

L'article précise en outre : « Bien que la théorie présentée ici ne traite que des amas dont les particules ont des trajectoires circulaires, il n'y a pas d'objection sérieuse au fait que des cas plus généraux aient des résultats similaires. La "singularité de Schwarzschild" n'apparaît pas parce que la matière ne peut pas être concentrée arbitrairement. Cela est dû au fait que, sinon, les particules atteindraient la vitesse de la lumière. »

Jean Eisenstaedt, dans l'encadré, a tort de tourner Einstein en ridicule avec son image du ressort. Einstein dit sa conviction que le rayon de Schwarzschild est infranchissable de toute façon (c'est-à-dire qu'un trou noir ne peut se former par effondrement gravitationnel). Ce fait a été démontré par N. Stavroulakis (*Gazette des mathématiciens*, 31, 119 (1986)).

Pourquoi les démonstrations prouvant la formation de trous noirs dans le cadre de la relativité générale sont-elles erronées ? Deux sources d'erreurs fréquentes sont purement mathématiques : un changement de variables non bijectif, et l'utilisation globale du théorème de Birkhoff, qui n'est vrai que localement. La troisième source d'erreurs est aussi épistémologique : le rayon de Schwarzschild a une signification périmétrique, pas celle d'un rayon. Il s'agit d'un rayon de courbure.

Des trous noirs ont-ils été observés, même indirectement ? Il en existerait au centre de galaxies en rotation rapide, telle M87 (voir *Lumière et trous noirs*, *Pour la Science*, mai 1996). Toutefois, la présence, au centre de cette galaxie, d'un amas d'étoiles suffisamment massif expliquerait tout autant les observations, en utilisant des formules démontrées par Einstein dans son article de 1939. Ironie de l'histoire ?

Michel MIZONY, Lyon.

Réponse de Jean Eisenstaedt

Albert Einstein n'a pas été le seul ni le dernier à douter que sa théorie permette la formation de trous noirs. De nombreux scientifiques ont longtemps voulu, et encore aujourd'hui, démontrer que le rayon de Schwarzschild était infranchissable. Ils n'acceptent pas le caractère courbe de l'espace et ses conséquences extrêmes, en particulier les singularités de la théorie, lieux où la physique et l'Univers trouvent leur limite, qu'il s'agisse du Big Bang ou de l'horizon de Schwarzschild. Qu'Einstein ne fût pas clair sur ces questions en 1939 n'est pas si étonnant. Son opinion était liée à son refus qu'il puisse exister des singularités dans sa théorie. Précisément toutefois, le rayon de Schwarzschild n'est pas singulier : c'est un horizon derrière lequel une étoile peut disparaître.

Il n'y a aucune raison d'exiger des changements de coordonnées « bijectifs » : en relativité générale, à cause de la covariance générale des équations, la notion de coordonnées n'a pas de sens physique *a priori*. La question a été résolue mathématiquement par Georges Lemaître dès 1932 : la soi-disant singularité de Schwarzschild est perméable.

La vraie question est celle de l'équilibre d'une étoile. D'un côté, les forces gravitationnelles sont proportionnelles à la masse de l'étoile : elles augmentent sans limite avec celle-ci. De l'autre, les forces de « cohésion » de la matière sont limitées par l'équation de compressibilité de la matière en question : elles ne peuvent pas équilibrer n'importe quelle force gravitationnelle. La relativité générale prévoit donc que des étoiles peuvent disparaître derrière leur horizon et former des trous noirs.

Vaches en queue de poisson

Les vaches ont toujours été folles, comme le prouve le texte suivant de l'essayiste américain du milieu du XIX^e siècle Henry David Thoreau (*sic*) (extrait de *Walden ou la vie dans les bois*) : « Le bruit court qu'il arrivait que les vaches étaient ici parfois nourries de têtes de morues[...] Ce récit est courant chez les voyageurs et est peut-être une calomnie, mais il y a plus de 1 000 ans que les Latins et les Grecs ont répété que telle ou telle nation nourrissait ses bovins, ou ses chevaux, ou ses moutons, avec du poisson, comme on peut le voir chez Elie et Plinie l'Ancien ; dans le *Journal* de Néarque, qui était l'amiral d'Alexandre, et qui accomplit un voyage de l'Indus à l'Euphrate, 326 ans avant J.-C., il est dit que les habitants de cette partie de la côte, nommés Ichthyophages, c'est-à-dire mangeurs de poisson, non seulement mangeaient du poisson cru, mais qu'ils broyaient des poissons dans une vertèbre de baleine, dont ils se servent comme mortier, et que la pâte ainsi obtenue était donnée à leurs bovins, car il n'y a pas d'herbe sur cette côte, et d'autres voyageurs, dans les temps modernes, Braybosa, Niebuhr et alii rapportent le même fait. ».

Qui sait si Caligula, Eliagabal, et autres empereurs extravagants, n'avaient pas consommé trop de vache ou de poisson ? Plutôt que du saturnisme que l'on évoque parfois dans leur cas, ne faut-il parler d'« empoisonnement bovin » ?

Pierre TROTIGNON, Lille

La vache folle : une suite d'erreurs

JEAN-JACQUES DUBY

L'épizootie d'encéphalite spongiforme bovine, après avoir tué 160 000 bovins et touché le quart des exploitations britanniques, est réduite à quelques dizaines de cas par semaine. Nul ne sait si cette diminution se poursuivra jusqu'à l'éradication.

Les déclarations du ministre de l'Agriculture britannique sur dix cas de maladie de Creutzfeldt-Jakob atypiques posent la question d'une éventuelle transmission à l'homme de la maladie de l'animal.

D'où l'«affolement» : la consommation de viande bovine et les cours ont chuté de 30 à 40 pour cent dans les pays européens. Une crise économique frappe le secteur de l'élevage, l'industrie de la viande et sa distribution.

Analysons le déroulement de cette crise à la lueur des erreurs commises.

Le manque de connaissances scientifiques est le handicap majeur. L'erreur des responsables britanniques a été de ne pas lancer des recherches en 1985 ou 1986, dès qu'il fut acquis que l'encéphalite spongiforme bovine progressait rapidement. Le risque a été sous-estimé. Lorsque, dix ans après, les politiques ont besoin de réponses scientifiques pour résoudre la crise, les spécialistes ont peu progressé sur l'agent infectieux ou sur le mode de transmission, encore moins sur un test de contamination ou sur un vaccin. De telles recherches n'auraient pas abouti sur tous les plans, mais on serait certainement plus avancé, et les décideurs ne seraient peut-être pas obligés de jouer «à l'aveugle», dans un tragique *zeitnot* où ils sont piégés.

La crise de la vache folle est une catastrophe technologique causée par l'homme. Si les éleveurs anglais n'avaient pas transformé des ruminants en carnivores, rien ne serait arrivé. Certains philosophes ou sociologues stigmatiseront une dérive : les valeurs de la nature – la vache qui mange de la bonne herbe au grand air – et le respect du consommateur sont passés au second plan. Peut-être, mais la décision fatale, qui a été d'autoriser la production de farines moins chauffées, relève d'une imprévoyance trop commune : les impératifs économiques ont pris le pas sur le contrôle du risque. Remarquons à cet égard que l'assouplissement de la réglementation,

au début des années 1980, a été favorisé par un transfert de l'autorité de contrôle des fabricants britanniques d'aliments pour bétail, du ministère de l'Agriculture vers le ministère de l'Industrie. Je pense que la réglementation aurait été moins laxiste si les farines avaient contenu des ingrédients artificiels : on pense trop souvent que seul ce qui est créé par l'homme est potentiellement dangereux, ce qui vient de la nature, inoffensif...

LE PRINCIPE DE PRÉCAUTION EST-IL APPLICABLE ?

Le risque le plus grave reste la transmission à l'homme. On craint aujourd'hui que ce risque n'existe, mais on ignore son ampleur éventuelle : aussi les conditions typiques du principe de précaution s'appliquent-elles. L'interdiction de la consommation de certains abats de bovins et l'embargo européen sur les bovins anglais relèvent de ce principe. Le coût est énorme : la Grande-Bretagne exportait l'équivalent de 500 millions de livres sterling par an. L'abattage du cheptel coûtera des milliards de livres.

Ces mesures douloureuses visent autant à restaurer la confiance du consommateur qu'à réduire le risque de contamination humaine. Si cette contamination existe, mais a une incidence du même ordre de grandeur que la maladie de Creutzfeldt-Jakob classique, le risque est limité à quelques dizaines de décès par an, et l'on peut juger le coût actuariel de chaque vie sauvée exorbitant.

Toutefois, des scientifiques comme le microbiologiste Richard Lacey, de l'Université de Leeds, craignent que la maladie de Creutzfeldt-Jakob atypique ne soit une maladie nouvelle, une «encéphalite spongiforme bovine humaine», différente de l'affection classique, transmise par l'ingestion de viande provenant de bêtes atteintes d'encéphalite spongiforme, et dont l'incidence pourrait être beaucoup plus élevée. R. Lacey évoque des centaines, voire des milliers de décès dans les prochaines années.

Selon un scénario encore plus catastrophique, l'encéphalite spongiforme bovine serait transmissible à l'homme via les cochons ou les volailles qui continuent

à être nourris aux farines carnées et pourraient être contaminés : certes, cochons et poulets ne vivent pas assez vieux pour développer la maladie, mais ils pourraient multiplier l'agent pathogène. La seule précaution efficace serait d'interdire purement et simplement la fabrication de ces farines.

On peut se demander s'il n'y a pas eu longtemps un déficit de communication. Dans le milieu des années 1980, le gouvernement britannique n'a pas beaucoup diffusé les informations sur l'épizootie, ni semble-t-il la Commission européenne après 1990. La polémique sur le mécanisme de la maladie, et a *fortiori* sur une éventuelle transmission à l'homme, est restée confinée aux publications spécialisées. La grande presse n'a-t-elle couvert l'épizootie que d'une manière anecdotique, et sans insister sur la transmission humaine jusqu'au 20 mars 1996, date à laquelle elle a repris les déclarations du ministre, déclenchant la panique chez les consommateurs. Panique pour panique, il eût sans doute mieux valu qu'elle se produisît plus tôt : les dommages humains, si par malheur ils devaient être confirmés, en eussent été réduits, et les dommages économiques n'eussent pas été plus importants.

Les fautes d'appréciation des politiques, des responsables de la santé, et peut-être des médias, peuvent être diversement appréciées. Et les scientifiques ? Il est difficile de stigmatiser leur manque de connaissances sur ces maladies, pas plus qu'on ne peut leur reprocher de ne pas avoir encore découvert de vaccin contre le cancer ou le SIDA. En revanche, en minimisant la probabilité de transmission à l'homme dans son premier rapport, la Commission Southwood a commis une erreur culturelle. Les théories de Prusiner, leurs conséquences sur l'existence ou l'absence d'une barrière d'espèce n'auraient-elles pas dû être prises en compte ? Comme le reconnaît aujourd'hui R. Southwood, «le modèle de la tremblante paraissait [alors] le plus vraisemblable, mais il semble (maintenant) que nous ayons pu nous tromper...».

Faut-il alors passer la vache folle et sa possible transmission à l'homme par les pertes et profits du risque de développement ? L'histoire et, peut-être, les tribunaux, en jugeront. La multiplication des errements, le laxisme des réglementations, la mollesse et le retard des mesures administratives ne plaident pas pour une exonération totale des responsabilités.

Jean-Jacques DUBY est directeur général de l'École supérieure d'électricité et conseiller scientifique de l'UAP.