

Origine extraterrestre ?

Des bactéries résistent aux impacts de météorites.

La vie a-t-elle vu le jour sur Terre, dans une soupe primitive, ou, au contraire, a-t-elle commencé ailleurs, puis essaimé sur Terre, transportée par les météorites ? Cette question lancinante déchire les exobiologistes depuis des décennies. À l'aide d'expériences de balistique, nous avons montré que même des micro-organismes complexes, telles les levures, résistent à des accélérations analogues à celles qui sont subies par les météorites qui atteignent la Terre.

Dans la Grèce antique, Anaxagore postule déjà la dissémination du vivant dans l'Univers, mais c'est seulement au XIX^e siècle, après que Pasteur a montré l'absence de génération spontanée, que l'hypothèse de la panspermie est élaborée. Hermann Richter, Hermann von Helmholtz et Lord Kelvin proposent que des cellules vivantes voyagent à l'intérieur de météorites (lithopanspermie). Dans l'impossibilité d'expliquer comment des germes peuvent être logés dans une météorite, le concept est modifié par le chimiste Svante Arrhenius : poussées par la pression du rayonnement (radiopanspermie), les bactéries seraient échangées entre systèmes planétaires.

Au cours du XX^e siècle, la constatation que le rayonnement solaire ultraviolet tue rapidement les bactéries relègue la panspermie dans l'oubli, mais, depuis la découverte de météorites martiennes sur Terre, la lithopanspermie est à nouveau débattue : des fragments de surface, arrachés à une planète par un impact météorique explosif, véhiculeraient la vie.

Les météorites arrachées à la croûte martienne sont captées par la Terre et s'y écrasent après quelques millions d'années. Des expériences montrent que, logées dans une météorite, les bactéries survivent durant une telle durée aux particules solaires et aux rayonnements spatiaux, tel le rayonnement solaire ultraviolet. De surcroît, des spores et des bactéries isolées dans de l'ambre vieux de 25 à 40 millions d'années ont un chromosome encore fonctionnel. Enfin, le froid et le vide de l'espace sont des conditions idéales pour un stockage durable. Seule la résistance bactérienne aux stress mécaniques d'un tel transport n'avait pas encore été testée.

Retraçons le scénario de capture : un rocher de l'ordre du kilomètre de diamètre percute Mars et met en orbite des fragments de la planète. Les accélérations subies lors de la mise en orbite sont égales à plus de 10 000 fois l'accélération de la pesanteur (g).

Ces fragments sont ensuite captés par la Terre à une vitesse comprise entre 11 et 70 kilomètres par seconde. Des objets de plusieurs tonnes, peu ralentis par l'atmosphère, gardent une vitesse supersonique et explosent au moment de l'impact, libérant leur formidable énergie cinétique sous forme de chaleur, fatale aux éventuelles bactéries transportées. De même, les objets de quelques centimètres de diamètre se consomment intégralement pendant la traversée de l'atmosphère (les étoiles filantes), stérilisant toute forme de vie.

En revanche, les micrométéorites d'un diamètre inférieur à quelques millimètres convertissent leur énergie cinétique en rayonnement et tombent très lentement ; elles constituent un vecteur potentiel pour le transfert de matière organique. De même, une météorite de diamètre compris entre quelques centimètres et un mètre est suffisamment ralentie par l'atmosphère pour que son énergie cinétique soit dissipée, principalement par chauffage de l'air, et aussi par fusion d'une couche de moins d'un centimètre d'épaisseur. L'intérieur de la météorite reste alors froid. La vitesse résiduelle est



Chute d'une météorite dans l'océan.

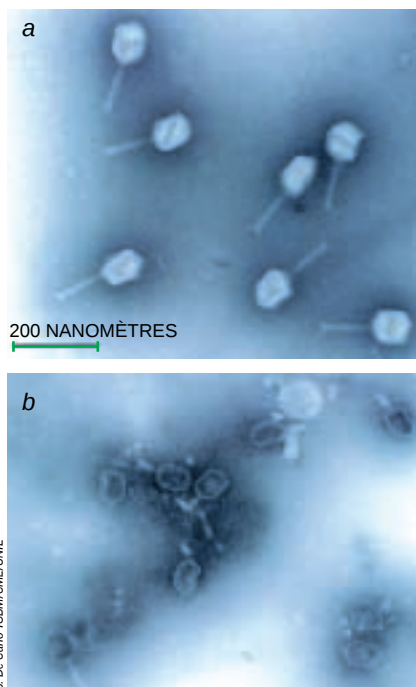
celle d'une chute libre (100 à 250 mètres par seconde) et si la météorite heurte, par exemple, une surface de sable, elle subit une décélération de quelques milliers de g , lors de laquelle les bactéries pourraient être préservées.

Pour reproduire le stress mécanique subi par de petites météorites, nous avons procédé à des expériences balistiques. Dans une carabine à air comprimé, le projectile subit une accélération de 100 000 g , bien supérieure à celle d'un transfert planétaire. Nous avons déposé des levures, des bactéries en croissance, des bactéries sans paroi et des virus qui s'attaquent aux bactéries (bactériophages) sur les projectiles de la carabine. Après avoir tiré ces projectiles à une vitesse de 300 mètres par seconde dans des bouteilles contenant du sable stérile, nous avons vérifié la survie et l'intégrité physique de ces micro-organismes : les levures et les bactéries ont, pour la plupart, résisté au choc de décélération de 300 000 g . Seules les bactéries sans paroi et les bactériophages ne résistent pas à ces violentes décélération. Ces résultats balistiques montrent que des organismes unicellulaires, logés à l'intérieur de petites météorites, survivraient aux contraintes mécaniques d'un transfert interplanétaire.

L'ensemencement de notre planète expliquerait la rapidité de l'émergence de la vie terrestre. Si cette hypothèse est confirmée, la vie que nous connaissons proviendrait soit d'une autre planète de notre Système solaire, soit d'un autre système planétaire. Les étoiles naissent par centaines en amas et les échanges de comètes sont intenses durant la période initiale de l'accrétion planétaire, ce qui aurait favorisé une diffusion galactique de la vie.

Indépendamment de la question de l'origine de la vie terrestre, cette capacité a certainement permis aux premiers organismes terrestres de survivre aux violents impacts des débuts de la Terre, capables de vaporiser les océans : mises en orbite par de tels événements, les bactéries auraient réensemencé la surface de notre planète dès la réapparition de conditions favorables à leur prolifération.

C.-A. ROTEN, Institut de génétique et de biologie microbiennes, Lausanne



On compare la survie des micro-organismes à celle de virus qui servent de «contrôles négatifs». Alors que les levures résistent aux impacts, les virus T4 sont détruits : avant le tir, ils sont intacts (a), mais après le choc (b), ils sont cassés et leur ADN est dispersé.

La multiplication des neurones chez l'adulte

GERD KEMPERMANN • FRED GAGE

Contrairement à ce qui était admis, des neurones sont produits chez l'homme même à l'âge adulte. On espère utiliser cette capacité du cerveau pour mieux traiter les maladies neurologiques.

Quand on se coupe, la blessure se referme en quelques jours. Quand on se casse une jambe, les os se ressoudent. Presque tous les tissus humains se réparent ainsi, tout au long de la vie. Des cellules remarquables, les cellules souches, sont en grande partie responsables de cette activité de réparation. Ces cellules ressemblent à celles d'un embryon : elles peuvent se multiplier presque indéfiniment et engendrer non seulement des copies conformes d'elles-mêmes, mais aussi différents types d'autres cellules. Les cellules de la moelle osseuse, par exemple, produisent toutes les cellules du sang : les globules rouges, les plaquettes et divers types de globules blancs. Les constituants de la peau, du foie ou des muqueuses de l'intestin sont issus d'autres cellules souches.

Le cerveau de l'homme adulte compense parfois certaines lésions par de nouvelles connections entre les neurones épargnés. Toutefois, on croyait qu'il ne se «réparait» pas, car il était dépourvu des cellules souches qui assureraient la régénération neuronale.

Erreur ! En novembre 1998, Peter Eriksson, de l'Université de Göteborg, l'un d'entre nous (Fred Gage), à l'Insti-

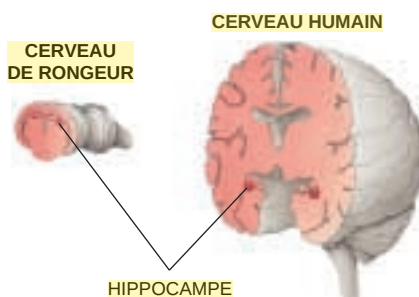
tut Salk, et quelques collègues avons découvert que de nouveaux neurones apparaissent, chaque jour, dans le cerveau humain adulte. Nous avons trouvé cette régénération dans l'hippocampe, une zone cérébrale essentielle pour la mémoire et pour l'apprentissage. L'hippocampe n'est pas le lieu de stockage des souvenirs, mais il participe à ce stockage : les personnes dont l'hippocampe est endommagé se souviennent des informations enregistrées avant leur accident, mais elles ont des difficultés à acquérir de nouveaux souvenirs.

Le nombre de nouveaux neurones est faible par rapport au nombre total de neurones du cerveau, mais la découverte de ces cellules, à laquelle s'ajoutent des résultats intéressants obtenus sur des animaux, ouvre des perspectives médicales encourageantes. Les cellules souches semblent fabriquer de nouveaux neurones dans une autre région du cerveau et être présentes,

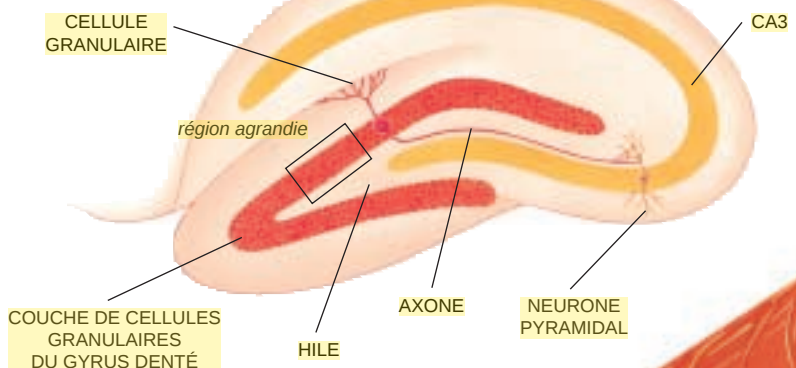
mais sans se multiplier, dans d'autres zones. Le cerveau adulte, qui se répare si mal, possède peut-être un grand pouvoir de multiplication des neurones. Si l'on savait stimuler les cellules souches pour former des neurones fonctionnels dans certaines régions du cerveau, on pourrait soulager les personnes dont les neurones sont lésés ou détruits par la maladie d'Alzheimer, par la maladie de Parkinson, par un traumatisme ou par un accident vasculaire cérébral.

Premiers indices, premiers doutes

Bien que les neurologues aient été surpris de découvrir la production de neurones dans le cerveau humain adulte, plusieurs études sur des mammifères adultes l'avaient laissé supposer. En 1965, à l'Institut de technologie du Massachusetts, Joseph Altman et Gopal Das avaient déjà observé le phénomène dans



HIPPOCAMPE



l'hippocampe de rats adultes, précisé-
ment dans l'aire nommée gyrus denté,
où la neurogenèse se produit aussi chez
l'homme.

D'autres études ont confirmé ces
résultats, mais les neurobiologistes n'y
voyaient pas la preuve d'une neuro-
genèse ni d'un potentiel de régénéra-
tion notables dans le cerveau des
mammifères adultes. Les méthodes
alors disponibles ne permettaient pas
de préciser le nombre de cellules appa-
rues, ni de prouver qu'il s'agissait bien
de neurones. Le concept de cellules
souches cérébrales n'ayant pas encore
été formulé, les neurobiologistes pen-
saient que c'étaient les cellules ner-
veuses matures qui devaient se
répliquer. De surcroît, personne ne se
serait hasardé à parler de neurogenèse
dans le cerveau humain avant d'avoir
mis en évidence le phénomène chez les
grands singes, génétiquement et phy-
siologiquement plus proches de nous
que les autres mammifères.

Le champ des recherches ne pro-
gressa guère avant le milieu des années
1980, quand Fernando Nottebohm, de
l'Université Rockefeller, relança le débat
avec les résultats étonnants qu'il obtint
sur des canaris adultes : une neuroge-
nèse se produit dans les centres du cer-
veau dédiés à l'apprentissage du chant
et s'accélère pendant les saisons où les
oiseaux adultes apprennent à chanter ;
de plus, la formation des neurones dans
l'hippocampe augmente quand les
oiseaux ont beaucoup d'informations
à mémoriser, par exemple quand ils doi-
vent se souvenir de tous les itinéraires
qui aboutissent aux cachettes où ils stoc-
kent leur nourriture. Ces résultats
ont soulevé à nouveau la ques-
tion de la capacité de répa-
ration du cerveau des
mammifères
adultes.

L'optimisme fut de courte durée.
Pasko Rakic et ses collègues de l'Uni-
versité Yale furent les premiers à étu-
dier la neurogenèse chez les primates
adultes. Ils n'observèrent aucune neu-
rogenèse dans le cerveau de singes rhé-
sus adultes. De plus, les biologistes
savaient que le potentiel de neuroge-
nèse n'a cessé de diminuer au cours de
l'évolution, à mesure que le cerveau
est devenu plus complexe : contraire-
ment aux mammifères, les lézards et
autres animaux inférieurs subissent
une régénération neuronale massive
quand leur cerveau est endommagé.
L'apparition de neurones dans un
cerveau complexe semblait devoir per-
turer la circulation ordonnée des
signaux le long des voies déjà établies.

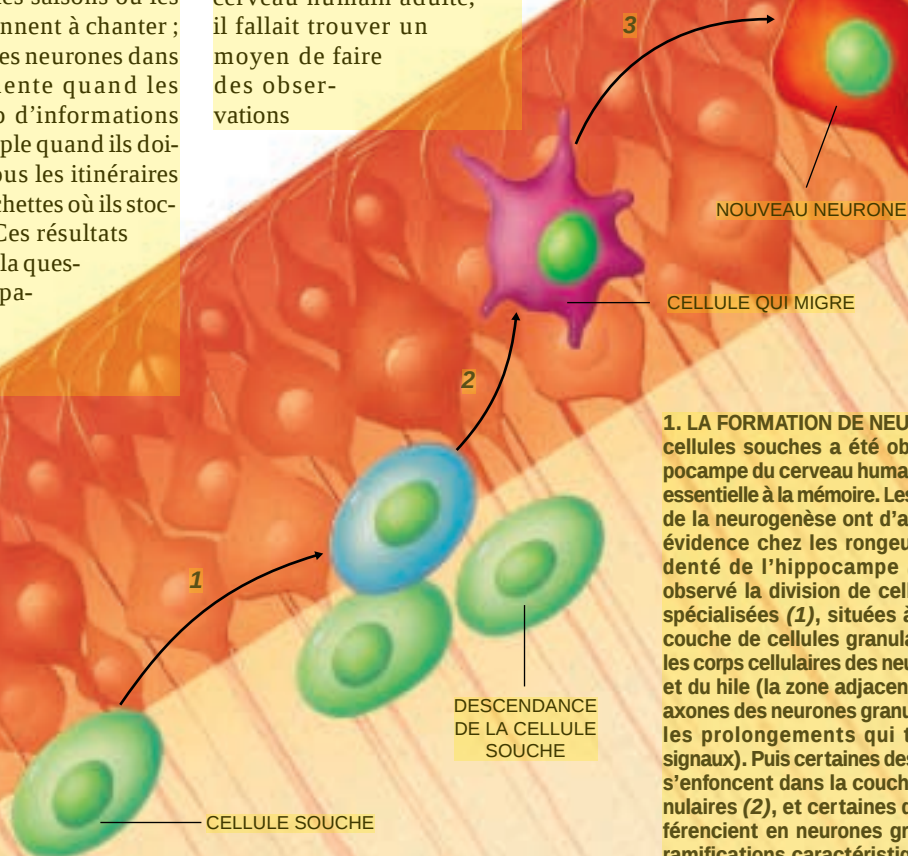
Les premiers doutes ont émergé il
y a seulement quelques années. D'abord,
en 1997, Elizabeth Gould, Bruce McE-
wen et leurs collègues de l'Université
Rockefeller, et Eberhard Fuchs, du
Centre de primatologie de Göttingen,
observèrent une neurogenèse dans l'hip-
pocampe d'un petit rongeur arboricole
proche des primates. Puis, en mars 1998,
ils ont retrouvé ce phénomène chez les
marmousets, des primates plus éloignés
de l'homme que les singes rhésus.

Pour savoir si de nouveaux
neurones se forment dans le
cerveau humain adulte,
il fallait trouver un
moyen de faire
des obser-
vations

directes. Chez l'animal, on explore la
neurogenèse en se fondant sur la dupli-
cation des chromosomes avant la divi-
sion cellulaire ; chaque cellule fille reçoit
un jeu complet de chromosomes. Quand
on injecte aux animaux un marqueur
qui se fixe sélectivement sur l'ADN des
cellules prêtes à se diviser, ce marqueur
s'intègre à l'ADN des cellules filles, puis
se transmet aux descendantes de ces
cellules, puis aux descendantes de ces
cellules, et ainsi de suite dans les géné-
rations successives de cellules.

Cancer et neurogenèse

Après quelque temps, certaines cel-
lules de cette lignée se différencient,
c'est-à-dire qu'elles se spécialisent,
devenant un type particulier de neu-
rones ou des cellules gliales (l'autre
type de cellules du système ner-
veux). La différenciation
achevée, les biologistes
prélèvent le cerveau
et le découpent
en minces



1. LA FORMATION DE NEURONES à partir de
cellules souches a été observée dans l'hip-
pocampe du cerveau humain adulte, une zone
essentielle à la mémoire. Les différentes étapes
de la neurogenèse ont d'abord été mises en
évidence chez les rongeurs. Dans le gyrus
denté de l'hippocampe (à gauche), on a
observé la division de cellules souches non
spécialisées (1), situées à la frontière de la
couche de cellules granulaires (qui contiennent
les corps cellulaires des neurones granulaires)
et du hile (la zone adjacente qui contient les
axones des neurones granulaires, c'est-à-dire
les prolongements qui transmettent les
signaux). Puis certaines des cellules produites
s'enfoncent dans la couche des cellules gra-
nulaires (2), et certaines d'entre elles se diffé-
rencient en neurones granulaires (3), aux
ramifications caractéristiques.