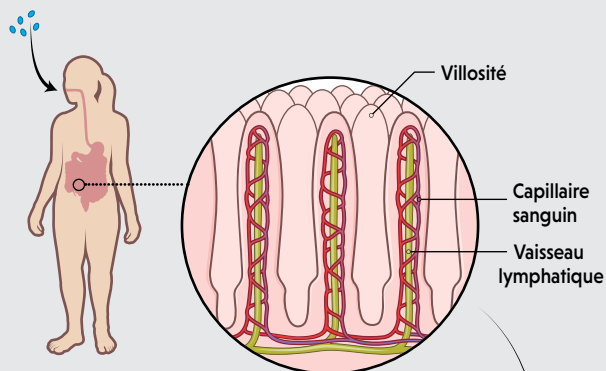


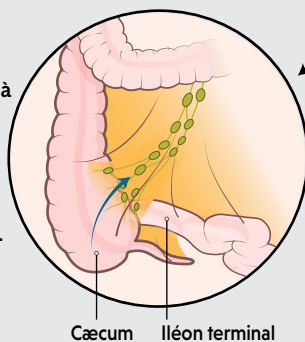
Forme gastro-intestinale

Les animaux vivant en troupeau sont particulièrement vulnérables à la maladie du charbon. En mangeant de la viande d'animaux malades, on peut contracter une infection au niveau des intestins, surtout si la viande est mal cuite.

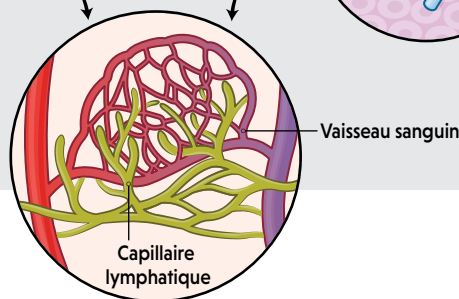


1 Bien que le mécanisme exact reste à préciser, les bactéries infectent les villosités de la paroi intestinale, vers l'extrémité de l'intestin grêle (iléon terminal).

2 Les bacilles se propagent parfois au-delà du système gastro-intestinal, à travers les vaisseaux lymphatiques.

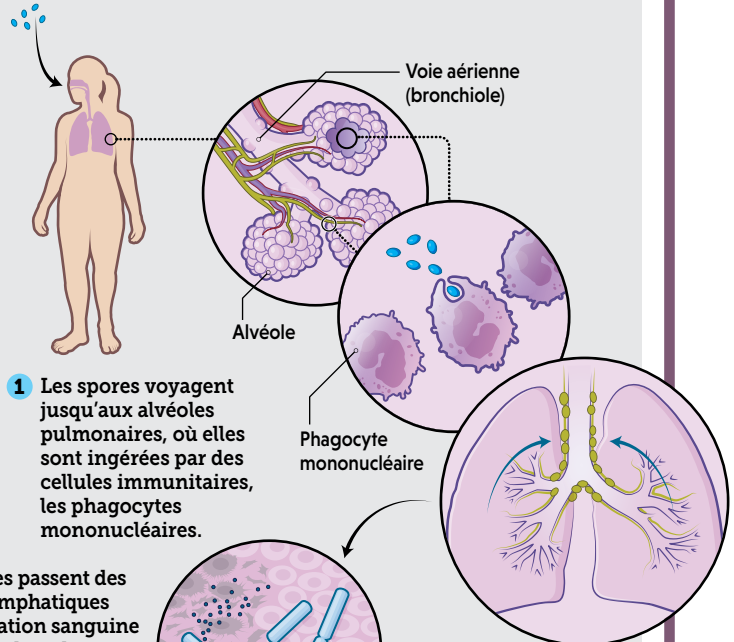


3 Les bacilles passent des canaux lymphatiques à la circulation sanguine et se répandent dans tout le corps.



Forme respiratoire

Cette forme la plus mortelle de la maladie apparaît lorsque les spores de *B. anthracis* sont inspirées. Les échantillons d'autopsie de l'épidémie de 1979 dans la ville de Sverdlovsk prouvent que les victimes sont mortes de cette maladie.



1 Les spores voyagent jusqu'aux alvéoles pulmonaires, où elles sont ingérées par des cellules immunitaires, les phagocytes mononucléaires.

2 Quand les spores atteignent les ganglions lymphatiques de la poitrine, elles se muent en bacilles, qui se multiplient et sécrètent des toxines.

de la souche de Sverdlovsk, notée *B. anthracis* 836. Grâce à cette empreinte moléculaire, les scientifiques peuvent désormais traquer cette souche au niveau global. En 2001, les chercheurs ont ainsi déterminé que l'attaque à la lettre piégée aux bacilles du charbon, qui a tué cinq personnes aux États-Unis, n'avait pas utilisé la souche de Sverdlovsk.

LE GÉNOME BACTÉRIEN RECONSTITUÉ

Enfin, en 2015, les avancées technologiques ont permis à Paul Keim et d'autres de reconstituer la séquence complète du génome de *B. anthracis* à partir des échantillons d'autopsie de deux victimes de Sverdlovsk. L'analyse, publiée en 2016, a montré que la souche *B. anthracis* 836 appartenait à un groupe bien connu, nommé Trans-Eurasia. De plus, les auteurs de l'étude n'ont trouvé aucune preuve de modifications génétiques destinées à

augmenter la virulence ou la résistance aux antibiotiques, ou à altérer la protection vaccinale.

Nul ne sait si des lots de *B. anthracis* produits par l'Union soviétique existent toujours. Dans les années 1990, à la suite d'un accord conclu entre les États-Unis, l'Ouzbékistan et le Kazakhstan, plusieurs tonnes de matériel contenant des spores ont été inactivées et certaines unités de production de ces républiques de l'ex-Union soviétique ont été converties à un usage civil, et ce sous l'œil vigilant de scientifiques internationaux. Cependant, en Russie, aucun groupe étranger n'a été autorisé à visiter, ni *a fortiori* à inspecter, les trois instituts du ministère de la Défense ou les cinq centres civils « antiépidémiques » qui ont joué un rôle dans la recherche et la production d'agents pour armes biologiques. Ce manque de transparence et divers autres indices laissent hélas planer un soupçon sur la poursuite par la Russie d'un programme d'armement biologique... ■

BIBLIOGRAPHIE

E. Aucouturier, **La Guerre biologique. Aventures françaises**, Éditions Matériologiques, 2017.

A history of anthrax, Centers for Disease Control and Prevention, 2016 : www.cdc.gov/anthrax/resources/history

C. Boddie et al., **Assessing the bioweapons threat**, *Science*, vol. 349, pp. 792-793, 2015.

M. Leitenberg et R. A. Zilinskas, **The Soviet Biological Weapons Program : A History**, Harvard Univ. Press, 2012.

R

ENDEZ-VOUS

P.74 Logique & calcul
 P.80 Art & science
 P.82 Idées de physique
 P.86 Science & fiction
 P.92 Chroniques de l'évolution
 P.96 Science & gastronomie
 P.98 À picorer

TRIVIAL, MAIS PUISSANT: LE PRINCIPE DES TIROIRS

Le «principe des tiroirs» est une évidence. Pourtant, depuis son introduction en théorie des nombres par Dirichlet, au XIX^e siècle, il s'est révélé être un levier de raisonnement d'une déconcertante efficacité.

L'AUTEUR



JEAN-PAUL DELAHAYE
 professeur émérite
 à l'université de Lille
 et chercheur au Centre
 de recherche en
 informatique, signal
 et automatique de Lille
 (Cristal)

Une vérité totalement évidente peut-elle être utile? Il semble que oui. Le principe des tiroirs, *pigeonhole principle* en anglais, ne fait qu'affirmer une vérité générale, simple et indubitable. Nous allons voir que, pourtant, s'appuyer sur lui produit d'intéressants et puissants résultats.

Le principe des tiroirs

Soit un meuble comportant n tiroirs dans lequel sont rangés m objets. Si $m > n$, alors au moins l'un des tiroirs contient deux objets ou plus.

Ce principe a été utilisé dans deux publications de 1842 du mathématicien allemand Johann Dirichlet qui, à ce moment-là, ne le nommait pas. Dans des publications ultérieures, il utilisera le mot *Schubfachprinzip* («principe des tiroirs» en allemand). Il est cependant difficile de savoir qui a vraiment été le premier à utiliser ce principe pour formuler un raisonnement mathématique. Il a très bien pu être découvert ou mis en œuvre sans même être explicité à n'importe quel instant depuis que les mathématiques existent.

Dans une étude historique publiée en 2014, Benoît Rittaud, de l'université Paris-13, et Albrecht Heeffer, de l'université de Gand, ont mis en évidence des utilisations du principe deux siècles avant Dirichlet (voir l'encadré 1). Reste que, presque toujours, on rapporte le principe à Dirichlet: on ne prête qu'aux riches. L'utilisation qu'en a fait Dirichlet a produit un résultat remarquable dont personne ne peut dire qu'il est évident.

La célèbre démonstration de Dirichlet est expliquée dans l'encadré 3 avec quelques conséquences et des détails montrant que le résultat est, en un sens, le meilleur possible.

TROIS EXEMPLES

À titre d'illustration de la puissance du principe des tiroirs, nous présentons une série d'exemples le mettant en œuvre, dans un ordre de difficulté croissante.

Résultat 1. Si $k+1$ nombres entiers (notés $n_0, n_1, \dots, n_k$) sont donnés, on peut en trouver deux dont la différence est un multiple de k . En particulier, si quatre nombres a, b, c et d sont donnés, il y en a deux dont la différence est un multiple de 3.

Démonstration. Prenons les nombres un à un et mettons-les dans k tiroirs portant les numéros $0, 1, \dots, k-1$. Pour ranger le nombre x , on calcule le reste de la division de x par k , et ce reste indique le tiroir où le déposer. D'après le principe des tiroirs, deux nombres se retrouveront dans un même tiroir. Puisque ces deux nombres ont le même reste quand on les divise par k , leur différence donne un reste nul quand on la divise par k . Leur différence est ainsi un multiple de k .

Résultat 2. Si l'on se donne 10 entiers quelconques composés de deux chiffres, il existe parmi eux deux sous-ensembles disjoints de nombres ayant la même somme. Par exemple, si l'on se donne $\{23, 35, 44, 61, 68, 70, 71, 82, 83, 95\}$, on trouvera que $\{23, 35, 95\}$ donne la même somme que $\{71, 82\}$: $23+35+95=153=71+82$.

Démonstration. Les sous-ensembles possibles de notre ensemble de 10 entiers sont au nombre de $2^{10}=1024$, car pour constituer un tel sous-ensemble, on opère 10 fois de suite le choix binaire: prendre le nombre ou ne pas le prendre. Quels nombres peut-on atteindre en faisant la somme des nombres de nos sous-ensembles? Un sous-ensemble comporte de 0 à 10 nombres compris entre 10 et 99; la somme



Jean-Paul Delahaye a récemment publié: **Les Mathématiciens se plient au jeu**, une sélection de ses chroniques parues dans *Pour la Science* (Belin, 2017).