

Les super pouvoirs de l'ADN

Caché au cœur de tous les êtres vivants, l'ADN accomplit des merveilles. Cette supermolécule peut construire un homme à partir d'une seule cellule, faire apparaître de nouvelles espèces, guérir des maladies... et même voyager dans notre passé!

Anne Lefèvre-Balleydier et Carine Peyrières



IL CONSTRUIT les ÊTRES VIVANTS

Au tout début de notre existence, nous ne sommes qu'une simple cellule : un œuf issu de la fécondation d'un ovule par un spermatozoïde. Neuf mois plus tard, comme par magie, nous naissons sous la forme d'un beau bébé équipé d'un cœur, d'un foie, de poumons, de jambes

et de bras, tous finement sculptés et positionnés au bon endroit ! Difficile

d'imaginer que ce miracle est dû à un minuscule filament chimique qu'on appelle l'ADN. Et pourtant c'est bien cette molécule, enroulée sous la forme de pelotes (les chromosomes) dans le noyau

de chacune de nos cellules, qui est à l'œuvre. À elle seule, elle renferme toute l'information nécessaire pour fabriquer un être vivant. Elle est comme une immense bibliothèque contenant l'ensemble des notices de montage des protéines, les briques élémentaires qui nous constituent :

UN CHAPELET DE NOTICES DE MONTAGE QU'ON APPELLE GÈNES

on les retrouve dans l'armature de nos cellules, les fibres qui contractent nos muscles,

l'hémoglobine

de notre sang, les enzymes qui digèrent nos repas, les hormones qui nous font grandir... Et c'est donc ce long chapelet de notices, qu'on appelle aussi « gènes », qui mène l'impressionnant chantier de construction d'un être humain. C.P.

1 LES GÈNES

« MULTIPLICATEURS »

À peine le spermatozoïde a-t-il fécondé l'ovule que tout un chantier se met en branle dans la cellule initiale.

En cinq jours, celle-ci va se transformer en une boule d'une centaine de cellules toutes identiques !

Aux commandes de cette multiplication spectaculaire qui va se poursuivre tout au long du développement de l'**> embryon <** : les gènes responsables de la division cellulaire. Ce sont eux qui forcent la première cellule à se scinder en deux, puis font de même avec les deux cellules filles, et ainsi de suite. Tout en prenant bien soin, à chaque division, de reproduire les pelotes d'ADN à l'identique pour que chaque cellule ait l'intégralité des gènes.

2 LES GÈNES

« GÉOMÈTRES »

Au fur et mesure que grossit l'embryon, des gènes de balisage étiquettent chaque cellule pour indiquer, par le biais de trois coordonnées, la position précise qu'elle occupe. La première coordonnée correspond à sa place le long de l'axe qui va de la tête à la base de la colonne vertébrale. La deuxième est sa position sur l'axe qui relie la face ventrale à la face dorsale.

La troisième, sa position sur l'axe qui relie le côté droit au côté gauche. Ce système de balisage est indispensable pour que les différents chantiers de construction des organes démarrent bien au bon endroit.

3 LES GÈNES

« ARCHITECTES »

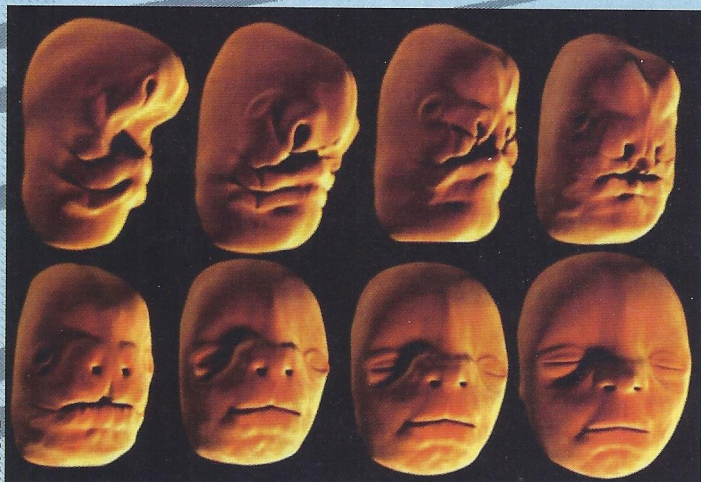
Un mois après le début du chantier, un petit bourgeon émerge au niveau du flanc de l'embryon. C'est le signe que le gène architecte du bras s'est mis à l'ouvrage.

Comme ses collègues chargés de la construction des yeux, du cœur, du foie, du cerveau, des oreilles et autres organes, ce gène déclenche à lui seul toutes les opérations nécessaires à la fabrication du membre. Il donne alors ses ordres à une flopée de gènes « ouvriers » (4) qui vont se charger des différentes phases du chantier.

4 LES GÈNES

« OUVRIERS »

Une fois la structure générale du membre construite, il faut en affiner la forme. À ce stade, par exemple, la main ressemble plutôt à une palme. Pour sculpter cinq doigts indépendants, la seule solution est de creuser dans la masse des cellules en provoquant le « suicide » de celles qui sont en trop. Ce sont les gènes de l'apoptose qui sont chargés du sale boulot : les protéines qu'ils produisent déclenchent instantanément l'autodestruction des cellules à éliminer. Ensuite interviennent les gènes de différenciation, qui vont orienter les cellules qui restent vers une fonction : certaines vont former l'épiderme, d'autres vont devenir des bourgeons de poils, d'autres encore se transforment en os...



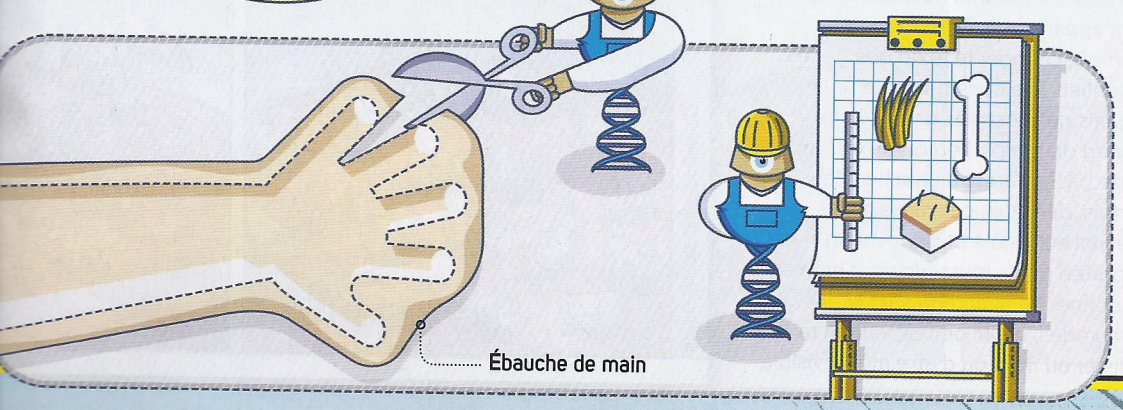
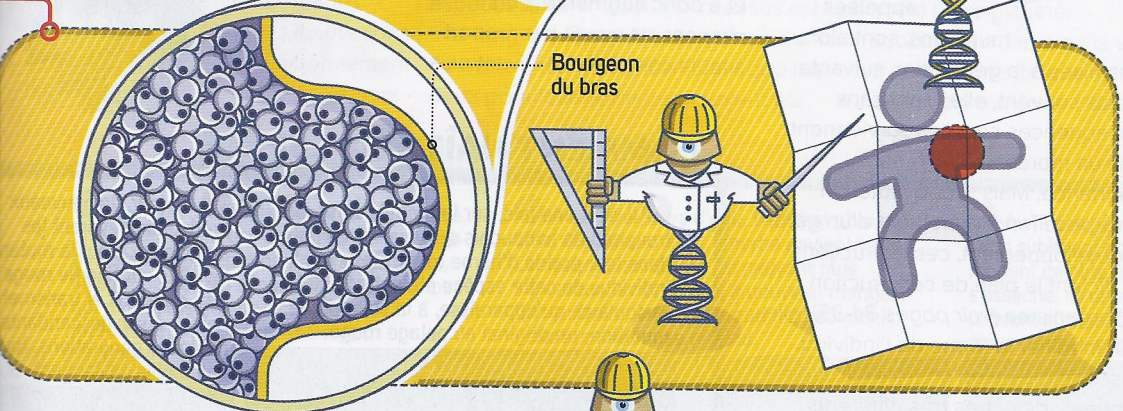
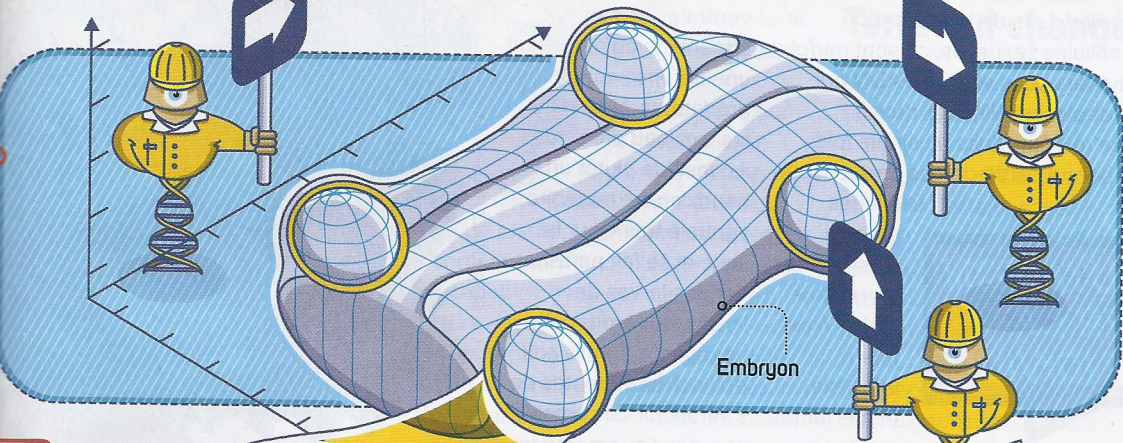
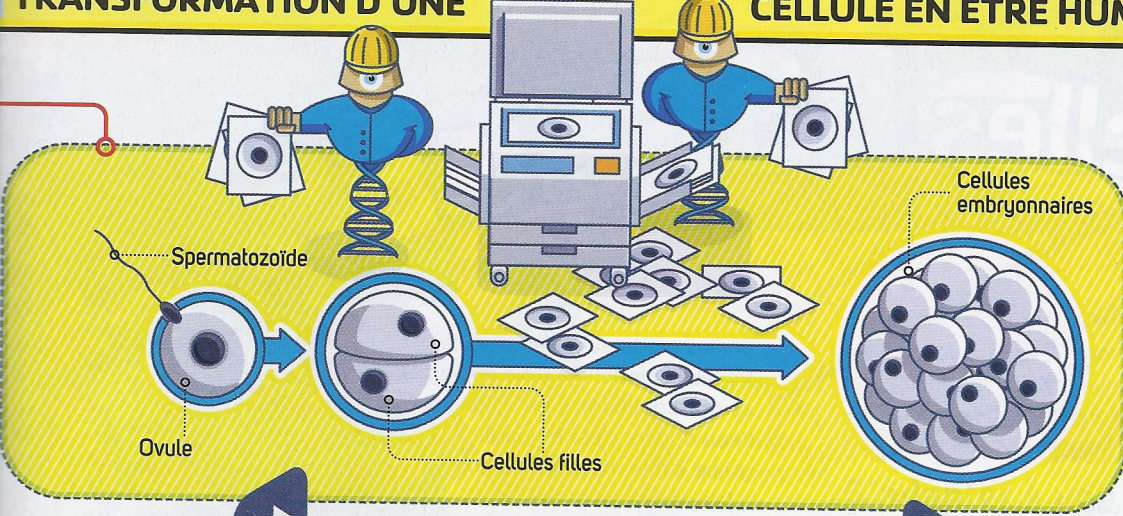
« Voici la reconstitution en 3D des différentes étapes de la fabrication du visage d'un bébé dans le ventre de sa mère. »

TRANSFORMATION D'UNE CELLULE EN ÊTRE HUMAIN



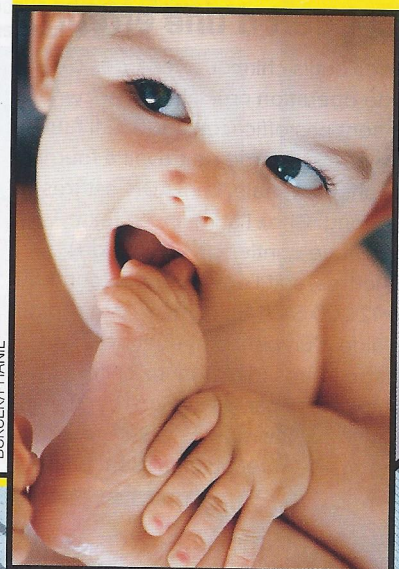
ZOOM

Embryon : nom donné à un organisme lors de sa première phase de développement, depuis la division de la première cellule jusqu'à la formation des organes. Une fois ce stade atteint, l'embryon devient un fœtus.



AU BOUT DE NEUF MOIS, UN BÉBÉ...

La cellule initiale est devenue un petit être comptant plus de 60 milliards de cellules : des neurones, des globules blancs, des cellules musculaires, des cellules osseuses et bien d'autres, toutes équipées du même ADN de départ. Comment ce prodige est-il possible : obtenir des cellules si différentes avec un même plan de montage ? Tout simplement parce que chaque type de cellule ne se sert que d'une partie des gènes contenus dans l'ADN, le reste étant bloqué par des interrupteurs. Ainsi, dans un neurone, seuls sont actifs les gènes qui assurent son fonctionnement, et ce ne sont pas les mêmes qui sont activés chez un globule blanc ou une cellule du foie. L'infinité des combinaisons de gènes rend ainsi possible le développement d'un organisme aussi complexe qu'un être humain...



BURGER/PHANIE

IL CRÉE de nouvelles ESPÈCES

FABIEN MICHEMET / BIOSPHOTO

GÉRARD LACZ / BIOSPHOTO

Physiquement, qu'y a-t-il de commun entre un toucan, un ver solitaire, un séquoia, une amanite tue-mouches et vous ? Pas grand-chose. Pourtant, tous ces êtres vivants ont été créés à partir d'une seule et même molécule d'ADN. Elle nous a été léguée par une bactérie qui vivait il y a trois milliards d'années et qui est notre ancêtre à tous. Comment cet être simplissime a-t-il pu donner vie aussi bien à des mouches équipées d'ailes qu'à des arbres aux troncs géants ? Eh bien cela a été possible parce que l'ADN a la faculté de se transformer peu à peu au fil du temps. À l'origine de ces changements, il y a une... défaillance. Pour se transmettre de génération en génération, l'ADN doit être recopié afin d'être intégré dans des millions de spermatozoïdes, ovules, pollens et autres cellules sexuelles qui servent à la reproduction.

Tout part d'une erreur...

Or les outils chimiques chargés de cette opération cruciale, les enzymes, ne sont pas efficaces à 100 %. Il faut dire que la charge de travail à fournir est phénoménale, car l'ADN est très, très long. Chez l'humain, ce texte génétique contient 3 400 millions de lettres, soit l'équivalent du contenu de 12 000 SVJ ! Et même s'il est rédigé à l'aide d'un petit alphabet de quatre lettres (des briques chimiques symbolisées par les caractères ATCG), il arrive que les scribes cellulaires chargés de le recopier laissent passer

des coquilles (voir encadré page de droite). Lors de la fabrication des cellules sexuelles, ce sont parfois même des pans entiers d'ADN qui sont déplacés, éliminés ou, au contraire, reproduits plusieurs fois. Une bonne partie de ces erreurs sont éliminées

grâce à un système correcteur. Mais il n'est pas infallible, et ces fautes, appelées

mutations, sont alors

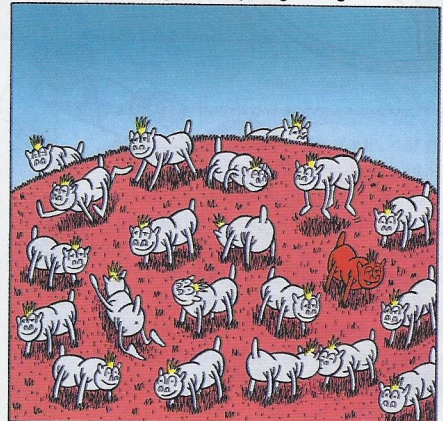
transmises à la génération suivante. Le plus souvent, elles sont sans conséquences car elles surviennent dans un morceau d'ADN sans importance. Mais si une mutation perturbe le fonctionnement d'un gène de développement, ces instructions qui dictent le plan de construction de l'organisme (voir pages 34-35), elle peut modifier la forme de l'individu. C'est comme ça qu'en trois milliards d'années, des êtres très différents sont apparus sur Terre. Bien sûr, changer le texte des gènes essentiels à la construction d'un organisme, c'est très risqué. Et la plupart du temps, l'embryon qui les porte passe l'arme à gauche. Mais parfois, dans des cas rarissimes, l'animal est viable et l'innovation apportée par la mutation peut même lui donner un avantage sur ses camarades, en lui permettant de mieux résister au froid ou d'être moins visible

par les prédateurs, par exemple. Voyez l'épinoche à trois épines. Si ce poisson marin a pu coloniser l'eau douce, c'est en partie grâce à une mutation qui lui a fait perdre sa nageoire ventrale. En mer, cet appendice épineux était une défense contre les prédateurs. Mais dans les lacs peu profonds, il constitue plutôt un handicap. La nageoire ventrale traîne sur la vase et se fait parasiter par des larves de libellules. Perdre cette nageoire a permis aux épinoches mutantes de s'affranchir du parasite et a donc augmenté leurs chances de survie par rapport à leurs congénères. Vivant plus

**UNE SEULE MUTATION
PEUT CHANGER LA
FORME D'UN INDIVIDU**

COMMENT NAÎT UNE ESPÈCE

1 Il était une fois, sur la planète Erret, un troupeau de babouchis qui vivaient en paix dans leur prairie d'herbe rouge. Tous les individus de cette espèce étaient gris clair. Jusqu'à ce qu'apparaisse, à la suite d'une mutation, un original au pelage rouge.



JEAN-FRANÇOIS CARITTE POUR SVJ

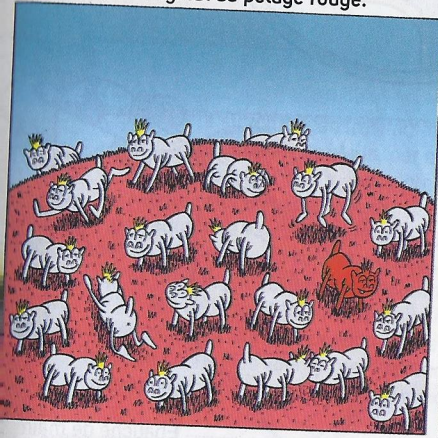
2 Un jour, des prédateurs de babouchis... sa invisible sur t Il se reproduit pelage à ses c quelques gène babouchis de



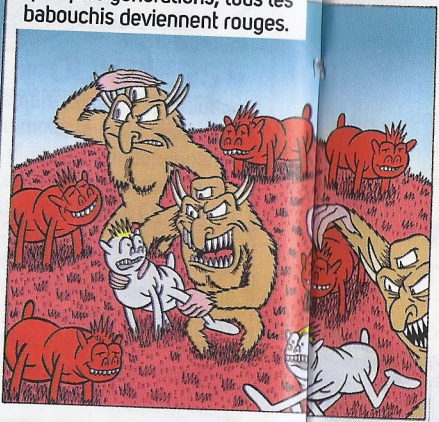
COMMENT NAÎT UNE ESPÈCE

fait sa sélection : les essais ratés sont deux populations de départ aient été sur une seule molécule : l'ADN. C.P.

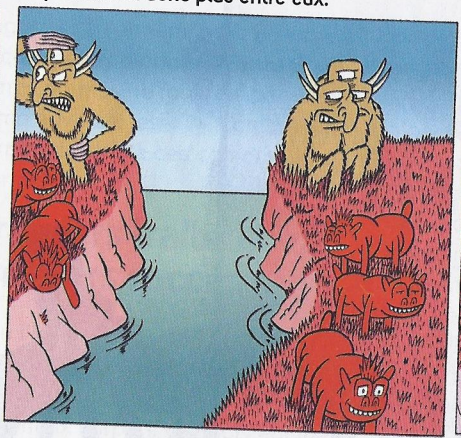
1 Il était une fois, sur la planète Erret, un troupeau de babouchis qui vivaient en paix dans leur prairie d'herbe rouge. Tous les individus de cette espèce étaient gris clair. Jusqu'à ce qu'apparaisse, à la suite d'une mutation, un original au pelage rouge.



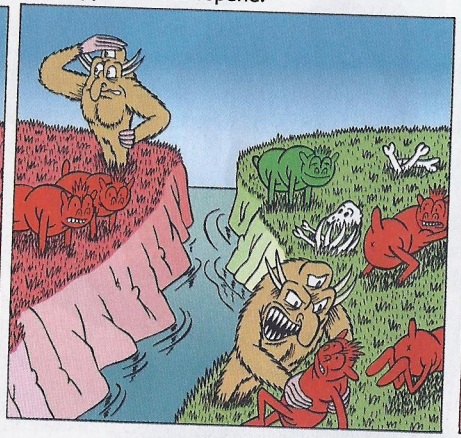
2 Un jour, de nouveaux prédateurs dévorent les babouchis... sauf le mutant, invisible sur l'herbe rouge. Il se reproduit et transmet son pelage à ses descendants. En quelques générations, tous les babouchis deviennent rouges.



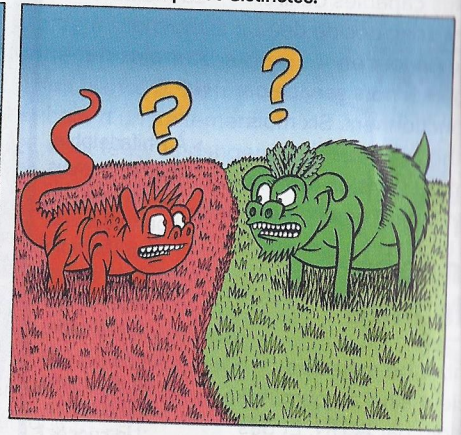
3 Au fil de centaines de milliers d'années, une rivière se creuse au milieu de la prairie des babouchis. Comme ils ne nagent pas, ils sont peu à peu séparés en deux groupes qui n'ont plus de contact et ne se reproduisent donc plus entre eux.



4 À l'est du cours d'eau, le climat change et la végétation aussi. L'herbe devient verte... Les babouchis rouges ne peuvent plus s'y camoufler et se font à nouveau manger! Une autre mutation qui rend les babouchis verts apparaît et se répand.



5 Au fil des générations, babouchis rouges et verts subissent chacun des mutations qui les rendent de plus en plus différents. La rivière s'assèche. Ils reprennent contact, mais ils ne peuvent plus se reproduire entre eux : ils sont devenus deux espèces distinctes.





▼ < Belles plantes comme le chou romanesco et la rafflésie (en bas à gauche), animaux étranges comme l'hippocampe feuille ou la taupe à nez étoilé : ces formes de vie variées ont évolué à partir d'une molécule d'ADN vieille de 3 milliards d'années.



FRANTZ LANTING
BIOSPOTO

éliminés, les changements avantageux se répandent au sein d'une espèce. Au fil des générations, ces mutations sélectionnées par le milieu naturel s'accumulent dans

les populations d'animaux ou de plantes, transformant tellement certains individus qu'ils deviennent incapables de se reproduire avec leurs anciens congénères, parce que leurs organes sexuels, par exemple, sont devenus incompatibles. Dès lors, on considère qu'on a affaire à deux espèces différentes. Ce processus est très long, parfois plusieurs centaines de milliers d'années. Car il faut que les deux populations de départ aient été

isolées pendant très longtemps, afin d'accumuler suffisamment de mutations (voir encadré ci-dessous).

S'adapter à une Terre qui change

En générant des êtres très différents, l'ADN a permis à la vie de s'adapter en permanence. C'était capital, car notre Terre change perpétuellement : son climat passe du chaud au froid, des forêts deviennent déserts, des terres sont recouvertes par la mer... Aujourd'hui, 9 millions d'espèces d'animaux, végétaux, champignons et bactéries peuplent notre planète.

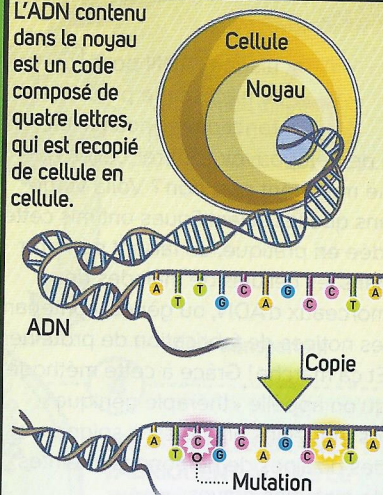
Un succès formidable de la vie, qui n'est dû qu'à une longue suite d'erreurs sur une seule molécule : l'ADN. C.P.

longtemps, elles ont eu plus d'enfants, à qui elles ont transmis la mutation. Et l'absence de nageoire ventrale est devenue la règle.

L'évolution des espèces est donc due à deux mécanismes. D'abord, des mutations créent des innovations au hasard. Ensuite, l'environnement fait sa sélection : les essais ratés sont

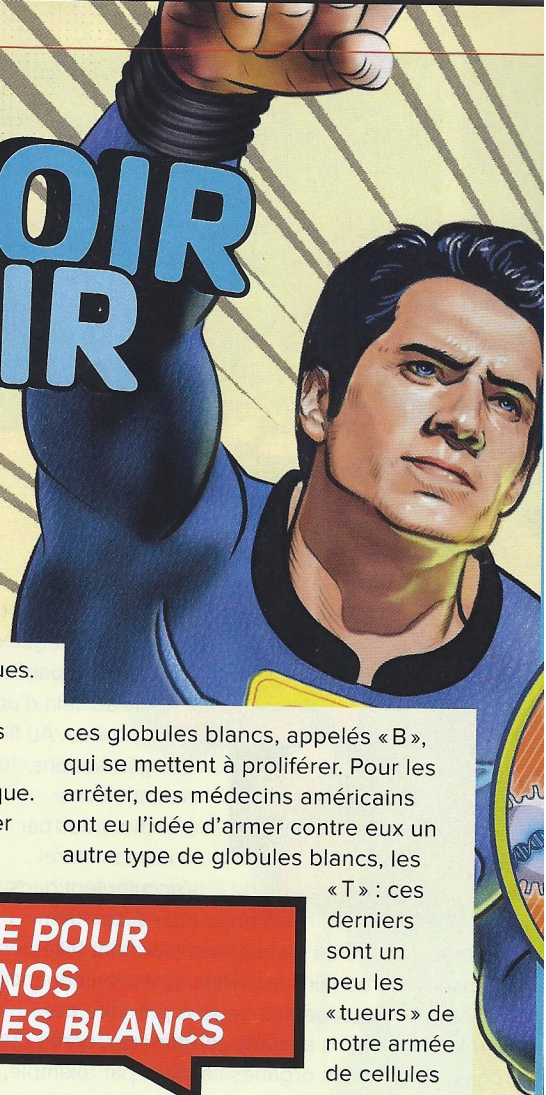
L'ALPHABET FRAGILE DE L'ADN

L'ADN contenu dans le noyau est un code composé de quatre lettres, qui est recopié de cellule en cellule.



Suite à une erreur de copie, deux lettres sont modifiées : ce sont deux mutations.

Il a le **POUVOIR DE GUERIR**



Puisque l'ADN possède tout le nécessaire pour faire fonctionner nos cellules, il devrait pouvoir réparer celles qui ne marchent pas, non ? Voilà vingt ans que les scientifiques ont mis cette idée en pratique, en faisant pénétrer dans les cellules de malades des morceaux d'ADN, ou gènes, contenant les notices de fabrication de protéines. Et ça marche ! Grâce à cette méthode, qu'on appelle « thérapie génique », les médecins ont réussi à soigner des dizaines de personnes atteintes de maladies graves.

Dernier en date, le succès d'une équipe médicale britannique qui a rendu la vue à six hommes atteints d'une maladie rare et héréditaire, la choroïdémie, qui les rendait peu à peu aveugles. Dans leurs yeux, il manquait une protéine indispensable à la survie des cellules de la rétine, et cela à cause d'une anomalie génétique. En effet, chez ces patients, le gène portant la recette de fabrication de cette protéine fonctionnait mal. Or ces hommes avaient déjà perdu tellement de cellules rétinienne qu'ils n'étaient plus capables de lire. Les médecins ont donc décidé de tenter le tout pour le tout en remplaçant les gènes hors service par des gènes qui fonctionnent. Six mois après cet essai thérapeutique, les résultats sont là : la vision des six patients s'est nettement améliorée !

Le cancer dans la ligne de mire

Un certain nombre de maladies graves bénéficient ainsi aujourd'hui de ce type de soin par l'ADN. Et pas

seulement des maladies génétiques. Le cancer, qui tue chaque année 15 millions de personnes à travers le monde, est aujourd'hui dans la ligne de mire de la thérapie génique. Et celle-ci a déjà permis de gagner quelques batailles. Par exemple, contre la leucémie lymphoïde, un cancer qui touche souvent des enfants.

Comme toutes les affections cancéreuses, cette maladie est due au dérèglement de certaines cellules qui, d'un coup, se multiplient à gogo, étouffent les autres et finissent par faire mourir le malade. Dans le cas de la leucémie lymphoïde, le drame se joue au cœur des os, là où sont fabriqués les globules blancs, ces gardes du corps qui s'attaquent à tous les microbes pénétrant notre organisme. La maladie touche certains de

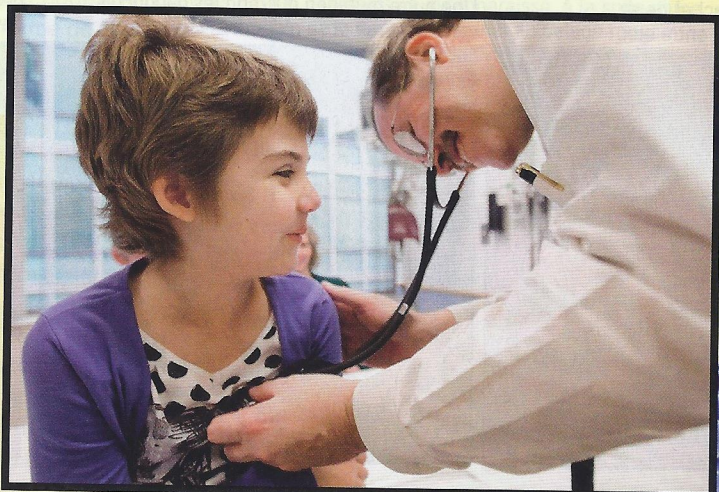
ces globules blancs, appelés « B », qui se mettent à proliférer. Pour les arrêter, des médecins américains ont eu l'idée d'armer contre eux un autre type de globules blancs, les

« T » : ces derniers sont un peu les « tueurs » de notre armée de cellules immunitaires

et il suffirait qu'ils prennent pour cible les cellules cancéreuses pour débarrasser l'organisme de la maladie. Pas si simple, car ces globules blancs T n'attaquent pas n'importe quoi : ils reconnaissent l'ennemi à abattre grâce à des détecteurs présents sur leur membrane. Chaque détecteur est comme un harpon adapté à un seul type d'intrus : il permet au « T » de

UN GÈNE POUR ARMER NOS GLOBULES BLANCS

➤ À Philadelphie, vingt et un mois après la fin de son traitement par thérapie génique contre la leucémie lymphoïde, Emily n'a pas eu de signes de récurrence. Un succès !

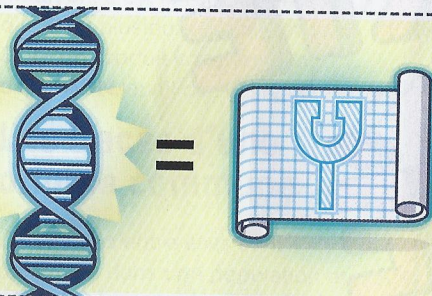


UN PIÈGE GÉNÉTIQUE POUR VAINCRE LA LEUCÉMIE LYMPHOÏDE

La leucémie lymphoïde est un cancer qui est provoqué par la prolifération dans le sang de certains globules blancs, appelés « B ». Pour les détruire, il faut armer d'autres globules blancs, les « T », en leur injectant un « gène piège ».

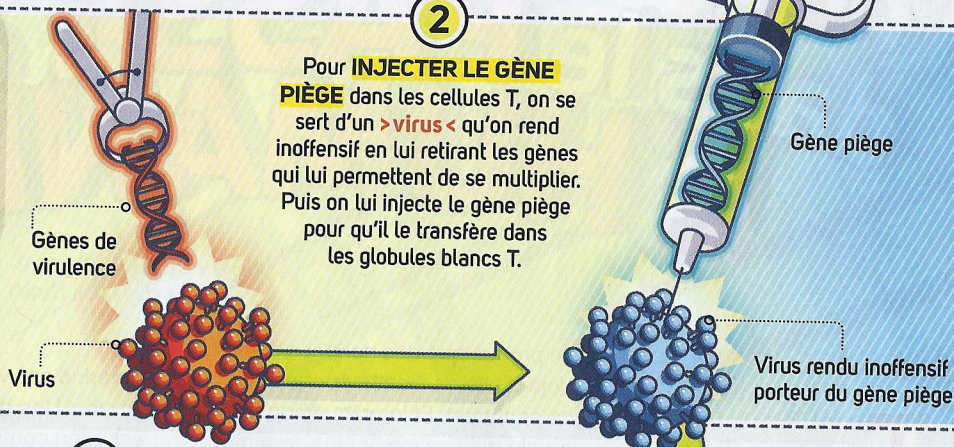
1

Pour commencer, on **FABRIQUE LE GÈNE PIÈGE**, c'est-à-dire qu'on assemble une petite portion d'ADN contenant la notice de montage d'un piège capable d'agripper les cellules B cancéreuses.



2

Pour **INJECTER LE GÈNE PIÈGE** dans les cellules T, on se sert d'un **>virus<** qu'on rend inoffensif en lui retirant les gènes qui lui permettent de se multiplier. Puis on lui injecte le gène piège pour qu'il le transfère dans les globules blancs T.



Cellule cancéreuse B

Cellule cancéreuse B supprimée

Globule blanc T armé

Piège à cellule cancéreuse

3

On **PRÉLÈVE LE SANG** du malade, pour en extraire des globules blancs T. Puis on les met en contact, dans des tubes à essai, avec les virus transporteurs du gène piège qui injectent aussitôt leur cargaison dans les cellules.

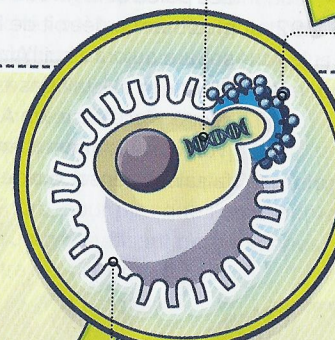


Gène piège

Virus transporteur

4

LES GLOBULES BLANCS T FABRIQUENT ALORS LE PIÈGE en suivant la notice du gène que leur ont injecté les virus. Le piège se fixe sur leur membrane. On laisse ensuite les cellules T « armées » se multiplier. Quand on en a plusieurs millions, on les réinjecte au malade par perfusion.



Globe blanc T

5

LES GLOBULES BLANCS T ARMÉS REPÈRENT PUIS

TUENT tous les B qu'ils rencontrent. Au bout d'un mois, toutes les cellules cancéreuses ont disparu et le malade est guéri.

Globule blanc T armé

s'agripper à l'ennemi pour l'éliminer. Et comme les globules blancs B, en temps normal, ne font pas partie du camp adverse, les «T» n'ont pas de harpon destiné à ces compagnons d'armes.

Premiers traitements, premiers succès

D'où l'idée de leur en fournir un par le biais d'un gène, un petit bout d'ADN qui contient le plan de construction du fameux harpon. Une fois équipés

de ce gène, les globules blancs T peuvent fabriquer les armes qui leur permettront de faire un sort aux globules blancs B cancéreux (*voir schéma ci-dessus*).

À première vue, les résultats sont très prometteurs. Depuis 2012, une vingtaine d'enfants ont été traités de cette manière, et aujourd'hui presque tous se portent bien. Seul hic, tant que le stock de globules blancs T armés n'est pas épuisé, le malade ne peut plus fabriquer de «B». Il doit donc prendre des médicaments

pour lutter contre les infections qui sont normalement prises en charge par ces globules blancs B. Bien sûr, il s'agit encore d'un traitement expérimental, dont tous les dangers n'ont pas été évalués. Il n'est donc tenté qu'en dernier ressort, quand rien d'autre ne marche. Mais les chercheurs sont confiants. Cette voie ouvre d'immenses perspectives et il y a aujourd'hui près de 800 essais en cours pour guérir d'autres types de cancer par thérapie génique. **A.L.-B.**

ZOOM

Un **virus** est un minuscule parasite capable d'incruster ses gènes dans des cellules pour forcer celles-ci à fabriquer des copies de lui-même.

Il nous TRANSPORTE dans le PASSE de L'HUMANITÉ

« Terre! Terre! » Quand Christophe Colomb aperçoit enfin, après des semaines passées dans l'Atlantique, la silhouette d'une île, il se croit aux portes du Japon! En réalité, en ce mois d'octobre 1492, il vient de découvrir l'Amérique, un vaste continent dont les Européens ignorent totalement l'existence. Pendant les quatre siècles qui suivent, Anglais, Irlandais, Français, Espagnols, Portugais, Hollandais vont l'explorer par vagues successives et découvrir qu'il y a déjà foule là-bas. Inuits, Iroquois, Sioux, Cheyennes, Apaches, Mayas, Aztèques, Incas... Au total, plusieurs dizaines de millions d'êtres humains ont déjà colonisé l'Amérique entière! Mais d'où venaient donc tous ces peuples?

Faire parler les mutations

Grâce à l'ADN, on peut répondre aujourd'hui avec certitude à cette question. Car cette molécule est une véritable machine à remonter le temps. Dans le cas de l'Amérique, les chercheurs avaient déjà leur petite idée, bien sûr : au début du XX^e siècle, les archéologues ont mis au jour des outils en silex vieux de 13 000 ans dans les grandes plaines américaines.

La preuve que des hommes étaient déjà présents à cette époque sur ce continent. Et les climatologues ont révélé qu'à ce moment-là, le climat de la Terre était bien plus froid qu'aujourd'hui. Une grande quantité d'eau était congelée dans les glaces des pôles et le niveau des mers était plus bas. Le détroit de Béring, qui sépare aujourd'hui l'Alaska de la Sibérie, n'existait pas et l'on pouvait aller à pied d'Asie en Amérique (voir carte). Autant d'arguments qui faisaient penser que les premiers

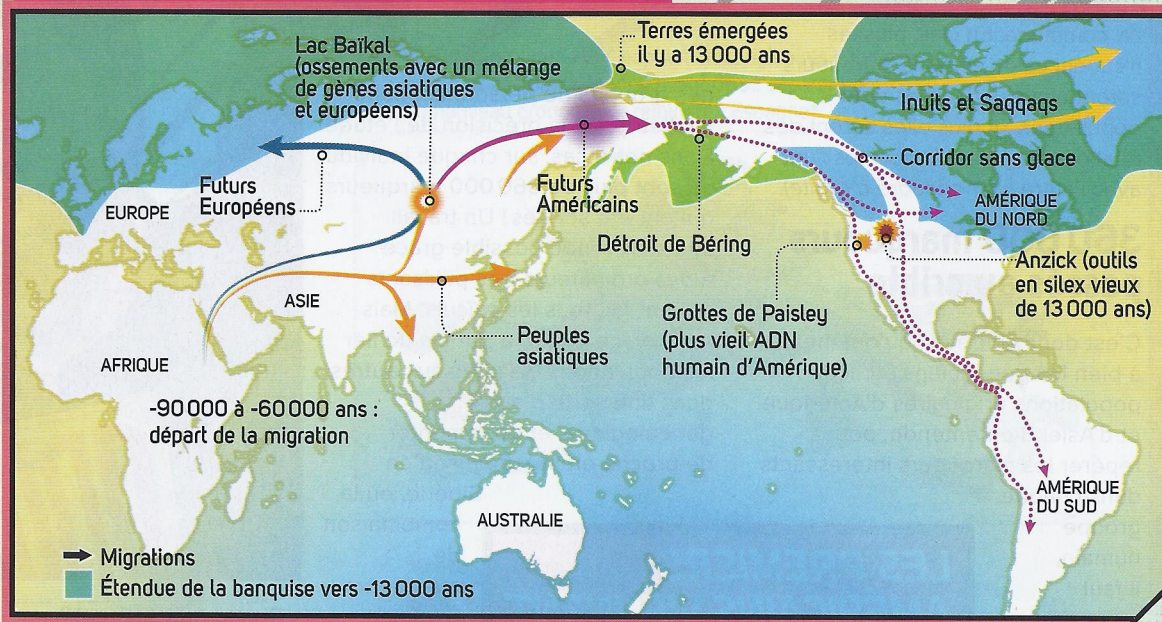
Amérindiens venaient de la Sibérie voisine. Une hypothèse que l'ADN est venu confirmer. Pour mener leur enquête, les généticiens des populations ont examiné de minuscules portions d'ADN des peuples autochtones d'Amérique et de Sibérie, afin d'y repérer d'éventuelles mutations. Vous savez que la molécule d'ADN est une succession de briques chimiques de 4 types différents qu'on peut assimiler à un alphabet de quatre lettres : A, T,

▼ De gauche à droite : un Sioux d'Amérique, un Maori de Nouvelle-Zélande, un Néandertalien de Sibérie et une Mamanoua du Kenya. L'ADN a permis d'établir les liens de parenté entre les peuples du monde.



CREDITS PHOTOS DE GAUCHE À DROITE : SANDRINE HUET/HAYTHAM, REUTERS, ALESSANDRA MENICONZI, BARBERI/HEMIS

COMMENT L'HOMME A PEUPLÉ LA TERRE



G et C (voir article p. 36-37). Une mutation, c'est le remplacement d'une ou plusieurs de ces lettres. Et il s'en produit constamment dans l'ADN, au fil des générations.

Les traces d'une origine commune

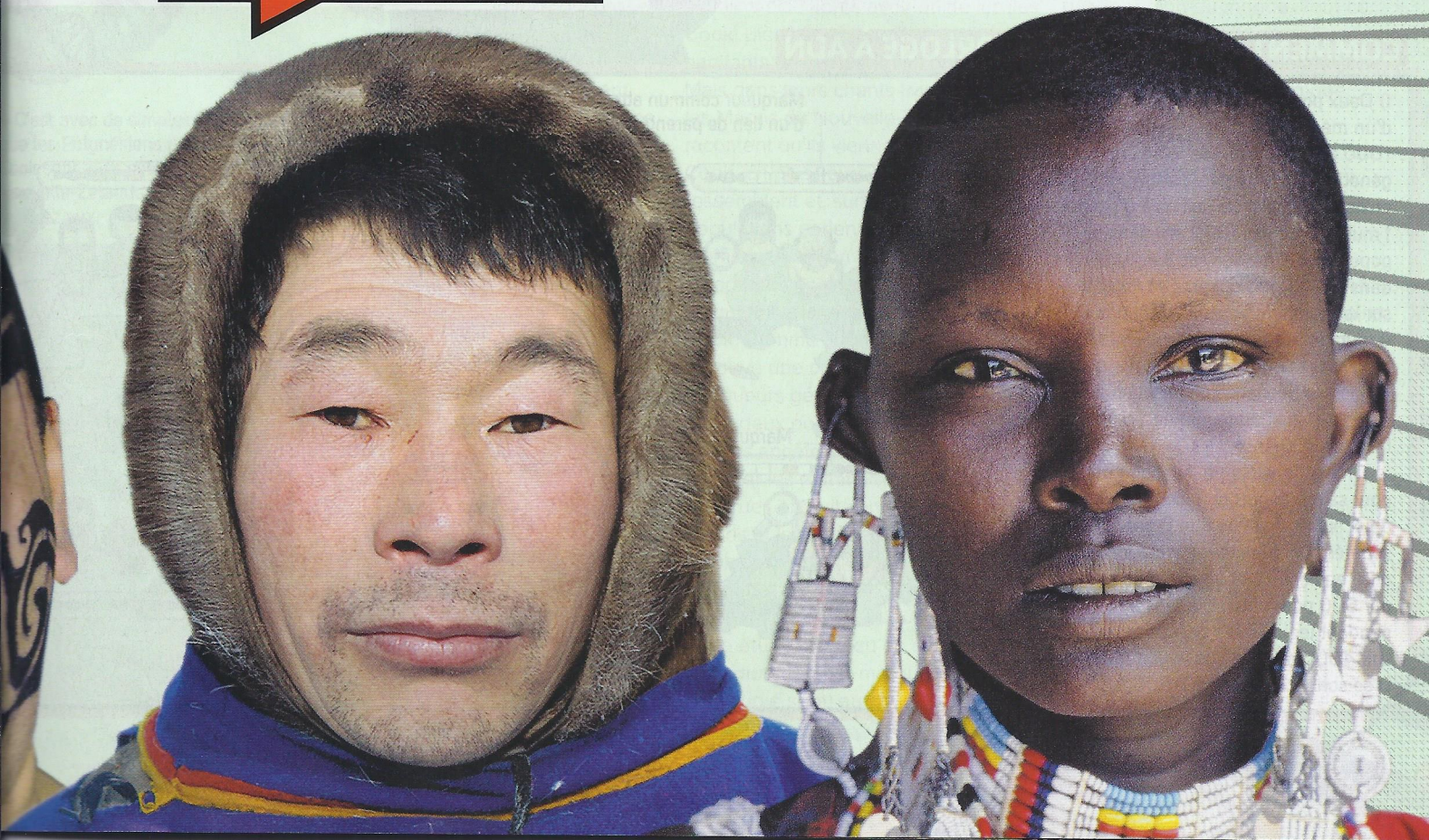
Certaines d'entre elles sont présentes dans une population et pas dans d'autres. On leur a donné le nom de marqueurs, parce qu'elles caractérisent les gens qui les portent et les unissent : un peu comme s'ils avaient tous un grain de beauté sur l'épaule gauche. C'est la combinaison de différents marqueurs qui va en quelque sorte servir de carte d'identité à un groupe, et permettre aux généticiens de repérer les liens de parenté entre des populations éloignées.

Comment? Eh bien lorsqu'une petite population se scinde en deux, quand par exemple quelques centaines de personnes émigrent pour trouver

ailleurs de meilleures conditions de vie, les deux groupes ainsi formés, qui ne se reproduisent plus entre eux, vont connaître une évolution génétique un peu différente. Les hommes et les femmes de

ces deux groupes ne seront pas touchés par les mêmes mutations et, comme ils ne « mélangent » plus leurs ADN via la reproduction, ils vont se différencier peu à peu génétiquement. Il n'empêche, ces groupes garderont toujours, pour peu que l'on observe un nombre suffisant de personnes, les traces de leur origine

CHAQUE PEUPLE A UNE CARTE D'IDENTITÉ GÉNÉTIQUE



commune. En clair, plus les fréquences de certains marqueurs seront élevées dans les deux populations, et plus elles auront des relations de parenté récentes l'une avec l'autre (voir encadré à droite).

360 000 marqueurs passés au crible

C'est donc ce travail qu'ont mené à bien les généticiens sur les populations originaires d'Amérique et d'Asie. Bien entendu, pour repérer les marqueurs intéressants dans chaque groupe humain, il faut un minimum d'individus : les chercheurs ont ainsi étudié 500 personnes, provenant d'environ 70 populations. Ensuite, plus on a de marqueurs, plus on a de chances de détecter des différences minimes entre

des groupes de personnes, donc meilleure est la précision de l'étude. Dans notre cas, sur chaque individu ce sont plus de 360 000 marqueurs qui ont été scrutés ! Un travail colossal, rendu possible grâce à des ordinateurs très puissants qui ont fait tous les calculs. Mais au final, ce boulot a permis de lier les populations les unes aux autres dans une sorte d'arbre généalogique, et de remonter de proche en proche jusqu'en

Sibérie, où la combinaison de marqueurs d'origine domine. Mieux, en passant les données à la

moulinette des ordis, ce n'est pas un seul arbre qui en est sorti, mais trois ! Et comme tous partent de Sibérie, cela montre que les premiers Américains ont tous émigré de ce coin d'Asie en trois vagues successives.

LES PREMIERS AMÉRICAINS VIENNENT TOUS DE SIBÉRIE

COMMENT RETROU

1 Pour établir les liens de parenté entre des populations éloignées géographiquement, on étudie les mutations et y repère des combinaisons de marqueurs, c'est-à-dire des suites de lettres de notre alphabet génétique. Supposons par exemple qu'en Italie, 80% des personnes étudiées ont une combinaison caractérisée par les lettres CCAA. En France, en revanche, cette combinaison n'est présente que chez 40% des personnes, et c'est une autre combinaison, la FF, qui domine. En Espagne, la combinaison I n'est plus observée, que chez 15% des personnes, et on trouve également la combinaison AA chez 35% des individus, et la combinaison FF chez 50%. Comme la combinaison AA est partagée par tous, et qu'elle est la plus fréquente en Italie, c'est donc qu'elle est le monde est parti d'Italie. Ensuite, les Français et Espagnols partagent la combinaison FF, laquelle est plus fréquente en France.

Quand précisément ? L'étude ne le dit pas, car ce n'était pas l'objet de cette recherche. Mais c'est une information qu'il serait tout à fait possible d'obtenir. Car l'ADN a un autre superpouvoir : celui de dater les épisodes décisifs de l'histoire de l'humanité, à une époque, la préhistoire, où les hommes ne savaient pas encore écrire pour raconter leurs faits et gestes. Dans l'ADN, en effet, les mutations



LES MUTATIONS SONT COMME LES TIC-TAC D'UNE MONTRE

s'accumulent avec les générations, un peu comme les tic-tac d'une horloge s'additionnent les uns aux autres pour marquer le temps qui passe.

Il suffit donc de connaître la fréquence moyenne à laquelle ces mutations apparaissent pour en déduire une mesure du temps qui s'est écoulé (voir encadré en bas à gauche). Cela suppose, bien entendu, d'avoir un top chrono de

▼ C'est avec de simples pirogues que les Polynésiens des îles Cook sont allés coloniser la Nouvelle-Zélande à 3 000 km de chez eux.



départ et un top chrono d'arrivée. Si c'est le cas, alors ça marche comme sur des roulettes, ainsi que le démontre une étude récente sur les Maoris. On sait que ces redoutables guerriers se sont installés en Nouvelle-Zélande au XIII^e siècle après avoir quitté les îles Cook. Bien sûr, aujourd'hui, les habitants de ces deux îles ont changé. Mais dans leurs chants traditionnels, les Maoris de Nouvelle-Zélande racontent qu'ils viennent des îles Cook. En plus, leurs tatouages se ressemblent et, surtout, les deux populations parlent quasiment la même langue : un Maori de Nouvelle-Zélande comprend parfaitement ce que dit un Polynésien des îles Cook. Comme attendu, on a donc retrouvé une combinaison de marqueurs génétiques communs à ces deux populations, issues des mêmes ancêtres. Et il a suffi de compter les mutations nouvelles apparues en huit cents ans chez les Maoris et les Polynésiens des îles Cook pour savoir à quel rythme tournait l'horloge à ADN. Selon les chercheurs qui ont mené cette étude, il y a eu en moyenne 0,02 mutation par marqueur (ils en ont étudié sept) au cours des huit

cents années écoulées. Ça peut paraître peu, mais ça devient bigrement plus intéressant quand on s'intéresse à de longues périodes de temps. Car à partir de ce simple chiffre, on peut en effet dater l'arrivée des hommes dans n'importe quelle région du monde. Tout ce qu'il y a à faire, c'est d'analyser l'ADN d'un maximum de groupes humains à la surface du globe.

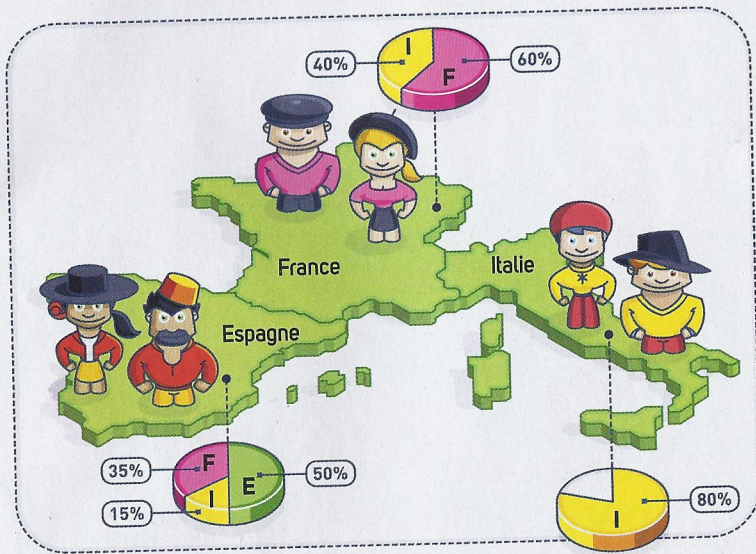
Le disque dur de l'humanité

C'est ainsi qu'aujourd'hui, nous avons la certitude que nos plus lointains ancêtres vivaient en Afrique il y a 200 000 ans, et que certains ont ensuite quitté ce continent et peuplé le vaste monde : en Asie et Europe d'abord, puis en Océanie et en Amérique (voir carte p. 41). Les généticiens ont ainsi ouvert une fenêtre que l'on croyait à jamais fermée sur notre lointain passé. Et tout ça parce que l'ADN, niché au cœur de nos cellules, est en quelque sorte la mémoire vivante de l'humanité. Bluffant, non ? **A.L.-B./S.L.** ▀

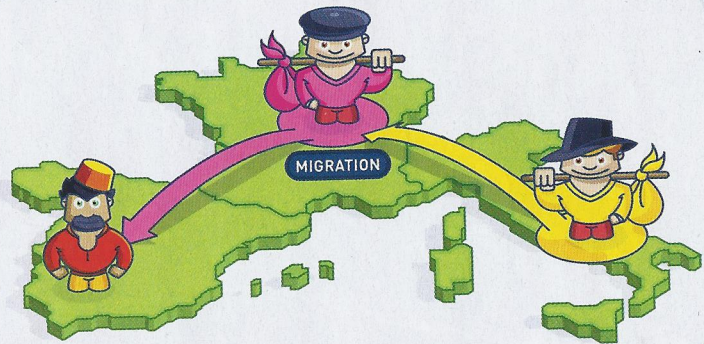
Remerciements à Stéphane Mazières, du laboratoire d'anthropologie bioculturelle (CNRS, université Aix/Marseille), et à Emmanuel Douzery, de l'Institut des Sciences de l'évolution (CNRS, université de Montpellier).

COMMENT RETROUVER DES LIENS DE PARENTÉ ENTRE DES POPULATIONS

1 Pour établir les liens de parenté entre des populations éloignées géographiquement, on étudie leur ADN. On y repère des combinaisons de marqueurs, c'est-à-dire des suites de lettres de notre alphabet génétique. Supposons par exemple qu'en Italie, 80% des personnes étudiées ont une combinaison I, qui se caractérise par les lettres CCAAAAA. En France, en revanche, cette combinaison I n'est présente que chez 40% des personnes, et c'est une autre combinaison, la F, qui domine. En Espagne, la combinaison I n'est plus observée que chez 15% des personnes, et l'on trouve également la combinaison F chez 35% des individus, et la combinaison E, chez 50%. Comme la combinaison I est partagée par tous, et qu'elle est la plus fréquente en Italie, c'est donc que tout le monde est parti d'Italie. Ensuite, Français et Espagnols partagent la combinaison F, laquelle est plus fréquente en France...



2 ... Conclusion : des populations originaires d'Italie sont passées par la France avant de se séparer en un nouveau groupe pour rejoindre l'Espagne*.



*Attention, ce schéma n'est qu'un exemple théorique. Il ne reflète pas la réalité des liens de parenté et les migrations entre les Italiens, Français et Espagnols.

COMMENT SE SERVIR DE L'HORLOGE À ADN

1) Deux populations A et B, issues d'un même groupe, sont séparées depuis 1000 ans. On compare leurs marqueurs génétiques pour repérer les mutations qu'ils ont subies. On voit qu'il y a eu 1 mutation depuis 1000 ans dans la population A (en vert) et 3 accumulées dans B (en fuchsia, jaune et rose) sur la même durée, soit au total, 4 mutations survenues dans un laps de temps total de 2000 ans. Ce qui donne une fréquence de mutation de 4 sur 2000, soit en moyenne 1 mutation tous les 500 ans.

2) On peut ensuite utiliser cette horloge pour savoir depuis combien de temps deux autres peuples C et D ont été séparés. On compte les mutations qui les différencient (8) et on multiplie ce chiffre par 500 pour obtenir le laps de temps pendant lequel elles se sont accumulées, soit 4000 ans. Ce que veut dire que C et D se sont scindés il y a 2000 ans.

