

NOUVEAUTÉ
Pour 75 euros,
pilotez votre PC
par gestes! p.8



TÉLÉPHONE, SMS, APPELS VIDÉO : LES SOLUTIONS POUR COMMUNIQUER SANS PAYER

P.76

LE GRAND BOOM DU SEXE 2.0

Sites pour adultes, rencontres coquines, exhibitionnisme en ligne... Enquête sur une nouvelle révolution des mœurs

P.36

GUIDE PRATIQUE p.88

RETOUCHE PHOTO

Les techniques des pros à la portée des débutants



AVANT



APRÈS

Cette fiole pourra un jour tout le savoir du

Et si l'intégralité du monde numérique tenait dans un tube à essai ? C'est la promesse d'une technologie de stockage révolutionnaire, qui consiste à utiliser l'ADN comme support.

Nick Goldman ne l'oubliera jamais : c'est dans un pub de Hambourg, après une soirée arrosée de bière locale, que ce généticien anglais et ses confrères de l'EMBL-EBI en Allemagne (Institut européen de bio-informatique) ont eu la meilleure idée de leur vie : utiliser l'ADN, cette molécule qui contient le patrimoine génétique de toutes les espèces vivantes, afin de stocker des données... numériques. Autrement dit transformer ce filament à forme hélicoïdale (chaque molé-

cule d'ADN humain, bien qu'invisible à l'œil nu, ferait près de deux mètres de longueur si on la déplaît) en un microscopique disque dur.

“À l'EMBL, nous devons manipuler des pétaoctets de données (soit des millions de milliards, Ndlr), principalement des séquences d'ADN. Ce qui pose de nombreux défis d'archivage, notamment parce que notre financement n'augmente pas alors que les données que nous devons stocker doublent en quelques mois”, confie Nick Goldman. “Cela nous est apparu subitement ce soir-là : pourquoi ne pas justement utiliser l'ADN pour stocker nos séquences... d'ADN ?”

Durée de vie illimitée. L'idée n'avait rien de farfelu, car les scientifiques de l'EMBL le savent mieux que quiconque : une molécule d'ADN est en mesure d'enregistrer une quantité phénoménale d'informations. Et ce que la nature a créé, aucune des technologies de stockage développées jusqu'à présent par l'Homme n'a été capable de s'en approcher. Les chiffres donnent carrément le

Pour le chercheur britannique Nick Goldman, l'ADN pourrait résoudre de manière définitive tous les problèmes d'archivage de l'humanité.



stocker monde

vertige : à titre d'exemple, l'ADN est 100 milliards de fois plus dense qu'un CD. "On estime que l'ensemble des données mondiales représentait en 2012 trois mille milliards de téraoctets. Avec notre technologie de stockage sur ADN, toutes ces informations pourraient tenir dans le coffre d'une berline!", résume Christophe Dessimoz, chercheur à l'EMBL.

Et ce n'est pas le seul atout de ce fameux acide désoxyribonucléique. Alors qu'un DVD gravé a une durée de vie moyenne de vingt ans, l'ADN, lui, peut se conserver pendant des millénaires. "Nous avons été capables de reconstruire des séquences ADN des mammouths laï-neux, par exemple, vieux de dizaines de milliers d'an-

nées", commente Nick Goldman. Pour conserver la molécule à la perfection, il suffit de l'entreposer de façon correcte, à l'abri de l'humidité et de la chaleur. Encore mieux, l'ADN étant consubstantiel à tous les organismes vivants, il ne peut par définition devenir obsolète, contrairement à toutes les technologies de stockage que

nous utilisons aujourd'hui. Qui pourra lire une disquette dans cinquante ans ? En revanche, "tant qu'il y aura des formes de vie intelligente sur Terre, on peut légitimement penser qu'il sera possible de décoder de l'ADN", affirme M. Dessimoz.

Coder et décoder. Des perspectives époustouflantes détaillées dans un article publié en février 2013 dans la revue *Nature*, qui décrit par le menu comment l'équipe est parvenue à stocker tous les sonnets de Shakespeare, une photo du labo de l'EMBL, ou encore un extrait du ●●●

“Le stockage sur ADN nous permettrait de ne plus rien jeter...”

fameux discours de Martin Luther King dans quelques picogrammes d'ADN.

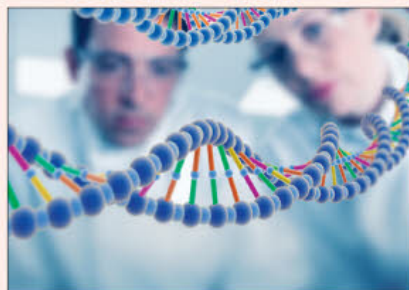
L'entreprise, éminemment complexe, a commencé par de bonnes vieilles formules de maths : “Nous avons créé un code qui transforme des fichiers informatiques (écrits en binaire, une suite de 0 et de 1) en longues chaînes des lettres A, C, G, T, qui correspondent aux briques de base de l'ADN (adénine, cytosine, guanine et thymine)”, explique Nick Goldman. Pour pouvoir parfaitement décoder le message par la suite et faciliter sa lecture, l'équipe a choisi de fragmenter les brins d'ADN. Ainsi, pour stocker moins de 1 Mo, plus de 150 000 séquences de molécules ont été synthétisées par une firme californienne spécialisée. L'ADN a ensuite été renvoyé “par la poste” au laboratoire allemand pour y être décodé. Une réussite totale : tous les fichiers numériques ont été décryptés à l'EMBL sans la moindre erreur.

700 To sur 1 gramme d'ADN. Le laboratoire de génétique paneuropéen n'est pas le seul à travailler à cette technique de stockage révolutionnaire. Aux États-Unis, on planche aussi très sérieusement sur la question. Quelques mois avant l'équipe de Goldman, George Church, l'un des plus célèbres généticiens américains, proposait avec son équipe de l'université d'Harvard une solution de stockage par ADN, avec une technique très similaire à celle des Européens. Et est parvenue à stocker l'équivalent de 700 téraoctets de données, soit 350 disques durs standards, sur un seul gramme... “Le stockage sur ADN nous permettrait de ne plus rien jeter, de ne plus avoir ni à effacer, ni à réutiliser disques et bandes magnétiques. Imaginez que nous soyons capables d'enregistrer en vidéo tout ce qui se déroule sur Terre, pour ensuite pouvoir piocher ce que nous souhaitons dans cette gigantesque base

Comment les généticiens de l'EMBL écrivent et lisent des données sur de l'ADN

1. Des chiffres aux lettres. Un code permet de transformer les informations binaires (une suite de 0 et 1) en une suite précise de bases azotées (A, C, G, T) qui composent notre ADN. L'équipe de l'EMBL a cependant fait en sorte de ne pas faire suivre deux bases azotées identiques, afin de limiter ensuite les erreurs de lecture.

2. Une adresse par brin. Chaque fichier de données est transformé en une seule très longue séquence ADN (ACGTAGAT...). Elle est ensuite fragmentée en de nombreux segments. Ceux-ci se chevauchent afin de créer une redondance massive des données en cas de problème avec un brin. Et pour connaître la place de chaque brin d'ADN, l'équipe code également une adresse au début de chacun d'eux. Au total, cela représente,



pour quelque 757 Ko de données, quelque 153 335 fragments d'ADN, chacun doté de 117 bases azotées.

3. Des copies par milliers. L'équipe envoie ensuite sa séquence ADN à une entreprise capable de synthétiser les morceaux de molécules. Ici, c'est la firme Agilent Technologies, aux États-Unis, qui s'est occupée de créer des brins de synthèse en respectant scrupuleusement le code fourni par les chercheurs. Elle a livré pas moins de 2 500 000 copies de chaque brin, qui

ont toutes été lyophilisées et ramenées au labo allemand.

4. Retrouver ses fichiers. L'équipe utilise alors une impressionnante machine, un séquenceur Illumina HiSeq 2000, traditionnellement employé pour décrypter un génome. Après avoir repéré l'immense suite de bases azotées codées dans la molécule, les chercheurs n'ont plus qu'à transformer de nouveau ces successions de quatre lettres en code binaire pour retrouver leurs fichiers.

de données”, décrit Church. Comment ne pas voir là une prophétie presque effrayante qui expose parfaitement le potentiel incroyable de cette technologie.

Des fichiers dans un tube. Reste que stocker vos photos de famille sur de l'ADN, ce n'est pas pour tout de suite ! Ne serait-ce que parce que l'écriture et la lecture des données prennent un temps fou. Dans le cadre de l'expérience de l'EMBL, il a fallu deux jours pour écrire les données et environ douze jours pour les lire ! C'est non seulement long, mais aussi très cher : composer de l'ADN de synthèse est un processus particulièrement onéreux (12 400 dollars par mégaoctet environ) et seules quelques entreprises de pointe, comme Agilent Technologies, en maîtrisent le processus.

Nos scientifiques parient sur une baisse drastique des coûts et de vitesse de lecture, même s'ils avouent bien volontiers que l'ADN sera, avant tout, un média d'archivage à (très) long terme. Ils estiment même que pour stocker des fichiers sur une période allant de 600 à 5 000 ans, l'ADN serait déjà viable économiquement. Difficile à vérifier ! Cependant, “d'ici 10 à 15 ans, on peut imaginer qu'une entreprise vous propose de lui envoyer vos fichiers les plus précieux via un site Web et que vous les receviez quelques jours plus tard dans un petit tube à essais...” conclut M. Dessimoz. Une start-up qui proposerait un tel service à des entreprises serait même déjà sur le point de voir le jour ! ■

ÉRIC LE BOURLOUT