

Les carrés perdus de Franklin

Des carrés magiques inconnus sont aujourd'hui encore extraits des œuvres du physicien américain.

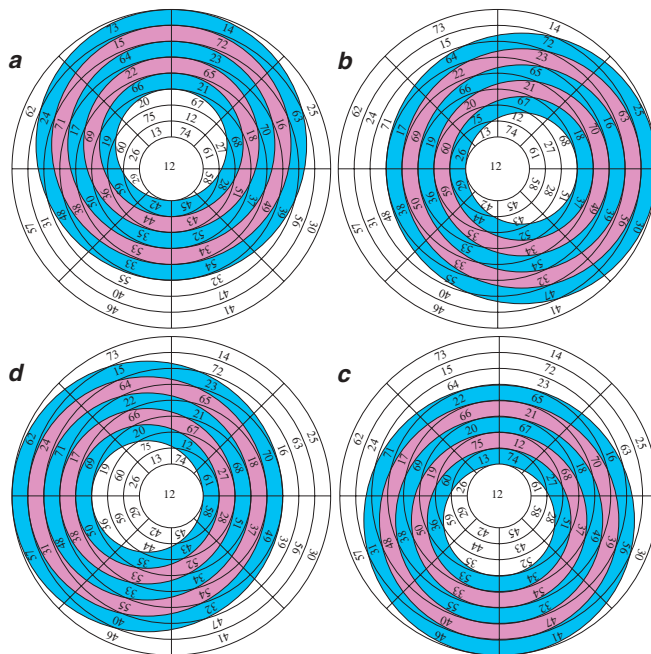
Benjamin Franklin (1706–1790) est célèbre pour être l'un des pères de l'indépendance des États-Unis et le père unique du paratonnerre. En revanche, son attrait pour les mathématiques semblait inexistant. Pourtant, l'étude des *Papiers de Benjamin Franklin* prouve le contraire : Paul Pasles, de l'Université de Villanova, en Pennsylvanie, a retrouvé, dans l'œuvre monumentale du physicien, qu'il s'intéressait aux carrés magiques et aux cercles magiques. Il en avait même construit certains dotés de propriétés rares, dont un qui est resté inédit jusqu'à ce jour.

Un carré magique est une matrice carrée à n colonnes et à n lignes. Les cases sont notées d'un entier naturel compris entre 1 et n^2 , sans répétition. Le carré est demi-magique lorsque seules les sommes des entiers de chaque ligne ou de chaque colonne sont égales à une constante, C , dite magique. Le carré est complètement magique quand les sommes des entiers sur les diagonales sont aussi égales à la constante magique. Un carré est dit magique à la façon de Franklin quand la somme des entiers sur les diagonales coudées est également égale à la constante magique. Une diagonale coudée va jusqu'au centre puis, au lieu de relier le sommet opposé au sommet initial, elle fait un angle de 90 degrés pour rejoindre le sommet adjacent au sommet initial.

L'un des carrés magiques redécouvert est un carré de huit cases de côté (voir la figure 1). Il est demi-magique : c'est là la moindre de ses propriétés ! La somme de chaque demi-rangee ou de chaque demi-colonne est égale à 130, soit la moitié de la constante magique. Ce carré se découpe ainsi en quatre carrés magiques ; la somme des nombres des 32 lignes que Franklin qualifie de «tordues», c'est-à-dire coudées, est aussi égale à la constante magique.

À partir d'un de ses carrés, Franklin a construit un cercle magique qui possède des propriétés remarquables (voir la figure 2) : les sommes de chacun de huit quartiers et celle de chaque anneau, concentrique (en blanc sur la figure) ou décentré (en bleu et en rose sur la figure) sont constantes. De plus, une rotation de 90, de 180 ou de 270 degrés des anneaux colorés laisse intacte cette propriété.

Le carré magique de Franklin qui n'a jamais été publié est un carré de 16 cases de côté (voir la figure 3). La constante magique est ici de 2 056. Tout d'abord, il est magique à la fois entièrement et à la façon de Franklin, car la somme de chaque demi-diagonale (en bleu et en mauve sur la figure 3) est égale à la moitié de la constante magique. La somme de chaque demi-colonne et de chaque demi-ligne est aussi égale à la moitié de la constante magique. La somme



2. Dans ce cercle magique, les sommes de chacun des entiers des huit quartiers de chaque anneau concentrique (en blanc) ou décentré (en bleu et en rose) sont constantes, même si l'on fait tourner les anneaux colorés de 90 (b), de 180 (c) ou de 270 degrés (d).

des nombres de chaque carré de quatre cases (cerné de vert sur la figure 3) est égale au quart de la constante magique : ainsi, la somme des nombres de n'importe quel carré de 16 cases (cerné de rouge sur la figure 3) est égale à la constante magique. Dans ce carré, la somme de chaque ligne tordue de huit cases (sur la figure 3, deux sont en vert et deux en jaune) est égale à la moitié de la constante magique. Enfin, la somme des cases de plusieurs lignes tordues décalées (en rouge sur la figure 3) est aussi égale à 2 056.

Plusieurs mathématiciens ont proposé, sans en être assurés, des méthodes pour construire ce carré. Selon P. Pasles, Franklin aurait utilisé une méthode dérivée de celle de Lo Shu, où les entiers sont placés selon les déplacements d'un cavalier : sur le carré de la figure 3, chaque nombre est éloigné de son prédécesseur ou de son successeur de deux cases dans un sens et de une dans l'autre. De telles figures magiques contredisent le physicien diplomate, qui selon ses propres dires, n'y entendait rien en matière de mathématiques.

52	61	4	13	20	29	36	45
14	3	62	51	46	35	30	19
53	60	5	12	21	28	37	44
11	6	59	54	43	38	27	22
55	58	7	10	23	26	39	42
9	8	57	56	41	40	25	24
50	63	2	15	18	31	34	47
16	1	64	49	48	33	32	17

1. Dans ce carré magique, la constante magique est égale à 260. Chaque carré délimité en blanc est aussi un carré magique. La somme de toute ligne, de toute colonne, de tout rectangle de deux cases sur quatre (entouré de rouge), de toute diagonale ou ligne coudée (en jaune) est égale à 260.

de chaque demi-diagonale (en bleu et en mauve sur la figure 3) est égale à la moitié de la constante magique. La somme de chaque demi-colonne et de chaque demi-ligne est aussi égale à la moitié de la constante magique. La somme

16	255	2	241	14	253	4	243	12	251	6	245	10	249	8	247
1	242	15	256	3	244	13	254	5	246	11	252	7	248	9	250
240	31	226	17	238	29	228	19	236	27	230	21	234	25	232	23
225	18	239	32	227	20	237	30	229	22	235	28	231	24	233	26
223	48	209	34	221	46	211	36	219	44	213	38	217	42	215	40
210	33	224	47	212	35	222	45	214	37	220	43	216	39	218	41
63	208	49	194	61	206	51	196	59	204	53	198	57	202	55	200
50	193	64	207	52	195	62	205	54	197	60	203	56	199	58	201
80	191	66	177	78	189	68	179	76	187	70	181	74	185	72	183
65	178	79	192	67	180	77	190	69	182	75	188	71	184	73	186
176	95	162	81	174	93	164	83	172	91	166	85	170	89	168	87
161	82	175	96	163	84	173	94	165	86	171	92	167	88	169	90
159	112	145	98	157	110	147	100	155	108	149	102	153	106	151	104
146	97	160	111	148	99	158	109	150	101	156	107	152	103	154	105
127	144	113	130	125	142	115	132	123	140	117	134	121	138	119	136
114	129	128	143	116	131	126	141	118	133	124	139	120	135	122	137

3. Ce carré magique de Benjamin Franklin a des propriétés remarquables, décrites dans le texte.

Le gobe-mouches, en retard au dîner

Les variations climatiques menacent les oiseaux migrants dont le départ est sonné par le Soleil et non par la température.

Les nombreuses espèces animales et végétales dont la vie est rythmée par le cycle annuel des saisons devront s'adapter à d'éventuels changements de ce cycle, au risque de disparaître. Des amphibiens et des oiseaux ont ainsi réagi à la hausse des températures printanières enregistrée dans les régions tempérées au cours des 20 dernières années en avançant leur période de reproduction. Toutefois, certaines contraintes entravent l'adaptation aux variations climatiques. Marcel Visser et Christaan Both du Laboratoire zoologique de l'Université de Groningen, aux Pays-Bas, ont montré que le gobe-mouches noir, oiseau migrateur pour qui le départ est déclenché par la durée du jour, arrive désormais trop tard sur son lieu d'habitation estival pour disposer d'une nourriture abondante, imposée par la température. Ce manque de nourriture réduit le succès reproducteur : les populations de gobe-mouches noir déclinent en Europe de l'Ouest.

Le gobe-mouches noir passe l'hiver dans la forêt tropicale africaine et remonte au printemps en Europe, où il se reproduit. Les femelles arrivent une semaine après les mâles et choisissent leur partenaire en fonction de la quantité de nourriture qui se trouve sur son territoire. Les premiers oisillons naissent quelques semaines plus tard.

Les oisillons se développent rapidement pendant les premières semaines de leur vie, et réclament une quantité importante de nourriture, composée d'insectes. Or la population d'insectes n'est pas constante au long de l'année : elle évolue en même temps que la propre nourriture des insectes, les feuilles des arbres. La forêt de Hoge Veluwe, où les populations de gobe-mouches ont été étudiées, est constituée de chênes, dont la pousse des feuilles est déclenchée par la température : la population d'insectes est maximale au printemps.

Pour que tous les oisillons d'une couvée se développent au mieux, il faut que les naissances coïncident avec la période où les insectes sont les plus nombreux. De plus, ils doivent s'adapter à d'éventuels changements de la population d'insectes.

Les deux zoologistes ont étudié les données enregistrées depuis 20 ans sur les populations de gobe-mouches noir, notamment leurs dates d'arrivée et de ponte, et ils les ont comparées au relevé des températures printanières. Au cours de cette période, la moyenne des températures printanières a augmenté de deux degrés, au Pays-Bas. On constate que les gobe-mouches avancent le moment de la ponte en même temps que la température augmente, sans doute parce que la pousse des feuilles est plus précoce et que l'abondance des insectes est décalée vers le tout début du printemps.

Toutefois, tous les oiseaux ne pondent pas en même temps, et les plus précoces ont davantage d'oisillons viables que les plus tardifs. Ainsi, le gobe-mouches tente de s'adapter au réchauffement (le début des pontes est décalé vers le début du printemps), mais les oiseaux qui n'y parviennent pas ont un faible succès reproducteur. De surcroît, l'écart se creuse d'année en année entre la période où les insectes abondent et celle de la ponte des gobe-mouches.

Le gobe-mouches s'adapte difficilement à l'augmentation des températures en raison de l'immuabilité de la date du départ de l'Afrique : la date d'arrivée ne change pas, tandis que celle de l'éclosion doit être avancée. Le choix du partenaire, la modification de la physiologie des femelles pour la ponte et l'incubation des œufs doivent être de plus en plus rapides : les gobe-mouches arrivent trop tard pour profiter au mieux des ressources de leur environnement estival.

Aujourd'hui, le déclin de la population de gobe-mouches noirs aux Pays-Bas s'est amorcé et le phénomène est également enregistré en Allemagne pour d'autres oiseaux migrants.



Jacana/ Manfred Danegger

La clef de listeria

On a élucidé les mécanismes par lesquels la bactérie Listeria monocytogenes franchit la barrière intestinale.

Les cas de listériose et les aliments qui en sont la cause défraient régulièrement la chronique. Cette maladie commence souvent par une gastro-entérite et se complique de méningites. La mortalité de la listériose est d'environ 30 pour cent des personnes atteintes. La bactérie, *Listeria monocytogenes*, est ingérée avec les aliments. Après être passée dans l'estomac, elle infecte les cellules intestinales, le tissu intestinal sous-jacent, puis rejoint le sang et atteint le système nerveux central et, chez les femmes

enceintes, le placenta. Ainsi, elle est capable de franchir trois barrières de l'organisme, réputées infranchissables : la barrière intestinale, la barrière hémato-encéphalique qui protège le cerveau et la barrière placentaire, qui préserve le fœtus. L'équipe de Pascale Cossart, de l'Institut Pasteur a mis au jour les mécanismes moléculaires par lesquels la bactérie traverse la première de ces barrières, celle constituée des cellules intestinales, les entérocytes.

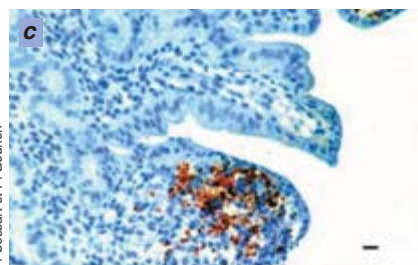
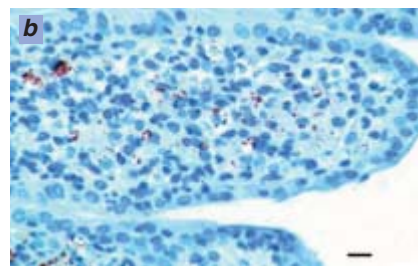
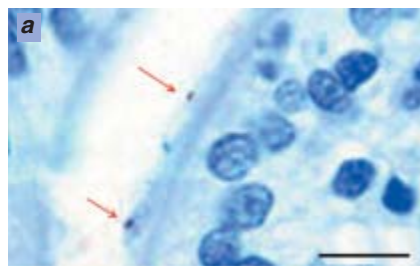
La bactérie porte, à sa surface, une protéine, nommée internaline, qui se lie avec une protéine présente à la surface des cellules intestinales, la E-cadhérine. Cette protéine assure l'adhésion des cellules entre elles et le maintien de l'étanchéité de la barrière intestinale. Lorsque le contact est établi entre la bactérie et la cellule, la membrane de cette dernière s'invagine, c'est-à-dire se creuse, et entoure

la bactérie qui pénètre ainsi dans la cellule enveloppée d'un fragment de membrane, la vacuole. Puis, grâce à des enzymes, notamment la listériolysine O, elle détruit cette vacuole. Dans une seconde étape, la bactérie se déplace de cellule à cellule en polymérisant l'actine, une protéine de la cellule qui lui confère sa forme. Elle atteint enfin la circulation sanguine.

Toutefois, toutes les E-cadhérines animales ne sont pas reconnues par l'internaline de *Listeria monocytogenes*. Par exemple, ces bactéries ne pénètrent pas dans les cellules intestinales de souris ni de rats. Quelle différence existe-t-il entre les E-cadhérines de ces organismes et celles, par exemple, des êtres humains ? La E-cadhérine humaine est identique à plus de 85 pour cent à celle du rat ou de la souris, cependant, elle diffère d'un acide aminé (le seizième), crucial

pour l'interaction avec l'internaline. Ainsi, l'interaction a lieu quand le seizième acide aminé est une proline, comme chez l'être humain, mais elle n'a pas lieu quand cet acide aminé est un acide glutamique (c'est le cas chez le rat ou chez la souris). Pour leur étude, les biologistes de l'Institut Pasteur ont utilisé, d'une part, des cobayes dont la E-cadhérine a aussi une proline en position 16, et, d'autre part, des souris qu'ils ont mises au point par transgénèse afin que leurs cellules intestinales produisent de la E-cadhérine humaine.

Ils ont ainsi montré que *Listeria monocytogenes*, ingérée oralement, franchit la barrière intestinale seulement chez les animaux dont la E-cadhérine a une proline en position 16. Toutefois, la E-cadhérine est enfouie entre les cellules intestinales. Comment la bactérie *Listeria monocytogenes* l'atteint-elle? Les cellules intestinales ont une durée de vie de trois jours, puis sont remplacées par de nouvelles cellules. Les bactéries profi-



P. Cossart et P. Gounon

tent peut-être du constant renouvellement de ces cellules pour se glisser entre elles au moment où l'une d'elles se détache. Ou bien utilisent-elles un autre facteur d'invasion, la protéine InlB, dont on a montré, sur des cellules en culture, qu'elles déstabilisent les jonctions intercellulaires et rendent ainsi les E-cadhérines accessibles à la bactérie *Listeria monocytogenes*.

Quand on aura totalement élucidé les mécanismes d'entrée de la bactérie dans l'organisme, on pourra peut-être les utiliser pour introduire, dans les cellules intestinales ou dans des cellules plus profondes, des médicaments, voire même des gènes thérapeutiques.

La bactérie *Listeria monocytogenes* (les flèches) franchit la barrière intestinale, ici d'un cobaye, grâce à une molécule qui se lie à une protéine de la membrane des cellules intestinales. Après 72 heures (b), les bactéries infectent les villosités de l'intestin, et, trois jours plus tard (c), y forment des foyers infectieux. Chaque trait noir représente 10 micromètres.

Mort subite

Il y a plus de 2 000 ans, à Pompéi, les cendres brûlantes du Vésuve ont figé les organes des victimes de l'éruption, en vaporisant instantanément l'eau qu'ils contenaient.

Le 24 août 79, le Vésuve est entré en éruption, ravageant Pompéi et Herculaneum. Quelque 300 habitants d'Herculaneum se sont réfugiés sur la plage et dans les 12 hangars à bateaux qui s'y trouvaient. Les fouilles des années 1980 et 1990 avaient mis au jour la plage et six de ces hangars. Les archéologues avaient enlevé les squelettes, bijoux et autres objets, mais n'avaient pas étudié *in situ* l'effet produit par les matières volcaniques sur les corps. Depuis 1997, dans deux des six hangars, Pier Paolo Petrone, Giuseppe Mastrorosso et leurs collègues de l'Université Frédéric II de Naples ont découvert 80 squelettes enterrés sous les cendres volcaniques. Pour la première fois, on a étudié la biologie de ces vestiges : ils indiquent que les victimes n'ont pas été asphyxiées, mais tuées instantanément par la chaleur, lorsqu'une vague de poussières et de gaz brûlants s'est abattue sur eux.

Moins connue que Pompéi, la ville d'Herculaneum a subi la même catastrophe. Dans l'Antiquité, elle se trouvait sur la route littorale qui rejoint Naples et Pompéi, à une dizaine de kilomètres de Naples. Accrochée aux dernières pentes du Vésuve, elle était installée sur une falaise d'environ 20 mètres de hauteur surplombant la mer. Les fouilles y ont été plus difficiles qu'à Pompéi, où les cendres, transportées par le vent, ont formé des couches peu épaisses (cinq à six mètres), sans consistance et perméables à l'eau. À Herculaneum, des débris volcaniques,



Pier Paolo Petrone

Les squelettes mis au jour dans les hangars à bateaux d'Herculaneum ont été figés dans la position des victimes au moment de la mort, par une sorte de sarcophage de cendres. L'étude bioarchéologique *in situ* n'a révélé aucun geste d'agonie, confirmant que la mort a été instantanée.