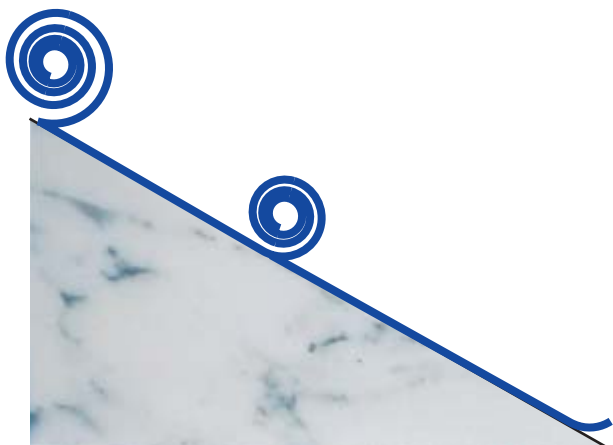
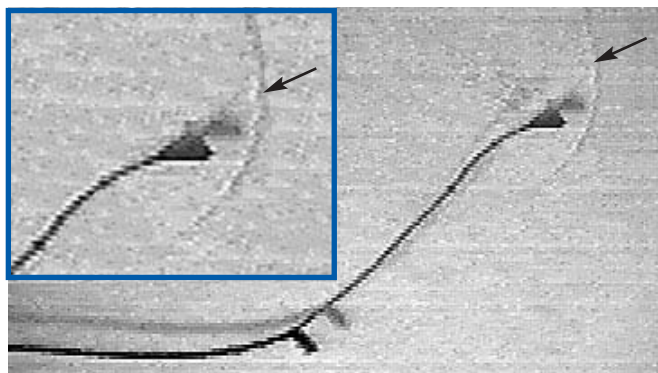




Un mécanisme analogue à celui du fouet permet de comprendre l'accélération importante subie par un tapis qui se déroule et dont la masse en mouvement diminue au cours du temps. Les vitesses obtenues sont toutefois loin d'être supersoniques et le claquement entendu est produit par le choc de l'extrémité du tapis sur le sol.



Visualisation de l'onde de choc (flèches) à l'extrémité du fouet. Cette photographie a été prise par une caméra ultra-rapide (9 000 images par seconde) à l'Institut Ernst Mach de la Société Fraunhofer de Fribourg par l'équipe dirigée par Peter Krehl. La houppe à l'extrémité du fouet augmente l'intensité de l'onde de choc.

nique ainsi établi, le mouvement de la lanière suffit-il pour créer une onde de choc? En 1958, trois chercheurs américains du laboratoire de recherche navale de la marine américaine s'interrogent : le claquement du fouet ne résulte-t-il pas plutôt d'un choc mécanique entre deux parties de la lanière? Pour lever cette ambiguïté, les chercheurs décident d'employer l'une des nouvelles caméras ultrarapides, qui, à la fin des années 1950, fixent déjà jusqu'à 4 000 images par seconde. Ils embauchent une équipe d'artistes de music-hall : les *Los Larabees*. Ces artistes entraînés peuvent reproduire des claquements de fouet comparables toujours au même endroit : dans le champ de la caméra. Les chercheurs mesurent ainsi, pour la première fois, la vitesse de l'extrémité d'un fouet réel : elle est 30 pour cent supérieure à la vitesse du son.

Il reste à visualiser l'onde de choc. Cela est possible en éclairant la scène avec une impulsion lumineuse très brève déclenchée grâce à un micro placé près de la zone du claquement. S'il permet de voir l'onde de choc, ce dispositif ne permet pas de prendre des images de sa formation. Il faut donc réaliser une expérience définitive qui prouve de façon indiscutable que le déplacement supersonique de l'extrémité du fouet engendre bien une onde de choc sonore.

En 1998, trois physiciens de l'Institut Fraunhofer pour l'étude des phénomènes brefs (à Fribourg) réalisent cette expérience. Grâce à une caméra vidéo enregistrant plus de 9 000 images par seconde, ils prennent des images d'excellente qualité et mesurent avec précision la vitesse de l'extrémité du fouet : elle excède la vitesse du son pendant une durée très courte d'environ 1,2 millièmes de seconde. La vitesse de l'extrémité du fouet peut même excéder deux fois celle du son. L'accélération de l'extrémité atteint alors 50 000 fois celle de la pesanteur (soit 500 kilomètres par seconde au carré). Dans

cette expérience, les physiciens utilisent un laser aux impulsions ultra brèves, qu'ils synchronisent avec la caméra, afin de prendre une image du fouet tout en observant l'ombre créée par l'onde de choc à chaque instant. Leur but est de mettre en évidence l'onde de choc et les résultats ne laissent aucune place au doute : au moment où la vitesse du fouet devient supersonique une onde de choc est émise. Ils constatent aussi qu'en moins de 20 centimètres, l'extrémité de la lanière décélère et repasse sous la vitesse du son.

Grâce à ces avancées, une image cohérente de la physique du claquement de fouet se dégage aujourd'hui. Il apparaît qu'un fouet est une machine à transformer le mouvement lent de la lanière en un mouvement final ultra rapide de la masselotte attachée à son extrémité (ou de la masse de son extrémité).

LA PHYSIQUE DU COUP DE FOUET

Examinons la dynamique d'un fouet de charretier fait d'une lanière attachée à un manche rigide. D'un mouvement rapide du poignet, le charretier crée un coude qui se propage le long de la lanière du manche vers l'extrémité.

Lors de ce mouvement, il incline son manche vers l'arrière afin de dérouler la lanière dans l'air, puis le ramène brusquement vers l'avant pour lui imprimer une vitesse d'ensemble. Poursuivant son mouvement, le charretier ramène le manche à la position initiale. Au cours de la première phase de son mouvement de poignet, la lanière acquiert une quantité d'énergie cinétique proportionnelle au produit de sa masse par le carré de la vitesse de l'extrémité du manche (la vitesse d'ensemble de la lanière). La deuxième phase du mouvement crée le coude recherché ; celui-ci se forme au voisinage du manche, et se propage vers l'extrémité de la lanière.

À mesure que ce coude se propage, l'énergie cinétique conférée initialement à l'ensemble de la lanière se concentre dans la portion mobile dont la vitesse augmente. Avec ces approximations, l'énergie cinétique initiale étant concentrée dans l'extrémité de la lanière, sa vitesse est la vitesse initiale de la lanière multipliée par le quotient des racines carrées des masses de l'ensemble et de l'extrémité de la lanière (jusqu'à une certaine valeur limite). Dans les fouets usuels, ce rapport est typiquement de l'ordre de 300. Il suffit donc que le charretier imprime une vitesse initiale de l'ordre de 20 mètres par seconde à l'ensemble de la lanière pour que l'extrémité dépasse la vitesse du son.

Les expériences réalisées à l'aide de fouets de laboratoire montrent qu'un nœud placé près de l'extrémité est arraché au cours du claquement, comme si des ciseaux invisibles l'avaient tranché! Les fortes tensions à l'origine de ce phénomène expliquent aussi pourquoi l'extrémité d'un fouet s'effiloche et se transforme en une houppe, c'est-à-dire en un faisceau de fils. Cette houppe favoriserait l'émission de claquements plus bruyants, ce que les expériences menées à Fribourg ont confirmé.

Le mécanisme dominant dans l'émission sonore serait le pivotement rapide de cette houppe (90 degrés en 0,1 millièmes de seconde). Lummer a raison, depuis plus d'un siècle : le claquement du fouet résulte d'un choc supersonique.

Roland LEHOUCQ est astrophysicien au Service d'astrophysique du CEA. **Jean-Michel COURT**Y est physicien, chargé de recherche au CNRS. **Edouard KIERLIK** est physicien et maître de conférences à l'Université Pierre et Marie Curie.

P. Krehl, S. Engemann and D. Schwenkel, The puzzle of whip cracking uncovered by a correlation of whip-tip kinematics with shock wave emission, Shock Wave, vol. 8, pp. 1-9, 1998.

Histoire des sciences

Voronoff

Jean Real. Éditions Stock, 2001 (287 pages, 115 francs).

Serge Voronoff (1866-1951), ou plus exactement Samuel Abrahamovitch Voronoff, originaire de Russie, naturalisé français, fut un chirurgien célèbre pour avoir réussi des greffes osseuses (1914-1917), et surtout pour avoir, le premier, effectué des greffes testiculaires de singes à l'homme dans les années 1920. Voronoff participait aux recherches thérapeutiques visant à lutter contre les effets du vieillissement. Lui et ses disciples évoluaient dans le cadre idéologique d'une «régénération» ou d'une «résurrection» de l'homme, nécessitée par la «dégénération» qu'il subissait en raison du développement de l'industrie polluante, de la paupérisation, de la syphilis, de l'alcoolisme, et autres maux qui risquaient d'atteindre, et c'est là que le bât blessait, les couches privilégiées de la société. Il était donc urgent de protéger et de sauver ces hommes par la greffe «régénérante».

Si les travaux de Voronoff étaient connus des historiens des sciences de la vie et de la médecine depuis long-



J.-L. Fischer

Plus de 2 000 greffes de testicules de singes ont été effectuées sur des humains avant 1940 par le chirurgien d'origine russe Voronoff et ses disciples : une hypothèse qui expliquerait la transmission du virus du SIDA du singe à l'homme ?

temps, sa vie était en revanche parsemée de nombreuses lacunes. Grâce à son travail de recherche de documents originaux, Jean Real comble un vide que nous aurions accueilli favorablement, s'il n'avait pas volontairement fait le silence sur les travaux des historiens des sciences qui se sont intéressés à cette époque et qui ont déjà écrit sur les pratiques de Voronoff. Ces textes sont certes quelque peu en désaccord avec ce qu'il exprime, aussi donne-t-il l'impression d'être le premier à écrire sur Voronoff et même à le découvrir, dans la mesure où il précise qu'aucun de «ses amis scientifiques, biologistes, médecins ou chirurgiens» ne connaissait ni le nom, ni l'œuvre chirurgicale de son héros.

Cet ouvrage offre deux lectures possibles. La première est celle d'un roman biographique, qui renseigne le lecteur sur la vie du personnage. L'auteur essaie de communiquer son admiration aux lecteurs. Il n'y a pas lieu de critiquer ici cette littérature, faite pour distraire. Toutefois, ce type de littérature offre à l'historien un intérêt quand elle apporte des informations inédites, ce qui est le cas du *Voronoff* de Jean Real. Ce livre a le mérite de présenter une première biographie complète de ce chirurgien, et nous conduit à la seconde lecture possible, celle de l'historien.

Jean Real, réalisateur de documentaires, a reconnu qu'il n'était pas historien. L'image qu'il se fait de Voronoff est particulière, dans la mesure où l'auteur ne se soucie guère de comprendre et de situer son personnage dans le contexte des sciences de la vie et de la médecine des années 1920-1930 ; son livre masque de nombreux événements historiques, et devient parfois ennuyeux.

Une critique de fond, parmi d'autres : pourquoi répéter que Voronoff est «en désaccord» avec Retterer qui refusait d'admettre que l'hormone mâle était sécrétée par les cellules interstitielles, tandis que les textes prouvent le contraire ? Pourquoi faire croire que Voronoff «se tait» sur les idées de Dartigues, alors qu'ils évoluent l'un et l'autre dans le même contexte idéologique et eugénique de l'époque de la «résurrection de l'homme» par la greffe ? J. Real n'a pas réussi son *Voronoff*, car il a voulu le protéger, mais de quoi ?

Les pratiques de greffes testiculaires de singes à l'homme par Voronoff et ses disciples pourraient-elles avoir favorisé le passage du virus du SIDA du singe à l'homme ? La question se pose. En effet, en 1939, Voronoff recensait 2 000 greffes dans le monde, effectuées depuis les années 1920, surtout en France et en Amérique, mais aussi en

Italie, Allemagne, Espagne, Portugal, Chili et au Brésil. Il y en eut certainement beaucoup plus. Les singes utilisés étaient principalement le chimpanzé (Guinée) et le cynocéphale (Guinée, Soudan, Abyssinie). Or, les rétrovirus responsables du sida chez l'homme trouvent leur origine chez le singe et les premières contamination humaines remonteraient à une époque comprise entre 1920 et 1940. Le premier cas de sida déclaré remonte certes à 1959, mais un délai de 20 à 40 ans pourrait être nécessaire pour que le virus du singe transmis à l'homme mute et devienne pathogène pour l'homme. Sachant que la greffe testiculaire se pratiquait à la suite d'une incision du greffon testiculaire du singe et de la vaginale du testicule de l'homme pour favoriser le contact sanguin et offrir une meilleure prise à la greffe, nous avons là une source possible de contamination. Affaire à suivre...

Jean-Louis FISCHER,
Centre Alexandre Koyré d'histoire
des sciences et des techniques.

Astronomie

Les nouveaux mondes du cosmos. À la découverte des exoplanètes

Michel Mayor, Pierre-Yves Frei.
Éditions Le Seuil, 2001 (284 pages, 129 francs).

La science, c'est bien connu, s'éloigne hélas du citoyen. Son message s'écrit de plus en plus dans une langue et avec des concepts incompréhensibles pour l'homme de la rue. Même la biologie, avec ses techniques de procréation assistée et ses manipulations génétiques qui concernent la santé et la vie de chacun, n'utilise pas des concepts immédiatement abordables. Dans cette perspective un peu sombre, il y a une éclatante exception : la question «Sommes-nous seuls dans l'univers ?» est immédiatement compréhensible par chacun. Elle est d'ailleurs aussi vieille que la pensée grecque, mais reste à l'extrême pointe de la recherche astronomique. Après avoir fait, en 1995, l'objet d'une des plus grandes découvertes scientifiques du XX^e siècle, elle fait partie des projets les plus ambitieux de la NASA et de l'Agence spatiale euro-