DR

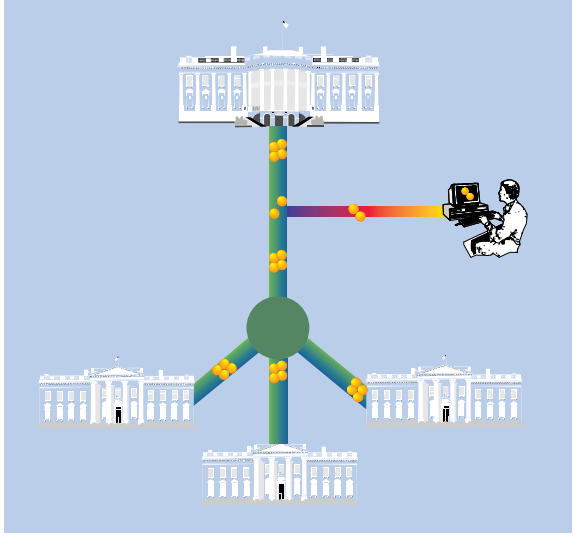
Haie brise-vent au milieu d'un champ de maïs, dans la plaine de Valence.

recommandent d'éviter certaines essences, par exemple le baguenaudier, dans une haie qui jouxte un verger de pommiers, parce que l'on favoriserait alors la prolifération des zeyzères, un gros ver qui détruit les rameaux. De même, on évitera le buis à côté des arbres à noyaux (pêchers, cerisiers, abricotiers), car il semble attirer les pince-oreilles (forficules). Inversement, de nombreuses essences apportent surtout des insectes utiles aux vergers : ce sont des arbustes tels que noisetiers, charmes, lauriers-tins, cornouillers, ou bien des arbres tels que micocouliers ou chênes pédonculés.

Un réseau quantique

Durant la guerre froide, le «téléphone rouge», qui reliait Moscou à Washington, était protégé par un système de chiffrement absolument sûr. Malheureusement, ce système nécessitait l'échange préalable, avant chaque communication, d'une clé de chiffrement à usage unique. Cet échange nécessite un courrier fiable. Au laboratoire de *British Telecom*, Paul Townsend a mis au point un système de communication chiffré multi-utilisateurs, fondé sur la mécanique quantique. Cette méthode permet à plusieurs utilisateurs d'échanger en toute sécurité des clés de chiffrement.

Aujourd'hui, les canaux de télécommunication reposent sur le déplacement d'ondes électromagnétiques. Un espion qui souhaite «écouter» une communication peut aisément le faire. Certes, il ne suffit pas d'écouter pour comprendre. Encore faut-il que l'espion déchiffre le message. Les méthodes classiques de chiffrement utilisent une clé publique (un grand nombre) que l'espion devra factoriser pour déchiffrer le message. S'il est vrai que les moyens de calculs actuels ne permettent pas cette factorisation en des temps raisonnables, on ne peut prédire ce que seront ces moyens dans dix ans, alors même que les données chiffrées aujourd'hui seront encore en circulation. Pour que la sécurité soit totale, une clé à usage unique, aussi longue que le message, doit être utilisée.



La cryptographie quantique peut être utilisée pour échanger des clés de chiffrement confidentielles entre l'Élysée et des ministères reliés par fibre optique. Un espion qui écouterait cet échange altérerait le signal et serait aussitôt repéré.

La cryptographie quantique fournit la solution rêvée : un moyen parfaitement sûr d'échanger des clés, sans possibilité d'écoute discrète. Cette méthode est fondée sur la mécanique quantique. Cette dernière stipule qu'il est impossible de mesurer parfaitement l'état d'une particule, telle la polarisation d'un photon. De plus, ces mesures perturbent l'état des particules. On transmet une information en la codant sur des photons individuellement polarisés au travers d'un canal quantique. L'espion ne peut écouter la transmission sans mesurer l'état des photons, ce qui introduit des erreurs dans la transmission. Le récepteur légitime du message détecte alors qu'il y a eu écoute.

Malheureusement, le récepteur ne peut pas non plus mesurer l'état des photons de manière exacte, mais ces problèmes se résolvent par des techniques «classiques» mises au point par les fondateurs de la cryptographie quantique, Charles Bennett et Gilles Brassard. Un tel procédé permet ainsi à deux personnes de constituer à distance une clef secrète arbitrairement longue, et de manière sécurisée. Après cet échange, les interlocuteurs utilisent la clé pour échanger des messages de manière parfaitement sûre en utilisant un chiffrement classique.

Le procédé d'échange de clefs par un canal quantique doit surmonter plusieurs obstacles technologiques, notamment l'élaboration du canal. Par la nature même du procédé, il est en effet impossible d'amplifier le signal par un procédé actif, ce qui limite la portée de telles communications. La première expérimentation d'un canal quantique a été réalisée en 1989 sur une distance de 32 centimètres dans les laboratoires d'IBM. En 1995, au CERN, un canal quantique de 23 kilomètres, composé de fibres optiques, a été testé sous le lac de Genève.

Ces procédés ne permettaient que les communications entre deux personnes. Au laboratoire de recherche de *British Telecom*, Paul Townsend a mis au point un «réseau optique quantique» : un réseau qui permet à un émetteur d'échanger des clefs secrètes avec trois récepteurs différents sur plus de cinq kilomètres. Un tel réseau pourrait, par exemple, permettre à l'Élysée de communiquer de manière parfaitement sécurisée avec ses différents ministères.

D'autres expériences tentent d'utiliser la cryptographie quantique pour changer les clés de chiffrement de satellites de communication en orbite basse. Malheureusement, la portée de ces transmissions quantiques est trop faible...

Serge VAUDENAY, CNRS, ENS, Paris

Les oscillations de Bloch

Soumis à une force constante, des atomes oscillent dans un réseau de lumière.

En 1929, Félix Bloch et Clarence Zener prédisent qu'une tension constante appliquée aux bornes d'un cristal parfait donne naissance à un courant alternatif, dû à un mouvement oscillatoire des électrons, dénommé oscillations de Bloch. Cette prédiction contredit la loi d'Ohm selon laquelle on devrait voir apparaître un courant continu. Ce phénomène est d'observation difficile car dans les cristaux réels les chocs très fréquents entre les électrons et les défauts cristallins font qu'un courant continu s'établit. Pour observer ces oscillations en 1993, il a fallu fabriquer des cristaux artificiels, nommés super-réseaux. Cet effet vient d'être observé dans un système physique très différent : à l'École Normale Supérieure, Christophe Salomon et ses collègues ont mis en évidence des oscillations de Bloch d'atomes dans un réseau de lumière.

Ce réseau est créé par l'interférence de deux lasers se faisant face. La longueur de maille du réseau (la distance entre deux ventres d'interférence, par exemple) est égale à la moitié de la longueur d'onde des faisceaux laser, soit 0,425 micromètre. Cette longueur est 4 000 fois plus grande que le pas d'un réseau cristallin. Dans ce réseau de lumière, les atomes jouent le rôle des électrons dans le cristal.

Les oscillations de Bloch sont la manifestation d'un effet quantique : les atomes sont délocalisés sur plusieurs sites du réseau car leur longueur d'onde associée est supérieure à la maille du réseau. Par effet tunnel, les atomes passent d'un site du réseau à l'autre. L'effet d'un force uniforme est de faire osciller les atomes, avec une période proportionnelle à la constante de Planck et inversement proportionnelle à l'intensité de la force et à la longueur de maille du réseau.

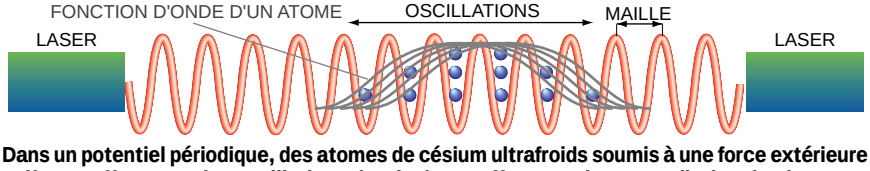
De manière à observer les oscillations, on refroidit les atomes car, selon la relation d'Heisenberg, plus les atomes sont lents (donc froids), plus l'extension spatiale de leur fonction d'onde est importante et plus ils sont délocalisés.

Dans l'expérience de l'École Normale, des atomes de césium sont d'abord refroidis et piégés par laser. Selon la technique du piège magnéto-optique, mettant en œuvre six faisceaux laser et un champ magnétique non homogène, on refroidit et on piège les atomes dans les trois directions de l'espace, jusqu'à une température de cinq microkelvins.

Ensuite on refroidit encore bien plus les atomes, selon une seule direction de l'espace cette fois, jusqu'à une température de trois nanokelvins. Puis, par une sélection en vitesse supplémentaire, la vitesse moyenne des atomes selon cette direction est encore diminuée : les atomes sont alors délocalisés sur une distance de quatre micromètres.

On branche enfin les faisceaux laser qui créent le potentiel lumineux périodique. Dès lors, comment appliquer aux atomes une force constante, qui jouerait le rôle de la force électrostatique dans le cristal ? On pourrait les laisser tomber mais la gravité est difficilement contrôlable. On introduit un décalage de fréquence augmentant linéairement avec le temps entre les deux faisceaux laser qui constituent le réseau lumineux, de sorte que, dans le référentiel du laboratoire, le potentiel périodique n'est plus stationnaire et défile avec une accélération constante. Dans un référentiel lié au potentiel lumineux, les atomes sont alors soumis à la force constante résultant du potentiel lumineux, plus une force d'inertie ajustable.

Pour mettre en évidence les oscillations, on éteint brusquement les faisceaux laser qui créent le potentiel. On mesure ainsi la distribution de vitesse des atomes juste avant la coupure. Les physiciens observent alors que les atomes oscillent, conformément aux prédictions de Bloch et de Zener. Selon l'état initial des atomes de césium dans le réseau de lumière, l'amplitude totale des oscillations est de 4,8 micromètres ou de 9,4 micromètres, soit 10 ou 20 mailles du réseau de lumière créé par les faisceaux laser. La période des oscillations est égale à huit millisecondes, dix milliards de fois supérieure à la période des électrons dans un réseau cristallin.



Dans un potentiel périodique, des atomes de césium ultrafroids soumis à une force extérieure uniforme effectuent des oscillations de Bloch par effet tunnel sur une dizaine de sites.

Débat

L'expérimentation animale : utilité et éthique

ANDREW ROWAN

Les expériences menées sur les animaux sont au cœur de la recherche biomédicale. Quel est leur coût ? Quel est leur intérêt ?

Depuis une vingtaine d'années, le débat sur l'utilisation d'animaux en recherche est passionné, mais stérile. Il est alimenté par des photographies qui émeuvent le public et par des prises de position simplistes, dont nous ne devons pas nous contenter. Des attaques vigoureuses et des appels à la pitié sont incontestablement des moyens de toucher le grand public, mais ne vaut-il pas mieux analyser sans passion des faits correctement établis ?

L'intérêt de l'expérimentation animale mérite certainement une évaluation, mais selon quels critères ? Si l'on estime que les animaux ne doivent en aucun cas être des instruments de recherche, alors l'expérimentation animale est condamnée et le débat est clos. Toutefois, ceux qui participent au débat admettent plutôt que l'on doit analyser le rapport entre le coût de l'expérimentation et le bénéfice que l'on peut en tirer, afin de décider si cette expérimentation est acceptable. La souffrance des animaux, leur détresse et leur mort sont le coût ; les connaissances que l'expérimentation fournit et les nouveaux médicaments qu'elle révèle en sont le bénéfice.

La souffrance et la douleur que la captivité et les tests occasionnent aux animaux de laboratoire sont des sujets de controverse même au sein de la communauté scientifique. Les biologistes s'en préoccupent plus que naguère et ils essaient d'atténuer la souffrance des animaux. La mise au point de méthodes qui supprimeront la détresse des animaux de laboratoire réduira la réticence du public et des scientifiques à utiliser des animaux pour l'expérimentation scientifique. L'opposition que le public manifestait contre la recherche animale semble diminuer, mais les biologistes, les institutions de recherche, les groupes de défense des animaux et ceux qui s'attachent à préciser les règles de l'expérimentation animale restent très préoccupés du problème.

Quatre points de vue sont donnés dans les pages qui suivent. Le premier fait état des coûts de cette expérimentation. Le deuxième montre l'intérêt de l'expérimentation animale. Le troisième, en faveur de l'expérimentation animale, pose les questions éthiques qu'elle soulève. Enfin, le dernier retrace l'histoire du débat. À chacun de se forger sa propre opinion.

Andrew ROWAN dirige le Centre universitaire de recherche animale, à Grafton, aux États-Unis.