

Grossesses gémellaires

Selon Philippe Lazar, de l'INSERM U155, un facteur inhiberait la maturation des follicules qui, chaque mois, libèrent un ovule fécondable chez la femme. Ce facteur serait produit par les follicules eux-mêmes : plus ils sont nombreux dans l'ovaire, plus la concentration en ce facteur serait élevée. Inversement, à mesure que le nombre de follicules diminue, c'est-à-dire plus la femme vieillit, plus la concentration en facteur inhibiteur diminuerait. C'est peut-être pourquoi le nombre de grossesses gémellaires augmente avec l'âge de la future mère.

Les noms des éléments

Ça y est ! Après des années de controverses, les éléments chimiques de numéro atomique 104 à 109 ont été nommés respectivement rutherfordium, dubnium, seaborgium, bohrium, hassium et meitnerium. Généralement le découvreur d'un élément a le droit de le nommer à sa guise, mais en 1994, un comité de l'Union internationale de la chimie pure et appliquée (IUPAC) avait refusé que l'élément 106 soit nommé d'après Glenn Seaborg, parce qu'il vivait encore. Le comité a changé ses règles.

L'eau des nuages... interstellaires

À l'anneau de stockage d'ions lourds, à l'Université d'Aarhus, au Danemark, des physiciens danois et israéliens ont simulé les conditions physico-chimiques des nébuleuses interstellaires et observé que de l'eau se formait dans une réaction entre l'ion hydronium (H_3O^+) et un électron isolé. Cette expérience indique qu'un système de refroidissement à eau refroidit les nuages d'hydrogène qui s'échauffent lors de leur contraction. Ce refroidissement prévient la dilatation des nuages qui continuent à se contracter : les étoiles peuvent se former.

Vieilles lances

La découverte de trois lances en bois, taillées il y a 400 000 ans dans des troncs d'épicéa, prouve que les *Homo erectus* chassaient de gros animaux. Ces armes étaient probablement lancées : comme un javelot actuel, chaque lance a un diamètre maximal au tiers de sa longueur, en partant de la pointe, et elle est effilée vers la hampe. En outre, les chasseurs connaissaient bien leur matériau : la pointe est taillée dans la partie la plus dure du bois, la base du tronc.

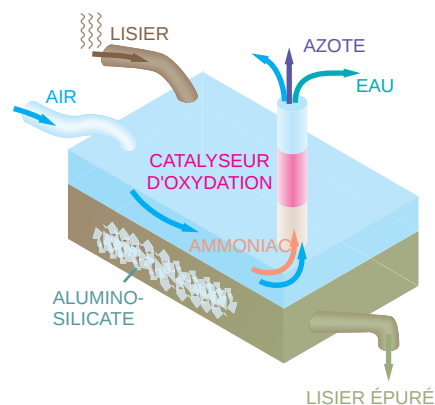
De l'essence au lisier

On dépollue le lisier comme le pétrole.

Les éleveurs de porcs ont des points communs avec les raffineurs : des rejets polluants et odorants. Ils peuvent résoudre ces inconvénients avec les mêmes techniques. L'institut français du pétrole a appliqué des traitements des hydrocarbures à l'épuration du lisier.

Le lisier, les déjections des porcs, est utilisé comme engrais par les agriculteurs. Il a toutefois deux défauts. Le plus perceptible est sa mauvaise odeur, qui indispose les riverains. Le second est sa forte concentration en ammoniac, qui se dégrade dans le sol en nitrates. Ceux-ci polluent les cours d'eau et les nappes phréatiques : l'épandage doit être limité dans le temps et dans l'espace.

Les molécules odorantes du lisier sont des mercaptans, composés soufrés volatils, que l'on trouve aussi mélangés aux hydrocarbures du pétrole. Leur oxydation dans une cuve en présence d'air et d'un catalyseur minéral produit des molécules disulfurées, plus lourdes. La tension de vapeur de ces dernières est plus faible, et leur seuil de perception olfactif est supérieur. Elles restent dans la phase liquide et ne répandent pas d'effluves nauséabonds. L'oxydation des mercaptans est catalysée par un alu-



Le lisier est épuré grâce à des réactions d'oxydation avec l'oxygène de l'air. Dans le lisier liquide, des alumino-silicates catalysent la transformation des composés soufrés odorants en molécules plus lourdes. L'ammoniac contenu dans le lisier est entraîné par le courant d'air et oxydé dans un pot catalytique.

mino-silicate de sodium, analogue au «bleu» que les lavandières ajoutaient autrefois à leur lessive.

Quant à l'ammoniac, un courant d'air qui circule dans la cuve l'entraîne. Le mélange est chauffé et passe dans un dispositif analogue à un pot d'échappement catalytique : le catalyseur est un métal précieux, finement divisé, porté par une matrice minérale. L'ammoniac et l'oxygène se combinent, formant de l'azote et de l'eau. La réaction ayant lieu à basse température, elle produit peu d'oxydes d'azote.

À la fin de 1996, huit unités de traitement avaient été installées en Bretagne, région d'élevage de porcs. On prévoit 51 réacteurs en 1997 et 280 en 1998.

Points chauds

Une nouvelle façon de localiser les sources de chaleur souterraines.

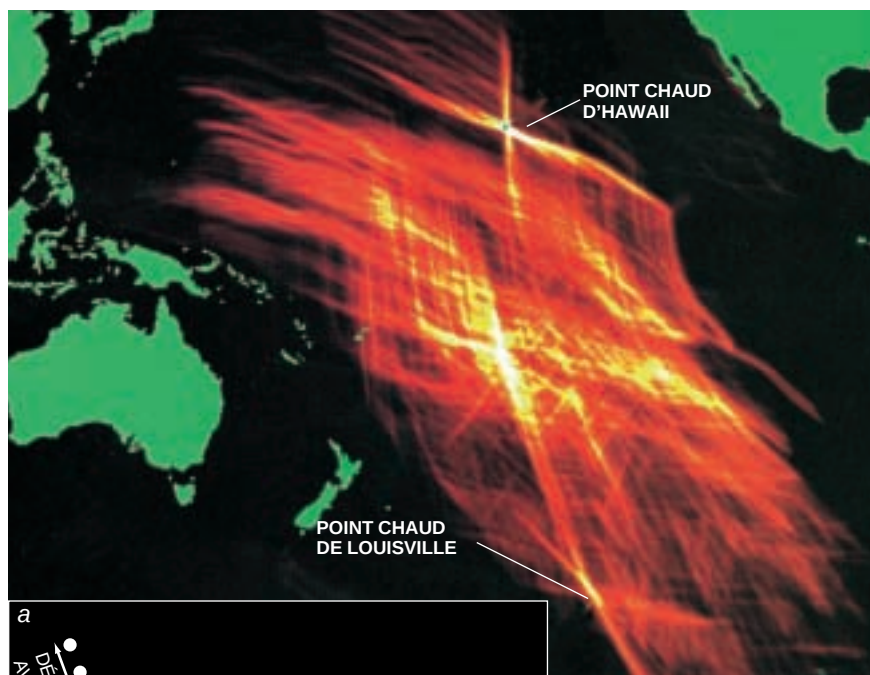
Telles des torchères immobiles sous les plaques tectoniques en mouvement, les points chauds géologiques – des concentrations de chaleur dans le manteau terrestre – percent des trous dans ces plaques. Le magma sous-jacent s'échappe par ces trous et forme des volcans alignés dans la direction du déplacement de la plaque. Les géologues cherchent à identifier ces empreintes volcaniques et à localiser les points chauds qui leur sont associés. Une nouvelle méthode facile et précise donne la position de ces points chauds.

Jusqu'à présent, les géologues devaient déterminer l'âge des différents volcans associés à un point chaud pour

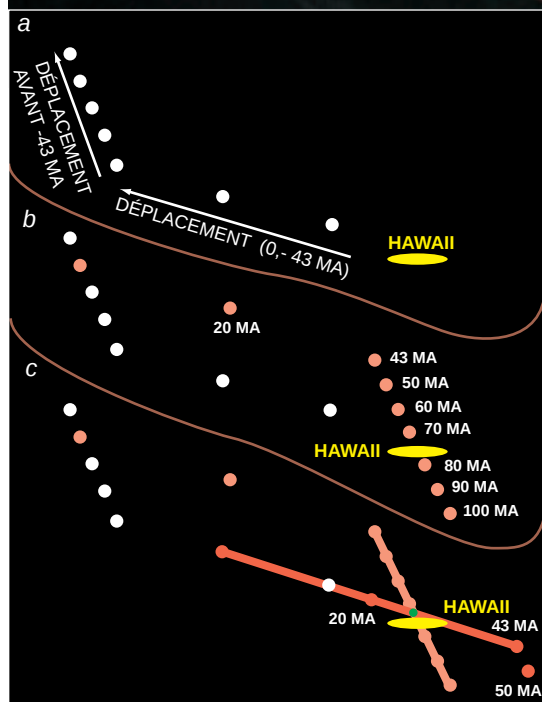
le localiser. Connaissant aussi les mouvements passés de la plaque tectonique, ils en déduisaient la position du point chaud. Toutefois, on connaît mal les mouvements des plaques océaniques, car on estime difficilement l'âge des volcans sous-marins éteints. Aussi cette méthode est-elle imprécise.

Paul Wessel et Lauren Kroenke, de l'Université d'Hawaii, voulaient pourtant utiliser cette méthode classique pour localiser les points chauds sous-marins. Par suite d'une erreur dans la programmation de leur ordinateur, ils avaient obtenu une ligne différente de celle qu'ils prévoyaient. Ils comprirent qu'ils n'avaient pas obtenu la position du volcan étudié au cours du temps, mais toutes les positions possibles du point chaud associé.

Sans connaître l'âge du volcan, P. Wessel ne pouvait savoir où se trouve réellement le point chaud le long de ce tracé. Il a alors remarqué que les tracés d'autres volcans se croisent en un point. En appliquant cette méthode aux îles et



Paul Wessel



Détermination de l'emplacement du point chaud qui a créé la chaîne hawaïenne. Les volcans sont alignés sur deux segments (a) correspondant aux déplacements de la plaque Pacifique au-dessus du point chaud, la direction de ce déplacement ayant changé il y a 43 millions d'années. Sans connaître l'âge d'un volcan (b), on retrace ses positions passées, ce qui correspond à déterminer le lieu géométrique de la position du point chaud qui peut avoir créé ce volcan. En retraçant les positions d'un volcan plus jeune (c), on détermine l'emplacement exact du point chaud unique ayant engendré ces deux volcans (le point vert).

aux volcans sous-marins associés au point chaud d'Hawaï, le géophysicien a fait apparaître un grand X sur sa carte, à l'endroit même du volcan le plus actif de cette région.

Cette méthode ne semblait pas miraculeuse : quiconque vivant sur l'île principale de l'archipel d'Hawaï sait qu'un point chaud est localisé en dessous. Toutefois la méthode sert aussi à retracer le

Sur cette simulation, les points chauds d'Hawaï et de Louisville sont localisés à l'intersection des lignes qui dessinent des X.

mouvement des plaques du Pacifique : les géophysiciens l'ont systématiquement appliquée à tous les volcans du Pacifique cartographiés par satellite. Ils ont constaté que les chaînes volcaniques peu élevées donnent des intersections floues, ce qui indiquerait, peut-être, que les points chauds sous-jacents bougent.

Le résultat le plus étonnant fut de trouver que le X qui marque le point chaud de Louisville est situé 400 kilomètres plus au Sud que ne le supposaient les géophysiciens. Curieusement, il y a quelques années, en Polynésie française, on avait détecté des secousses sismiques en provenance de cette position, sans savoir comment les interpréter. Louis Géli, de l'IFREMER, étudia le site jusqu'à l'année dernière et y découvrit du matériau volcanique très récent. Tout semble indiquer qu'il s'agit du point chaud de Louisville.

Cette nouvelle méthode, qui donne la position des points chauds avec une précision inégalée, sans qu'il soit besoin de connaître l'âge des volcans sous-marins, intéresse beaucoup les géophysiciens. Certaines erreurs de programmation sont bénéfiques !

David Schneider

Nager pour vivre

*L'auto-apprentissage
de la natation
par les tortues luth.*

Les tortues luth sont de remarquables nageuses. Leurs palettes natatoires antérieures leur permettent de se déplacer rapidement et de changer facilement de direction. La coordination des mouvements nécessaire à la nage n'est toutefois pas innée : les nouveau-nés apprennent à nager, par eux-mêmes et rapidement.

Les œufs des tortues luth éclosent sur la plage, à plusieurs dizaines de mètres de la mer. La première activité des nouveau-nés est donc de ramper dans le sable. Après cette phase de locomotion terrestre, ceux qui atteignent l'eau découvrent un nouvel environnement et ses contraintes : absence de support ferme sous le corps, densité, salinité, viscosité, pression et température de l'eau, courants et impacts déstabilisants des vagues. Ils découvrent aussi des limites de leurs capacités physiologiques, tel leur mode de respiration pulmonaire qui les oblige à expirer et à inspirer à la surface de l'eau.

Comment les tortues nouveau-nés se comportent-elles lors de ce premier contact aquatique ? Nous avons introduit des tortues luth, juste après leur sortie de l'œuf, dans un aquarium profond et nous les avons filmées jusqu'à leur première prise d'air. Après une chute vers le fond au cours de laquelle les membres ne jouent aucun rôle, les animaux essaient de remonter.

Les premières tentatives sont infructueuses : les mouvements des membres antérieurs et postérieurs ne sont pas synchronisés. Un ralentissement de ces mouvements se traduit par une trop grande durée des phases d'abaissement ou d'élévation. La trop faible amplitude de ces phases et un mauvais contrôle de l'inclinaison du corps entraînent les tortues vers le fond.

Après deux minutes en moyenne, la plupart des tortues réussissent toutefois à s'élever doucement vers la surface pour effectuer leur première respiration. La réussite de l'entreprise nécessite la maîtrise des mouvements des différentes parties du corps. La tortue crée des angles d'attaque efficaces des palettes natatoires en inclinant son corps et en ajustant la trajectoire de ces palettes, et déplace ses membres simultanément. L'abais-



Après des tentatives infructueuses (à gauche), une tortue luth nouveau-né plongée dans un aquarium parvient à remonter en surface (à droite). Elle doit pour cela mouvoir ses membres antérieurs simultanément, ajuster leur trajectoire, synchroniser ses membres postérieurs et maîtriser l'inclinaison de son corps.

sement synchronisé des membres antérieurs produit une force de propulsion tandis que leur élévation crée une composante de freinage. Le battement synchronisé vers l'arrière des membres postérieurs est faiblement propulsif tandis que leur battement vers l'avant donne aussi une composante de freinage. L'association des phases opposées de chaque type de membres, abaissement des antérieurs et battement vers l'arrière des postérieurs par exemple, ajuste progressivement la force de propulsion.

Dès que les nouveau-nés ont respiré pour la première fois en surface, ils

savent définitivement nager. Leurs membres antérieurs interviennent simultanément et jouent le rôle majeur dans la propulsion aquatique. Les petites tortues contrôlent l'orientation de leurs membres et l'inclinaison de leur corps qui règlent les angles d'attaque : elles savent s'élever ou descendre dans l'eau. Elles maîtrisent enfin la complémentarité mécanique apportée par les mouvements synchrones des membres postérieurs, utilisés dans la nage lente horizontale.

S. RENOUS, URA 1137 CNRS, MNHN
et V. BELS, CARAH

Les haies et les bosquets

*On démontre leur intérêt
agricole et écologique.*

Les haies et les bosquets disparaissent : l'enquête qui recense, tous les 15 ans, l'utilisation du sol dans chaque département montre que plus de 60 pour cent d'entre eux ont été supprimés depuis les années 1960. Pourtant les haies protègent les cultures et les animaux d'élevage contre le vent ou contre l'érosion, elles épurent l'eau de ruissellement et elles abritent la faune sauvage.

Jadis, la haie était un moyen de clore une propriété, mais aussi d'obtenir du bois de chauffage, de protéger le bétail, de briser le vent ou d'éviter les regards indiscrets. Le souci d'exploitation maximale des terres conduisit à leur élimination, mais la nouvelle politique agricole des années 1990 renforce des actions incitatives que les conseils généraux avaient commencées dès les années 1980, pour préserver l'identité et l'attrait du paysage local, notamment aux bords des routes, dans les zones touristiques, ou à proximité des zones d'habitation ; enfin les agences de l'eau s'intéressent à leur effet sur la qualité des eaux.

Comment refaire les haies détruites ? Quelles essences planter ? Comment

les entretenir ? Et comment quantifier leur intérêt ? Depuis 1975, l'Institut pour le développement forestier analyse ces questions et détermine des pratiques rationnelles de la réimplantation des haies. Thomas Schmutz et ses collègues de huit instituts agricoles ont commencé par évaluer les coûts de création et d'entretien : les haies plantées, il faut se préoccuper des clôtures, talus ou fossés attenants, et récolter le bois, soit par émondage, soit par coupe rase. Le temps total d'entretien atteint quatre semaines par an (ce qui fait de l'entretien des haies un chantier important), mais le bois de chauffage produit rémunère une partie de ce travail.

Les avantages, maintenant. Tout d'abord, les bovins observés dans le Limousin recherchent l'ombre lorsque le temps est chaud, et ils se protègent du vent et de la pluie ; les haies atténuent les stress de la mise au champ des veaux. Les brebis craignent le rayonnement solaire ; en l'absence de haies, elles sont agitées, moins actives au lever du jour, et, par temps chaud, alternent des temps de repos allongés avec des temps de repas raccourcis, ce qui diminue l'efficacité de la rumination.

D'autre part, les haies protègent les cultures du vent : un brise-vent bien étudié réduit la vitesse du vent de 50 à 75 pour cent, dans une bande de 100 à 200 mètres derrière la haie : la hauteur du maïs ainsi protégé en plaine de Valence atteignait 40 à 50 centimètres de plus que le maïs exposé, et sa floraison était avancée, ce qui réduisait la nécessité des arrosages de fin de saison et augmentait le rendement de dix quintaux par hectare, en moyenne sur deux ans.

Enfin, dans le sol aussi, la haie exerce son influence bénéfique, en épurant l'eau sur une bande de cinq à dix mètres de large : les bandes non cultivées captent ou éliminent une grosse partie des nitrates, phosphates et pesticides. Les haies, et leur voisinage, contribueraient à l'épuration par trois mécanismes : leur enracinement aiderait à stocker une partie de ces composés dans le sol ; les végétaux eux-mêmes capteraient une partie des composés, stockant certains d'entre eux et émettant le reste dans l'atmosphère ; et, surtout, les observations réalisées en Bretagne laissent penser que les haies créent des conditions favorables pour que les micro-organismes du sol épurent l'azote, avant de le renvoyer dans l'atmosphère.

Les haies sont-elles une source d'insectes ravageurs des cultures ? L'abri que donnent les haies aux mammifères et aux oiseaux sauvages le faisait craindre, mais l'étude systématique et prolongée des insectes permet d'affirmer que la haie n'augmente pas les risques d'attaque par des insectes ravageurs inféodés aux haies. Par prudence, les entomologistes

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 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 trans-

mission. 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 clé 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 clés par un canal quantique doit surmonter plusieurs obstacles technologiques, notamment l'élaboration du canal. Par

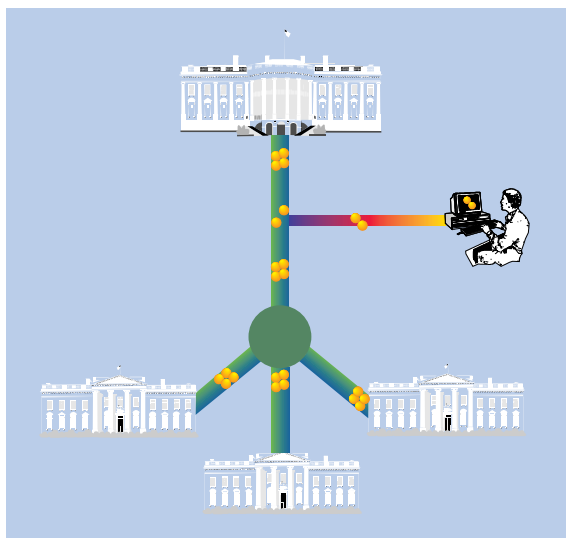
la nature même du procédé, il est en effet impossible d'amplifier le signal par un procédé actif, ce qui limite la portée de telles communications. La première expérimentation d'un canal quantique a été réalisée en 1989 sur une distance de 32 centimètres dans les laboratoires d'IBM. En 1995, au CERN, 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 clés 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



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.

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'une 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

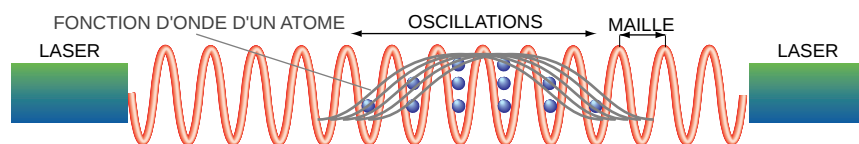
la relation d'Heisenberg, plus les atomes sont lents (donc froids), plus l'extension spatiale de leur fonction d'onde est importante et plus ils sont délocalisés.

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.