, les zones urbaines dépendent de plus en plus de leur environnement : elles deviennent vulnérables. Au Chili, au Mexique, aux Philippines, beaucoup sont situées à portée d'éruption. Or la surconcentration urbaine fait apparaître des risques supplémentaires, au cas où une évacuation serait déclenchée d'urgence ; le relogement serait, également, bien plus problématique.

Le trafic aérien, qui s'accroît chaque jour, pâtit également des volcans : durant les 20 dernières années, plus d'une centaine d'avions, au cours d'une liaison aérienne ou au sol, ont fait les frais d'une rencontre avec un nuage de cendres volcaniques à la dérive. Une telle rencontre est dangereuse, parce que la température dans les réacteurs est suffisamment forte pour fondre les cendres et bloquer les moteurs de l'appareil. D'autre part, les cendres peuvent provoquer une perte de visibilité, contaminer le système de climatisation et bloquer l'appareillage électronique. Enfin, le pouvoir érosif des cendres, ainsi que celui de l'acide sulfurique provenant du dioxyde de soufre libéré par l'éruption, peut provoquer d'importants dégâts. Des milliers de passagers se sont ainsi retrouvés en danger, mais l'issue n'a jamais été tragique. En revanche, les réparations nécessaires ont coûté très cher, et le trafic a été gravement perturbé, essentiellement dans les zones au Nord et à l'Ouest du Pacifique. L'identification de ce risque a suscité la mise en œuvre d'une coopération originale entre les communautés météorologiques, volcanologiques et aéronautiques.



Les fronts de lave ne peuvent généralement être arrêtés.

Comment s'accommoder des caprices des volcans ? Il faut d'abord les comprendre. Dans l'imagerie populaire, la volcanologie est encore, souvent, associée à des figures d'aventuriers robustes et enthousiastes, prêts à gravir les pentes abruptes, le visage protégé par un mouchoir ; le géologue, lui, est souvent considéré comme un glaneur de petits cailloux. Pourtant cette image nous renvoie plusieurs décennies en arrière, et bloque une appréhension moderne de la volcanologie, de ses enjeux et de ses méthodes. Il est révélateur que cet ouvrage nous soit proposé par un géophysicien de renommée mondiale, qui s'est initialement fait connaître par ses travaux sur le flux de chaleur terrestre et qui est aujourd'hui capable de rivaliser sur le terrain avec nombre de géologues plus naturalistes.

Comme le souligne très bien Cl. Jaupart, la compréhension du phénomène volcanique ne peut se réduire à l'étude de quelques cailloux ou de quelques photographies de coulées de lave, aussi jolies soient-elles. Le phénomène doit faire l'objet d'une appréhension globale, dans le temps, dans l'espace. Un volcan n'est que la partie émergée d'un système enraciné à des centaines de kilomètres sous la surface du Globe, et son activité est la résultante d'une multitude de phénomènes, de la convection dans le manteau à la fracturation des roches de l'encaissant, en passant par la différenciation des magmas et l'individualisation de la phase gazeuse. La prévision des éruptions passe nécessairement par la compréhension de tous ces phénomènes.

À une époque où l'on est préoccupé des retombées économiques directes de la recherche scientifique et où certains s'émeuvent du faible nombre de brevets déposés par les chercheurs, l'exemple de la prévention du risque volcanique illustre le fait que certains travaux difficiles à valoriser par des brevets sont indispensables pour la compréhension de phénomènes économiquement importants.

Le livre de Cl. Jaupart comble une lacune. Alors que la littérature volcanologique francophone est essentiellement constituée d'albums photographiques, d'ouvrages classiques décrivant dans le détail la diversité des appareils volcaniques ou de leurs dépôts, et de recueils spécialisés, ce document présente une vision globale du phénomène. Il doit être lu par quiconque veut avoir une idée moderne des développements actuels de la volcanologie et de la manière dont se comprend aujourd'hui la prévention du risque volcanique.

Jean de BREMOND d'ARS