

DARWIN NOW

DARWIN AUJOURD'HUI

'A MAN WHO DARES TO WASTE ONE HOUR OF TIME HAS NOT DISCOVERED THE VALUE OF LIFE.'

Charles Darwin

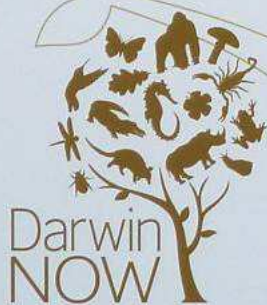
« CELUI QUI SE PERMET DE PERDRE UNE HEURE DE SON TEMPS N'A PAS DECOUVERT LA VALEUR DE LA VIE »

Charles Darwin



Map of Darwin's voyage on HMS Beagle

Carte du voyage de Darwin à bord du Beagle



DARWIN NOW

DARWIN AUJOURD'HUI

Throughout the 19th century there was a transformation in thought that still reverberates today. The workings of nature and the variety of life were re-imagined in ways that underlie all modern biology. The wider implications of these ideas still provoke controversy.

One man, and one book, came to symbolise the new biology of evolution. Charles Darwin, born in 1809, was 50 when he published perhaps the most famous scientific work ever written. Therefore, 2009 marks both the bicentenary of his birth and 150 years since the first appearance of *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*.

This exhibition explores the origins of Darwin's book, outlines his central ideas, and explains how they remain at the core of contemporary research in biology and medicine.

The British Council was founded in 1934. Our work focuses on building mutual understanding between cultures and promoting positive social change through the exchange of knowledge and ideas between people worldwide. We operate in 110 countries around the world and reach millions of people through our activities.

Darwin Now is an international programme of activities exploring evolution that will engage people from around the world.

www.britishcouncil.org/darwin

Le XIX^e siècle a été une période de transformation profonde de la pensée qui a des répercussions aujourd'hui encore. Les œuvres de la nature et la diversité de la vie ont été reconsidérées selon de nouvelles perspectives qui ont posé les bases de la biologie moderne. Les implications générales de ces idées continuent de susciter la controverse.

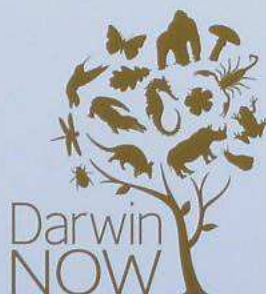
Un homme et un livre symbolisent la nouvelle biologie de l'évolution. Charles Darwin, né en 1809, avait 50 ans quand il publia l'ouvrage scientifique probablement le plus célèbre jamais écrit. L'année 2009 marque à la fois le bicentenaire de sa naissance et le 150^e anniversaire de la première parution de *L'origine des espèces par le moyen de la sélection naturelle*.

Cette exposition s'intéresse aux origines de l'ouvrage de Darwin, expose ses idées centrales et montre en quoi elles restent au cœur de la recherche actuelle en biologie et en médecine.

Le British Council a été fondé en 1934. Il a pour vocation de favoriser la compréhension mutuelle entre les cultures et une évolution sociale positive par l'échange de connaissances et d'idées entre les hommes du monde entier. Il est présent dans 110 pays et ses activités touchent des millions de personnes.

Darwin aujourd'hui est un programme international d'activités sur le thème de l'évolution destiné à éveiller l'intérêt des citoyens du monde entier.

www.britishcouncil.org/darwin



www.britishcouncil.org/darwin

1 WHO WAS DARWIN?

QUI ÉTAIT DARWIN ?

Charles Darwin was the son of a prosperous country doctor in Shrewsbury, in the largely rural English county of Shropshire. As a boy he loved the countryside and its creatures but had trouble settling on a career. He abandoned medical school in Edinburgh, and was sent to Cambridge University to prepare for life as a vicar.

Charles Darwin était le fils d'un riche médecin de campagne anglais établi à Shrewsbury, dans le comté rural du Shropshire. Enfant, il adorait la campagne et ses créatures, mais il hésitait sur la carrière à embrasser. Ayant abandonné ses études de médecine à Édimbourg, il fut envoyé à l'université de Cambridge pour devenir pasteur.

At university Darwin met some of the most brilliant naturalists of the day and in 1831 he acquired a berth on the naval survey vessel HMS Beagle for a world voyage. During the five-year journey Darwin kept a scientific field journal, covering biology, geology and anthropology, with detailed notes and observations on the indigenous animals, plants, birds, and insects of the places he visited – Brazil, Chile, Peru, the Galapagos Archipelago, Tahiti, New Zealand and Australia, among others.

Back in London, and later at his new home at Down House in Kent, he gradually came to understand

how individual species could change; how evolution could work – although it took him over 20 years to feel ready to publish his ideas.

For the rest of his life he continued working – to defend his theory and to understand its implications, and he published further books – on orchids, cochinis and the expression of emotions, among others.

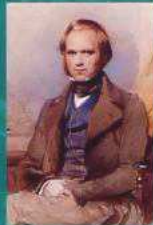
Darwin became a reclusive, semi-envious in middle age and died in 1882, but there was one constant throughout his life – a boundless curiosity about the natural world.

À l'université, Darwin rencontra quelques-uns des naturalistes les plus brillants de l'époque. En 1831, il obtint une place sur un navire hydrographique de la marine et s'engagea pour un voyage autour du monde. Pendant cinq années, il tint un journal scientifique couvrant la biologie, la géologie et l'anthropologie, avec des notes et observations détaillées sur les animaux, plantes, oiseaux et insectes indigènes des pays qu'il visita : Brésil, Chili, Pérou, archipel des Galapagos, Tahiti, Nouvelle-Zélande et Australie, entre autres. De retour à Londres, puis à Down House (Kent) où il vivait

finalement, il comprit peu à peu comment des espèces peuvent évoluer, comment l'évolution peut fonctionner. Mais il lui fallut plus de 20 ans pour se sentir prêt à publier ses idées.

Il continua le reste de sa vie à travailler pour défendre sa théorie et comprendre ses implications, et il publia plusieurs autres ouvrages, notamment sur les orchidées, les vers de terre et l'expression des émotions.

Devenu semi-évidé à l'âge mûr, il fit sa vie reclus et mourut en 1882. Sa vie tout entière aura été marquée par une constante : sa curiosité sans limite pour le monde naturel.



His first and last portrait showing of Charles Darwin in 1840 by George Richmond. © English Heritage, Public Library.

Portrait of Darwin at a University of Cambridge in 1840 by George Richmond. © English Heritage, Public Library.



John Stevens Henslow, Professor of Botany at Cambridge University, 1825-61. Henslow recommended Darwin for the job as naturalist on HMS Beagle. Photograph with permission from Peter and Wendy Hill, eds, The Complete Work of Charles Darwin Online. <http://www.darwin-online.org.uk/>

John Stevens Henslow, professeur de botanique à l'université de Cambridge, 1825-61. C'est Henslow qui a recommandé Darwin pour le poste de naturaliste sur le Beagle. Photographie avec l'autorisation de Peter and Wendy Hill, eds, The Complete Work of Charles Darwin Online. <http://www.darwin-online.org.uk/>



Map of Darwin's voyage on HMS Beagle.

Carte du voyage de Darwin sur le Beagle.

Background: Belize rainforest. © Nigel Larkin

Fond : Forêt ombrophile au Belize. © Nigel Larkin

2 GLOBAL NETWORKS

DES RÉSEAUX PARTOUT DANS LE MONDE

Darwin did not travel again after his *Beagle* voyage. However, throughout his life, he was a prolific letter-writer. It was his way of cementing scientific friendships, pursuing collaboration and gathering observations.

Darwin n'a pas fait d'autres voyages après l'expédition sur le *Beagle*. Mais toute sa vie, il a entretenu une correspondance abondante. C'était sa façon de sceller des amitiés scientifiques, de poursuivre la collaboration avec ses pairs et de recueillir des observations.

Preoccupied with the species question, Darwin was convinced that different species could start by one rather variety changing into another – by transmutation. But how?

He studied specimens, the exhibits in museums and zoos, and the work of animal and plant breeders. And he read – geology, natural history, and philosophy.

As he studied, he corresponded with colleagues around the world – Brazil, India, China, North America, South America, New Zealand and Jamaica – outlining his ideas, arguing his hypothesis and requesting information and new specimens.

Once he had an outline of his theory, he consulted diplomats, army officers and colonial officials, gardeners, horse breeders, farmers, fur traders and zoologists, as well as botanists and naturalists.

Letters also kept him in touch with the travelling naturalist Alfred Russel Wallace, who had formulated similar ideas. It was a paper from Wallace that finally induced Darwin to publish his theory.

Once *The Origin of Species by Means of Natural Selection* appeared, in 1859, this letter writing brought new information for updates of the work, and for new projects. It also helped to influence the reception of his radical ideas.

Préoccupé par la « question des espèces », Darwin était convaincu que des espèces différentes pouvaient être issues d'une variété plus ancienne qui se serait transformée. Mais comment ?

Il étudia des spécimens, des animaux exposés dans les musées et les zoos, mais aussi le travail d'éleveurs d'animaux et de sélectionneurs de semences. Et il lut géologie, histoire naturelle et philosophie.

Présent ces idées, il correspondit avec des collègues du monde entier – Brésil, Inde, Chine, Amérique du Nord, Amérique du Sud, Nouvelle-Zélande et Jamaïque –

exposant ses idées, argumentant ses hypothèses, demandant des informations et de nouveaux spécimens.

Dès qu'il eut ébauché sa théorie, il consulta des diplomates, des

officiers militaires et des fonctionnaires coloniaux, des jardiniers, des éleveurs de chevaux, des fermiers, des trappeurs et des gardiens de troupeaux, ainsi que des botanistes et des naturalistes.

Il était également en contact épistolaire avec le naturaliste Alfred Russel Wallace, grand voyageur, qui avait formulé des idées similaires.

C'est d'ailleurs une communication de Wallace qui le décida finalement à publier sa théorie.

Après la parution en 1859 de *L'origine des espèces* par le moyen de la sélection naturelle, son activité épistolaire lui apporta de nouvelles informations pour mettre à jour son ouvrage et pour d'autres projets. Elle influença également fortement sa saisie des idées révolutionnaires.



Alfred Russel Wallace (1823-1913), who tentatively put forward similar ideas on the origin of species as Darwin. A paper by Wallace was presented alongside Darwin's at the Linnean Society in 1858.



Darwin's study at Green House shortly after his death in 1882. Copper engraving by Axel H. Haig.



Le cabinet de travail de Darwin à Down House, peu après sa mort en 1882. Graveure sur cuivre d'Axel H. Haig.



Altogether eight years of study by Darwin and Wallace, and their correspondence, led to their joint publication of *The Origin of Species* in 1859.

Altogether eight years of study by Darwin and Wallace, and their correspondence, led to their joint publication of *The Origin of Species* in 1859.

Alfred Russel Wallace (1823-1913), qui avait émis des idées proches de celles de Darwin sur l'origine des espèces. Une communication de Wallace a été présentée en même temps que celle de Darwin au sein de la Société Linéenne en 1858.

Le cabinet de travail de Darwin à Down House, peu après sa mort en 1882. Graveure sur cuivre d'Axel H. Haig.

En tout, dix-neuf ans d'études, de la part de Darwin et Wallace, et de leur correspondance, ont conduit à la publication de *L'origine des espèces* en 1859.

En tout, dix-neuf ans d'études, de la part de Darwin et Wallace, et de leur correspondance, ont conduit à la publication de *L'origine des espèces* en 1859.

Ci-dessus : Darwin a passé huit ans à élaborer les *Canaries*, apportant une contribution majeure à notre compréhension de ces oiseaux.

Background: *Acacia hirsuta* (Combretaceae: *Acacia*). © David and Victoria Sheppard/Art.com

Fond : *Italaia commisa* (Combretaceae: *Italaia*). © David and Victoria Sheppard/Art.com

3 DARWIN'S THEORY

VARIABILITY, INHERITANCE, SELECTION

L'HYPOTHESE CENTRALE DE DARWIN :

VARIABILITE, HERITABILITE, SELECTION

Darwin's central hypothesis is very simple. The theory of evolution by natural selection has just three essential parts:

- When individuals in a population reproduce, the new generation must resemble their parents.
- The resemblance between generations must be close, but not perfect, so that each generation includes new variations in characteristics.
- There must be a link between some of these new variations and the chances that individuals will be better able to survive and reproduce.

L'hypothèse centrale de Charles Darwin est très simple. La théorie de l'évolution par la sélection naturelle est composée de trois principes essentiels :

- Quand les individus d'une population se reproduisent, la nouvelle génération doit ressembler à ses parents.
- La ressemblance entre chaque génération doit être proche, mais pas parfaite, pour que chaque génération incorpore de nouvelles variations dans ses caractéristiques.
- Il doit y avoir un lien entre certaines de ces nouvelles variations et la capacité des individus à survivre et à se reproduire.

However, the sources of variation are independent from the selective constraints. This is the difference between Darwin and Lamarck, the French naturalist who believed that variations within species result from the individual reacting directly to the environment in which it lives.

If the environment is stable for generation after generation, a given variant can rapidly become present in most or all individuals. The species – compared with its ancestors – will change. This change is called natural selection: variation 'proposes', the environment 'chooses'. Natural selection is the result of different rates of survival and reproductive success within or between populations.

Since Darwin's time, we have discovered the principal source of variation – DNA. The DNA molecule in our genetic material is copied over and over again. But the process of copying can introduce small 'mistakes' or mutations. Most of these mutations, conversely, have no effect but, occasionally can effect changes that are dangerous for the organism or bring advantages that make reproduction more likely in a particular environment.

We now know that many variants can become present in all of a particular species purely by chance without the need for selection, especially if the numbers of individuals in a given species is small.

Les variations, et leur effet, peuvent être très minimes. Mais le cycle des générations se répétant des milliers de fois, le résultat peut être spectaculaire. En résumé, les trois ingrédients de l'évolution sont : variabilité, héritabilité, sélection. Cependant, les sources de la variation sont indépendantes des contraintes de la sélection. C'est là la différence entre Darwin et Lamarck, le naturaliste français, pour qui c'est l'interaction d'un individu avec son milieu qui produit la variation au sein d'une espèce.

Si les conditions du milieu se maintiennent quelque peu, un variant peut vite devenir majoritaire, voire atteindre une fréquence de 100%. Par conséquent la population ou l'espèce aura changé par rapport à ses ancêtres. Ce changement s'appelle la sélection naturelle : la variation « propose », ce sont les conditions du milieu du moment qui « disposent ». La

sélection naturelle est le résultat de différents taux de survie entre variants et de différences dans leur succès reproductif.

Enfin, on a découvert depuis Darwin la source principale de la variation – l'ADN. La molécule d'ADN dans notre matériel génétique est sans cesse copiée. Mais les copies ne sont pas fidèles, et il se glisse toujours de petites erreurs, les mutations.

La plupart de ces mutations sont sans effet, mais parfois il se manifeste des effets néfastes pour la vie, ou au contraire propices à la reproduction dans un environnement donné. Depuis Darwin, on sait aujourd'hui que beaucoup de variants peuvent également atteindre une fréquence de 100% dans l'espèce par hasard, sans qu'il y ait besoin de sélection, surtout si les effectifs de l'espèce sont réduits.



Page from Darwin's species notebooks, written between 1837-38, his notes outline his ideas on the 'transmission of species'.

Reproduced with permission of the Syndicate of Cambridge University Library.

Une page des cahiers de Darwin sur les espèces, rédigés entre 1837-38, ses notes donnent les grandes lignes de ses idées sur la transmission des espèces.

Reproduced with permission of the Syndicate of the Bibliographic of the University of Cambridge.



Illustration from the first edition of *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* depicting the evidence that different species with shared characteristics can be explained through common ancestors.

Reproduced with permission from John van Wyke, ed., *The Complete Works of Charles Darwin Online* (<http://darwin-online.org.uk>).

Illustration de la première édition de *L'Origine des Espèces au Moyen de la Sélection Naturelle* qui démontre que les caractéristiques communes chez différentes espèces peuvent être expliquées par des ancêtres communs. Reproduit avec l'autorisation de John van Wyke, ed., *The Complete Works of Charles Darwin Online* (<http://darwin-online.org.uk>).



Diagram of pigeon skulls showing how domestication and selection led to variations within one species.

Reproduced with permission from John van Wyke, ed., *The Complete Works of Charles Darwin Online* (<http://darwin-online.org.uk>).

Illustration de crânes de pigeons montrant comment la domestication et la sélection ont conduit à la variation à l'intérieur d'une espèce.

Reproduit avec l'autorisation de John van Wyke, ed., *The Complete Works of Charles Darwin Online* (<http://darwin-online.org.uk>).

Background: Cover from the first edition of *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, published by John Murray in 1859.

Reproduced with permission from John van Wyke, ed., *The Complete Works of Charles Darwin Online* (<http://darwin-online.org.uk>).

Fond: Couverture de la première édition de *L'Origine des Espèces au Moyen de la Sélection Naturelle ou la Préservation des Races Favorisées dans la Lutte pour la Vie*, publiée par John Murray en 1859.

Reproduit avec l'autorisation de John van Wyke, ed., *The Complete Works of Charles Darwin Online* (<http://darwin-online.org.uk>).

4 REACTIONS

RÉACTIONS

Darwin's readers had strong opinions about his book in its early years – but in very different ways.

Dès sa parution, le livre de Darwin suscita des réactions à la fois très vives et très contrastées.

'How extremely stupid not to have thought of that!'
Thomas Huxley, naturalist

'He has opened a path of inquiry full of promise, the results of which none can foresee.'
John Stuart Mill, philosopher

'One of the most interesting parts of Mr Darwin's volume is that in which he establishes this law of natural selection; we say established, because – repeating, that we differ from him totally in the limits which he would assign to its action – we have no doubt of the existence or of the importance of the law itself!'
Bishop Samuel Wilberforce

'It is remarkable how Darwin rediscovers, among the beasts and the plants, the society of England with its division of labour, competition, opening of new markets, "revolutions" and Malthusian "struggle for existence".'
Karl Marx, political theorist

The most important original observations, recorded in the volume of 1859 are, in our estimation, its real gems – few indeed and far apart, and leaving the determination of the origin of species very nearly where the author found it.'
Sir Richard Owen, naturalist

'What can we believe but that Darwin's theory is an ingenious and plausible speculation, to which future physiologists will look back with the kind of admiration we bestow on the atoms of Lucretius, or the crystal spheres of Eudoxus, containing like these some faint half-truths, marking at once the ignorance of the age and the ability of the philosopher.'
Henry Charles Fleeming Jenkin, engineer

'I have read your book with more pain than pleasure. Parts of it I admired greatly, parts I laughed at, till my sides were almost sore; other parts I read with absolute sorrow, because I think them utterly false and grievously mischievous.'
Adam Sedgwick, geologist

'We had a capital meeting at Norwich, and dear old Hooker came out in great force as he always does in emergencies. The only fault was the terrible Darwinism, which spread over the section and crept out when you least expected it, even in Fergusson's lecture on "Buddhist temples". You will have the rare happiness to see your ideas triumphing during your lifetime.'
Thomas Huxley, naturalist

« Comme nous avons été stupides de n'y avoir pas pensé ! »
Thomas Huxley, naturaliste

« Il a ouvert une voie d'investigation pleine de promesses, dont nul ne peut prévoir les aboutissements. »
John Stuart Mill, philosophe

« L'un des passages les plus intéressants de l'ouvrage de Monsieur Darwin est celui où il établit cette loi de la sélection naturelle ; nous disons « établit » car, tout en relevant notre total désaccord avec les limites excessives qu'il prête à l'action de cette loi, nous n'avons aucun doute quant à l'existence ou à l'importance de la loi elle-même. »
Évêque Samuel Wilberforce

« Il est remarquable de voir Darwin redécouvrir, parmi les animaux et les plantes, la société anglaise avec sa division du travail, la compétition, l'ouverture de nouveaux marchés, ses « révolutions » et le « lutte malthusienne pour la vie ». »
Karl Marx, théoricien politique

« Ce qui fait à nos yeux la valeur de l'ouvrage de 1859 ce sont les observations originales les plus importantes qu'on y relève – rarissimes, à dire vrai – et laissant la détermination de l'origine des espèces pratiquement au point où l'auteur l'avait trouvée. »
Sir Richard Owen, naturaliste

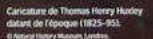
« Que penser sinon que la théorie de Darwin est une spéculation astucieuse et plausible, pour laquelle les futurs physiologistes auront rétrospectivement la même admiration que nous pour les atomes de Lucrèce ou les sphères en cristal d'Eudoxe, comportant comme ces derniers quelques légères demi-vérités qui trahissent à la fois l'ignorance de l'époque et la compétence du philosophe. »
Henry Charles Fleeming Jenkin, ingénieur

« J'ai lu votre livre avec plus de peine que de plaisir. Certaines passages m'ont rempli d'admiration ; d'autres m'ont fait rire à en avoir mal aux côtes ; d'autres encore m'ont profondément attristé, car ils me paraissent totalement faux et cruellement pessimistes. »
Adam Sedgwick, géologue

« Nous avons eu une réaction passionnante à Norwich et ce bon vieux Hooker a fait une intervention enflammée, comme toujours lors de situations critiques. La faute en était uniquement au darwinisme, qui avait envahi la section et surpassait là où on l'attendait le moins, même dans l'exposé de Fergusson sur les temples bouddhistes ! Vous connaîtrez le bonheur rare de voir vos idées triompher de votre vivant. »
Thomas Huxley, naturaliste



Contemporary cartoon of Thomas Huxley (1825–95).
© Natural History Museum, London.



Caricature of Thomas Huxley dans de l'époque (1823–95).
© Natural History Museum, London.



Above top: Bishop Samuel Wilberforce (1805–72).
© John Margaret Cameron, Wellcome Library, London.



Above: Lithograph of Karl Marx (1818–83).
© Wellcome Library, London.



En haut : Henry Charles Fleeming Jenkin (1833–85).
© Wellcome Library, London.



Ci-dessous : Lithographie de Karl Marx (1818–83).
© Wellcome Library, London.



Sir Richard Owen (1804–92).
© Natural History Museum, London.



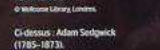
Sir Richard Owen (1804–92).
© Natural History Museum, London.



Above top: Henry Charles Fleeming Jenkin (1833–85).
© Wellcome Library, London.



Above: Adam Sedgwick (1785–1873).
© Wellcome Library, London.



En haut : Henry Charles Fleeming Jenkin (1833–85).
© Wellcome Library, London.



Ci-dessous : Adam Sedgwick (1785–1873).
© Wellcome Library, London.

Background: Illustration of sea anemone from Ernst Haeckel's *Kunstformen der Natur*, 1899.
© Humboldt Universität zu Berlin/The Bridgeman Art Library

Fond: Gravure représentant une anémone de mer, extraite du livre d'Ernst Haeckel *Kunstformen der Natur*, 1899.
© Humboldt Universität zu Berlin/The Bridgeman Art Library

Darwin NOW

www.britishcouncil.org/darwin

5 EVIDENCE FOR EVOLUTION – THEN LES PREUVES DE L'ÉVOLUTION – À L'ÉPOQUE

The Origin of Species persuaded many readers that evolution occurs because Darwin expounded the arguments for and against with such thoroughness. He also presented them with a vast amount of varying types of evidence.

Darwin laid out the enormous diversity of living things. He described the equally impressive variation within single species, brought about by people controlling the breeding of dogs, horses, pigeons or cattle. He also related the slow appearance – and disappearance – of species in the record left by fossils in the rocks.

The critical evidence came from close comparisons. Comparing fossils from different periods showed gradual change over time. Comparing body plans and bone structures of different living species showed how they were related to one another by common descent. Comparing growing embryos showed how apparently different species looked much more alike when they were at the earliest stages of development.

There was also another line of evidence, which was close to Darwin's heart because it recalled things he had seen with his own eyes on his youthful travels. The distribution of species of many kinds, in many lands, fitted his new view of the long history of the Earth and the power of variation to create slow changes in living forms.

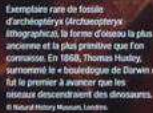
Particularly important here was the life of islands, such as the Galapagos Archipelago. Species found in the mainland that could have flourished on islands were often absent – this suggested that the species that live on islands were not created there, but had somehow, in the past, managed to colonise the islands from the mainland.



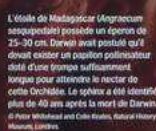
Rare fossil of the 'dovebird' (*Archaeopteryx lithographica*), the earliest and most primitive form of bird known. In 1868, Thomas Huxley, Darwin's 'Bulldog', was the first to suggest that birds evolved from dinosaurs.
© Natural History Museum, London.



The Madagascar orchid (*Angraecum sesquipedale*) has a nectar tube of 25–30cm. Darwin theorised that a pollinator moth must exist with a proboscis long enough to reach the nectar. The hawk moth was identified over 40 years after Darwin's death.
© Peter Whitehead and Colin Hodson, Natural History Museum, London.



Exemplaires rares de fossiles d'archéoptéryx (*Archaeopteryx lithographica*), la forme d'oiseau la plus ancienne et la plus primitive que l'on connaisse. En 1868, Thomas Huxley, surnommé le « bulldog » de Darwin, fut le premier à avancer que les oiseaux descendent bien des dinosaures.
© Natural History Museum, London.



Un spécimen rare de fossile d'archéoptéryx (*Archaeopteryx lithographica*), la forme d'oiseau la plus ancienne et la plus primitive que l'on connaisse. En 1868, Thomas Huxley, surnommé le « bulldog » de Darwin, fut le premier à avancer que les oiseaux descendent bien des dinosaures.
© Peter Whitehead and Colin Hodson, Natural History Museum, London.

Si L'origine des espèces a convaincu de nombreux lecteurs de la réalité de l'évolution, c'est que Darwin a exposé avec beaucoup de sérieux les arguments pour et contre sa théorie. Il les a également accompagnés d'innombrables preuves extrêmement diverses.

Darwin a montré l'immense diversité des êtres vivants. Il a décrit les variations tout aussi impressionnantes générées à l'intérieur d'une même espèce par les éleveurs de chiens, de chevaux, de pigeons ou de bovins. Il a également raconté la lente apparition – et disparition – d'espèces, en prenant comme argument la trace laissée par les fossiles dans la pierre.

Les preuves décisives reposent sur des études comparatives approfondies. Des comparaisons de fossiles de différentes périodes ont révélé une évolution progressive dans le temps. Des comparaisons des plans d'organisation et de la structure des os de différentes espèces vivantes ont montré qu'elles étaient liées par une origine commune. Des comparaisons d'embryons en pleine croissance ont indiqué que des espèces en apparence différentes se ressemblaient beaucoup plus à un stade précoce de développement.

Une autre série de preuves était également chère au cœur de Darwin, parce qu'elle lui rappelait ce qu'il avait vu lors de ses voyages de jeunesse. La répartition des espèces de nombreuses sortes, dans de nombreux pays, allait dans le sens de sa nouvelle thèse de la longue histoire de la Terre et d'une capacité de variation rendant possibles de lentes transformations des formes vivantes.

La vie sur les îles, notamment l'archipel des Galapagos, a joué ici un rôle particulièrement important. Des espèces observées sur le continent dans le même type d'environnement et qui auraient pu prospérer sur les îles, y étaient pourtant souvent absentes : cela laissait supposer que les espèces qui vivent sur les îles n'y avaient pas été créées, mais avaient réussi par le passé à coloniser les îles à partir du continent.



Illustration of the jawbone of the ground sloth (*Mylodon darwini*) when he was in Brazil. Darwin discovered a fossil of the ground sloth – which became extinct about 10,000 years ago.
© Natural History Museum, London.



Illustration of a Darwin hawk moth (*Xanthopan morgani praedicta*) feeding from a Madagascar orchid (*Angraecum sesquipedale*).
© Illustration by Emily Damstra, Courtesy of the Smithsonian Institution.



Os de mâchoire de paresseux géant (*Mylodon darwini*). Quand il était au Brésil, Darwin a découvert un fossile de paresseux géant dont l'espèce n'est éteinte il y a environ 10 000 ans.
© Natural History Museum, London.



Spéculum de Darwin (*Xanthopan morgani praedicta*) aspirant le nectar d'une orchée de Madagascar (*Angraecum sesquipedale*).
© Illustration de Emily Damstra, Avec l'aimable autorisation de la Smithsonian Institution.

Background: Close up of the centre of an ammonite.
© Helen County, Natural History Museum, London.

Fond : Détail d'une ammonite à proximité de son centre.
© Helen County, Natural History Museum, London.

6 EVIDENCE FOR EVOLUTION – NOW

LES PREUVES DE L'EVOLUTION – AUJOURD'HUI

Darwin gathered a mass of information to support his ideas. The types of evidence he used – from fossils to distribution of species – are all much more developed 150 years later. The proliferation of living forms in the so-called Cambrian explosion around 530 million years ago, for example, has been studied in enormous detail.

Darwin avait déjà réuni une très grande quantité d'informations pour étayer ses idées. Mais 150 ans plus tard, on est allé beaucoup plus loin dans l'étude des preuves utilisées – des fossiles à la répartition des espèces. La prolifération des formes vivantes lors de ce qu'on a appelé l'explosion cambrienne (survenue il y a environ 530 millions d'années), par exemple, a été étudiée de façon très approfondie.

But there is even more impressive evidence for evolution from recent biological discoveries, which Darwin had no knowledge of. Much of it comes from studying deoxyribonucleic acid or DNA, the chemical at the heart of heredity, and thus the raw material for evolution.

Looking closely at DNA reveals new evidence on how different species are related. Genes for basic components of cells have been preserved through time – most variations here are eliminated by natural selection as they are harmful. Sequencing the same gene in many species reveals a clear pattern of descent with modification. The longer the time since two species had a common ancestor, the more numerous the small differences in their genes will be. So the human version of a gene will be more like

the chimpanzee version than that of a mouse or a fish; the mouse version will be more like that of a rat. These traces of past change can now be mapped in detail; furthermore, evolution is still in evidence today.

The spread of bacteria, which can resist antibiotics, is a good example of evolution in action. When chemicals attack bacteria that can survive the encounter will go on to reproduce when the other bacteria die. As bacteria reproduce quickly, and have other methods of spreading genes between them, the resistance can easily spread faster than scientists can develop new antibacterial drugs.

Des découvertes biologiques récentes, dont Darwin n'avait alors pas connaissance, apportent des preuves encore plus frappantes de l'évolution. La plupart résultent de l'étude de l'acide désoxyribonucléique, ou ADN, la substance chimique au cœur de l'hérédité, et donc la matière première de l'évolution.

Un examen attentif de l'ADN apporte une nouvelle preuve des liens qui existent entre différentes espèces. Des gènes des composantes élémentaires des cellules ont été préservés dans le temps; la plupart des variations ont été éliminées par la sélection naturelle parce qu'elles étaient nocives. Le séquençage du même gène de nombreuses espèces révèle un phénomène évident d'ascendance avec des modifications. Plus il s'est écoulé de temps depuis l'époque où deux espèces avaient un ancêtre commun, plus les petites différences observées dans leurs gènes

sont nombreuses. Ainsi, la version humaine d'un gène sera plus proche de celle du chimpanzé que de celle de la souris ou du poisson; la version de la souris sera plus proche de celle du rat. On peut aujourd'hui étayer la cartographie détaillée de ces traces de transformation passée; l'évolution est en outre toujours visible de nos jours.

La prolifération de bactéries capables de résister aux antibiotiques est un bon exemple de l'évolution en action. Quand les substances chimiques les attaquent, les bactéries qui résistent à leur venue continuent à se reproduire alors que les autres meurent. Parce qu'elles se reproduisent rapidement et ont d'autres méthodes pour propager leurs gènes, elles peuvent développer une résistance en moins de temps qu'il n'en faut aux scientifiques pour développer de nouveaux médicaments antibactériens.



Molecular model of a short section of DNA double helix generated from X-ray diffraction data.
© Wellcome Library, London.

Modèle moléculaire d'une courte section d'ADN en double hélice, réalisé à partir de données de diffraction des rayons X.
© Wellcome Library, London.



Wild-type fruit fly (*Drosophila melanogaster*) – this fly has been used since the early 20th century as a model organism in genetics.
© Wellcome Library, London.

Mouche du vinaigre (*Drosophila melanogaster*) – elle est utilisée depuis le début du 20^e siècle par les généticiens comme organisme expérimental modèle.
© Wellcome Library, London.



Zebrafish (*Danio rerio*) are now also used as a model organism by geneticists to test their theories of inheritance and gene function.
© Wellcome Library, London.

Le poisson zébra (*Danio rerio*) est aujourd'hui utilisé par les généticiens comme organisme modèle pour vérifier leurs théories sur le patrimoine héréditaire et la fonction des gènes.
© Wellcome Library, London.

Background: Eye of an adult fruit fly (*Drosophila melanogaster*) – coloured.
© David Strait, Wellcome Library, London.

Fond: Œil de mouche du vinaigre adulte (*Drosophila melanogaster*), coloré.
© David Strait, Wellcome Library, London.

7 DOES EVOLUTION CHALLENGE RELIGION? L'EVOLUTION MENACE-T-ELLE LA RELIGION ?

Charles Darwin proposed a scientific explanation for the origin of species, including the human species. This is what evolutionary science continues to do today. However, religions and myths have long presented explanations of the origin of the world and its inhabitants. Must there be conflict between science and religion? Is agreement necessary?

Scientific explanation has not called upon providence or supernatural causes for more than two centuries. Science explains the natural world solely through experimental means which can be undertaken in the physical world. More importantly, testable experiments verified by independent investigations are the means by which scientists mutually test their claims and collectively agree on scientific facts and their interpretation. This is also true for the science of evolution.

Religious statements are absent from scientific explanations because of the methodology of the scientific profession. Scientists create statements about the physical world and its origins and validate their results collectively through dialogue and repetition of experiments. It is not the aim of scientists to become involved with metaphysics, or concern themselves with speculative or abstract reasoning. The metaphysical world belongs to

philosophers, theologians and religions. Metaphysical choices are personal.

We hear about conflicts between science and religion, either because some religious groups try to dictate what is to be found by science, what is true and what is false in the physical world, or because some scientists claim on behalf of their scientific discipline that their own metaphysical position is supported by scientific facts that have been independently corroborated.

Neither Charles Darwin nor today's scientists have explained or supported facts about evolution with the aim to destroy religious perspectives. It's simply not their job. On behalf of the scientific profession, scientists propose facts validated collectively. In parallel, each person is free to examine for themselves the metaphysical implications of scientific results and to make their own choices.

Charles Darwin propose une explication scientifique de l'origine des espèces et de l'homme. C'est toujours ce que font les sciences de l'évolution aujourd'hui. Or, les grands récits et les discours sur les origines sont déjà investis, en dehors des sciences, par les religions et les mythes. Faut-il qu'il y ait conflit ?

Depuis plus de deux cents ans, l'explication scientifique ne fait plus appel à la providence ou à des causes surnaturelles. Elle n'entend expliquer le monde naturel, qu'en ayant recours aux seules ressources expérimentales que permet le monde physique. Les expériences scientifiques vérifiables et vérifiées par des observateurs indépendants sont le moyen par lequel les scientifiques testent des hypothèses et se mettent collectivement d'accord entre eux sur les faits scientifiques et leur interprétation. Ceci est vrai aussi pour les sciences de l'évolution.

Si les déclarations religieuses sont absentes des explications scientifiques, c'est pour une raison de méthode de travail. Les scientifiques se réservent le monde physique et ses origines et valident leurs résultats collectivement par le dialogue et la répétition d'expériences. Leur profession n'a pas pour rôle ni objectif de dicter ou de prescrire quoi que ce soit sur le plan métaphysique. Le monde

métaphysique appartient aux philosophes, à la théologie et aux religions. Les choix métaphysiques sont d'ordre personnel.

Si nous entendons parler de conflits entre l'évolution et certaines religions, c'est soit parce que les groupes religieux tentent de dicter ce qui peut être démontré par la science, ce qui est vrai ou faux concernant le monde physique, soit que des scientifiques soutiennent que leur discipline valide collectivement telle ou telle posture métaphysique.

Ni Charles Darwin, ni les scientifiques d'aujourd'hui n'ont expliqué les faits de l'évolution biologique dans le but de détruire les perspectives religieuses. Ceci n'est pas leur travail. A titre collectif, les scientifiques proposent des faits collectivement validés. A titre personnel, chaque individu possède la liberté d'examiner, pour eux, la signification métaphysique des résultats des sciences et de faire ses choix.

8 HOW DO NEW SPECIES APPEAR? COMMENT LES NOUVELLES ESPECES APPARAISSENT-ELLES ?

Darwin offered a theory to explain how one species can change into another. That is what evolution means. Accepting his theory meant overturning the older view of species as distinct kinds, which stay the same for ever. Although it convinced biologists around the world it also prompted questions that are still being debated.

Darwin a proposé une théorie pour expliquer comment une espèce peut se transformer en une autre. C'est précisément ce que signifie l'évolution. Accepter cette théorie, c'est réduire à néant la thèse plus ancienne qui voit dans les espèces des types distincts qui sont immuables. Si cette théorie a convaincu des biologistes du monde entier, elle a aussi soulevé des questions débattues aujourd'hui encore.

One such question, vital for biologists, was how exactly does change within a population lead to recognisably different species?

A possible reason is separation. When, for example, part of the population is segregated – by sea, a mountain range, river or sea channel – and if the barrier is maintained for a sufficient length of time, the two populations will change enough to become unable to interbreed. That is often taken as an unreasonable condition for two collections of similar creatures to be classed as separate species. However, it is not the only one, and it does not always apply.

Another possibility, which has received more attention in the last two or three decades, is that sub-populations, which are not physically separate, can find other ways of moving apart biologically.

Genetic changes create small differences in behaviour – such as eating habits, or mating preferences – which can gradually increase. Over time, these lead to divergent ways of life without physical separation.

Professor Jim Mallet of University College London has been exploring how this can work in a series of closely related species of tropical Heliconius butterflies. Butterfly wing colours and patterns change slowly. That itself does not lead to new species. Some of the butterflies exude chemicals with a taste that is repugnant to butterfly-eating birds. He also discovered that male butterflies have a strong preference for females whose wings match their own. As these characteristics interact, new species emerge, and they no longer interbreed.

L'une de ces questions, vitale pour les biologistes est de savoir comment exactement un changement à l'intérieur d'une population aboutit à des espèces manifestement différentes.

Une raison possible est la séparation. Par exemple, si une partie de population est isolée pendant assez longtemps par une chaîne de montagnes, une rivière ou un bras de mer, les deux populations changeront suffisamment pour devenir incapables de se reproduire entre elles. C'est souvent un argument considéré comme irréaliste pour classer deux ensembles de créatures similaires dans des espèces distinctes. Mais ce n'est pas la seule et elle ne s'applique pas toujours.

Une autre hypothèse, qui fait son chemin depuis vingt ou trente ans, est que des sous-populations physiquement non séparées peuvent trouver des moyens de se différencier sur le plan biologique. Les modifications génétiques induisent de petites différences de comportement, comme

les habitudes alimentaires ou les préférences d'accouplement, qui peuvent progressivement s'amplifier. Avec le temps, cela conduit à des modes de vie différents, même sans séparation physique.

Le professeur Jim Mallet, de l'University College London, a étudié le phénomène en prenant une série d'espèces proches d'une même espèce d'Heliconius. Si les couleurs et les motifs des ailes changent facilement, cela ne suffit pas pour créer de nouvelles espèces. Certains de ces papillons produisent des substances chimiques dont le goût repousse les oiseaux prédateurs. Il a également découvert que les papillons mâles ont une préférence marquée pour les femelles dont les ailes ressemblent aux leurs. Les interactions entre ces caractéristiques produisent des espèces nouvelles qui ne se croisent plus.



Plate showing four forms of *Heliconius rumalis*, two forms of *Heliconius erato*, and the two corresponding mimicking forms of *Heliconius erato* highlighting the diversity of patterns and mimicry in Heliconius butterflies.
© This image was published in a Public Library of Science journal.



Illustration of a Galapagos mockingbird (*Mimus melanocephalus*). Variations between the mockingbirds on the Galapagos Archipelago first aroused Darwin's attention to the distribution of species on the islands.
Reproduced with permission from John van Melle, ed., The Complete Works of Charles Darwin Online (<http://www.darwin.org.uk>).



The Galapagos Archipelago in Ecuador, Ecuador.
© Alexander Steinhilber

Plaque montrant quatre formes d'*Heliconius rumalis*, deux formes d'*Heliconius erato* et les deux formes mimétiques correspondantes d'*Heliconius erato*, qui illustrent la diversité des motifs et le mimétisme chez les papillons du genre *Heliconius*.
© Cette image a été publiée dans une revue de la Public Library of Science.

Illustration d'un moineau des Galapagos (*Mimus melanocephalus*). Les différences entre ces oiseaux moqueurs sur l'archipel des Galapagos ont éveillé l'attention de Darwin sur la répartition des espèces dans les îles.
Reproduit avec l'autorisation de John van Melle, ed., The Complete Works of Charles Darwin Online (<http://www.darwin.org.uk>).

Background: wing scale detail from purple emperor butterfly (*Apatura iris*)
© Stephen Dalton/www.rhps.co.uk

Fond : Détail des écailles de l'aile d'un Grand Mars changeant (*Apatura iris*).
© Stephen Dalton/www.rhps.co.uk

Darwin NOW

www.britishcouncil.org/darwin

9 EVOLVING HUMANS

L'ÉVOLUTION DE L'HOMME

Darwin's theory of common descent had a startling implication: 'Humans are not separate from the rest of nature. Yet we are also clearly different from other creatures. Evolutionary theory is a product of human culture, which is itself a mark of that difference.'

La théorie de Darwin sur l'origine commune a eu une implication frappante : « Les hommes ne sont pas distincts du reste de la nature. Pourtant nous sommes par ailleurs nettement différents des autres créatures. La théorie de l'évolution est un produit de la culture humaine qui est en soi une marque de cette différence. »

Explaining the emergence of human consciousness and culture still challenges researchers in many fields. We can now compare the complete gene sequences of humans and our closest living relatives, the chimpanzees. This offers clues to which changes in DNA were crucial in producing prominent human traits. Our enlarged brains, upright walking, and use of language must have begun with genetic mutations, and these are still being unravelled.

These genetic studies combine with analysis of other traces from the past to build up a picture of more recent developments in human culture – such as tool-making.

Detailed examination of stone tools from many ancient sites can be used to map a new kind of gradual change – cultural evolution.

Robert Foley, Director of the Leverhulme Centre for Human Evolutionary Studies, University of Cambridge, emphasises that changes in tools can be seen in two ways. First, they may be a record of development and migration of groups, which used different techniques to sculpt their flints. Second, the differences may have more to do with responses of groups with similar skills to different environments, or to the kind of rocks they could obtain. 'Both history and ecology are important, as is the case with most evolutionary problems,' he says.

Then comes a more speculative part of the story – determining what the use of these techniques suggests about the different tool-users' thought processes and systems of planning, co-operation and communication.

Expliquer l'émergence de la conscience humaine et de la culture reste une gageure pour les chercheurs de nombreuses disciplines. Nous sommes actuellement capables de comparer des séquences complètes de gènes humains avec celles de nos parents les plus proches encore vivants, les chimpanzés. Cela nous donne des indices sur les modifications d'ADN qui ont été déterminantes pour produire les traits saillants de l'espèce humaine. Notre cerveau plus grand, la bipédie et l'utilisation du langage ont probablement commencé par des mutations génétiques, lesquelles sont toujours en cours d'élucidation.

Ces études génétiques se combinent à l'analyse d'autres traces du passé pour brosser un tableau des développements plus récents de la culture humaine, tels que la fabrication d'outils.

L'examen détaillé d'outils en pierre provenant de nombreux sites anciens permet d'établir une cartographie d'une nouvelle sorte d'évolution

progressive : l'évolution culturelle. Robert Foley, directeur du Leverhulme Centre for Human Evolutionary Studies à l'Université de Cambridge, insiste sur le fait que l'évolution des outils peut être considérée de deux façons. D'abord elle peut être un témoignage du développement et de la migration de groupes qui utilisaient des techniques différentes pour tailler le silex. Deuxièmement, ces différences peuvent procéder plutôt de réactions de groupes ayant des compétences semblables à des environnements différents ou au type de roche qu'ils pouvaient trouver. « L'histoire et l'écologie sont toutes deux importantes, comme bien souvent en matière d'évolution », affirme-t-il.

Mais la question a également un aspect plus spéculatif : déterminer ce que l'utilisation de ces techniques laisse entrevoir sur les différents processus de pensée et systèmes de planification, de coopération et de communication des utilisateurs de ces outils.



Flint hand axe from the late Palaeolithic period, England.
© Natural History Museum, London.

Hache en silex de la fin du paléolithique, Angleterre.
© Natural History Museum, London.



Left to right: Australopithecus africanus; Homo habilis; Homo erectus; Homo heidelbergensis; Homo neanderthalensis; and Homo sapiens. Arranged in chronological order these specimens (casts) illustrate human evolution.
© Natural History Museum, London.

De gauche à droite : Australopithecus africanus ; Homo habilis ; Homo erectus ; Homo heidelbergensis ; Homo neanderthalensis ; et Homo sapiens. Présentés dans l'ordre chronologique, ces spécimens (moulages) illustrent l'évolution de l'homme.
© Natural History Museum, London.



A chimpanzee using a grass stem as a tool to fish for termites.
© Chris Bristow/www.chrisbristow.com

Chimpanzé utilisant un brin d'herbe comme outil pour attraper des termites.
© Chris Bristow/www.chrisbristow.com

Background: Frontal view of a cast of a skull belonging to Homo sapiens Le Vallard, adult male about 45 years of age.
© Natural History Museum, London.

Fond : Vue de face d'un moulage de crâne appartenant à un Homo sapiens, « Le Vallard », homme d'environ 45 ans.
© Natural History Museum, London.

10 HOW DID MUSIC EVOLVE?

COMMENT LA MUSIQUE A-T-ELLE ÉVOLUÉ ?

Wherever people are found, there is music, but how did music-making evolve? Darwin raised the question, but found no answer. The difficulty was in determining what advantage is offered to the music-maker by the making of music.

Partout où il y a des hommes, il y a de la musique, mais comment la production musicale a-t-elle évolué ? Darwin a soulevé la question, mais n'a pas trouvé de réponse. La difficulté était de déterminer l'avantage que celui qui produit de la musique tire de cette action.

Speech and music both involve sound, which came first – music or language – remains unclear. Scientists can study changes in the vocal tract as early humans developed, but the sounds they made leave no trace. Studies of modern brains show that some regions are involved in both understanding language and interpreting music. Yet there are people who are both tone deaf and non-stop talkers.

Some Darwinian theorists, such as the Harvard psychologist Steven Pinker, have suggested that music is an accident, not an adaptation. It satisfies our ears in the same way that a slice of cake appeals to our taste buds.

Others, following Darwin himself, think sexual selection is important. Geoffrey Miller of the University of New Mexico argues that music is

driven by mate choice. Simply put, musical performance is rather like the courtship display seen in many other species.

Steven Mithen of the University of Reading, England, has recently advanced a different view. Drawing on archaeology, fossil evidence, and studies of brains, genes, language and music in many cultures, he suggests that music and language both emerged from a common precursor – a quasi-musical use of sound – which our ancestors used for communicating. These complex calls could have found uses as "ah-ha" lullabies or as part of group celebration. He also suggests that the groups that developed this use of sound had more offspring and more descendants, which is why music-making survives today. However, this route to reproductive success is more complex than simple mate choice.

La parole et la musique mettent en œuvre des sons. On ne sait toujours pas ce qui, de la musique ou du langage, est apparu en premier. Si les scientifiques peuvent tracer l'évolution de l'appareil vocal depuis les premiers humains, les sons que ceux-ci produisaient n'ont laissé aucune trace. Des études du cerveau moderne montrent que certaines régions sont impliquées dans la compréhension du langage et l'interprétation de la musique. Or, il y a des gens qui, malgré une agnosie musicale, sont de grands bavards !

Certains théoriciens darwiniens, comme le psychologue Steven Pinker de l'université de Harvard, ont suggéré que la musique était un accident, pas une adaptation. Elle satisfait nos oreilles de la même façon qu'une tranche de gâteau satisfait nos papilles gustatives. D'autres, suivant en cela Darwin lui-même, pensent que la sélection sexuelle joue un rôle important. Geoffrey Miller, de l'université du Nouveau-Mexique, soutient que la musique est dictée par le choix du partenaire sexuel. Pour dire les choses

simplement, la pratique musicale s'apparenterait aux parades nuptiales observées chez de nombreuses autres espèces.

Steven Mithen, de l'université de Reading, en Angleterre, a récemment avancé une conception différente. En s'appuyant sur l'archéologie, les traces fossiles et des études du cerveau, des gènes, du langage et de la musique dans de nombreuses cultures, il affirme que la musique et le langage sont issus d'un précurseur commun – une utilisation quasi-musicale du son – que nos ancêtres employaient pour communiquer. Ces appels complexes pourraient avoir trouvé des applications telles que les berceuses pour endormir les enfants ou les célébrations collectives. Il affirme également que les groupes ayant développé cet usage du son ont eu plus d'enfants et plus de descendants, ce qui expliquerait la survivance de la production musicale aujourd'hui. Toutefois, cette voie vers le succès reproductif est plus complexe que le simple choix du partenaire sexuel.



Bells on a classical Indian dancer's ankles.
© Reuters/Anadolu

Clochettes portées aux chevilles par une danseuse indienne classique.
© Reuters/Anadolu



Above top: Women playing the traditional Japanese instrument, the koto.
© Rada Kovacs



Above top: Musician from Benin with fiddle and small percussion instrument.
© Peter Worman



Above: Girls playing a Chinese drum.
© Araga Delgado



Above: Marino band playing bagpipes.
© Joseph Lunnan

En haut : Femmes jouant du koto, instrument japonais traditionnel.
© Rada Kovacs

En haut : Musicien du Bénin avec fiddle et petit instrument à percussion.
© Peter Worman

Ci-dessus : Fillettes jouent du tambour chinois.
© Araga Delgado

Ci-dessus : Fanfars de marins jouant de la cornemuse.
© Joseph Lunnan

Background: Sheet music score.
© Peter Worman

Fond : Partitions de musique.
© Peter Worman

11 HOW DO GENOMES EVOLVE?

COMMENT LES GÉNOMES ÉVOLUENT-ILS ?

Genetic change is the motor of evolution. A single change in a gene's DNA sequence might be of no consequence or it might be damaging, leading to a defective protein molecule; occasionally, it might be advantageous.

Le changement génétique est le moteur de l'évolution. Un seul changement dans la séquence d'ADN d'un gène peut soit n'avoir aucune conséquence, soit provoquer des dommages et rendre une molécule de protéine défectueuse ; il peut occasionnellement être avantageux.

In the 21st century, the story is becoming more complex. Biologists are now looking at entire genomes – the complete library of DNA in each cell of an organism.

The human genome, for example, has 3,000,000,000 'junk letters', known as bases and labelled chemically C, A, T, or G. However, the 25,000 or so human genes take up less than two per cent of this massive text. So what is the rest of that DNA doing?

It might be 'junk' – a kind of harmless molecular parasite. If so, mutations in the vast majority of the genome would go unnoticed, but we now know that large parts of these sequences are conserved. Natural selection has removed any random changes in the DNA, so it must be used for something.

While work on this continues, other studies of genomes have shed light on larger mechanisms of evolution. 'junk' DNA can contain non-functional genes – a kind of genetic fossil – or it may contain duplicates of important genes. If there is an extra copy of such a gene, it does not matter if mutations slowly build up. This means the organism can experiment with varied forms of the gene that may, in turn, find similarly new uses. Much more rarely copying mistakes can lead to duplication of an entire genome. This seems to have happened several times during the evolution of creatures with backbones, for example. Some researchers suggest – controversially – that such full-scale duplications are vital for the development of more complex creatures.

Au 21^e siècle, l'histoire se complique. Les biologistes étudient maintenant des génomes entiers – la bibliothèque complète de l'ADN de chaque cellule d'un organisme.

Le génome humain, par exemple, possède 3,000,000,000 « lettres » d'ADN, appelées bases et désignées par les lettres C, A, T ou G. Pourtant, les quelques 25 000 gènes de l'homme occupent moins de deux pour cent de cette masse impressionnante. Que fait donc le reste de cet ADN ?

Il pourrait s'agir d'un ADN « inutile », une sorte de « parasite » moléculaire inoffensif. Dans ce cas, les mutations dans la vaste majorité du génome passeraient inaperçues ; or, nous savons maintenant que de larges parties de ces séquences sont conservées. La sélection naturelle ayant supprimé toute modification aléatoire de l'ADN, il doit par conséquent servir à quelque chose.

Tandis que le travail sur cette question se poursuit, d'autres études de génomes ont fait la lumière sur les mécanismes plus généraux de l'évolution. L'ADN « inutile » pourrait contenir des gènes non fonctionnels – une sorte de fossile génétique – ou des doubles de gènes importants. S'il existe une copie supplémentaire d'un gène de ce type, peut importe que les mutations se produisent lentement.

Cela signifie que l'organisme peut expérimenter des formes variées du gène qui peut, à son tour, trouver des utilisations totalement nouvelles. Beaucoup plus rarement, la duplication d'entiers peut conduire à la reproduction d'un génome entier. Cela semble s'être produit plusieurs fois au cours de l'évolution des créatures vertébrées, par exemple. Certains chercheurs avancent – hypothèse par ailleurs controversée – que ces duplications grandeur nature sont vitales pour le développement de créatures plus complexes.



Microscopy showing a snapshot of all the genes active at a cell at a particular time.
Credit: © The National Human Genome Research Institute.

Pages of DNA containing an instantané de tous les gènes actifs dans une cellule à un moment donné.
Avec l'aimable autorisation de National Human Genome Research Institute.



Mustard weed (*Arabisopsis thaliana*), the first plant to have its genome sequenced.
Credit: © The National Human Genome Research Institute.

L'arabette des dames (*Arabisopsis thaliana*), première plante dont le génome a été séquencé.
Avec l'aimable autorisation de National Human Genome Research Institute.



Model of a strand of DNA extending from the chromosome of a cell.
Credit: © The National Human Genome Research Institute.

Modèle de brin d'ADN provenant du chromosome d'une cellule.
Avec l'aimable autorisation de National Human Genome Research Institute.

Background: Growing crystals of a DNA repair protein bound to DNA.
© Bernard Orlow and Renee Saxon, Wellcome Trust.

Fond: Croissance en pleine croissance d'un protéine de réparation attachée à l'ADN.
© Bernard Orlow and Renee Saxon, Wellcome Trust.

12 INTIMATE EVOLUTION

EVOLUTION INTIME

Darwin was fascinated by examples of organisms that have adapted to each other: a flower with deep-buried nectar and a moth with a tongue long enough to reach it must have evolved together.

Darwin était fasciné par les exemples d'organismes qui se sont adaptés les uns aux autres : une fleur dont le nectar est profondément enfoui et un papillon de nuit doté d'une trompe suffisamment longue pour l'atteindre doivent avoir évolué ensemble.

This kind of co-evolution is a powerful influence on many diseases – ones caused by one organism living inside another. The enduring worldwide killer malaria is an important example. Researchers hope that new insights into the evolution of malaria, and its mosquito and primate hosts, will open up new lines of attack on the disease.

A recent landmark was the completion of the genome sequence of *Plasmodium falciparum*, the malarial species most dangerous to humans.

P. falciparum has some DNA sequences that are preserved almost identically in nearly all samples. Others vary much more. These variant sequences help build proteins that can be targets for the human immune system. The parasite looks as if it is evolving to evade its host's defences.

One puzzle is why malaria is so harmful. The evolutionary history indicates that some variants of the parasite have been infecting humans for millions of years, but there is evidence it has become more deadly in the last few thousand years. More research may help explain whether changes in malaria, or in its human hosts, led to this shift. There is a third player in this particular evolutionary game – the mosquito, which harbours the parasite during half of its complex life cycle. Therefore, small changes in insect behaviour, such as which animals' blood the mosquito chooses to feed on, and how often, can have a big effect on disease transmission.

Such studies will also be important for tracking the possible effects of climate change on mosquito populations, and hence on the risks of an increased spread of malaria.

Ce type de co-évolution a une grande influence sur de nombreuses maladies – celles causées par un organisme vivant à l'intérieur d'un autre. Le paludisme, qui continue à tuer un peu partout dans le monde, en est un exemple majeur. Les chercheurs espèrent que de nouvelles données sur l'évolution du paludisme, son moustique et les primates qui lui servent d'hôtes, ouvriront de nouvelles perspectives pour combattre la maladie.

Un pari important a été franchi récemment avec l'achèvement du séquençage du génome de *Plasmodium falciparum*, l'espèce de parasite paludique la plus dangereuse pour l'homme.

P. falciparum possède certaines séquences d'ADN qui sont conservées de façon quasi identique dans presque tous les échantillons. D'autres varient beaucoup plus. Ces variantes de séquence permettent de produire des protéines qui peuvent être des cibles pour le système immunitaire humain. Le parasite donne l'impression d'évoluer pour

éviter les défenses de son hôte. On n'arrive pas à comprendre pourquoi le paludisme est si nocif. L'histoire de l'évolution montre que certaines variantes du parasite infectent l'homme depuis des millions d'années, mais il semblerait qu'il soit devenu plus mortel depuis quelques milliers d'années. La poursuite des recherches permettra peut-être d'expliquer si cette évolution est due à des changements au niveau du parasite ou de ses hôtes humains. Il y a un troisième acteur en jeu : le moustique vecteur du parasite pendant la moitié de son cycle de vie complexe. Par conséquent, de petits changements du comportement de l'insecte (par exemple le sang de quel animal il choisit pour se nourrir et à quelle fréquence) peuvent avoir un effet considérable sur la transmission de la maladie.

Ces études seront également importantes pour suivre les effets possibles du changement climatique sur les populations de moustiques, et donc les risques d'aggravation de la pandémie du paludisme.



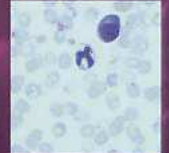
Illustration des phases érythrocytaires (dans le sang humain) du cycle de vie de *Plasmodium falciparum*, le parasite responsable du paludisme.
© Bernard Campbell, Wellcome Images.

Illustration des phases érythrocytaires (dans le sang humain) du cycle de vie de *Plasmodium falciparum*, le parasite responsable du paludisme.
© Bernard Campbell, Wellcome Images.



A mosquito (*Anopheles stephensi*) in flight with its abdomen full of blood.
© Hugh Starnick, Wellcome Images.

Moustique (*Anopheles stephensi*) en vol, l'abdomen rempli de sang.
© Hugh Starnick, Wellcome Images.



Blood smear showing the presence of *Plasmodium falciparum* parasites in the red blood cells.
© H.J. Walker, Wellcome Images.

Frottis sanguin montrant la présence de parasites *Plasmodium falciparum* dans les globules rouges.
© H.J. Walker, Wellcome Images.

Background: Scanning electron micrograph (1990–2002) showing oocysts of the parasite that causes malarial malaria, *Plasmodium yoelii nigrescens*, developing on the mid-gut wall of the mosquito (*Anopheles stephensi*).
© Henry Hunt, Wellcome Images.

Fond : Image obtenue par microscope électronique à balayage (1990–2002) montrant les oocystes de parasite *Plasmodium yoelii nigrescens*, responsable du paludisme chez les rongeurs, en train de se développer sur la paroi du tube digestif du moustique (*Anopheles stephensi*).
© Henry Hunt, Wellcome Images.

13 A LARGER SYNTHESIS?

ÉLARGISSEMENT DE LA SYNTHÈSE ?

Understanding natural selection in terms of genes cemented Darwin's place at the centre of biology. The union of genetics with Darwinian evolutionary theory was famously dubbed the 'modern synthesis' in a book by Thomas Huxley's grandson, Julian, in 1942.

L'éclairage apporté par la génétique sur la sélection naturelle a consolidé la place de Darwin au centre de la biologie. L'union de la génétique et de la théorie évolutionniste de Darwin a été baptisée « théorie synthétique de l'évolution » selon une formule célèbre de Julian Huxley, petit-fils de Thomas, dans l'un de ses ouvrages en 1942.

The study of whole genomes, and collections of genomes, has shed new light on the mechanisms of evolution.

Recent research has focused on the DNA of complete microbial communities, rather than on individual microbes. This work highlights co-operation rather than competition. For example, the series of reactions needed to build up or break down a particular chemical can be distributed between different microbes that live together, even if they are quite different species. Only when all the microbes work together, with each species causing a particular reaction in the series, can the process be completed.

Research on the operation of genomes in individual cells also

reveals unexpected levels of complexity. Many genes are marked with special 'marginal notes', left by adding or modifying chemical groups at precise locations on the outside of the molecules of DNA. These markers affect whether the genes can be switched on or off – and the complete set of markers in a cell registers its state of development.

In addition to these so-called epigenetic markers, recent research is finding many new types of the cellular messenger molecule RNA. They are read from parts of the genome whose purpose was previously unknown, and also help regulate gene action. Here is yet another level for evolutionary selection to operate – which is still being explored.

L'étude de génomes complets et de collections de génomes a jeté une lumière nouvelle sur les mécanismes de l'évolution.

Les recherches récentes se sont concentrées sur l'ADN de communautés microbiennes entières, plutôt que sur certains microbes. Ces travaux mettent en évidence un phénomène de coopération plutôt que de compétition. Par exemple, la chaîne de réactions nécessaires pour produire ou dégrader une substance chimique donnée peut être répartie entre différents microbes qui vivent ensemble, tout en appartenant à des espèces très différentes. Pour que le processus aboutisse, il faut que les microbes travaillent ensemble, chaque espèce déclenchant une réaction particulière de la chaîne.

Les recherches sur le fonctionnement des génomes dans certaines cellules font également apparaître des niveaux de complexité inattendus. De

nombreux gènes sont marqués par des « notes marginales » spéciales, résultant de l'ajout ou de la modification de groupes chimiques à des endroits précis à l'extérieur des molécules d'ADN. Ces marqueurs ont une incidence sur la possibilité pour les gènes d'être activés ou inactivés, et l'ensemble des marqueurs de la cellule enregistre son état de développement.

En plus de ces marqueurs des épigénétiques, des études récentes mettent en évidence de nombreux types nouveaux d'ARN messager cellulaires. Ils sont lus à partir de sections du génome dont on ne connaissait pas la fonction auparavant et contribuent également à la régulation de l'action des gènes. Voici donc un nouveau niveau d'intervention de la sélection évolutive, sur lequel les recherches se poursuivent actuellement.



Confocal image reconstruction of the nematode worm *Caenorhabditis elegans*, often used for genetic studies. The confocal microscope takes a series of sections through a specimen that are reconstituted to produce a three-dimensional image.
© Dr David Becker, Wellcome Images

Image reconstituée du nématode (*Caenorhabditis elegans*), très souvent utilisé pour la recherche en génétique. Le microscope confocal prend une série de coupes optiques à différents niveaux dans l'épaisseur de l'échantillon pour produire, après reconstitution, une image en trois dimensions.
© Dr David Becker, Wellcome Images



A stage 16 chick embryo showing where the *Hoxa 2* gene is switched on (purple). *Hoxa 2* is a transcription factor, binding to DNA and affecting the action of other genes.
© Alagat Tucker, Wellcome Images

Background: A frontal section of a stage 23 chick embryo head showing the distribution of transcripts of the *Bax-1* gene.
© Alagat Tucker, Wellcome Images



Image of hatching nematode.
© Wellcome Trust, Science Photo Library

Écllosion d'un œuf de nématode.
© Wellcome Trust, Science Photo Library

Fond : Coupe frontale de tête d'embryon de poucin au stade 23 montrant la répartition des produits de transcription du gène *Bax-1*.
© Alagat Tucker, Wellcome Images

14 WHY SO MANY?

POURQUOI AUTANT D'ESPÈCES ?

Darwin's account of the origin of new species does not make it clear why there are quite so many similar ones.

In fact, natural selection might lead one to expect a 'winner' takes all competition. Each small space in an ecosystem would end up harbouring just one, amazingly well-adapted species.

However, many ecosystems are not like this. There are 300 different kinds of trees in a typical hectare of tropical forest. Even a habitat such as a chalk grassland can support over 50 species per square metre. They do not seem to have adapted to different conditions but, according to Darwin, even plants are competing to survive. So how do these similar species co-exist?

The answer is that environmental differences can be subtle. Small variations in sunlight, in water, in the soil, or in how deep roots grow, can mean that similar plants experience different conditions.

Also, the better the plants are suited to one precisely defined environment, the less likely they are to compete effectively with plants adapted to a slightly different one.

The renewed attention to variations in micro-environments features in the work of Professor Jonathan Silvertown of the UK-based Open University. He first showed how variations in water use help separate species in English country meadows. This established the importance of 'hydrological niches' - which differ based on how much effort it takes a plant to take up moisture from the soil, or to avoid getting waterlogged. He is now investigating some of the many thousands of species found in the Cape region of South Africa to record how his findings apply in other countries.

L'exposé de Darwin sur l'origine des nouvelles espèces n'explique pas pourquoi il y a tant d'espèces qui se ressemblent.

De fait, la compétition entre espèces pourrait nous amener à croire qu'une espèce l'emporterait sur toutes les autres. Le moindre petit espace d'un écosystème donné finirait par n'abriter qu'une seule espèce particulièrement bien adaptée.

Ce ce n'est pas ce qui se produit dans de nombreux écosystèmes. Il y a 300 sortes différentes d'arbres dans un hectare de forêt tropicale typique. Même un habitat tel que les pelouses calcaires peut abriter plus de 50 espèces au mètre carré. Elles ne semblent pas s'être adaptées à des conditions différentes ; pourtant, selon Darwin, les plantes sont elles aussi en compétition pour survivre. Alors, comment ces espèces similaires coexistent-elles ?

La réponse est que les différences environnementales peuvent être subtiles. Des variations mineures de la lumière solaire, de l'eau, de la nature du sol ou de la profondeur qu'atteignent les racines peuvent créer des conditions différentes pour

des plantes similaires. Et plus les plantes sont adaptées à un environnement défini, moins elles ont de chances de soutenir efficacement la compétition avec des plantes adaptées à un environnement légèrement différent.

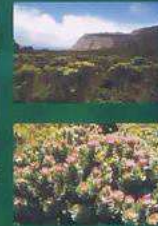
Le regain d'attention suscité par les variations des microenvironnements transparaît dans l'ouvrage du professeur Jonathan Silvertown de l'Open University britannique. Il a été le premier à montrer que des variations de l'utilisation de l'eau contribuent à séparer les espèces dans les prairies de la campagne anglaise. C'est ainsi qu'a été établie l'importance des « niches hydrologiques » qui diffèrent en fonction de l'effort nécessaire à une plante pour absorber l'humidité du sol ou pour éviter d'être noyée d'eau. Il étudie actuellement quelques-unes des milliers d'espèces de la région du Cap, en Afrique du Sud, pour voir si ses conclusions s'appliquent dans d'autres pays.



Chalk grassland at Cocksmead Haven, East Sussex, England. Image reproduced with permission of Dr Fern Eilstein-Rose.



Cape Point, South Africa, where Jonathan Silvertown is conducting research. © Alan Prosser/Alamy Photos.



Albany topi (Banksia lanuginosa, Western Cape, South Africa). Image reproduced with permission of Prof. Jonathan Silvertown.



Pelouses calcaires à Cocksmead Haven, East Sussex, Angleterre. Reproduit avec l'autorisation de Dr Fern Eilstein-Rose.



La Pointe du Cap, Afrique du Sud, où Jonathan Silvertown mène ses recherches. © Alan Prosser/Alamy Photos.



Albany: Mimetes fimbriolatus, Western Cape, South Africa. Image reproduced with permission of Prof. Jonathan Silvertown.



Banksia lanuginosa, Cap-Occidental, Afrique du Sud. Reproduit avec l'autorisation de Prof. Jonathan Silvertown.



Mimetes fimbriolatus, Cap-Occidental, Afrique du Sud. Reproduit avec l'autorisation de Prof. Jonathan Silvertown.



Mimetes fimbriolatus, Cap-Occidental, Afrique du Sud. Reproduit avec l'autorisation de Prof. Jonathan Silvertown.

Jonathan Silvertown's research is funded by the Darwin Initiative. More information about his research is available in his book Darwin in Eden: The pursuit of plant diversity. Chicago University Press (2008). See www.darwininitiative.com

Les recherches de Jonathan Silvertown sont financées par le Darwin Initiative. Pour plus d'informations, voir son livre Darwin in Eden: The pursuit of plant diversity. Chicago University Press (2008). Voir www.darwininitiative.com

Background: Snake's Head Frillary (*Fritillaria meleagris*), which grows in grasslands and heath meadows in Europe. © David Squire, Wikimedia Images.

Fond : Le damier (*Fritillaria meleagris*) qui pousse dans les prairies et les pelouses alternatives d'Europe. © David Squire, Wikimedia Images.