

en marche





© Shutterstock.com/indira's work



© Getty Images/Anthony Lee



© Shutterstock.com/DK samco

DE NOMBREUX CARACTÈRES très répandus sont relativement récents. La peau claire, les yeux bleus, les cheveux lisses et noirs des Asiatiques, et la capacité à digérer le lait à l'âge adulte ont tous émergé pendant les 30 000 dernières années.

une sélection naturelle rapide. L'évolution humaine ne stagne pas. Au contraire, elle semble accélérer.

L'analyse des squelettes anciens suggère que certains caractères humains ont récemment évolué de façon rapide. Il y a environ 11 000 ans, l'homme est passé du statut de chasseur-cueilleur à celui d'agriculteur, et s'est mis à faire cuire ses aliments. Dès lors, son anatomie a changé. Il y a 10 000 ans, par exemple, ses dents étaient en moyenne 10 % plus grosses qu'aujourd'hui en Europe, en Asie et en Afrique du Nord. Quand nos ancêtres ont commencé à manger des nourritures cuites plus molles, nécessitant moins de mastication, la taille de leurs dents et de leurs mâchoires a diminué peu à peu au fil des générations.

Si les anthropologues étudient ces caractères depuis des décennies, ils n'ont réalisé à quel point leur évolution est récente que depuis une dizaine d'années. En outre, l'analyse de génomes humains a précisé les traits sélectionnés. Par exemple, les descendants de fermiers produisent en général plus d'amylase salivaire, une enzyme clef qui décompose l'amidon contenu dans la nourriture. Partout où ils ont adopté des grains renfermant de l'amidon, les premiers agriculteurs semblent s'être adaptés pour mieux le digérer. À notre époque, la plupart des gens ont plusieurs copies du gène *AMY1*, qui est traduit en amylase. Cependant, les chasseurs-cueilleurs

modernes, tels les Datooga de Tanzanie, tendent à avoir moins de copies que les descendants d'agriculteurs.

Une autre adaptation alimentaire représente l'un des exemples les plus étudiés de l'évolution humaine récente : la tolérance au lactose (un sucre présent dans le lait). Presque tous les humains naissent avec la capacité de produire la lactase, une enzyme qui décompose le lactose et facilite la digestion du lait, ce qui est essentiel pour la survie d'un enfant nourri au sein. À l'âge adulte, la plupart des gens perdent cette capacité. À cinq reprises au moins depuis que les hommes ont adopté les laitages,

IL Y A 10 000 ANS, LES DENTS étaient en moyenne 10 % plus grosses qu'aujourd'hui en Europe, en Asie et en Afrique du Nord.

une mutation génétique a prolongé l'activité du gène de la lactase, maintenant le gène actif à l'âge adulte dans plusieurs populations. Trois des mutations se sont produites dans des parties différentes de l'Afrique subsaharienne, siège d'une longue tradition de pastoralisme. Une autre est courante dans la péninsule arabique et semble être apparue dans les populations anciennes de chameliers et de chevriers.

La cinquième mutation (la plus commune) se rencontre aujourd'hui de l'Irlande à l'Inde et c'est en Europe du Nord qu'elle est la plus fréquente. Elle s'est d'abord

produite chez un individu unique il y a quelques milliers d'années. En 2011, des chercheurs ont analysé de l'ADN prélevé sur Ötzi, un homme retrouvé momifié dans un glacier du Nord de l'Italie, et qui vivait il y a environ 5 500 ans. Il n'avait pas le variant génétique prodiguant la tolérance au lactose, signe que ce variant n'était pas encore répandu dans cette région 2 000 ans après sa première apparition. Par la suite, des chercheurs ont séquencé l'ADN extrait de squelettes de fermiers vivant en Europe il y a plus de 5 000 ans. Aucun ne portait la mutation du gène de la lactase. Pourtant, dans cette même région, cette mutation se retrouve aujourd'hui chez des centaines de millions de personnes : elle est présente chez plus de 75 pour cent des Européens. Ce n'est pas un paradoxe, mais une conséquence mathématique de la sélection naturelle. Une nouvelle mutation soumise à la sélection se répand à un rythme exponentiel : il faut d'abord de nombreuses générations pour qu'elle acquière une certaine fréquence au sein d'une population, puis sa croissance s'accélère et elle finit par dominer.

De nombreux traits physiques actuels sont aussi le fruit d'une évolution récente. Ainsi, l'épaisse chevelure noire et lisse dont sont dotés presque tous les Asiatiques de l'Est est apparue il y a moins de 30 000 ans, à la faveur d'une mutation du gène *EDAR*, qui joue un rôle crucial dans le développement



sont aussi penchés sur des caractéristiques moins visibles de l'anatomie humaine, concernant par exemple le cérumen sécrété dans les oreilles. Aujourd'hui, la plupart des gens ont du cérumen collant. Cependant, de nombreux habitants de l'Est asiatique ont un cérumen sec, qui s'écaille et ne colle pas. Les anthropologues ont remarqué cette différence il y a plus d'un siècle, mais les généticiens n'en ont trouvé la cause qu'il y a peu. Le cérumen sec résulte d'une mutation relativement récente du gène *ABCC11*. Vieille de 20 000 à 30 000 ans, cette mutation touche aussi les glandes sudoripares dites apocrines, qui produisent la sueur. Si vous avez des aisselles qui sentent la transpiration et du cérumen collant, il y a toutes les chances que vous soyez porteur de la version originale d'*ABCC11*. Si votre cérumen est sec et que vous n'avez pas besoin de déodorant, vous avez probablement le nouveau variant génétique.

Une mutation contre le paludisme

Quelques milliers d'années avant que le cérumen sec apparaisse en Asie, une autre mutation a sauvé des millions d'Africains d'une maladie mortelle. Un gène nommé *DARC* est traduit en une protéine qui se trouve à la surface des globules rouges et qui se lie aux chimiokines, des molécules du système immunitaire. Cette protéine séquestre les chimiokines lorsqu'elles sont en excès dans le sang. Il y a environ 45 000 ans, une mutation de ce gène a conféré une résistance à *Plasmodium vivax*, un des deux principaux parasites du paludisme infectant les hommes aujourd'hui. Les parasites ont besoin de la protéine codée par *DARC* pour pénétrer dans les globules rouges, de sorte qu'en entravant l'expression de ce gène, la mutation a enrayer leur prolifération. Le revers de la médaille a été une augmentation de la concentration sanguine de chimiokines provoquant des inflammations. Cette augmentation pourrait être liée au fait que les Afro-Américains ont plus de risques de contracter un cancer de la prostate que les populations d'origine européenne ou asiatique. Mais globalement, la mutation s'est révélée si avantageuse que 95 % des populations subsahariennes en sont porteuses, contre 5 % des Européens et des Asiatiques.

Nous avons l'habitude de nous représenter l'évolution comme un processus où

de la peau, des cheveux, des dents et des ongles. Ce variant génétique a été exporté en Amérique par les premières vagues de colonisateurs, venues de l'Est asiatique.

De façon générale, l'histoire évolutive de la pigmentation de la peau, des cheveux et des yeux a été simple et rapide. Aux premiers stades de notre évolution, tous nos ancêtres avaient la peau, les cheveux et les yeux noirs. Depuis, des dizaines de modifications génétiques les ont rendus plus clairs. Quelques-unes sont anciennes et présentes en Afrique, bien que plus répandues ailleurs dans le monde. La plupart sont récentes et ont émergé dans des populations spécifiques. Ainsi, une mutation d'un gène nommé *TYRP1* rend blonds certains habitants des îles Salomon. Une autre, sur *HERC2*, donne des yeux bleus. Des variants de *MC1R* procurent des cheveux roux au lieu de noirs. Et une mutation du gène *SLC24A5* éclaircit la peau ; elle se retrouve aujourd'hui chez 95 % des Européens. Comme dans le cas de la lactase, l'ADN ancien renseigne sur la date d'apparition de ces mutations. Les yeux bleus semblent remonter à plus de 9 000 ans. En revanche, on ne constate pas de changements massifs de *SLC24A5* dans l'ADN des squelettes de cette période ; l'éclaircissement de la peau des Européens qui lui est associé est donc postérieur.

Les variations de pigmentation font partie des différences les plus évidentes et les plus faciles à étudier. Mais les chercheurs se

■ L'AUTEUR



John HAWKS est anthropologue à l'Université du Wisconsin, à Madison, aux États-Unis.

La pression des maladies

Les maladies constituent une importante pression de sélection, qui conduit à la préservation de nombreux variants génétiques (des versions différentes d'un même gène). Des dizaines de mutations différentes ont ainsi augmenté la résistance au paludisme dans des régions diverses. Elles modifient par exemple la physiologie des globules rouges (dans lesquels les parasites pénètrent alors plus difficilement) ou la réponse immunitaire.

les « bons » gènes remplacent inexorablement les « mauvais », mais les adaptations humaines les plus récentes attestent de la part essentielle du hasard. Les mutations bénéfiques ne persistent pas toujours. Tout dépend du moment où elles se produisent et de la taille de la population.

La puissance du hasard

Cette leçon m'a été enseignée pour la première fois par l'anthropologue Frank Livingstone (1928-2005). Le début de ma formation a coïncidé avec la fin de sa longue carrière, lors de laquelle il a étudié les fondements génétiques de la résistance au paludisme. Il y a plus de 3 000 ans en Afrique, une mutation s'est produite dans le gène codant l'hémoglobine, protéine qui transporte l'oxygène dans le sang. Quand un individu avait hérité de la mutation par ses deux parents, il développait une anémie falciforme, une maladie où des globules déformés bouchent les vaisseaux.

Les globules rouges sont normalement assez souples et flexibles pour se faufiler dans les minuscules capillaires, mais les globules mutants, qui avaient une forme de faucille, étaient rigides et pointus. Or ce changement de forme a aussi entravé la capacité du parasite du paludisme à infecter les globules rouges.

La protéine codée par le gène muté a été nommée hémoglobine S. Une autre variante de l'hémoglobine intéressait Livingstone : l'hémoglobine E. Aujourd'hui répandue en Asie du Sud-Est, cette variante confère une résistance notable au paludisme, mais sans les graves effets secondaires de l'hémoglobine S. « L'hémoglobine E semble largement préférable à l'hémoglobine S, ai-je un jour remarqué en cours. Pourquoi les Africains n'ont-ils pas plutôt cette version ? »

« Le hasard en a décidé autrement », a répondu Livingstone. Sa réponse m'a sidéré. J'avais supposé que la sélection naturelle était la force la plus puissante

dans l'arsenal de l'évolution. Puisque les Africains vivaient depuis des milliers d'années avec le parasite meurtrier du paludisme, j'étais convaincu que la sélection naturelle aurait dû éliminer les mutations les moins avantageuses et faire émerger la plus intéressante.

Livingstone m'a alors montré comment la préexistence de l'hémoglobine S dans une population compliquait la pénétration de l'hémoglobine E. Chez des individus dotés d'une hémoglobine normale, le paludisme fait des ravages et une nouvelle mutation conférant un léger avantage peut se répandre rapidement. Mais une population déjà équipée de la mutation protectrice qui crée l'hémoglobine S aura une mortalité moindre. Les porteurs de cette mutation sont toujours confrontés à la menace redoutable de l'anémie falciforme, mais l'hémoglobine E est un avantage relatif moins important dans une population qui a déjà cette forme imparfaite de résistance au paludisme.

QUI BOIT DU LAIT À L'ÂGE ADULTE DANS LE MONDE ?

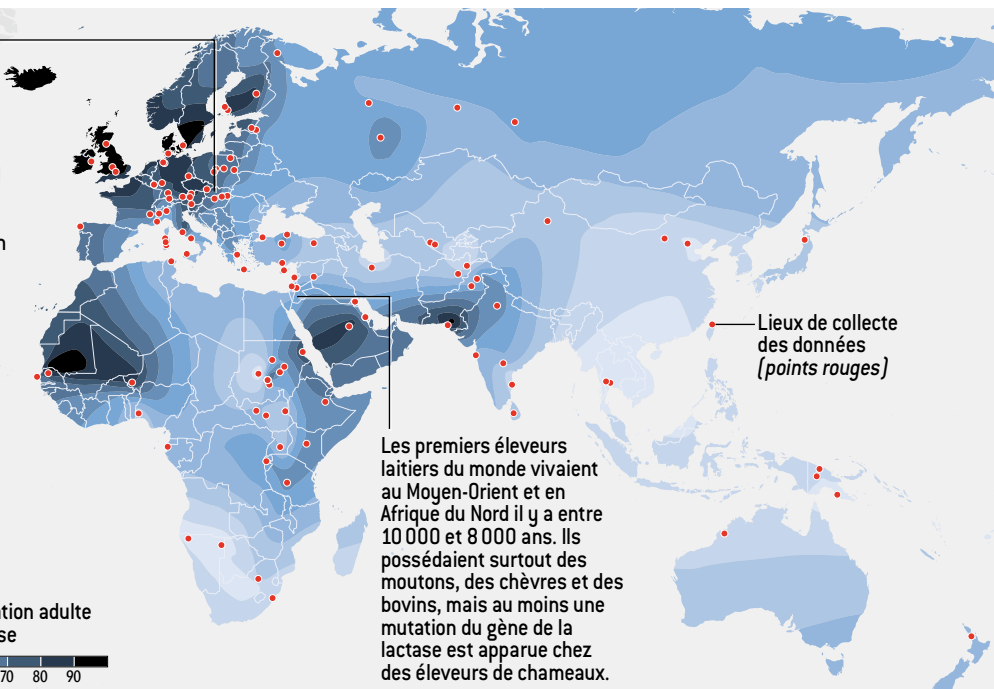
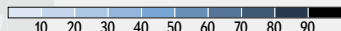
Nous ne sommes capables de profiter des laitages à l'âge adulte que depuis peu. Pour digérer le lactose, le sucre contenu dans le lait, nous avons besoin d'une enzyme, la lactase, que le corps humain cesse généralement de produire à l'adolescence. Dans le monde, la plupart des adultes sont intolérants au lactose. Mais à cinq reprises au moins au cours des 10 000 dernières années, des

mutations génétiques se sont produites de façon indépendante au sein de populations différentes, maintenant la lactase active tout au long de la vie. Ces adaptations sont d'abord apparues dans des régions où l'élevage laitier était commun. Aujourd'hui, la tolérance au lactose est particulièrement répandue dans nombre de ces points chauds évolutifs.

Une des mutations conduisant à la persistance de la lactase est survenue il y a environ 7 500 ans chez des éleveurs laitiers, entre l'Europe centrale et le Nord des Balkans. C'est la mutation du gène de la lactase la plus répandue en Europe aujourd'hui.

Trois mutations différentes du gène de la lactase ont leur origine en Afrique subsaharienne ; la plus courante s'est répandue rapidement au cours des 7 000 dernières années.

Pourcentage de la population adulte tolérant le lactose



Les premiers éleveurs laitiers du monde vivaient au Moyen-Orient et en Afrique du Nord il y a entre 10 000 et 8 000 ans. Ils possédaient surtout des moutons, des chèvres et des bovins, mais au moins une mutation du gène de la lactase est apparue chez des éleveurs de chameaux.

Lieux de collecte des données (points rouges)

L'expansion d'une mutation ne dépend pas juste de sa probabilité de survenir, mais aussi du moment où elle survient. Une adaptation partielle avec des effets secondaires délétères peut l'emporter sur une meilleure version, au moins pendant quelques milliers d'années.

Depuis que les humains sont confrontés au paludisme, des dizaines de modifications génétiques ont augmenté la résistance à cette maladie dans des régions diverses. Chaque fois, une mutation aléatoire est parvenue à se maintenir dans une population locale en dépit de sa rareté initiale. Toutes ces mutations avaient peu de chances de perdurer, mais nos ancêtres étaient si nombreux et se sont multipliés si vite qu'elles ont été pérennisées. La grande taille des populations humaines explique aussi qu'elles se soient rapidement adaptées à leurs nouveaux habitats (car des mutations favorables ont plus de chance de survenir) quand elles sont parties à la conquête du globe.

L'évolution humaine se poursuit aujourd'hui. Les chercheurs peuvent l'observer « en direct », souvent en étudiant les tendances sanitaires et la natalité. Si les techniques médicales, l'hygiène et la vaccination ont considérablement allongé la vie, la natalité reste fluctuante pour nombre de populations.

Une évolution toujours en cours

En Afrique subsaharienne, les femmes enceintes au moment du pic de fréquence du paludisme (pendant ou juste après la saison des pluies) ont légèrement plus de chances d'arriver à terme quand elles ont un certain variant du gène *FLT1*, qui diminue le risque que leur placenta soit infecté par les parasites. Nous ne comprenons pas encore les mécanismes en cause, mais l'effet est important et mesurable.

Stephen Stearns, de l'Université Yale, aux États-Unis, et ses collègues ont examiné les archives des études de santé publique, à la recherche d'éventuels caractères corrélés aux taux de reproduction actuels. Pendant les 60 dernières années, aux États-Unis, les femmes relativement petites et fortes, ayant peu de cholestérol, ont eu un peu plus d'enfants en moyenne que les femmes présentant les caractères opposés. Le lien entre ces caractères et la taille de la famille reste à expliquer.

De nouvelles études de santé publique, tel le projet britannique UK Biobank, vont analyser les génotypes (les caractéristiques génétiques) de centaines de milliers de personnes et suivre leur santé tout au long de leur vie. Les interactions des gènes sont complexes, de sorte que nous devons examiner des milliers de cas pour comprendre quels changements génétiques influent sur la santé humaine. Retracer la généalogie des mutations permet d'observer l'évolution sur des centaines de générations, mais le déroulement précis est parfois masqué : nous voyons les gagnants sur le long terme, tel le variant génétique autorisant la persistance de la lactase, mais nous pouvons passer à côté de la dynamique à court terme. Les populations humaines sont sur le point de devenir la plus grande expérience de biologie évolutive jamais réalisée.

Un brassage génétique sans précédent

Que nous réserve l'avenir ? Au cours des derniers milliers d'années, l'évolution humaine a pris des chemins différents selon les populations, tout en maintenant une surprenante dose d'uniformité. De nouvelles mutations sont apparues, mais elles n'ont pas fait disparaître les vieilles versions des gènes. La plupart de ces versions ancestrales existent encore dans les populations actuelles. Et aujourd'hui, des millions de personnes traversent chaque année les frontières, d'où un brassage génétique sans précédent.

Dès lors, on pourrait croire que les caractères additifs (modulés par divers gènes aux effets indépendants, à l'instar de la couleur de la peau) se mélangeront un peu partout, au point de s'uniformiser sur la planète. Deviendrons-nous donc tous identiques à l'avenir ?

La réponse est non. Beaucoup des caractères qui varient entre les populations humaines ne sont pas additifs. Même la pigmentation n'est pas aussi simple, comme l'illustrent bien les populations métisses des États-Unis, du Mexique et du Brésil : elles ne sont pas constituées d'une masse indistincte de clones café au lait, mais de groupes panachés, où des blondes à peau sombre et taches de rousseur côtoient des hommes à la peau mate et aux yeux verts. Chacun de nos descendants sera une mosaïque vivante de l'histoire humaine. ■

■ SUR LE WEB

 À propos de l'adaptation des Tibétains aux hautes altitudes : ScientificAmerican.com/sep2014/hawks-origins

■ BIBLIOGRAPHIE

M. Roffet-Salque et R. Evershed, **Les débuts européens de la production laitière**, *Pour la Science*, n° 438, 2014.

Y. Itan *et al.*, **The origins of lactase persistence in Europe**, *PLoS Computational Biology*, vol.5, pp. 1-13, 2009.

P. Ward, **Homo sapiens évolue-t-il encore ?**, *Dossier Pour la Science*, n° 63, avril-juin 2009.

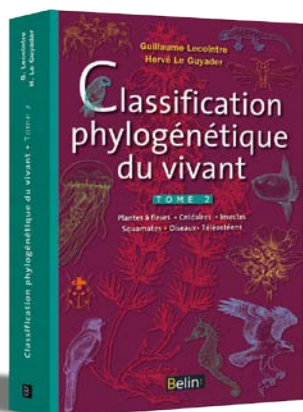
S. A. Tishkoff *et al.*, **Convergent adaptation of human lactase persistence in Africa and Europe**, *Nature Genetics*, vol.39, pp. 31-40, 2006.

H. M. Lewis, **Evolution in the future**, *Scientific American*, vol.164, pp. 221-223, 1941.

La sélection de livres

■ POUR LA SCIENCE

À l'occasion de son numéro spécial sur l'évolution humaine, voici une sélection de livres de référence sur l'évolution et la paléontologie humaine. Devenez incollable sur la théorie de l'évolution, Darwin, l'homme de Neandertal ...



Classification phylogénétique du vivant Tome 2

Guillaume Lecointre, Hervé Le Guyader

Réf. 70113456

Cet ouvrage vient compléter le tome 1, devenu une référence sur le sujet. Six grands groupes y sont présentés sur la base des connaissances les plus récentes : les plantes à fleurs, les oiseaux, les insectes, les lézards et serpents, les cnidaires et les poissons osseux.

Éditions Belin 2013 – 608 pages – 39,90 € - 978-2-7011-3456-7

Et aussi : *Classification phylogénétique du vivant Tome 1 – 3^e édition*, Guillaume Lecointre, Hervé Le Guyader

560 pages – 43 € - ISBN 978-2-7011-4273-9

Guide critique de l'évolution

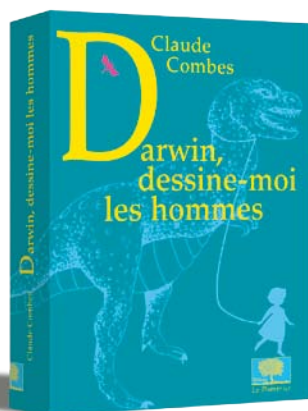
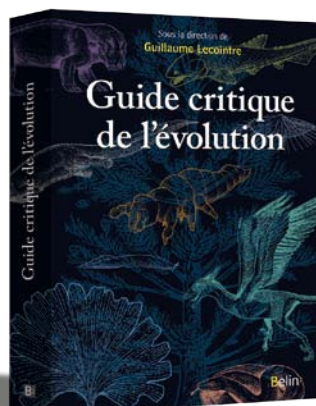
Corinne Fortin, Guillaume Lecointre,

Marie-Laure Le Louarn Bonnet, Gérard Guillot

Réf. 70114797

Cet ouvrage présente le cadre théorique – scientifique, épistémologique et historique – de la théorie de l'évolution et donne les clés pour contrer les nombreuses attaques dont elle fait l'objet. Accompagné de plus de deux cents reconstitutions d'animaux et de paysages, il fournit, en outre, de nombreux exemples illustrant la sélection naturelle, l'adaptation, l'apparition des espèces, etc.

Éditions Belin 2009 – 576 pages – 36,05 € - ISBN 978-2-7011-4797-0



Darwin, dessine-moi les hommes

Claude Combes

Réf. 74650300*

« Yin me demanda un jour de lui dire qui avait dessiné les hommes, mais elle voulait aussi savoir qui avait dessiné les dinosaures, les chevaux et... les moutons bien sûr. Alors, j'ai parcouru avec elle l'histoire du vivant, cette histoire que l'on appelle évolution, et qui aurait pu, disent les savants, ne jamais exister. Une histoire grandiose qui a donné aux humains la capacité de poser des questions sans perdre celle de s'émerveiller. »

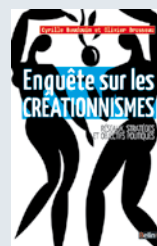
Éditions Le Pommier – 528 pages – 25 € - ISBN 978-2-7465-0300-7

Enquête sur les créationnismes

Réseaux, stratégies et objectifs politiques

Olivier Brosseau, Cyrille Baudouin

Réf. 70115795



Fruit d'une enquête minutieuse et riche d'interviews de grands spécialistes (biologistes, cosmologistes, sociologues, philosophes, etc.), cet ouvrage est à la

fois un recueil d'informations sur les créationnismes et un outil indispensable pour exercer son esprit critique dès lors que la science est convoquée pour justifier des positions politiques.

Éditions Belin 2013

336 pages – 21,50 € - ISBN 978-2-7011-5795-5

Les gènes voyageurs

Éric Baptiste

Réf. 70115885



Savez-vous que l'échangisme est une pratique très répandue chez les microbes ? Que plantes et animaux deviennent en partie ce qu'ils mangent ? Ces phénomènes sont dus à

des voyages de gènes qui transforment en profondeur le vivant. Une découverte récente qui pourrait bien révolutionner les sciences de l'évolution...

Éditions Belin 2013

192 pages – 19,50 € - ISBN 978-2-7011-5885-3

Darwin viendra-t-il ?

Luc Périno

Réf. 74650386*



Le samedi 30 juin 1860, quelques mois après sa publication retentissante, *L'Origine des espèces* doit être soumise à la critique de l'Église anglicane et de l'Académie des

sciences, toutes deux hostiles à la théorie de la sélection naturelle. Le débat s'annonce agité. Toutes les personnalités scientifiques, politiques, ecclésiastiques et artistiques du royaume s'y annoncent. Darwin, l'auteur du livre, viendra-t-il en personne ?

Éditions Le Pommier 2008

462 pages – 23 € - ISBN 978-2-7465-0386-1

En partenariat avec les éditeurs

Belin:
ÉDITEUR INDÉPENDANT
DEPUIS 1777

Le Pommier

Pour commander ces ouvrages www.pourlascience.fr/librairie*

ou en renvoyant le bon de commande ci-contre.

* Pour commander les titres édités par Le Pommier : www.editions-belin.fr