

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 saurions 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

indispensable dans nombre d'applications informatiques et multimédias, et elle est très loin d'avoir donné tout ce qu'on peut en attendre. Elle permet à la fois de gagner de l'espace pour le stockage des données, et du temps quand on fait voyager les données.

Notons que, comme cela se passe pour un fax, la compression peut se faire par morceaux et dynamiquement, et ne demande donc pas qu'à un moment donné toute l'information à compresser soit présente dans les mémoires des machines concernées : la compression de données est donc susceptible de résoudre à la fois le problème du stockage et le problème de la transmission de très grandes quantités d'information.

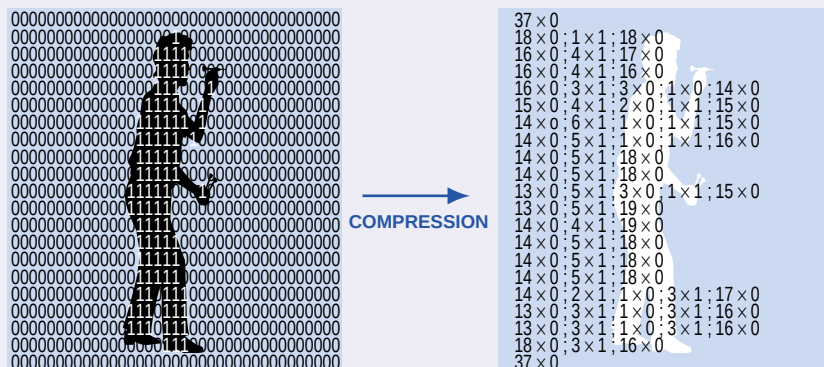
Il est évident que, pour un être humain défini atome par atome, de nombreuses informations sont redondantes et donc sujettes à compression. Chaque cellule, par exemple, contient les mêmes chromosomes (sept milliards d'informations binaires qui, d'une cellule à l'autre, se répètent identiquement). Nul ne sait aujourd'hui ce que les tentatives de compression des données relatives à un être vivant fourniront et de quel facteur le 10^{32} pourra être réduit. Les redondances dans un être vivant sont tellement nombreuses qu'on peut imaginer que 10^{20} bits d'information seraient suffisants (c'est déjà dix milliards de fois plus que le génome humain qui contient déjà tant de choses, et qui, notons-le, est susceptible d'être comprimé lui aussi).

Ainsi, la question du stockage informatique et de la transmission radio d'une description atome par atome d'un être humain n'est pas tranchée. Si elle est impossible, aucun argument définitif n'a été formulé.

Synthèse à partir d'une description atomique

Pour ce qui est de la synthèse à l'arrivée, nous sommes loin de pouvoir replacer un par un des atomes d'objets volumineux. Notons cependant que nous approchons de cette synthèse atome par atome. L'utilisation du microscope à balayage à effet tunnel permet d'analyser des surfaces atome par atome et a déjà conduit à la manipulation d'atomes un par un. Deux physiciens de l'Université Cornell, aux États-Unis, ont ainsi réussi, il y a quelques mois, à lier un atome de fer à une molécule d'oxyde de carbone (CO) pour former une molécule de carbonyle de fer (COFe).

3. Transmettre l'information en la comprimant



Un argument a été utilisé plusieurs fois pour démontrer définitivement l'impossibilité de la téléportation par analyse-transmission-reconstitution atome par atome : la quantité d'information à collecter et à transmettre (évaluée à 10^{32} bits pour un être humain) dépassera toujours les capacités de traitement de nos machines, cela même dans un avenir lointain.

Cet argument oublie que la compression de données réduirait considérablement ce 10^{32} . La compression de données consiste à réunir les données de même nature, ce qui diminue la quantité d'information à transmettre. Même si, aujourd'hui, il est difficile d'indiquer quel serait le facteur de compression que nous pourrions obtenir sur des données de ce type, il est certain que ce taux de compression sera considérable. Le nombre de types de cellules humaines est assez limité et, dans une même catégorie, deux cellules se ressemblent énormément, ce qui permet un gain considérable d'information. Bien d'autres redondances, comme celle des génomes identiques dans toutes les cellules d'un même organisme, créent des opportunités de compression.

Nul ne sait jusqu'où nous irons dans cette voie et s'il y a des impossibles définitifs en matière de synthèse atome par atome, mais, comme pour l'analyse et la transmission, il n'est pas établi qu'on rencontrera là un obstacle fatal au projet de téléportation.

L'impossibilité de la téléportation d'objets complexes par analyse-transmission-recomposition atome par atome n'a donc pas été démontrée, et rien n'interdit de rêver. Notons que, contrairement à la téléportation par raccourci topologique, ce second type de téléportation :

- ne permet pas de dépasser la vitesse de la lumière ;
- s'accompagne toujours de la possibilité de dupliquer les objets téléportés ; en effet, même si la phase d'analyse les détruit (c'est peut-être inévitable), une fois l'information (éventuellement comprimée) obtenue, rien n'interdira de l'utiliser plusieurs fois pour reconstituer plusieurs fois l'objet ou le sujet télétransporté.

Nous laisserons aux générations futures le soin de résoudre les innombrables problèmes délicats que pourraient poser de telles duplications humaines (lequel des deux Monsieur

X reste l'époux de Madame X? lequel doit payer les impôts? etc.).

Et l'âme dans tout cela ?

Une objection d'une autre nature concerne la téléportation des humains. L'état mental d'un être humain n'est peut-être pas reproduit, même lorsque l'on met en place des atomes selon un plan exactement conforme à celui de son cerveau et de son système nerveux, analysés au point de départ. Des ondes particulières, par exemple celles que considère la mécanique quantique, doivent peut-être être reproduites pour que l'état mental le soit. Autrement dit, même en reconstituant atome par atome un être humain, peut-être n'obtiendrons-nous qu'une masse amorphe dépourvue de vie et de pensée. L'analyse, première phase de la téléportation, devrait aller voir de plus près dans les objets qu'elle veut déplacer pour les reconstituer entièrement à l'arrivée.

Dès que l'on considère des objets quantiques, même des particules, l'impossibilité de l'analyse est une loi établie : l'état de polarisation d'un photon inconnu, par exemple, ne peut pas être mesuré entièrement. Pire, si vous