

intéresse dans une feuille de papier, point n'est besoin de mener l'analyse chimique de la feuille, en revanche, pour téléporter un gâteau au chocolat, il ne suffit pas de reconstituer un bout de plastique coloré en marron. Ce qui nous importe dans le gâteau est sa forme, sa couleur et son goût : le téléporter signifie donc reconstituer ces trois éléments, ce qui est bien sûr extrêmement difficile et hors de portée aujourd'hui, car le nombre de molécules d'un arôme de chocolat est énorme (plusieurs dizaines), et même en y prenant tout le temps qu'on veut les résultats actuels sont imparfaits.

La reconstitution de certains objets (comme les cristaux et les êtres vivants) oblige à une précision encore plus

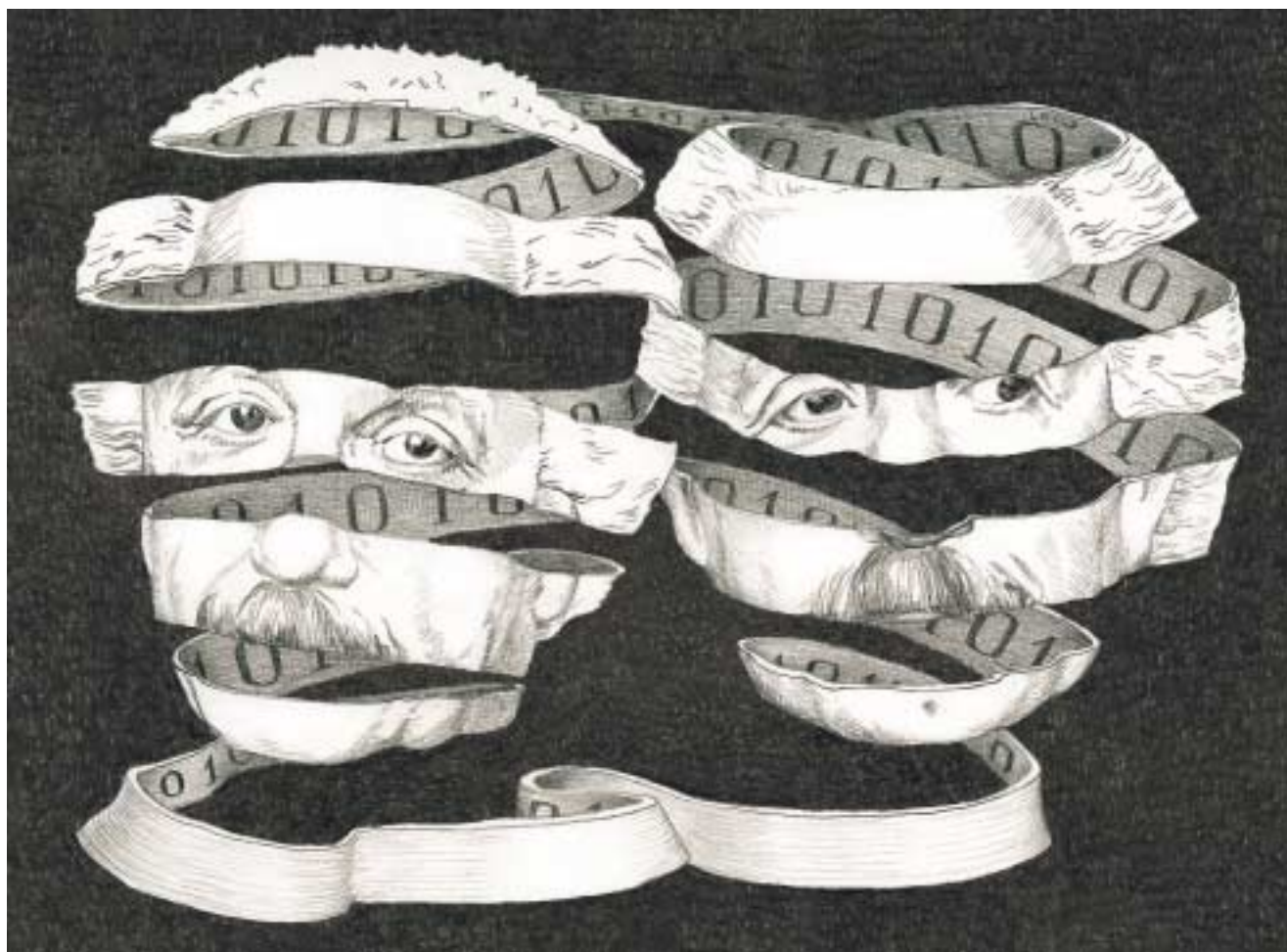
grande, d'ordre atomique. En effet, le déplacement d'un atome peut correspondre à la mutation d'un gène important chez un être vivant : pour téléporter un être vivant, chaque molécule et chaque atome doit être identifié au départ et remplacé à l'arrivée avec exactitude.

Si l'on tente d'aller le plus loin possible dans la réalisation de téléporteurs, le moment arrivera donc vite où il faudra respecter la position exacte de chaque atome de l'objet à déplacer. Y a-t-il une impossibilité fondamentale à cette téléportation par analyse-transmission-recomposition avec une précision atomique? Nous entrons dans un domaine où il va être difficile de for-

muler des conclusions définitives. Cependant quelques commentaires méritent d'être notés.

## Analyse impossible ?

Qui aurait pensé, il y a deux siècles, qu'on réussirait à voir les os ou les organes internes d'un animal vivant sans avoir à en découper la peau? Peut-être réussirons-nous à aller plus loin et à mener l'analyse, atome par atome, de petits volumes de matière. La mécanique quantique impose toutefois des limites à ce qu'on peut connaître des petits objets. Est-ce que ces limites concernent notre problème? Le physicien Samuel Braunstein (spécialiste de



**1. QUANTITÉ D'INFORMATION POUR DÉCRIRE UN ÊTRE HUMAIN.** Combien d'informations binaires (bits) faut-il pour décrire un être humain (qu'on voudrait téléporter en en communiquant la description)?  **$10^{32}$ ?** En indiquant la position, la nature et la vitesse de chaque atome composant un être humain avec une précision de l'ordre de grandeur d'un atome moyen, il faut environ  $10^{32}$  bits d'information pour décrire un être humain.  **$10^{20}$ ?** Les nombreuses informations redondantes que la description précédente contiendrait pourraient être considérablement réduites par les techniques de compression de données. Sans qu'aucun nombre puisse être avancé sur des bases sérieuses, on peut quand même risquer que  $10^{20}$  bits seraient suffisants, surtout si l'on accepte de ne garder que les informations pertinentes (qu'importe, par exemple, la longueur exacte de chaque cheveu, la

position précise de chaque pore de la peau, etc.).  **$10^{15}$ ?** Si l'on ne souhaitait garder qu'une description algorithmique de l'esprit (et si une telle chose est possible!), le nombre d'informations caractérisant une personne serait sans doute bien inférieur à  $10^{20}$ . On peut considérer que, vu la taille du génome (moins de  $10^{10}$  bits d'information), vu le vocabulaire qu'une personne connaît (50 000 mots est exceptionnel, cela fait moins de  $10^7$  bits), vu le nombre de souvenirs qu'une personne possède (un livre de 100 000 pages permet certainement de les consigner tous, cela représente moins de  $10^9$  bits), on peut avancer que  $10^{15}$  bits de programmes seraient grandement suffisants. Peut-être même pourrait-on risquer les nombres de  $10^{12}$  ou  $10^{10}$ . Bien sûr, la haute idée que l'homme a de lui-même rend choquantes de telles évaluations, que bien peu de gens acceptent.

## 2. La synthèse est-elle toujours possible ?



Le problème de la reconstitution d'objets dont on connaît le plan n'est pas toujours facile. Ne rencontrera-t-on jamais des molécules apparues grâce à des réactions utilisant des catalyseurs définitivement disparus ou inconnus ? Ne se peut-il pas aussi qu'une molécule n'apparaisse que dans des circonstances très particulières que nous ne reproduirons jamais (la synthèse du diamant, par exemple, exige de très fortes pressions), ou demandant des durées si longues que nous ne pourrions pas les réaliser ? Chacun de ces objets difficiles à synthétiser serait un obstacle majeur à la mise au point de la porte de sortie d'un téléporteur.

Le problème de la durée de la synthèse d'objets complexes pourrait bien être aussi un obstacle majeur à la téléportation. En informatique, la théorie de la complexité des algorithmes étudie des problèmes dont la solution ne peut pas être découverte en temps raisonnable (problèmes exponentiellement difficiles). Une voie pour démontrer définitivement l'impossibilité de la téléportation serait d'établir un lien entre ces problèmes et la synthèse de certains composés chimiques.

la téléportation quantique) s'est posé la question. La mécanique quantique indique que la précision avec laquelle on peut mesurer la position et la vitesse d'une particule est limitée par la formule d'Heisenberg, qui indique que le produit de l'incertitude sur la position par l'incertitude sur la vitesse est supérieure à la constante de Planck.

Si l'on souhaite mesurer chaque atome, d'hydrogène par exemple, de masse  $m$  avec une précision égale à la taille de l'atome, l'incertitude quant à la vitesse sera d'environ 300 mètres par seconde. Cela semble beaucoup, mais la vitesse  $v$  des atomes, due au seul fait que nous sommes à température ambiante  $T$ , donnée par  $1/2mv^2 = kT$  (où  $k$  est la constante de Boltzmann), est plusieurs fois supérieure à cette vitesse. Il semble donc que le principe d'incertitude d'Heisenberg ne soit pas un obstacle à la réalisation d'un analyseur atome par atome servant pour la porte d'entrée d'un téléporteur du futur.

L'impossibilité d'un analyseur est peut-être à rechercher dans la logique géométrique des objets tridimensionnels. Certains objets de notre univers, pour des raisons mécaniques et géométriques, semblent en effet impos-

sibles à analyser : les banques utilisent par exemple des boîtes de transport de billets qui, en cas de tentative d'ouverture forcée, détruisent leur contenu (en répandant à l'intérieur un produit acide ou tachant). Une telle boîte dont la clef aurait été détruite ne constituerait-elle pas un objet à jamais impossible à analyser ? Et si ce type de boîte peut être ouverte par un expert, n'est-il pas possible d'en concevoir d'autres utilisant des explosifs et des serrures bloquantes dont la logique de la conception empêcherait définitivement toute analyse du contenu ? Je ne serais pas étonné que cette impossibilité structurelle se produise lorsqu'on a affaire à des molécules complexes imbriquées, c'est-à-dire formant des agrégats solides dont toute tentative d'analyse entraîne la destruction (sans produire de résultats).

De tout cela, nous concluons qu'un analyseur atomique universel (qui produirait une description atomique de tout système physique qu'on lui confierait) n'existera sans doute jamais. Toutefois, cela reste à démontrer, et il est certain que l'analyse atomique de bien des objets progressera au-delà de ce que nous savons faire pour l'instant.

## Quantité d'information trop importante ?

On a évalué la quantité d'information nécessaire pour décrire un objet de la taille d'un être humain, et l'on en a parfois conclu que la téléportation humaine est à jamais impossible. La quantité d'information à transmettre par le signal électrique ou électromagnétique dépasserait toujours tout ce que nous saurons stocker et communiquer. Examinons ces arguments qui pourraient régler par la négative une fois pour toutes le problème de la téléportation par la méthode d'analyse atomique.

L'Institut américain de la santé, pour son projet de «L'homme visible» (*The visible human project*), utilise environ  $10^{11}$  bits (informations 0 ou 1) de données qui servent au stockage des détails au millimètre près, en trois dimensions, d'un être humain (un cadavre congelé qui a été découpé en fines tranches). Ces  $10^{11}$  bits d'information sont loin de constituer une définition complète, atome par atome, du pauvre homme (un condamné à mort exécuté par injection mortelle au Texas). En fait, on évalue que la description atome par atome d'un être humain demanderait environ  $10^{32}$  bits d'information, ce qui, en transcrivant cette information sur des CD-ROM, en fournirait une quantité suffisante pour remplir un cube de 1 000 kilomètres de côté !

On peut espérer prochainement transmettre  $10^{12}$  bits d'information par seconde, et peut-être un jour ira-t-on jusqu'à  $10^{15}$  ; or, même à cette vitesse de transmission, il faudra  $10^{17}$  secondes (environ trois milliards d'années) pour transmettre les données relatives à un seul individu décrit atome par atome. Même si je suis prêt à accorder que jamais on ne saura transmettre  $10^{32}$  informations binaires dans un délai raisonnable (ni sans doute les mémoriser), je crois que cet argument contre la téléportation n'est pas recevable, car il oublie la possibilité de compresser les données.

La compression de données est déjà utilisée par les fax (c'est ce qui explique que, lorsque vous passez une feuille presque blanche, elle est transmise bien plus rapidement que lorsque vous passez une feuille couverte d'un texte en petits caractères). La compression des données est ce qui rend possible la superposition sur une même onde radio de plusieurs canaux de télévision numérique. Cette technique, presque totalement ignorée il y a vingt ans, est devenue