

> ces fluctuations à l'aide d'un outil statistique performant issu de la mécanique quantique. Le test, dit de fluctuation, fournit un résultat en faveur de la première hypothèse: les mutations surviennent de manière aléatoire, indépendamment de la présence du virus.

Dans leur expérience, Luria et Delbrück étudient la mutation, certes, mais de façon très indirecte. Ils n'ont pas accès à la cellule qui a muté, mais à la colonie qui en résulte des générations plus tard. Ils ne suivent pas non plus la mutation elle-même, mais déduisent son occurrence de la résistance qu'elle confère. Enfin, la mutation recherchée est sous forte sélection, puisque la survie de la bactérie en dépend. C'est donc une prouesse qu'ont réalisée Marina Elez, Lydia Robert et leurs collègues.

DES ERREURS LUMINEUSES

Le système expérimental permet de suivre en temps réel, sur cellules isolées d'*E. coli*, la dynamique des mutations et leurs effets sur le succès reproducteur des bactéries, caractérisé ici par leur vitesse de division. Il a nécessité la mise au point d'une structure microfluidique élaborée où il est possible de suivre les générations bactériennes pendant plusieurs jours (voir l'encadré ci-contre). On y visualise par ailleurs les mutations à l'aide d'une technique biologique inventive.

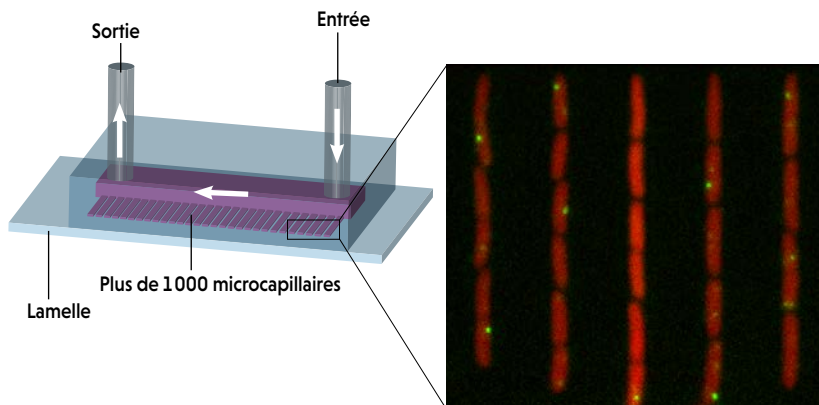
La majorité des mutations sont dues à des erreurs de lecture lors de la réplication – la duplication du chromosome bactérien. Or un système moléculaire reconnaît ces erreurs et les répare. Il est constitué de plusieurs protéines qui agissent séquentiellement. La protéine MutS reconnaît une erreur sur un brin d'ADN, ce qui recrute la protéine MutL, laquelle confirme l'erreur. Puis l'enzyme MutH interagit avec MutL et coupe le brin, qui est ensuite réparé.

Toutefois, si on inactive le gène *mutH*, la réparation n'a pas lieu, bien que tout le jeu des protéines en amont se déroule normalement. La protéine MutL s'accumule alors transitoirement à l'endroit de l'erreur, le temps de la synthèse locale de l'ADN qui, comme la réparation n'a pu se produire, présentera une mutation ponctuelle. Les biologistes ont utilisé cette accumulation pour visualiser les mutations à venir en fusionnant le gène *mutL* avec celui d'une protéine fluorescente, visible quand on l'éclaire à une certaine longueur d'onde.

En suivant des bactéries ainsi modifiées sur 200 générations (trois jours), ils ont détecté 3000 points fluorescents, survenant à une vitesse de 0,32 mutation par

UNE POUPONNIÈRE DE BACTÉRIES

Pour suivre pendant plusieurs jours l'évolution de bactéries isolées, les chercheurs ont cultivé ces cellules dans plus d'un millier de microcapillaires si étroits que les cellules en division y restent alignées. Une cellule mère a été placée au fond de chaque capillaire. À chaque fois qu'elle se divise, elle donne une nouvelle génération : deux cellules filles dont une reste au fond. Ce sont ces cellules « du fond » qui sont observées toutes les 4 minutes pendant 3 jours, ce qui correspond à 200 générations. Les mutations apparaissent sous la forme de points fluorescents.



heure. En revanche, la bactérie non modifiée, capable de réparer son ADN, ne subit que 0,0022 mutation par heure (le spot lumineux y dure plus longtemps quand l'ADN n'est pas réparé, ce qui distingue les erreurs conduisant à des mutations). Ainsi, en 60 heures, une lignée issue d'une cellule mère unique incapable de réparer ses mutations en a accumulé 20, tandis qu'une lignée issue d'une cellule normale n'en a acquis que 0,1 – ce qui montre la performance du système de réparation.

Mais comment vivent des cellules qui ont accumulé 20 mutations en 60 heures? En analysant la vitesse de croissance de chaque lignée, les chercheurs ont estimé leur succès reproducteur. Résultat : 1% seulement des mutations étaient létales. Les mutations non létales, quant à elles, ne modifiaient la vitesse de croissance des lignées que de 0,32%, ce qui est insignifiant. Ainsi, les mutations, dans leur grande majorité, sont neutres ou quasi neutres, c'est-à-dire qu'étant ni favorables ni défavorables à la bactérie, elles ne portent pas à sélection.

Il y a un demi-siècle, le généticien japonais Motoo Kimura proposait sa théorie neutraliste de l'évolution, alors controversée. Si celle-ci est aujourd'hui communément admise, Marina Elez, Lydia Robert et leurs collègues en ont désormais apporté une preuve expérimentale éclatante. On attend avec impatience le suivi des mutations dans un environnement changeant, plus drastique... ■

BIBLIOGRAPHIE

L. Robert et al., **Mutation dynamics and fitness effects followed in single cells**, *Science*, vol. 359, pp. 1283-1286, 2018.

M. Elez et al., **Seeing mutations in living cells**, *Curr. Biol.*, vol. 20, pp. 1432-1437, 2010.

S. Luria et M. Delbrück, **Mutations of bacteria from virus sensitivity to virus resistance**, *Genetics*, vol. 28, pp. 491-511, 1943.

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION
DÈS MAINTENANT !**



N° 487 (mai 18)
réf. PL487



N° 486 (avril 18)
réf. PL486



N° 485 (mars 18)
réf. PL485



N° 484 (févr. 18)
réf. PL484



N° 483 (janv. 18)
réf. PL483



N° 482 (déc. 17)
réf. PL482



N° 481 (nov. 17)
réf. PL481



N° 480 (oct. 17)
réf. PL480



N° 479 (sept. 17)
réf. PL479



N° 478 (août 17)
réf. PL478



N° 477 (juil. 17)
réf. PL477



N° 476 (juin 17)
réf. PL476



À retourner accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service VPC – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science, au tarif unitaire de 9,50 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. _____ x 9,50 € = 9,50 €

2^e réf. _____ x 9,50 € = _____ €

3^e réf. _____ x 9,50 € = _____ €

4^e réf. _____ x 9,50 € = _____ €

5^e réf. _____ x 9,50 € = _____ €

6^e réf. _____ x 9,50 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

Offre valable jusqu'au 31/12/2018 en France Métropolitaine uniquement. Pour l'export, rendez-vous sur notre site internet boutique.pourlascience.fr. Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

J'accepte de recevoir les informations de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) _____

Signature obligatoire :



**RETROUVEZ TOUS LES ANCIENS NUMÉROS SUR
BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR**

L'AUTEUR



HERVÉ THIS
physicochimiste,
directeur du Centre
international de
gastronomie moléculaire
AgroParisTech-Inra, à Paris

GELS HOMOGÈNES... EN APPARENCE !

En ajustant les indices optiques de réfraction, on peut réaliser une préparation constituée de gels différents et qui présente néanmoins une transparence uniforme.

La transparence séduit l'humanité au moins depuis que nos lointains ancêtres ont découvert des perles vitrifiées dans les foyers où ils cuisaient leurs aliments : nos bijoux, nos vitres, nos immenses immeubles ou pyramides de verre sont fils de la cuisine. Mais pourquoi cette fascination ? Était-ce la stupeur de retrouver là, sous la forme solidifiée, les propriétés de l'eau ? Nul ne le sait. Toujours est-il que cet engouement a aussi touché les pionniers de la cuisine note à note, qui ont voulu produire des mets transparents.

Dans la cuisine note à note, les ingrédients ne sont plus les viandes, légumes, fruits, poissons, œufs..., mais des composés purs que l'on assemble pour synthétiser forme, consistance, couleur, odeur, saveur, goût en un mot. Alors que le broyage d'un légume fait une purée opaque, on peut par exemple mélanger un peu de composé odorant à de l'eau et de l'agar-agar, chauffer et couler la solution au fond d'une assiette pour obtenir un voile de gel transparent. Bien sûr, ce n'est pas nouveau : on avait déjà les aspics ou les confitures. Mais que de complications pour les obtenir, alors qu'il suffit de dissoudre quelques gouttes d'un composé odorant concentré (une société nouvelle en vend) dans un liquide que l'on fait gélifier pour obtenir un gel au goût sur mesure et transparent.

On peut produire ainsi des gelées goûteuses sous forme non seulement de blocs, mais aussi de feuilles si l'on coule les gels dans des récipients plats, ou de « spaghettis » si l'on découpe les feuilles ainsi réalisées, une fois que le gel a pris. Et l'on peut ajuster les consistances en jouant sur les agents gélifiants : la gélatine fait des gels tendres, qui fondent dans la bouche, alors que l'agar-agar donne des gels plus

Un assemblage de gels de goûts et consistances différents peut donner une gelée d'aspect homogène si les indices de réfraction de ces composants sont les mêmes.



cassants ; et l'on dispose de toute la gamme des autres agents gélifiants, qui conduisent à des consistances variées.

Reste que nous devons créer du contraste afin de créer des mets qui ont du goût. Ce contraste est essentiel, sans quoi notre appareil sensoriel s'émousse : pensons à l'odeur de tabac que nous sentons dans une pièce où nous entrons, et que nous ne sentons plus après quelques instants.

Empiler des gels (feuilles, spaghettis, cubes...) différents dans un récipient permet de créer des contrastes de goût. Cependant, la transparence est alors perdue, en raison des réflexions de la lumière sur les interfaces de milieux d'indices de réfraction différents. Ces interfaces sont en réalité responsables du blanc des blancs d'œufs en neige, de la couleur crème des... crèmes variées, de la couleur des purées...

Comment éviter les réflexions aux interfaces air-gel ? Par exemple en remplaçant l'air par un liquide dont l'indice de réfraction est le même que celui du gel. Dans un bol (transparent !) où l'on a empilé des éléments de gels tous de même consistance mais de goûts différents, l'ajout d'un tel liquide fera une masse d'apparence homogène, pour peu que l'indice soit bien ajusté.

Ce n'est pas difficile : coulons, sur cet ensemble d'éléments de gel, de l'eau où nous aurons dissous des composés

donnant du goût. En raison de la différence de composition du gel et de l'eau, on peut penser que nous verrons encore les hétérogénéités ; mais si, progressivement, nous dissolvons dans l'eau un composé qui augmente l'indice de réfraction (par exemple du sucre), alors nous obtiendrons deux milieux différents de même indice : nous aurons ainsi rendu la préparation transparente. De sorte que le système sera hétérogène sur les plans du goût et de la consistance, mais homogène – et transparent ! – du point de vue visuel. ■



LA RECETTE

- 1 Dans de l'eau, dissoudre 1 % en masse d'agar-agar, faire bouillir, puis saler un peu, sucrer et dissoudre quelques gouttes de benzaldéhyde ou d'« arôme d'amande amère ». Couler ensuite le liquide dans un grand plat.
- 2 Faire un second gel en procédant comme ci-dessus, en dissolvant quelques gouttes de solutions de linalol, de limonène et de terpinéol, ou d'eau de fleur d'oranger.
- 3 Quand les gels sont pris, utiliser une règle et un couteau pour découper des spaghettis transparents et parfumés.
- 4 Dans des bols transparents ou dans des verres, déposer des spaghettis des deux sortes, puis ajouter de l'eau.
- 5 Ajouter peu à peu du sucre à l'eau jusqu'à « transparisation » des spaghettis.