

CABINET DE CURIOSITÉS SOCIOLOGIQUES par Gérald Bronner



La souris et l'effet papillon

Un incident récent au Maroc illustre le fait que, dans les sociétés humaines aussi, de petites causes peuvent avoir de grands effets imprévisibles.

Une curieuse affaire est survenue récemment dans une mosquée au Maroc : une petite souris a fait 81 blessés. Cet événement présente de l'intérêt pour qui veut penser la complexité des phénomènes sociaux.

Que s'est-il passé le 13 juillet 2015 à la mosquée Hassan II de Casablanca ? Difficile de le savoir exactement, mais les témoignages indiquent que le bâtiment religieux, plein comme un œuf pour la nuit du Destin, un moment important du Ramadan, a été le théâtre d'une panique collective. À l'origine, une souris se serait faufilée dans la salle dévolue à la prière des femmes et l'une d'elles se serait mise à crier. Les autres femmes ont-elles aussi vu la souris ? Toujours est-il que plusieurs se sont mises à hurler à leur tour et à s'enfuir, amplifiant le premier moment de terreur. Le mouvement s'est alors étendu aux autres croyants qui, probablement sans connaître l'origine de la panique, ont contribué à une bousculade de grande ampleur.

Ce qui est frappant ici, c'est qu'une cause minuscule, dans tous les sens du terme, a eu des conséquences importantes et difficilement prévisibles.

Dans l'une de ses nouvelles de science-fiction intitulée *Un coup de tonnerre*, Ray Bradbury narre une histoire se déroulant en 2055 et mettant en scène un chasseur nommé Eckels. Celui-ci résiste difficilement à la proposition d'une agence de voyage lui offrant d'aller chasser le tyrannosaure 60 millions d'années plus tôt. Un tel voyage est périlleux et le protocole imposé par l'agence de voyage est drastique : il ne faut pas prendre le risque de modifier l'histoire universelle. Une passerelle flottant à quelques centimètres de sol lui sert de frontière à ne dépasser en aucun cas. Un incident contraint malgré tout Eckels à poser un pied sur le sol du Mésozoïque. Rien de grave semble-t-il. Pourtant, à son retour en 2055, les choses paraissent changées : un fasciste vient d'arriver au pouvoir, le climat n'est plus du tout le même, etc. Sous la botte de Eckels, il y a non seulement de la boue, mais aussi un papillon écrasé par inadvertance. L'avertissement donné par Bradbury est clair : la moindre modification dans un système peut aboutir à des conséquences vertigineuses.

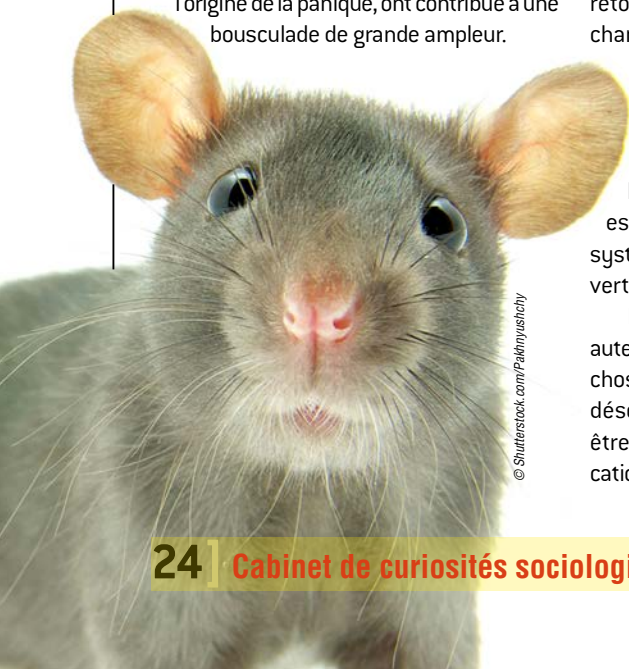
Difficile de savoir si la nouvelle du célèbre auteur de science-fiction y est pour quelque chose, mais la figure du papillon incarne désormais cette idée qu'un système peut être profondément altéré par une modification infime de ses conditions initiales. En

physique, c'est le météorologue américain Edward Lorenz qui popularisa cette idée, notamment lors d'une conférence de 1972 intitulée : « Le battement d'ailes d'un papillon au Brésil peut-il provoquer une tornade au Texas ? ». La réponse à cette question est à présent bien connue du grand public sous le nom d'effet papillon et constitue souvent une introduction idéale à la notion de chaos déterministe.

L'hypersensibilité aux conditions initiales rend assez bien compte de l'anecdote tragique de la souris dans la mosquée et de nombre de faits sociaux qui, pour cette raison, appartiennent sans doute à la famille des phénomènes chaotiques. Ici, le contexte de tension et de crainte d'une action terroriste, notamment durant le Ramadan, a dû contribué à l'interprétation par excès dont ont été victimes les nombreux croyants présents ce soir-là à Casablanca. En même temps, on constate que cette panique s'est dissipée et n'a pas essaimé au-delà des murs de la mosquée. C'est là un exemple passionnant pour qui cherche à modéliser les phénomènes sociaux.

Cette anecdote nous rappelle aussi un fait simple, mais qui donne à méditer : les systèmes dans lesquels nous vivons sont étonnamment solides, car ils paraissent souvent indifférents à de nombreuses perturbations, et en même temps paradoxalement fragiles quand ils se montrent, de façon imprédictible, hypersensibles à certaines conditions initiales. ■

Gérald BRONNER est professeur de sociologie à l'université Paris-Diderot.



© Shutterstock.com/Pakinyushchy

Le site de référence de l'actualité scientifique internationale

Les gluons nous posent encore des colles

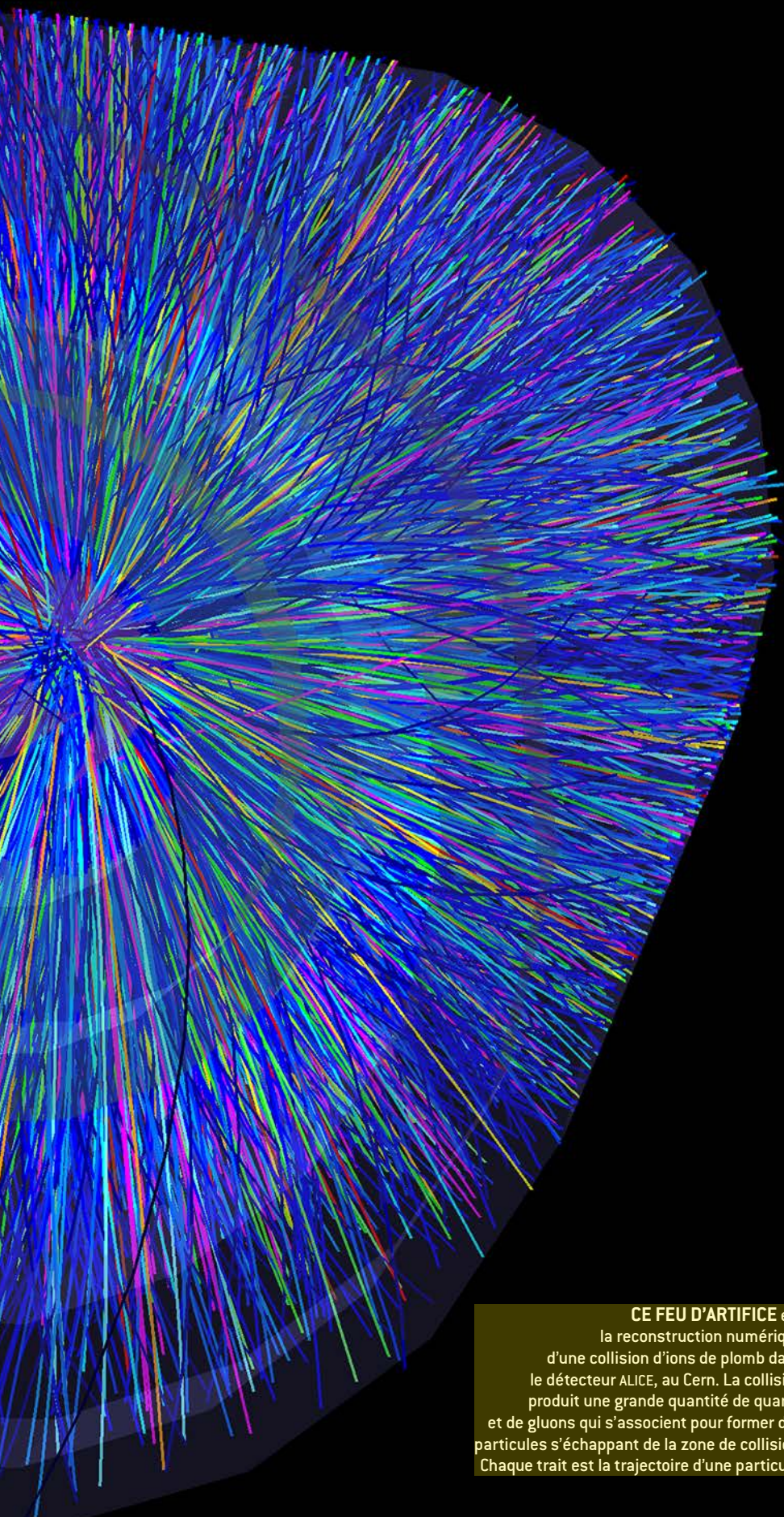
Rolf Ent, Thomas Ullrich et Raju Venugopalan

En liant les quarks, les gluons assurent la cohésion du proton ou du neutron, ainsi que celle des noyaux atomiques. Par quels mécanismes ? Les physiciens n'ont pas encore toutes les réponses.

L'ESSENTIEL

- Les particules du noyau atomique et d'autres sont composées de quarks, liés entre eux par des gluons.
- Les physiciens cherchent à comprendre les propriétés du proton et du neutron, telles que leur masse ou leur spin, à partir de celles des quarks et des gluons.
- Malgré de nombreux progrès, des énigmes demeurent.
- Grâce à des expériences futures, les physiciens comprendront mieux les assemblages de quarks et de gluons, voire découvriront de nouveaux états de la matière.

© CERN/ALICE



CE FEU D'ARTIFICE est la reconstruction numérique d'une collision d'ions de plomb dans le détecteur ALICE, au Cern. La collision produit une grande quantité de quarks et de gluons qui s'associent pour former des particules s'échappant de la zone de collision. Chaque trait est la trajectoire d'une particule.

Pour certains philosophes grecs de l'Antiquité, les atomes étaient les plus petits constituants de l'Univers. Or les physiciens du XX^e siècle ont cassé l'atome, révélant des ingrédients plus petits encore : des protons, des neutrons et des électrons. Par la suite, ils ont montré que les protons et les neutrons étaient eux-mêmes constitués de particules plus petites, les quarks, maintenues solidaires par des gluons, des particules qui servent de « colle » comme leur nom l'indique. Grâce à diverses expériences, les chercheurs ont découvert que la structure des protons et des neutrons cache un foisonnement de particules : trois quarks, mais aussi des gluons et une « mer » de paires quark-antiquark qui naissent et disparaissent en permanence.

Les expériences ont en outre montré que les protons et neutrons ne sont pas les seules particules de l'Univers à être constituées de quarks. Une multitude d'autres particules, collectivement nommées hadrons, sont des assemblages de trois quarks ou des combinaisons d'un quark et d'un antiquark.

Depuis l'hypothèse de l'existence des quarks, émise il y a près de cinquante ans, les physiciens ont développé une théorie pour décrire les interactions des quarks et des gluons. Cette théorie a été confirmée auprès des accélérateurs de particules, mais, malgré une bonne compréhension de la façon dont les quarks et les gluons interagissent, certaines propriétés de ces particules échappent encore aux chercheurs. Par exemple, les physiciens ont tenté d'expliquer les caractéristiques des protons, des neutrons et des autres hadrons à partir de celles des quarks et des gluons, mais ils se heurtent à des difficultés. Ainsi, la somme des masses des quarks et des gluons contenus dans un proton est très

loin de rendre compte de la masse totale du proton, ce qui nous laisse face à une première question : d'où provient le reste ? Nous ne comprenons pas non plus comment une grandeur quantique, le spin (le moment cinétique intrinsèque) du proton, découle des spins des quarks et des gluons qu'il contient : la somme de ces spins ne correspond pas à celui du proton.

Si les physiciens parvenaient à répondre à ces questions, nous pourrions comprendre comment la matière fonctionne à son niveau le plus fondamental, mais aussi comment

se comportait l'Univers à ses premiers instants. L'étude des quarks et des gluons conduit en effet à étudier des états exotiques de la matière qui ont été ceux de l'Univers primordial.

Pour comprendre pourquoi les rouages de la physique des quarks et des gluons sont si difficiles à appréhender, prenons l'exemple du calcul de la masse du proton, qui taraude les physiciens depuis longtemps. Nous avons une relativement bonne compréhension de la façon dont les particules fondamentales (voir l'encadré ci-dessous)

acquièrent leur masse. D'après le modèle standard de la physique des particules, le mécanisme est lié au boson de Higgs et au champ de Higgs associé, qui est omniprésent dans l'espace. Les interactions d'une particule avec ce champ lui confèrent une masse (qui est proportionnelle à l'intensité de ces interactions). Le boson de Higgs, clef de voûte du modèle standard, a été découvert en 2012 au LHC (le *Large Hadron Collider* ou Grand collisionneur de hadrons) du Cern, près de Genève, confirmant ainsi une nouvelle fois la validité de cette théorie.

On entend souvent dire que le mécanisme de Higgs est à l'origine de la masse de toute la matière visible dans l'Univers, mais cette affirmation est incorrecte. Cette matière est constituée d'atomes, donc principalement de protons et de neutrons. Or la masse des quarks qui les composent ne représente que 2% de leur masse. Les 98% restant seraient le fait des gluons, qui sont pourtant dépourvus de masse (ils n'interagissent pas avec le champ de Higgs).

Pour comprendre la nature de la contribution des gluons, il faut se rappeler la célèbre relation de la théorie de la relativité restreinte d'Albert Einstein, $E = mc^2$, qui montre une équivalence entre la masse m d'une particule au repos et son énergie E , la lettre c désignant la vitesse de la lumière dans le vide. En principe, il faudrait donc déterminer l'énergie des gluons pour obtenir celle du proton ou du neutron, et en déduire la masse correspondante $m = E/c^2$.

Les gluons font 98 % de la masse du proton

Il est difficile de calculer l'énergie des gluons, en partie parce qu'elle provient de plusieurs contributions. Quand une particule est libre, c'est-à-dire non liée à d'autres, son énergie est celle de son mouvement (l'énergie cinétique) ; mais les quarks et les gluons ne sont pratiquement jamais libres. Ils ne subsistent en tant que particules libres que très brièvement (moins de 3×10^{-24} seconde) avant de se retrouver liés au cœur des hadrons. L'énergie d'un gluon ne provient donc pas seulement de son mouvement ; elle résulte aussi de l'énergie dépensée dans sa liaison avec les autres particules, les quarks.

Pour calculer la masse du proton, il faut donc bien comprendre comment les gluons « collent ». Quel a été, pour ce faire, le cheminement des physiciens ? Revenons

LES PARTICULES FONDAMENTALES

Les composants des noyaux atomiques contiennent deux types de particules fondamentales : des quarks et des gluons. Les gluons sont des bosons (particules de spin entier). Les bosons fondamentaux (colonne de droite), hormis le boson de Higgs, véhiculent les forces fondamentales. Les gluons transmettent l'interaction forte, qui lie les quarks au sein des protons et des neutrons. Les autres particules fondamentales (colonnes de gauche) sont des fermions (particules de spin demi-entier) et se divisent en leptons (tel l'électron) et en quarks. Il existe six types de quarks, parmi lesquels les types *u* et *d* sont prépondérants (ils composent les protons et les neutrons).

		Génération I		Génération II		Génération III			
Fermions	Quarks	1/2	+2/3	1/2	+2/3	1/2	+2/3	1	0
		<i>u</i>	0,002 3	<i>c</i>	1,275	<i>t</i>	173,5	Gluon [interaction forte]	0
		1/2	-1/3	1/2	-1/3	1/2	-1/3	1	0
	<i>d</i>	0,004 8	<i>s</i>	0,095	<i>b</i>	4,18	Z [interaction faible]	91,188	
	Leptons	1/2	0	1/2	0	1/2	0	1	±1
		Neutrino électronique	< 2 × 10 ⁻⁹	Neutrino muonique	< 0,000 19	Neutrino tauique	< 0,001 82	W [interaction faible]	80,385
1/2		-1	1/2	-1	1/2	-1	0	0	
Électron	0,000 511	Muon	0,105	Tau	1,776	Higgs	~125		
Masse croissante des fermions →									