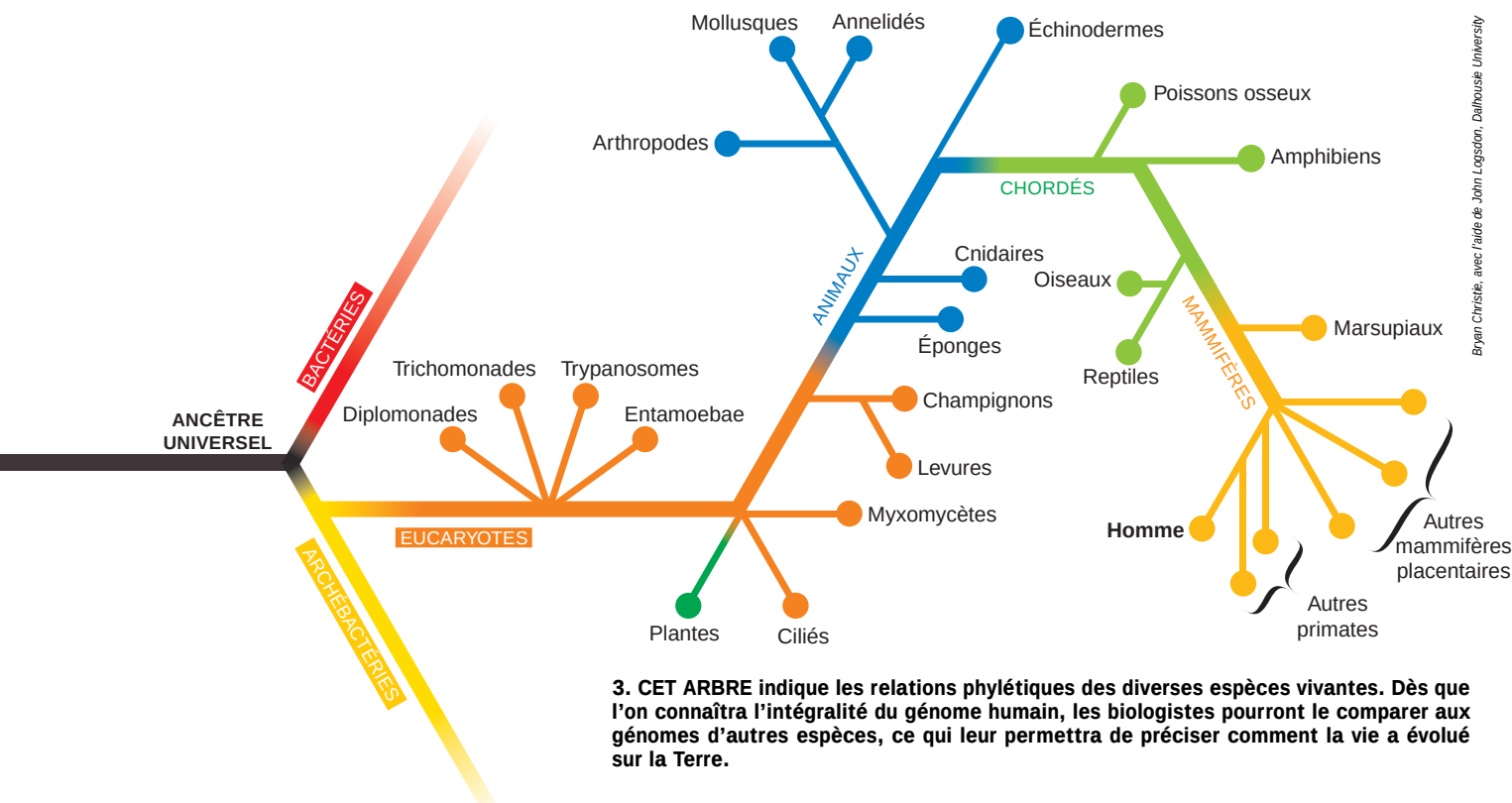




3. CET ARBRE indique les relations phylétiques des diverses espèces vivantes. Dès que l'on connaîtra l'intégralité du génome humain, les biologistes pourront le comparer aux génomes d'autres espèces, ce qui leur permettra de préciser comment la vie a évolué sur la Terre.

cholestérol excessive, ils préciseront les gènes responsables, les conséquences de cette hypercholestérolémie à redouter, les médicaments et le régime qui conviendront le mieux.

En 2050, on saura soigner les maladies avant même leur apparition (toutefois, tous n'auront pas accès à ces progrès, et les inégalités resteront sources de tensions). Lorsque quelqu'un tombera malade, la thérapie génique et les médicaments seront choisis en fonction de son patrimoine génétique, de sorte que les traitements seront adaptés au cas par cas. La durée moyenne de la vie dépassera 90 ans, et l'étude des gènes du vieillissement aboutira certainement à une nouvelle augmentation de l'espérance de vie.

Malgré l'apparente diversité de l'espèce humaine, celle-ci est plus homogène que beaucoup d'autres. Chez les êtres humains, on trouve presque les mêmes variations génétiques dans tous les groupes de population, et seule une petite fraction (entre 10 et 15 pour cent) de cette variation correspond à des différences entre groupes. Cette constatation a conduit certains biologistes des populations à affirmer qu'il n'y a pas si longtemps, l'espèce humaine était réduite à une dizaine de milliers d'individus, et que leur dispersion sur les différents continents est récente. La plupart des variations génétiques seraient antérieures à cette dispersion.

La reconstitution des grandes étapes de la vie

Au cours des 20 dernières années, grâce aux techniques d'analyse de l'ADN, les généticiens des populations ont répondu à plusieurs questions anthropologiques. Des événements démographiques, tels que les migrations, les disparitions de certains groupes ou l'expansion d'autres populations, modifient la fréquence des gènes, de sorte qu'ils sont précisément gravés dans le patrimoine génétique de l'humanité. Ainsi, la génétique a déterminé que l'homme moderne était apparu en Afrique il y a 100 000 à 200 000 ans, avant de se répartir sur tous les continents. Les anthropologues ont également utilisé l'ADN pour étudier, par exemple, l'origine de groupes tels que les Tziganes et les Juifs, les migrations de diverses populations vers les îles du Pacifique Sud et vers les Amériques, ou encore la dispersion des populations en Europe. Comme les informations génétiques sont de plus en plus faciles à obtenir, on clarifiera plus aisément les relations entre populations, les périodes de brassage, de séparation et de migration. Nous sommes persuadés que l'on confirmera que les caractères raciaux et ethniques sont socioculturels ; on montrera qu'il n'existe aucune frontière scientifiquement démontrée entre les groupes humains.

Vers 2050, nous connaissons bien mieux les populations humaines, mais une question reste ouverte : quelles sont les limites de ce savoir ? Les méliages ont été si fréquents que l'on ne pourra vraisemblablement pas établir un arbre généalogique unique qui représenterait l'histoire de l'humanité. On devra décrire cette histoire par un buisson dont les ramifications se croiseront et s'entremêleront après des périodes de séparation. Dans 50 ans, nous saurons au moins certains d'un point : nous aurons évalué les limites de l'histoire de l'humanité que nous aurons réécrite.

Depuis les années 1960, les séquences d'ADN sont des outils essentiels pour les classifications du vivant. Grâce à ces analyses, on a tracé les grandes lignes des événements qui ont marqué quelque 3,5 milliards d'années d'évolution, et l'on a classé les organismes vivants en trois grands groupes : les archéobactéries (des organismes unicellulaires très anciens) ; les bactéries ; les eucaryotes (les organismes dont les cellules ont un noyau). On a également établi des subdivisions et des embranchements, qui séparent les innombrables espèces vivantes. En revanche, on n'est pas parvenu à placer chaque type d'organismes vivants sur une branche particulière d'un même arbre de vie. Selon les gènes que l'on étudie, on trouve souvent des arbres généalogiques différents, car l'ADN n'est pas toujours

La génomique au Genopole

La France participe à l'effort mondial de séquençage du génome humain de diverses façons et notamment par la création du Genopole, à Évry, dont l'ambition est de regrouper des centres nationaux, des laboratoires de recherche fondamentale et un ensemble d'entreprises de biotechnologies, indispensables au transfert des découvertes des laboratoires de recherche publics ou privés vers l'industrie.

Demain, ces activités auront des retombées dans la plupart des domaines de recherche en biologie, en médecine (pour le diagnostic et les traitements) et dans de nombreux secteurs industriels, notamment la pharmacie, l'agroalimentaire, les industries de l'environnement, ou encore la chimie lourde et, peut-être, l'informatique.

Aujourd'hui, sont réunis à Évry un laboratoire national de séquençage, le Genoscope, qui participe aux programmes internationaux de séquençage, qui a ses propres projets et qui répond aux besoins en séquençage de la communauté scientifique nationale publique et privée ; le Centre national de génotypage qui a pour mission de rechercher des gènes de susceptibilité à diverses maladies et d'étudier les relations entre le patrimoine génétique de l'homme et ses manifestations individuelles.

À côté de ces deux centres, qui fonctionnent grâce aux fonds publics, se trouvent le laboratoire Généthon de l'Association française contre les myopathies, qui se consacre presque exclu-

sivement à la thérapie génique, un ensemble de laboratoires du CEA, du CNRS, de l'INSERM, de l'INRA, de l'Université Paris VII et des laboratoires de recherche privés. Citons enfin l'installation prochaine de plusieurs structures de bio-informatique, dont le centre national Infobiogen. La plupart de ces laboratoires sont étroitement associés à l'Université d'Évry-Val d'Essonne qui met progressivement en place des enseignements de premier, deuxième et troisième cycles dans ces domaines.

Genopole dispose de moyens de l'État, des collectivités territoriales (Conseil général et Conseil régional), du SAN (le syndicat d'agglomération nouvelle) et de l'Association française contre les myopathies. Une équipe est en charge de la politique de recherche, une autre de la politique de développement industriel (implantation et création d'entreprises de haute technologie en biologie), une troisième de la communication.

La biotechnopôle d'Évry regroupe déjà 15 laboratoires de recherche et 25 entreprises ou projets d'entreprises, dont 15 sont en cours de création. À la fin de l'année 2001, le campus d'Évry devrait regrouper entre 20 et 30 laboratoires de recherche et 50 à 60 entreprises de biotechnologies. Ainsi, Genopole se caractérise par la volonté d'associer des compétences scientifiques et industrielles dans le respect des droits et des devoirs de chacun.

Pierre TAMBOURIN,
Directeur de Genopole®

transmis, directement des parents à leur descendance, avec un taux de mutations assez stable pour jouer le rôle de repère temporel. Parfois des transferts de gènes entre espèces aboutissent à d'importants bonds évolutifs, comme dans le cas des organites qui produisent l'énergie dans les cellules animales (les mitochondries) et dans les cellules végétales (les chloroplastes) : ces constituants cellulaires contiennent leur propre matériel génétique et proviennent de bactéries qui ont été «avalées» par des cellules eucaryotes.

Ce type de «transfert génique horizontal» semble avoir été assez fréquent dans l'histoire de la vie, de sorte que la comparaison des gènes entre les espèces n'aboutira pas à un arbre phylogénétique unique et universel. Comme

l'histoire de l'espèce humaine, l'histoire de la vie serait plutôt comparable à un treillis, où des ramifications s'éloignent, se rapprochent et fusionnent avant de se séparer à nouveau.

Dans 50 ans, le livre de l'histoire de la vie sera plus complet, même si l'énigme de l'apparition du premier organisme capable de se reproduire n'a pas encore été résolue. Nous saurons, par exemple, quand et comment différentes lignées se sont formées, ont adopté ou adapté des gènes, se dotant de nouvelles voies métaboliques ou de nouvelles organisations corporelles. L'observation de la vie à l'échelle du gène sera si familière aux biologistes qu'ils ne parleront plus d'organismes ou d'espèces, mais de gènes. Ils auront identifié les gènes qui ont été trans-

mis ensemble, sur quelles périodes, et dans quels génomes. On aura alors peut-être la réponse à la question posée par Charles Darwin, restée aujourd'hui, sans réponse : qu'est-ce qui distingue l'homme des autres espèces ?

D'autres questions apparaîtront certainement. Comme dans tout domaine scientifique fécond, de nouvelles hypothèses, fondées sur les données recueillies, seront postulées. Paradoxalement, malgré son importance croissante, la génomique, en tant qu'entité bien définie, sera peut-être un peu occultée, car elle aura diffusé dans tous les domaines de la biologie ; elle sera peut-être absorbée par la médecine.

Comment la société réagira-t-elle à cette explosion des connaissances génétiques ? Cette question n'a pas aujourd'hui de réponse simple. Avec les progrès de la génétique et de la technique, on devrait soigner mieux diverses maladies et soulager nombre de souffrances. Toutefois, le progrès s'accompagne de risques : ainsi, certains fanatiques utilisent, aujourd'hui, des arguments génétiques pour tenter de justifier l'existence de groupes raciaux et ethniques. On peut craindre que certains employeurs ou assureurs n'utilisent les informations génétiques pour refuser un emploi ou une assurance. Saurons-nous maîtriser le pouvoir que peut conférer la mise à disposition de l'information génétique ? La question reste ouverte.

Nous espérons que la génétique sera utile dans de nombreux domaines, mais nous craignons que les tensions ne s'accroissent entre les partisans du progrès scientifique et les adeptes d'un retour à une vie plus «naturelle». Les sociétés devront veiller à ce que la génomique soit bien acceptée par la collectivité et à ce que les progrès liés à cette discipline ne soient pas utilisés à des fins pernicieuses.

Francis COLLINS dirige l'Institut de recherche américain sur le génome humain (NHGRI), où Karin JEGALIAN est journaliste scientifique.

Thomas D. GELEHRTER, Francis S. COLLINS et David GINSBURG, *Principles of Medical Genetics*, deuxième édition, Williams and Wilkins, 1998.

Francis S. COLLINS, *Shattuck Lecture – Medical and Societal Consequences of the Human Genome Project*, in *New England Journal of Medicine*, vol. 341, n° 1, pp. 28-37, 1^{er} juillet 1999.