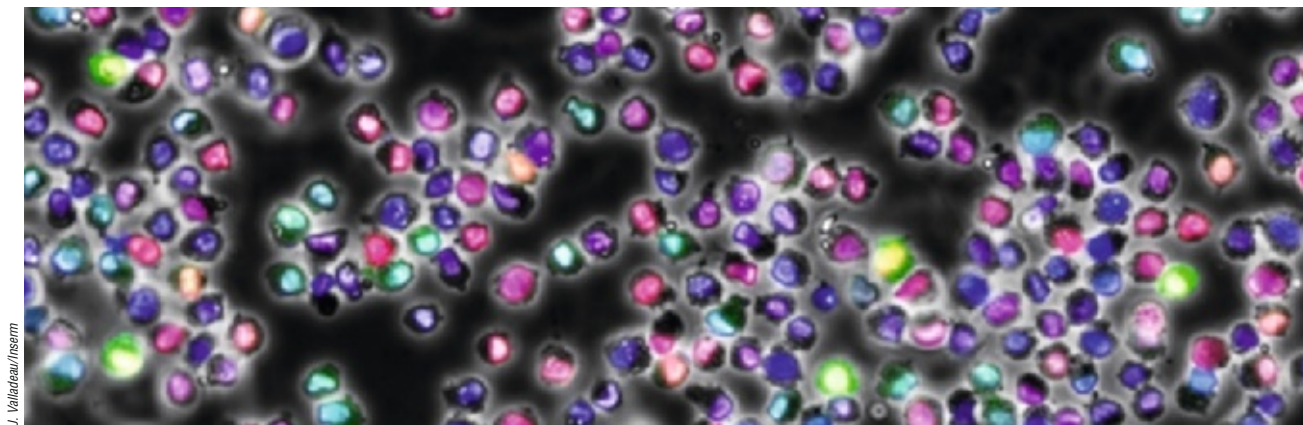




J. Valladau/Inserm

L'ÉPIGÉNÉTIQUE. L'une des nombreuses découvertes faites en biologie depuis les années 1990 est celle des mécanismes héréditaires par lesquels l'environnement des gènes agit sur leur expression. Ces mécanismes, dits épigénétiques, peuvent être étudiés en comparant les variations de l'expression des gènes dans des cellules normales et malades, par exemple. Ici, des chercheurs de l'INSERM ont marqué deux gènes, *pp65* (en rouge) et *GFP* (en vert), pour observer leur expression dans les cellules d'un cancer du sein [dont le noyau apparaît en bleu lorsque ces gènes ne s'expriment pas].

Cette expression dépend de l'organisation de la molécule d'ADN et des conditions physico-chimiques qui règnent dans la cellule, mais aussi de facteurs plus indirects, présents dans l'environnement de l'individu. Ainsi, les modifications épigénétiques produites sous l'influence de l'alimentation seraient responsables d'une expression anormale de certains gènes, et seraient la

cause de diverses maladies. Qui plus est, certaines modifications épigénétiques acquises sont transmissibles à la descendance.

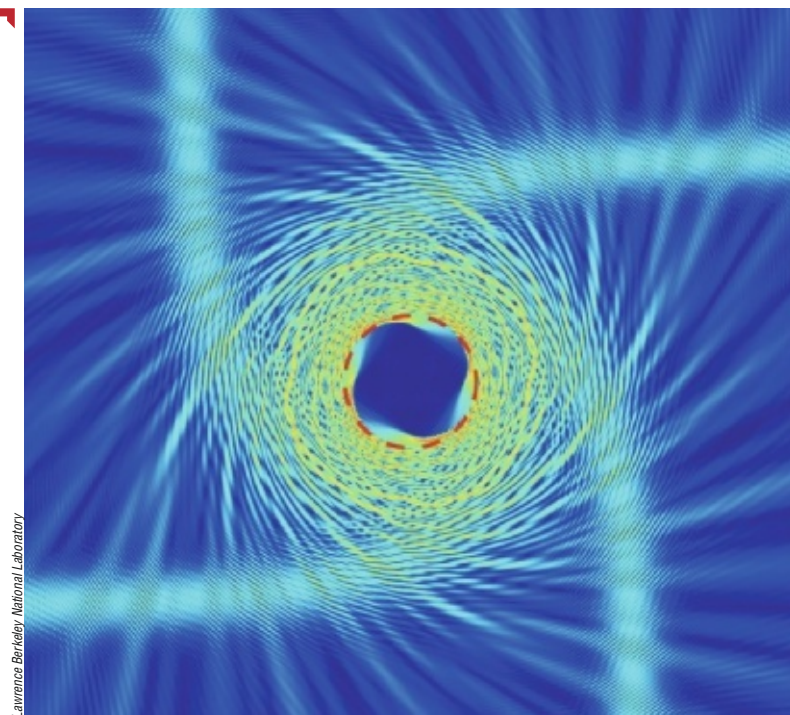
En quoi consistent ces mécanismes ? Tous influent sur l'expression des gènes sans changer leur séquence [la succession de leurs bases d'ADN]. Ils sont de plusieurs types, entre autres : l'ajout de groupes méthyle sur l'ADN ; l'addition de groupes acétyle et méthyle sur les histones, protéines associées à l'ADN ; et l'interférence avec les ARN messagers, les molécules codées par les gènes, par le biais de micro-ARN et de grands ARN non codants.

Pourquoi ces modifications épigénétiques sont-elles importantes ? Les cellules se divisent, et les cellules filles doivent disposer d'informations indiquant quels gènes doivent s'exprimer ou rester silencieux [une cellule de foie n'exprimant pas les mêmes gènes qu'une cellule de muscle]. Ces informations leur sont livrées par la cellule mère sous forme d'un profil épigénétique particu-

lier, c'est-à-dire d'un ensemble de modifications chimiques qui stabilisent l'activité de certains gènes et l'inactivité d'autres : selon les groupes chimiques qui se greffent sur l'ADN et les histones, certains gènes restent inaccessibles aux protéines qui déclenchent leur lecture, ou transcription, tandis que d'autres peuvent, au contraire, être atteints et transcrits en ARN messagers.

Les combinaisons spécifiques de modifications chimiques survenant sur les histones constitueraient un « code histone » qui permettrait à la cellule d'« interpréter » le génome. Bien que l'on ignore comment le code histone serait décodé, des scientifiques tentent de cataloguer, chez diverses espèces à différents stades de développement, toutes les modifications épigénétiques identifiables dans un type donné de cellules.

Ce catalogue devrait permettre de mieux comprendre les dérèglements de l'expression des gènes propres à une maladie ou encore la régulation du développement de l'embryon. □



Lawrence Berkeley National Laboratory

LES MÉTAMATÉRIAUX. Ces quatre faisceaux lumineux (en bleu clair) dévient en s'approchant d'une structure centrale, comme attirés par elle ; une partie de l'énergie incidente s'échappe, mais une autre reste piégée, comme par un trou noir. Dans cette simulation réalisée en 2009 par Xiang Zhang et ses collègues, à Berkeley, la structure centrale est censée être une boule d'arséniure de gallium [GaAs] de quelques micromètres, où de minuscules poches d'air sont agencées de telle façon que l'indice de réfraction optique varie spatialement selon une loi précise. Des métamatériaux — matériaux structurés artificiellement à une échelle assez petite par rapport aux longueurs d'onde que l'on souhaite contrôler — peuvent ainsi reproduire la capture de la lumière par les trous noirs ou d'autres trajectoires célestes relevant de la théorie de la relativité générale.

Depuis cinq ou six ans, les métamatériaux constituent un domaine de recherche très actif, notamment grâce aux idées du théoricien britannique John Pendry. Ce physicien a ouvert la voie aux travaux sur les « capes d'invisibilité », qui dévient les ondes de façon à camoufler un objet grand par rapport à la longueur d'onde, ou sur des dispositifs optiques tels que des lentilles planes et parfaites. Autres exemples d'applications visées : des antennes unidirectionnelles, des composants pour l'optoélectronique ou, à une échelle bien différente, des brise-lames. □

L'évolution par fusion

Marc-André Selosse

NASA/USGS EROS Data Center Satellite Systems Branch

Fille du géant Typhon et de la femme serpent Echidna, Chimère est une créature mythologique qui associe une tête de lion, un corps de chèvre et une queue de serpent. Cette créature est assurément mythique : aucun être vivant ne saurait combiner plusieurs espèces. Et pourtant... Dans la nature, il arrive que des matériels génétiques différents fusionnent : issus d'espèces différentes, beaucoup d'organismes vivants sont des chimères.

Cette conception semble en désaccord avec la représentation que beaucoup de biologistes se font de l'origine des espèces, c'est-à-dire de la spéciation. Dans son ouvrage publié en 1859, Charles Darwin propose que les espèces apparaissent par divergence à partir d'un ancêtre commun ; selon la théorie néodarwinienne de l'évolution, développée au XX^e siècle avec l'étude de la transmission des gènes dans les populations, cette divergence procède

ne sont pas nouveaux en eux-mêmes, mais c'est leur contribution à l'évolution que nous soulignerons ici, en nous appuyant notamment sur les résultats récents de l'étude des génomes. Ces dernières années, les généticiens ont par exemple découvert que la plupart des plantes à fleurs sont apparues à la suite de croisements entre espèces, preuve que l'hybridation est une source importante de diversité biologique. De même, on se rend compte aujourd'hui que les transferts de gènes entre espèces sont plus fréquents qu'on ne le croyait. Hybridation et transferts de gènes font apparaître des lignées et des espèces nouvelles.

Après avoir rapidement rappelé comment l'évolution par fusion a été découverte, nous examinerons ses trois principales modalités : la fusion par endosymbiose, l'hybridation et les transferts de gènes. Nous proposerons alors une

L'arbre de l'évolution porte des branches qui se ramifient au fil du temps. Mais pas seulement : par un mécanisme dit d'évolution par fusion, certaines branches fusionnent parfois avant de diverger à nouveau.

par accumulation de mutations génétiques. C'est pourquoi les livres de biologie présentent le plus souvent l'histoire du vivant sous forme d'arbres ramifiés, dits phylogénétiques, où des nœuds représentent des espèces ancestrales qui ont divergé en deux rameaux (voire davantage), portant chacun les espèces qui en sont issues.

Cette vision rend compte de nombreux cas de spéciation, mais elle omet le rôle de phénomènes qui impliquent la fusion de matériels génétiques provenant d'espèces différentes, à l'image des cours d'eau dont les bras fusionnent pour former un réseau fluvial (voir la figure 1).

Les mécanismes d'acquisition du matériel génétique d'une espèce par une autre

conception synthétique de l'origine des espèces en tenant compte de ces mécanismes d'évolution par fusion.

L'idée d'une évolution par fusion a été envisagée dès la fin du XIX^e siècle. En 1883, le botaniste allemand Andreas Schimper s'interroge sur les organites cellulaires des plantes contenant la chlorophylle, les plastes : « Peut-être une plante verte n'est-elle que l'union entre un organisme incolore et un microbe possédant des pigments chlorophylliens. » En 1905, le Russe Konstantin Mereschkovsky consacre un livre entier à la théorie de la « symbiogenèse », selon laquelle la fusion de deux organismes est le moteur de l'évolution. Faute de preuves, cette théorie tombe ensuite en désuétude.

Elle ne reviendra sur le devant de la scène qu'en 1970 avec la biologiste américaine Lynn Margulis. Dans *L'origine des cellules eucaryotes* – les eucaryotes sont les organismes dont l'ADN est contenu dans un noyau –, elle affirme que certaines parties des cellules eucaryotes sont en fait des bactéries. Celles-ci vivraient en symbiose dans les cellules, c'est-à-dire en entretenant une relation réciproquement

L'AUTEUR



Marc-André SÉLOSSE, professeur de biologie à l'Université Montpellier II, est chercheur au Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE) du CNRS.

L'ESSENTIEL

✓ La théorie darwinienne classique illustre l'évolution des espèces par un arbre dont les branches ne se rejoignent jamais.

✓ Or des phénomènes de fusion évolutive se produisent dans le monde du vivant.

✓ Les fusions évolutives sont de trois types : l'endosymbiose, l'hybridation et le transfert de gènes.

✓ Plus qu'un arbre qui se ramifie, l'évolution s'apparente à un réseau complexe de lignées échangeant des gènes.

1. UN RÉSEAU FLUVIAL, tel celui du delta du fleuve Léna, en Sibérie, illustre la façon dont les espèces évoluent : certaines espèces divergent, puis convergent par des mécanismes d'évolution par fusion, avant de diverger à nouveau. L'évolution des espèces ne serait pas qu'une suite de divergences à partir d'un ancêtre commun, mais une succession de divergences émaillées de fusions.