



de Boston et avec le service de psychiatrie de l'École de médecine de Harvard, un stimulateur magnétique transcrânien. Cette stimulation non invasive est indolore et inoffensive. Elle s'effectue à l'aide d'une paire d'électro-aimants, qui induit des courants électriques dans des zones précises du cortex cérébral. Des capteurs électriques sur la peau du patient identifient les muscles concernés par la stimulation de points donnés du cortex (voir la figure 4); les informations obtenues peuvent être intégrées au modèle virtuel de la tête de notre patient.

La superposition du virtuel et du réel

Les modèles de visualisation des structures internes deviennent particulièrement utiles lorsqu'ils sont superposés aux structures du patient allongé sur la table d'opération. Ainsi, l'anatomie interne est directement montrée au chirurgien durant l'intervention, sans imposer à celui-ci de transformation mentale.

Classiquement, le marquage des images préopératoires directement sur le patient s'effectue avec un cadre stéréotaxique que l'on visse sur le crâne du patient. Durant les tests préopératoires et pendant l'intervention, il fournit les repères que le chirurgien utilise pour corréler les images préopératoires avec le cerveau lui-même pendant l'opération. Toutefois, malgré l'anesthésie locale, ce dispositif est douloureux pour le patient et encombrant pour le chirurgien.

En 1995, notre collègue Steven White a proposé d'utiliser la lumière laser afin de remplacer ces cadres. Le faisceau d'un laser, qui est une ligne mince, est d'abord déformé par une lentille de façon qu'un segment lumineux parvienne au cuir chevelu et au visage du patient, dont la tête est immobilisée durant l'enregistrement des images et l'intervention chirurgicale. Sur le crâne du patient, ce segment est déformé par les reliefs. Une caméra enregistre ces déformations, qui sont regroupées avec le modèle segmenté de la tête du patient. Le faisceau est ensuite déplacé vers le haut du visage par incréments prédéfinis, jusqu'à ce que la topologie de la surface de la tête du patient dans sa position exacte et fixe soit mémorisée.

Ensuite, un programme fait tourner le modèle de la tête afin de superposer exactement le masque laser au visage (voir la figure 5). Enfin, on calcule la position du chirurgien par rapport à celle du système laser et l'on oriente l'image selon son angle de vue. La tête virtuelle peut s'incruster dans les images vidéo du patient.

Pendant l'intervention

La localisation de la cible n'est qu'un début : l'objectif majeur de la chirurgie vidéo-assistée reste le contrôle de la position du scalpel à tout instant.

À cette fin, nous avons mis au point une sonde équipée de diodes électroluminescentes à infrarouge, dont la lumière émise est enregistrée par trois caméras fixes. Pour se repérer au cours de l'opération, le chirurgien touche le tissu qu'il veut couper avec l'extrémité stérile de la sonde. Grâce à des méthodes de triangulation, les ordinateurs reliés aux caméras calculent la position exacte de la sonde dans le corps et l'affichent sur le modèle anatomique. Notre ordinateur montre la position de la sonde vue en coupe transversale du dessus, de face et de côté (voir la figure 6).

À mesure que le chirurgien déplace et excise, le modèle initial devient très vite obsolète. L'appareil de résonance magnétique à aimant ouvert sert à mettre à jour les images : pendant l'intervention, qui se déroule à l'intérieur de l'aimant cylindrique, de nouvelles images sont enregistrées et réunies aux données antérieurement calculées. Ces mises à jour sont particulièrement importantes lorsque les structures sont molles et déformables.

Aujourd'hui, les nouvelles images produites sont uniquement en deux

dimensions et sont affichées soit à côté du modèle préopératoire, soit superposées à celui-ci, selon la préférence du chirurgien. Nous espérons obtenir des mises à jour directement en trois dimensions dans un an environ.

Les techniques que nous avons décrites, et d'autres encore, ne s'appliquent pas seulement en neurochirurgie ; elles sont aussi utilisées pour certaines opérations complexes des os, du nez, des reins, du foie, de la colonne vertébrale et d'autres tissus.

En radiothérapie anticancéreuse, des méthodes de construction de modèles et d'imagerie en temps réel facilitent l'irradiation sélective des tumeurs : on focalise mieux les rayons sur les tissus cancéreux, et l'on épargne les tissus environnants. L'efficacité de la radiothérapie et de la chimiothérapie est également évaluée par techniques d'imagerie qui mettent en évidence des caractéristiques telles que la taille et la localisation des tumeurs avant et après traitement.

Des diagnostics plus précoces seront possibles grâce à ces techniques. Notre équipe teste aujourd'hui des algorithmes de détection de tumeurs du sein à partir des représentations tridimensionnelles construites grâce à des clichés d'imagerie par résonance magnétique.

Toutes ces techniques doivent encore être perfectionnées. Les tissus très mous, par exemple, sont difficiles à analyser, parce qu'ils se déforment beaucoup lorsque le patient respire ou contracte certains muscles. Pour mieux les décrire, on explore aujourd'hui des algorithmes de prédiction des déformations des tissus.

L'ordinateur devenu un précieux assistant du chirurgien, les interventions chirurgicales seront moins invasives, plus courtes et moins risquées.

Eric GRIMSON est professeur de génie médical à l'Institut de technologie du Massachusetts. Ron KIKINIS est directeur du Laboratoire d'explorations chirurgicales à l'Hôpital Brigham et Women de Boston. Ferenc JOLESZ est professeur de radiologie à l'École de médecine de Harvard. Peter BLACK est professeur de neurochirurgie à l'École de médecine de Harvard.

W.M. WELLS III, W.E.L. GRIMSON, R. KIKINIS et F.A. JOLESZ, *Adaptive Seg-*

mentation of MRI Data, in *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 15, n° 4, pp. 429-442, août 1996.

P.M. BLACK et al., *Development and Implementation of Intraoperative Magnetic Resonance Imaging and Its Neurosurgical Applications*, in *Neurosurgery*, vol. 41, n° 4, pp. 831-842, octobre 1997.

Ferenc A. JOLESZ, *Image-Guided Procedures and the Operating Room of the Future*, in *Radiology*, vol. 204, n° 3, pp. 601-612, 1997.

La culture des îles Andaman

SITA VENKATESWAR

Les îles Andaman, dans l'océan Indien, abritent encore des chasseurs-cueilleurs traditionnels. Pour combien de temps ?



Bourne & Shepherd, National Geographic Society Image Collection

Pendant des siècles, les habitants des îles Andaman ont fasciné et effrayé les voyageurs. Au XIII^e siècle, Marco Polo mentionne ces «indigènes à tête de chien». Plus récemment, dans *Le signe des quatre*, Arthur Conan Doyle met en scène un bandit andaman qui tire des «fléchettes empoisonnées» et dont la figure épouvantable «empêcherait de trouver le sommeil».

Toute littérature mise à part, l'histoire et la culture des Andamans sont

mal connues, et elles risquent de le rester. Avant que des colons britanniques ne commencent à envahir les îles, au milieu du XIX^e siècle, environ 5 000 indigènes y vivaient, répartis en une douzaine de tribus de chasseurs-cueilleurs-pêcheurs semi-nomades. Aujourd'hui, il ne reste que quatre tribus, les Grand-Andamans, les Onges, les Jarawas et les Sentinelles, soit 450 à 500 personnes.

Quelques groupes ont réussi à maintenir leurs traditions : en particulier, les

Sentinelles (ainsi nommés parce qu'ils habitent l'île Sentinelle Nord) restent isolés et se montrent hostiles à l'égard des étrangers. La présence des colons, d'abord britanniques et aujourd'hui indiens, a toutefois exercé son influence : le temps est compté pour les cultures indigènes des Andamans.

D'où vient la population des îles Andaman ? Ils appartiennent au groupe des Négritos, autrefois répandus en Asie du Sud. Leur petite taille, leurs cheveux caractéristiques et leur peau

1. LA CULTURE DES GRAND-ANDAMANS, une des quatre tribus des îles Andaman, dans le golfe du Bengale, a presque disparu après un siècle et demi de colonisation. Vers 1890, le groupe subissait déjà l'influence de l'occupation britannique (à gauche) : malgré les peintures corporelles traditionnelles, les indigènes fumaient

des pipes britanniques. Ils avaient aussi découvert des maladies, telles la syphilis et la rougeole. Aujourd'hui il ne reste qu'une quarantaine de Grand-Andamans. Une vieille femme (à droite) termine une soirée de pêche tandis que deux jeunes garçons viennent la rejoindre sur la plage.



Les îles Andaman



POPULATION INDIGÈNE

	1901	1951	1998
GRANDS ANDAMANS	625	23	39
ONGES	672*	150*	100*
JARAWAS	468*	50*	250*
SENTINELLES	117*	50*	100*

*ESTIMATIONS



Photographies de Madhusree Mukerjee

2. LA POPULATION ACTUELLE des îles Andaman est constituée de quatre tribus : les Grand-Andamans, les Jarawas, les Onges et les Sentinelles. Les Grand-Andamans (à gauche) ont un héritage à la fois andaman, indien et karen (une minorité du Myanmar, jadis la Birmanie). Cette tribu, qui occupait autrefois les îles Andaman du Nord, du Centre et du Sud, a été déplacée

très sombre les distinguent de la population indienne continentale et de la population des îles Nicobar, voisines des îles Andaman. Sont-ils apparentés à un autre groupe Négrito, les Semang de l'Asie du Sud-Est ?

Une récente étude génétique indique qu'ils descendraient directement des premiers hommes modernes qui ont émigré hors d'Afrique il y a environ un million d'années et qui seraient arrivés sur ces îles il y a 35 000 ou 40 000 ans, soit à partir de Sumatra en passant par les îles Nicobar, soit à partir des côtes de la Malaisie et du Myanmar (l'ex-Birmanie). À cette époque, le niveau de la mer était beaucoup plus bas, et l'archipel était accessible facilement en pirogue, voire à pied. Toutefois, les fouilles archéologiques les plus récentes n'ont trouvé d'occupation continue que depuis 2 200 ans.

Chasse, pêche et traditions

J'ai séjourné à plusieurs reprises dans les îles Andaman, surtout parmi la tribu Onge, une centaine de personnes qui vivent aujourd'hui sur la Petite Andaman, dans deux campements permanents : Dugong Creek, au Nord, et South Bay, à l'extrémité Sud de l'île. Le reste de l'île est habité par des immigrants indiens, d'origine ethnique différente.

De nombreux entretiens avec une trentaine d'hommes, de femmes et

d'enfants m'ont révélé différents aspects de la vie dans la forêt et des traditions de cette tribu. J'ai d'abord appris que les Andamans, souvent décrits comme cannibales, semblent ne jamais l'avoir été. Des observateurs ont vraisemblablement pensé, en les voyant découper les cadavres de leurs ennemis et en jeter les morceaux au feu, qu'ils préparaient un festin. Ils ne mangeaient toutefois jamais ces corps : ils souhaitaient seulement éloigner les mauvais esprits. En revanche, les corps des membres de la famille étaient enterrés sous la hutte commune pour que leurs esprits restent proches des vivants.

J'ai regroupé les différents témoignages que j'ai recueillis, dont voici quelques extraits. «Pendant la saison sèche, les ancêtres ou d'autres Onges récoltaient les fruits du jaquier et les stockaient. Ils remplissaient de grands paniers et recouvraient les fruits de feuilles, ils les fermaient et les cachaient dans la forêt. De la sorte, ils avaient de la nourriture même quand il pleuvait beaucoup. Ils chassaient aussi et ramenaient du porc ; ils mangeaient les fruits du jaquier à la fin des repas. Il n'y avait pas de thé ; ils ne buvaient que de l'eau. Ils stockaient beaucoup de bois sec, car on trouve difficilement du bois lors de la saison humide. Tout l'approvisionnement et le stockage du bois sont effectués durant la saison sèche. Ils construisent une grande hutte



Motifs de ceinture par Laurie Grace, d'après The Jarawa, par Joyanta Sarkar

par le gouvernement indien sur la minuscule île du Détoit. Les Jarawas (au milieu) sont restés beaucoup plus isolés, ne s'aventurant que rarement hors des forêts denses des îles Andaman du Sud et du Centre. Les Onges (à droite), qui continuent à se peindre le visage

et le corps avec de l'argile blanche, habitent aujourd'hui des territoires côtiers de la Petite Andaman. On ne voit que très rarement les membres de la tribu des Sentinelles, qui défendent vigoureusement leur île Sentinelle Nord contre les intrusions.

commune avant que la pluie n'arrive, afin d'être confortablement installés pendant la pluie.»

«Jadis, il n'y avait pas de travail salarié : nous avions tout notre temps pour construire nos maisons, attraper des porcs, les manger quand ils étaient gras. Les anciens n'avaient aucun ustensile, ils fabriquaient des pots en argile pour cuisiner le porc. Ensuite, au début de la mousson du Sud-Est, les sangliers maigrissent et ils ont moins de goût. Dans les criques de la forêt, il y a beaucoup de poissons ; nous pêchions des poissons et des crevettes.»

«Il n'y avait pas de fer ; nous utilisons le bois de l'aréquier... mais la mer nous apportait du fer, en l'échouant sur les plages. Et on utilisait la résine de la forêt pour aiguïser le métal. Autrement, nous utilisons le bois de la forêt. Nous avons fabriqué une pirogue en creusant un bois différent, mais elle a coulé quand elle a été mise à l'eau ; nous avons alors su que ce bois n'était pas bon. Nous avons essayé un autre bois, nous l'avons mis à l'eau et nous avons vu qu'il flottait. C'est celui-là que nous avons utilisé par la suite. C'est comme cela que nous avons appris les choses.»

«Aux temps anciens, il n'y avait pas de corde en nylon, la fibre utilisée aujourd'hui pour tuer les tortues. Nous allions dans l'eau pour encercler la tortue. Nous utilisons une essence de la

forêt ; nous fabriquions des torches avec des feuilles de jonc séchées, et nous l'allumions avec cette essence. À la torche, nous encerclions la tortue. Nous étions beaucoup d'Onges alors, et voilà comment nous cernions la tortue. Nous ne harponnions pas la tortue ; nous n'utilisions des flèches que pour chasser le sanglier.»

«C'est aussi comme cela que nous attrapions le dugong (un mammifère marin proche du lamantin). Nous attendions la marée basse et ensuite nous allions chasser la tortue et le dugong la nuit. Pas à marée haute, car nous nous serions noyés. Ensuite, quand c'était fait, nous retournions dans la forêt, nous récoltions plus d'essence de bois, et nous l'allumions pour pister le sanglier.»

«Nous, les Onges, étions nombreux alors. Nous n'avions pas peur de *Tommany* (un esprit de la nuit), et nous allions en forêt la nuit. Nous n'avions pas peur alors. À cette époque, il y avait des Onges partout, beaucoup de familles partout. Nous étions nombreux. Les sangliers dormaient la nuit, et c'est à ce moment que nous les chassions. C'était facile. Nous revenions pendant la journée, et nous cherchions le sanglier que nous avions chassé la nuit d'avant. Nous le ramenions avec nous, nous le fumions et nous le cuisinions. C'est comme cela que nous vivions. Nous n'avions pas de vêtements, mais seulement des pages de

la forêt. Les filles les faisaient avec des feuilles de joncs. Voilà quelques-unes des choses que nous faisons.»

Le rôle des esprits

Les entretiens que j'ai consignés m'ont appris la vie matérielle et spirituelle des Onges. Ils considèrent qu'ils partagent leur univers avec des esprits, les *tomya*, qui se manifestent en faisant souffler les vents correspondant aux différentes saisons. À l'arrivée de la saison chaude et sèche (généralement en mars et en avril), les familles Onges quittaient la côte, où elles avaient chassé la tortue, pour l'intérieur de la forêt, afin de recueillir du miel. Ce déménagement marquait le début de la saison sèche, pendant laquelle les esprits quittaient l'île. Les familles d'un clan se rassemblaient dans la grande hutte commune, où les ossements des ancêtres étaient enterrés.

L'arrivée de l'esprit *Dare* dans la forêt, chevauchant la mousson du Sud-Ouest (normalement en juin), marquait la fin de la saison sèche, et le moment de quitter l'intérieur de la forêt pour des abris près des criques et des mangroves. Là, les Onges trouvaient des crabes, des poissons et les fruits du palétuvier. Lorsque l'esprit *Dare* était parti, en septembre, ils retournaient en forêt et chassaient le sanglier jusqu'à l'arrivée de l'esprit *Kwalokange*, avec la mousson du Sud-Est, en octobre. Ils

retournaient alors sur la côte et chassaient le dugong. Ils pensaient que l'esprit *Kwalokange* dévorait les sangliers restants, n'en laissant que quelques-uns pour l'esprit suivant, *Mekange*, associé au vent du Nord-Est. La présence

de *Mekange*, de novembre à février, indiquait aux Onges qu'ils devaient reprendre la chasse à la tortue.

Les Onges vivent aussi avec les esprits de leurs ancêtres, les *Onkoboykwo*, qui jouent un rôle actif dans leur vie. Ces

esprits, qui n'ont pas de dents, ne peuvent pas mâcher les aliments et pénètrent dans ces derniers pour satisfaire leur faim. Lorsqu'une femme mange un aliment contenant un esprit, elle conçoit un enfant, incarnation de l'esprit. Après leur mort, les Onges sont de nouveau transformés en *Onkoboykwo*. La nourriture fonde aussi des relations sociales : des liens importants sont noués entre un enfant et toutes les femmes qui l'ont allaité, de même qu'entre un enfant et l'homme ou la femme qui a procuré la nourriture qui a fécondé sa mère.

Ces coutumes et ces croyances traditionnelles des Onges étaient en grande partie communes aux diverses tribus des îles Andaman. Elles disparurent progressivement avec la colonisation britannique, au milieu du XIX^e siècle.

Une longue exploitation

Avant l'arrivée des Britanniques, les habitants des îles Andaman n'étaient pas complètement isolés : ils constituaient une source d'esclaves pour les réseaux commerciaux du Sud et du Sud-Est asiatiques. Beaucoup de ces esclaves arrivaient chez le rajah de Kedah, qui en envoyait ensuite au roi du Siam, en tribut. Des esclaves Andamans seraient même arrivés jusqu'à la cour de France. En outre, habitant des îles, les Andamans ont toujours intégré dans leur culture des objets variés, échoués ou amenés par les visiteurs.

En 1858, le gouvernement britannique établit une colonie pénitentiaire permanente sur les îles. À cette époque, les indigènes occupaient la quasi-totalité des 200 îles de l'archipel. Ils furent chassés de leurs territoires sur les îles Andaman du Nord, du Centre et du Sud, et leur résistance fut souvent violemment réprimée. Des maladies les décimèrent. En 1901, quand les Britanniques entreprirent le recensement du subcontinent indien, ils comptèrent 625 Grand-Andamans et estimèrent les populations des trois autres tribus à 672 pour les Onges, 468 pour les Jarawas et 117 pour les Sentinelles.

Après une brève occupation japonaise pendant la Seconde Guerre mondiale, les îles Andaman passèrent sous le contrôle de l'Inde en 1947. Rien ne changea pour les autochtones : le gouvernement indien, comme son prédécesseur, tenta d'assumer ce « fardeau de l'homme blanc » qu'est l'assistance aux populations indigènes. Les maladies continuèrent de réduire la population.



Sita Venkateswar

3. DES JARAWAS courent à la rencontre du bateau du gouvernement, qui leur distribue des noix de coco, des bananes, des morceaux de fer et des vêtements rouges (au XIX^e siècle, des anthropologues ont offert des vêtements rouges aux Jarawas, et la tradition s'en est perpétuée).



Photographies de Madhusree Mukerjee

4. DES COUTUMES ANCESTRALES persistent dans certains groupes Andamans, tandis que d'autres ont rejoint le monde moderne. Ainsi, une femme Onge prépare le riz, fourni par le gouvernement indien, pour le déjeuner de sa famille, dans une habitation traditionnelle, à South Bay, sur la Petite Andaman. Sur la petite île du Détroit, trois jeunes Grand-Andamans regardent un match de cricket à la télévision, dans la salle de classe (cartouche).

En 1951, quand l'Inde indépendante fit son premier recensement, le nombre des Grand-Andamans était tombé à 23. Les Onges n'étaient plus que 150, les Jarawas 50 et les Sentinelles 50.

Aujourd'hui, parmi la quarantaine de personnes qui descendent des Grand-Andamans, beaucoup ont aussi un proche ancêtre indien. Il ne reste plus que 100 Onges, 250 Jarawas et 100 Sentinelles. Les Grand-Andamans sont ceux qui ont le plus souffert, et le plus longuement, de la colonisation ; ils ont été, en quelque sorte en compensation, relogés sur la petite île du Déroit.

Les Grand-Andamans et les Onges sont aujourd'hui sédentaires. Ils ne vivent plus du produit de leur chasse ni de leur pêche, mais consomment des rations fournies par le gouvernement indien. Les Jarawas et les Sentinelles ont mieux résisté. Les Jarawas, qui vivent dans les forêts denses, n'ont que de rares contacts avec les étrangers, seulement quand ils le tolèrent et selon les modalités qu'ils définissent. Les Sentinelles voient rarement des étrangers.

Ces deux tribus, particulièrement les Sentinelles, défendent leurs territoires avec des arcs et des flèches, aujourd'hui renforcées avec des pointes en fer. L'administration indienne a récemment déclaré qu'elle souhaitait que les Jarawas deviennent des «citoyens à part entière», et elle tente de les amener à des relations plus pacifiques en leur promettant des noix de coco, des bananes, du riz, des vêtements et des morceaux de fer.

Les Jarawas sont menacés par l'empiètement croissant des étrangers sur leur territoire de chasse et de pêche. Ils prennent des risques de plus en plus grands pour obtenir du métal pour les pointes de leurs flèches, en organisant des raids dans des chantiers de construction de routes, des campements forestiers et des fermes. Le nombre et l'importance des «incidents jarawas» (qui ne sont rapportés par les médias que lorsqu'il y a des morts indiens) semblent indiquer que les pionniers, les exploitants illégaux et la police locale sont en guerre contre les Jarawas.

Les Sentinelles sont mieux protégés, car ils occupent une petite île isolée, dont l'accès reste difficile. Ils refusent tout contact avec le monde extérieur, et ils ont repoussé toute tentative d'atteindre leur île jusqu'en 1991, quand ils ont accepté quelques noix de coco offertes par une équipe d'anthropologues et d'administrateurs indiens. Il n'y a pas



5. L'HABITAT ONGE TRADITIONNEL (*ci-dessus*), à Dugong Creek, sur la Petite Andaman, reste préféré des habitants aux maisons en bois que le gouvernement leur a construites. En revanche, les Grand-Andamans vivent dans de telles maisons (*à droite*).

eu d'autre contact depuis. D'après le peu qui a été observé, leur mode de vie et leur culture matérielle ressemblent à ceux des autres groupes Andamans.

L'assimilation des indigènes par la société indienne a d'abord bénéficié aux colons. Quand les Britanniques étendaient leurs colonies sur les îles Andaman du Nord, du Centre et du Sud, et qu'ils projetaient d'exploiter à des fins commerciales les terres occupées par les Grand-Andamans, ils encouragèrent le déplacement des indigènes dans des réserves. Après l'indépendance de l'Inde, les forêts de la Petite Andaman, où vivent les Onges, sont devenues des terrains de développement économique. Malheureusement, cette politique a toujours conduit à la réduction du territoire des tribus et à la destruction progressive de leur mode de vie. À terme, ces populations rejoignent les rangs des minorités marginalisées de la société indienne continentale.

Depuis quelques années, on emploie le terme d'«ethnocide» à propos de telles situations : les populations elles-mêmes ne sont pas éliminées, mais elles sont parquées dans des enclaves où elles deviennent dépendantes de



Photographies de Madhusree Mukerjee

la majorité dominante qui leur a pris leur terre. La population dominante tente d'améliorer les conditions de vie des «primitifs» en détruisant tous les éléments de leur mode de vie «arriéré», et élimine ainsi leur culture.

Cette attitude, qui se prétend humanitaire, présuppose aussi que le mode de vie des indigènes est inférieur et doit faire place à un autre, meilleur. Elle présume que les indigènes sont incapables d'envisager ou de planifier eux-mêmes leur propre avenir.

Selon David Maybury-Lewis, de l'Association *Survie des cultures* : «La terre, et la lutte pour la conserver, est au cœur du problème de la survie des cultures, car la garantie d'un territoire est ce dont les peuples tribaux ont le plus besoin.» Toutefois, les revendications territoriales des indigènes défient les autorités en place, de sorte qu'il n'est pas surprenant que si peu d'entre elles soient satisfaites. Tout débat international sur les droits de l'homme devrait prendre en compte ces revendications et proposer des solutions à ces conflits. Les habitants des îles Andaman ont le droit de décider eux-mêmes de leur avenir. Auront-ils le temps de le faire?

Sita VENKATESWAR est maître de conférences en anthropologie sociale à l'Université Massey, en Nouvelle-Zélande.

Alfred R. RADCLIFFE-BROWN, *The Andaman Islanders*, Cambridge University Press, 1922, réédition 1970.

Lidio CIPRIANI, *The Andaman Islanders*, Frederic A. Praeger, 1966.

Vishvajit PANDYA, *Above the Forest* : A

Study of Andamanese Ethnoanemology, Cosmology, and the Power of Ritual, Oxford University Press, New York et Delhi, 1993.

Sita VENKATESWAR, *Policing Power, Governing Gender and Reimagining Resistance : A Perspective on the Contemporary Situation of the Andaman Islanders*, PhD. dissertation, Department of Anthropology, Rutgers University, 1997.

Les oscillations de Bloch

MAXIME DAHAN • CHRISTOPHE SALOMON

Dans un champ électrique uniforme, les électrons d'un cristal ont un mouvement oscillant. Cet effet, prédit théoriquement dans les années 1920, n'a été détecté que récemment. On l'a observé pour des atomes ultrafroids piégés par de la lumière.

La description des circuits électriques est un pont aux ânes de la physique : dès le lycée, on apprend la loi d'Ohm, qui décrit le passage d'un courant dans un matériau conducteur, tel un fil de cuivre. Cette loi stipule que, quand on applique au matériau une différence de potentiel électrique U , l'intensité I du courant est reliée à U par la relation de proportionnalité $U = RI$, où R est la résistance électrique.

Pourquoi cette relation ? Les physiciens du XIX^e siècle ont supposé que, sous l'action de la différence de potentiel constante, les électrons se déplaçaient en bloc, tous dans le même sens, engendrant un courant constant. Toutefois les pères de la mécanique quantique, au début du XX^e siècle, ont montré que les électrons ne sont pas de simples petites billes ; dans certaines circonstances, ils présentent des propriétés analogues à celles des vagues à la surface de l'eau. Une équation fondamentale de la mécanique quantique, l'équation de Schrödinger, décrit leur comportement : selon les circonstances, les électrons se comportent comme une bille ou comme une onde.

Le problème particulier des électrons circulant dans un matériau conducteur a été abordé théoriquement dès les premières heures de la mécanique quantique : en 1929, le physicien suisse Félix Bloch (1905-1983) a utilisé la toute nouvelle mécanique pour l'appliquer d'abord aux électrons d'un matériau cristallin. Dans ces systèmes, les électrons sont soumis aux forces électriques

exercées par les ions positifs et négatifs du cristal. Ces ions sont régulièrement ordonnés dans les trois directions de l'espace : de ce fait, le champ électrique où baignent les électrons est périodique, c'est-à-dire invariant par translation (il se répète identique à lui-même quand on le décale d'une période de la structure cristalline).

Bloch calcula que, en raison de cette symétrie du réseau, chaque électron dans le cristal se comporte comme une onde



1. FÉLIX BLOCH (1905-1983) fut un pionnier de la résonance magnétique nucléaire. Il reçut le prix Nobel de physique en 1952, pour cette découverte, mais il avait bien d'autres titres à cette récompense : il avait étudié la propagation des électrons dans les solides cristallins, il avait identifié ce que l'on nomme aujourd'hui les parois de Bloch entre domaines magnétiques, dans les cristaux, et il avait mesuré le moment magnétique de l'électron. Bloch est le père de la physique du solide.

plane modulée par une fonction ayant la périodicité du cristal : au lieu d'être attaché à un ion particulier, chaque électron est délocalisé sur tout le réseau, avec une probabilité de présence augmentée entre les atomes. Ce résultat constitue la base de la théorie quantique du solide, qui décrit si bien les comportements de matériaux divers, tels les métaux, les isolants ou les semi-conducteurs.

Bloch avait également prévu un résultat surprenant : tant que les différences de potentiel appliquées restent faibles, les électrons oscillent ! En 1934, le physicien anglais Clarence Zener (1905-1993) poursuivit l'œuvre de Bloch en considérant des différences de potentiel supérieures, parce qu'il s'intéressait au problème pratique du «claquage des matériaux diélectriques» : il chercha la différence de potentiel maximale que l'on peut appliquer aux bornes d'un matériau isolant avant qu'il ne claque, c'est-à-dire qu'il ne devienne brusquement conducteur (dans l'air, quand on applique une différence de potentiel croissante entre deux électrodes, vient un moment où, l'air devenant conducteur, une étincelle apparaît : c'est le claquage). Zener analysa le comportement des électrons dans un cristal en présence d'un champ électrique constant. Il confirma que, dans un cristal parfait soumis à une différence de potentiel, les électrons oscillent, et il calcula les conditions du claquage.

L'oscillation des électrons est un effet d'origine quantique, bien différent de ce que décrivent les manuels élémentaires de physique : au lieu