

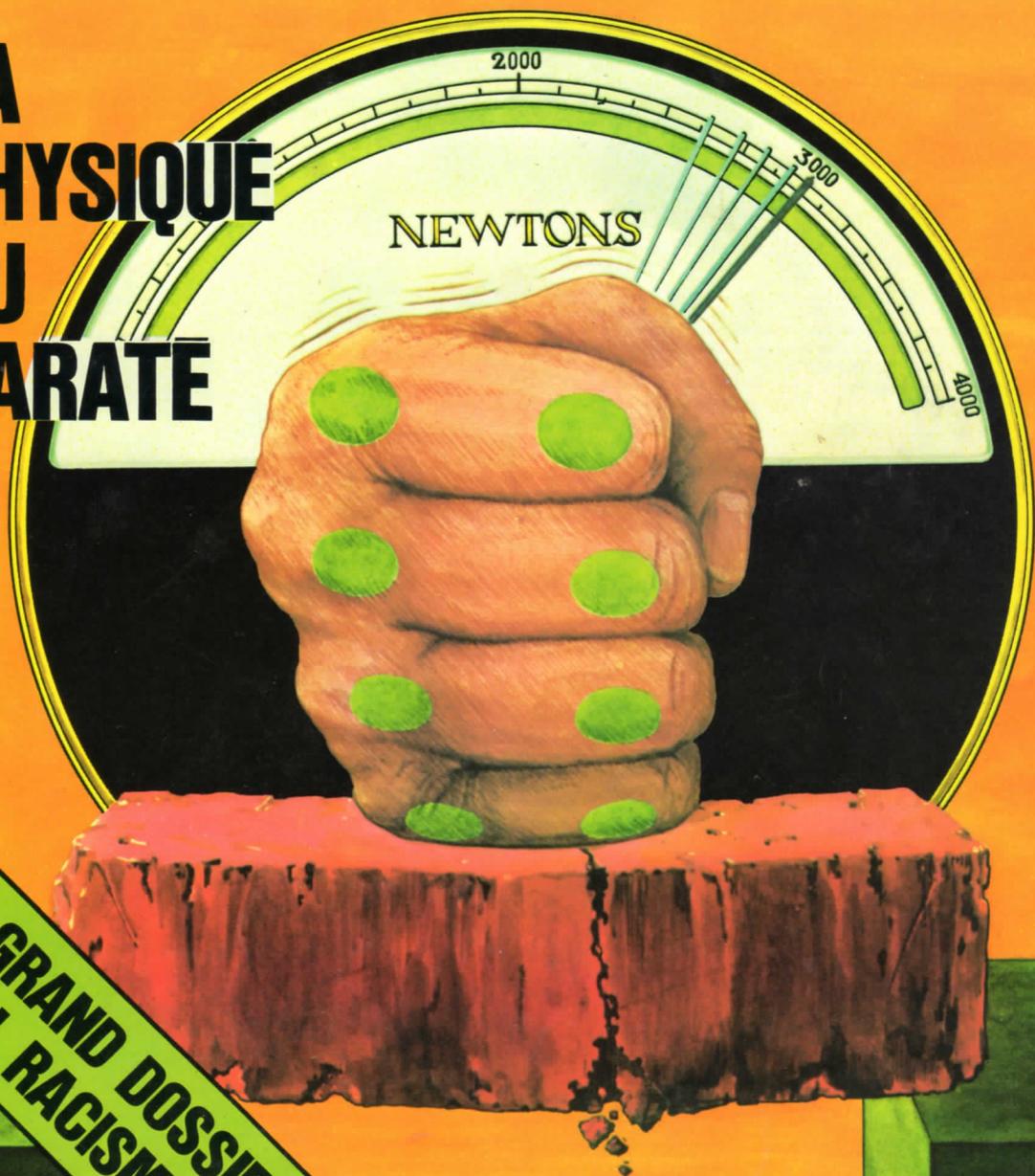
# SCIENCE & VIE

*Les céréales  
plus politiques  
que le pétrole*

*Les 34  
lunes  
du ciel*

*Qu'est-ce qui  
fait une photo  
nette?*

## LA PHYSIQUE DU KARATÉ



**LE GRAND DOSSIER  
DU RACISME**

# LE KARATÉ... OU LA DIALECTIQUE DU « DUR » ET DU « MOU »

*Si un boxeur retirait son gant, son poing deviendrait une arme vulnérable : immanquablement, les os de sa main se fractureraient contre la mâchoire de son adversaire. Mais un karateka brisera une brique sans même se froisser les muscles. Il fallait bien un jour que la Physique découvre pourquoi le petit Bruce Lee est plus « fort » que le grand John Wayne...*

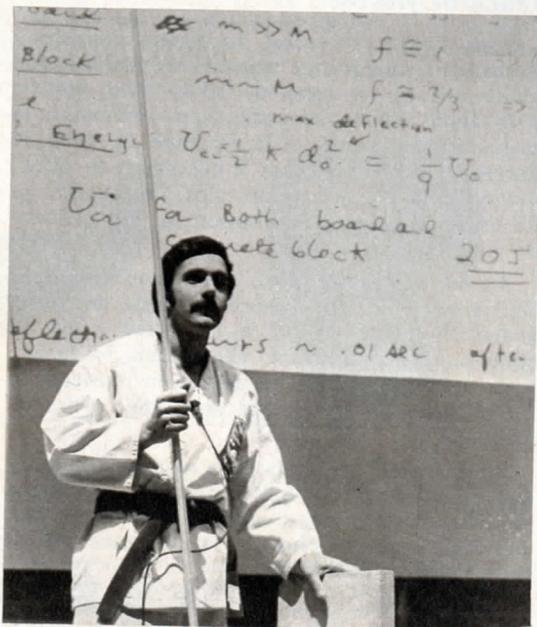
● Comment un coup donné à main nue, peut-il briser une cage thoracique, faire éclater un foie, traverser la voûte crânienne d'un adulte, sans que le muscle de la main qui frappe souffre de l'impact ?

Deux physiciens américains, Ronald McNair et Michael Feld — bardés de diplômes par l'Université, « ceinturés de noir » par la pratique du karaté — ont tenté de répondre à cette question en étudiant la vélocité de certains coups. C'est au fameux Massachusetts Institute of Technology (MIT), à Cambridge, que les deux universitaires ont mis en équation le vieil art martial inventé, il y a deux mille ans, par des moines chinois pour se défendre contre les incroyants.

Bien sûr, leurs études n'ont pas porté sur de « véritables » combats. Ceux-ci, même dans les compétitions officielles, ne se pratiquent pas : ils dureraient moins d'une minute, quelques secondes peut-être, et se termineraient sans doute par la mort d'un des adversaires. Guère moyen, non plus, d'étudier des combats d'entraînement : les coups y sont arrêtés à quelques centimètres de la cible. Et le mouvement n'atteint jamais sa vélocité maximum.

Seule ressource pour Feld et McNair : le *shiwari* autrement dit les épreuves de frappe. Là, le karatéka doit concentrer sa force et sa précision pour briser d'un seul coup une planche de bois, une plaque de ciment ou un galet. Et c'est seulement dans de telles épreuves qu'il peut libérer toute sa puissance.

Première conclusion du professeur Feld : « les prêtres, guerriers et médecins de l'antiquité, s'ils ne connaissaient pas les lois de la physique moderne, n'en ont pas moins mis au point des systèmes de combat sans armes qui permettent l'utilisation quasi optimale des ressources du corps humain ».



*Dans un amphi du célèbre Massachusetts Institute of Technology, le physicien-karatéka Feld met en équations son art martial préféré.*

A l'origine, le *kempo* (la voie du poing) dont les bonzes chinois firent une discipline physique et mentale, qui leur permettait de concilier les principes d'une religion pacifique avec leurs besoins de défense personnelle. Mais c'est sur l'île d'Okinawa, que les Japonais, aux XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles, développèrent une forme de combat qui se rapproche du karaté moderne. L'île avait été envahie par des « seigneurs de la guerre » qui interdirent la possession de toute arme. Enfin, en 1922, Funakishi Gichin introduisit le karaté (*kara* : vide ; *te* : main) sous la forme que nous connaissons, au Japon. Après avoir étudié les diverses méthodes enseignées par les grands maîtres de l'époque, il mit au point sa propre technique, qui connut un succès instantané. Plusieurs écoles ont depuis été créées, par des maîtres dont chacun avait sans doute tendance à adapter le karaté à sa propre morphologie. Au départ, le karaté n'est pas un sport. Et même aujourd'hui, l'entraînement reste ardu car il comporte non seulement un apprentissage des diverses techniques, un renforcement des poings, tranchants de mains, coudes, pieds, etc., un développement des réflexes, mais aussi une discipline mentale qui permet de conserver son calme tout en cherchant, dans une attaque, à concentrer et à libérer avec le maximum de vitesse toute l'énergie de l'organisme sur un point précis. Malgré une certaine adaptation des techniques traditionnelles du karaté aux besoins d'un sport moderne, le karaté reste, avant tout, une redoutable méthode d'auto-défense à mains nues.

### **Plus que taper fort, frapper juste**

Pour Feld, « le secret du karaté consiste à transmettre une grande quantité d'énergie à une petite surface ; le coup de poing style western à la John Wayne, transmet son moment à la masse de l'adversaire et le repousse. Le coup de karaté, au contraire, cause le maximum de déformation locale, avec rupture d'os, de muscles ou de tissus. Il permet l'utilisation la plus efficace de votre énergie ».

Au moyen de séries de vues stroboscopiques McNair et Feld, ont mesuré la vitesse des mouvements typiques. De 5 à 10 m/sec. pour un coup direct vers l'avant, elle atteint 14 m/sec. pour un coup de haut en bas, « en marteau de fer ». L'énergie libérée est alors de l'ordre de 50 joules.

Puisque l'impact sur la cible ne dure que quelques millisecondes, cette énergie représente plusieurs kilowatts de puissance développés, soit une dizaine de fois plus que la puissance utilisée par un séchoir à cheveux !

La puissance d'un coup est d'autant plus grande que plusieurs parties du corps y participent pour concentrer un maximum d'énergie sur une petite surface. Par exemple dans le coup

de poing dit « seiken-uchi », pendant qu'un bras se détend vers la cible, l'autre se replie vers la poitrine, appuyant le coup. Le karatéka peut également accompagner son coup d'un pas en avant pour augmenter le moment, la masse qui participe au coup, et sa puissance.

Au moment du coup, le karatéka pousse un cri (le fameux kiai), dont le but n'est pas tant d'impressionner l'adversaire que de participer par une brusque expiration à la libération de l'énergie de l'attaquant. C'est une sorte de « han » du bûcheron.

S'il existe vingt types de coups donnés à la main, presque toutes ces techniques sont analogues en ce qui concerne la concentration, l'équilibre et la respiration. Les coups de pied utilisent les mêmes principes.

Les divers coups de pied utilisés par le karatéka peuvent également atteindre des vitesses impressionnantes. Ainsi le yoko geri (coup de pied de côté, corps perpendiculaire à l'adversaire), mesuré grâce à la photographie stroboscopique, atteint des vitesses maximales de 10 à 14,5 m/sec. Il est important dans ce coup de frapper avec le tranchant du pied (ou sabre de pied). Cette position minimise le risque de fracture des os du pied, mais surtout réduit la surface de contact pour transmettre, de nouveau, un maximum d'énergie sur une surface minimale.

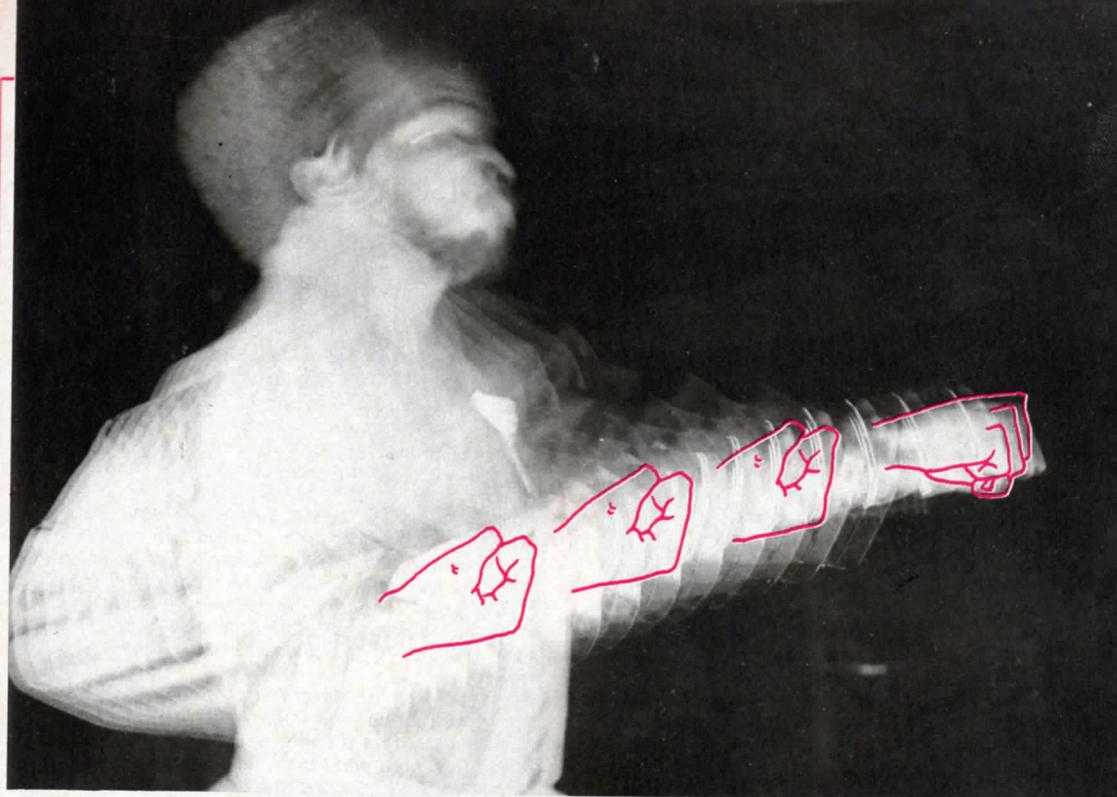
Dans les techniques défensives, le karatéka fait également une utilisation optimale de l'énergie de son corps, et profite de celle de son adversaire. Les techniques de défense consistent non pas à bloquer un coup, mais à le dévier.

L'étude des cibles utilisées dans les épreuves de frappe a permis à McNair et Feld d'expliquer, en termes de physique, pourquoi les os d'un pied ou d'une main, entourés de chair et de muscles, peuvent briser du ciment ou du bois. Ils ont d'abord élaboré un modèle mathématique du comportement de la cible sous l'impact du coup. Puis ils ont mesuré expérimentalement, pour deux cibles-type, des plaques de pin et des plaques de ciment, la force nécessaire pour les rompre. Ils ont également mesuré le seuil de déformation à partir duquel la cible cède. En appliquant les formules du modèle mathématique à ces valeurs expérimentales, ils ont pu calculer les énergies de rupture de chaque cible.

Ainsi, pour rompre une planche de bois, il faut une force de 500 newtons. Il en faut cinq fois plus, soit environ 2 500 newtons, pour une plaque de ciment. Des photos stroboscopiques prises lors de l'impact sur la cible de ciment ont permis de calculer que la force est alors de l'ordre de 2 400 à 2 800 newtons, soit 400 fois environ la force du poing soumis à la gravité terrestre.

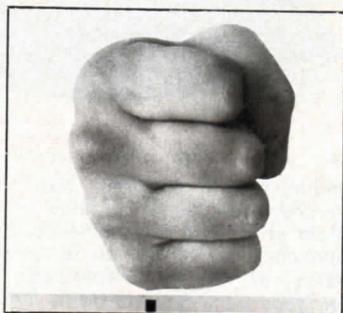
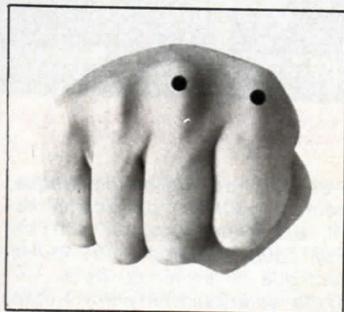
Lorsque le ciment ne se rompt pas, des forces encore plus grandes, atteignant 3 600 newtons, ont été enregistrées (ce qui explique la douleur à la main si on rate son coup). La force ne suffit donc pas souligne le Pr. Feld : il faut bien placer

(suite du texte p. 162)



## A 54 KMIH LE POING DU KARATEKA PÈSE 450 FOIS SON POIDS

McNair et Feld ont analysé les mouvements de karaté en les suivant « à la trace » par une succession de vues stroboscopiques. Ces vues sont obtenues par des éclairs de flash produits à intervalles réguliers de 1/20 de seconde. En mesurant la distance parcourue par le poing entre les flashes, les deux physiiciens calculent la vitesse du mouvement à chaque instant. Le coup de poing classique vers l'avant (giaku tsuki) commence avec le poing serré, paume vers le haut, contre la poitrine. Il y a une accélération rapide au début du coup, alors que le poing commence sa rotation, puis un léger ralentissement, et enfin une accélération maximale, permettant d'atteindre la vitesse de 5,7 à 10 m/sec au moment où le poing, paume vers le bas, se retrouve à quelques centimètres de sa cible, et que le bras n'est pas encore en extension complète. A partir de ce moment l'accélération devient considérable. Au point d'impact, certains coups, appuyés par le corps entier, atteignent une vitesse de l'ordre de 15 m/sec. Un poing, pesant quelque 700 g, peut alors développer au moment de l'impact, une force de 3 000 newtons soit environ 450 fois la force qui lui est conférée par la pesanteur.



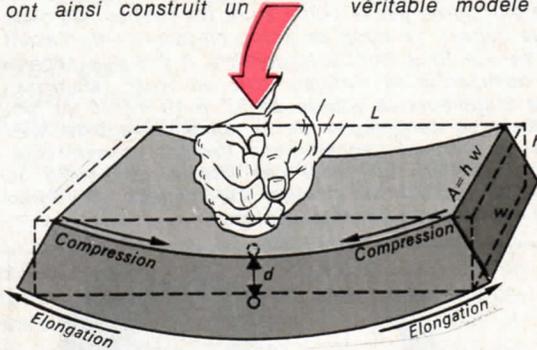
Trois frappes classiques: le coup direct, le pied en sabre et le marteau de fer (en noir les points d'impact).

Le secret du karaté, d'après le Professeur Feld, consiste à transmettre une grande quantité d'énergie à une petite surface, et causer ainsi le maximum de déformation locale. C'est ainsi que le poing « en marteau de fer » ou le « pied en sabre » constituent des armes redoutables, capable de briser une plaque de ciment de plusieurs centimètres d'épaisseur.

Pour calculer la quantité d'énergie libérée par un coup, les physiiciens du MIT ont utilisé la formule simple selon laquelle l'énergie cinétique (ou de mouvement) d'un objet est égale à la moitié de sa masse multipliée par le carré de sa vitesse. La « masse de frappe » dépend bien sûr de la partie du bras, et éventuellement d'autres parties du corps qui participent au coup. Dans le cas du coup de poing direct, le Professeur Feld a estimé que la masse participant au coup est d'environ 1 kg. L'énergie libérée peut atteindre 50 joules.

## FORCE DE FRAPPE + ÉNERGIE DE MOUVEMENT: LE POING SE

Pour comprendre comment la main, ou le pied nus, peuvent briser une cible de bois ou de ciment, McNair et Feld ont analysé le comportement de cette cible sous l'impact d'un coup. Lorsqu'un bloc de ciment, reposant par ses extrémités sur deux supports, subit une force en son milieu, la partie supérieure de ce bloc est comprimée, alors que la partie inférieure subit une élévation. Le bloc étant plus résistant à la compression qu'à l'élongation, la rupture interviendra d'abord à sa partie inférieure. Le paramètre intéressant est l'élongation,  $\delta$ , à la partie inférieure de la cible sous l'impact d'un coup de force  $F$ . La résistance de la cible dépend de deux facteurs : la tension,  $\sigma$ , égale à la force exercée sur la cible divisée par sa surface de section, soit  $F/A$  ; et la force de rupture  $\epsilon$  égale au rapport  $\delta/L$ , de l'élongation à la longueur  $L$  de la cible. Un bloc de ciment se comporte un peu comme un ressort : plus on l'étire, plus il résiste, jusqu'à un certain seuil où il casse. Mathématiquement cela veut dire que la tension est proportionnelle à la force de rupture : c'est la loi de Hooke qui s'écrit  $\sigma = \epsilon E$  où  $E$  est une constante représentant l'élasticité du matériau, qu'on appelle son module d'élasticité. Mais l'analogie avec un ressort n'est pas suffisante, car la cible d'un coup de karaté ne s'étire pas uniformément : l'élongation ne se produit qu'à la partie inférieure, alors que la partie supérieure est comprimée. Les physiciens du MIT ont donc également tenu compte des propriétés acoustiques des diverses cibles, c'est-à-dire des vibrations qui, à la suite d'un choc, déforment le matériau, parfois jusqu'au point de rupture. Ils ont ainsi construit un véritable modèle



Le principe de base : la cible subit une compression en haut et une élévation en bas.

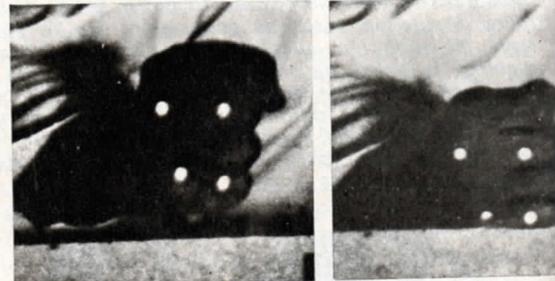
mathématique intégrant tous les éléments — forces, énergies et impacts — qui interviennent. Feld et McNair ont étudié deux cibles-types : des planches de pin sec de 28 cm de long, 15 cm de large, et 1,9 cm d'épaisseur, les fibres étant dirigées dans le sens de la largeur ; et des blocs de ciment de 40 cm de long, 19 cm de large, et 4 cm d'épaisseur. Plutôt que l'élongation  $\delta$ , ils ont préféré mesurer une grandeur plus maniable : la déflexion  $d$ , qui est la distance parcourue vers le bas par le centre de la cible, lors d'un choc.

Les tests hydrauliques ont montré que le bois est assez élastique et qu'il faut une déflexion de 1 cm environ et une force de 500 newtons pour le rompre. Pour le ciment, la déflexion critique n'est que d'un millimètre, mais la force requise est de l'ordre de 2 500 à 3 000 newtons.

Ces mesures ont permis d'estimer le module d'élasticité du bois,  $E$ , à  $1,4 \times 10^8$  newtons par mètre carré ; et le module de rupture,  $\sigma$ , c'est-à-dire la tension à partir de laquelle la cible cède, à  $3,6 \times 10^6$  newtons par mètre carré.

Pour le ciment le module d'élasticité est de  $28 \times 10^8$  newtons par mètre carré, et le module de tension, de  $4,5 \times 10^6$  newtons par mètre carré. En appliquant leurs formules aux valeurs expérimentales des modules, les physiciens ont obtenu la valeur critique de 670 newtons pour les planches de bois et de 3 100 newtons pour les plaques de ciment ; ces valeurs se rapprochent des mesures obtenues par les tests hydrauliques. Le modèle acoustique a donné des déflexions critiques de 16 mm pour le bois et de 1 mm pour le ciment, valeurs qui, elles aussi, se rapprochent de celles obtenues grâce aux tests. Ce modèle permet aussi de calculer l'énergie critique  $U_0$  (c'est-à-dire l'énergie que doit absorber la cible pour se briser) à partir des modules, de la section  $A$  de la cible et de sa longueur. On obtient le chiffre de 5,3 joules pour le bois et de 1,6 joules pour une plaque de ciment.

On peut trouver surprenant qu'il faille plus de force pour briser le ciment qu'il n'en faut pour le bois, mais moins d'énergie. Cela s'explique d'après le modèle mathématique ; la force est proportionnelle à la déflexion critique ; l'énergie critique, elle, est le produit de la force par la moitié de la déflexion critique. Donc, bien que la force critique soit 5 fois moindre pour le bois que pour le ciment, la déflexion étant 16 fois supérieure, l'énergie requise dans le premier cas égale les 16/5 de l'autre, ce qui fait plus du triple.



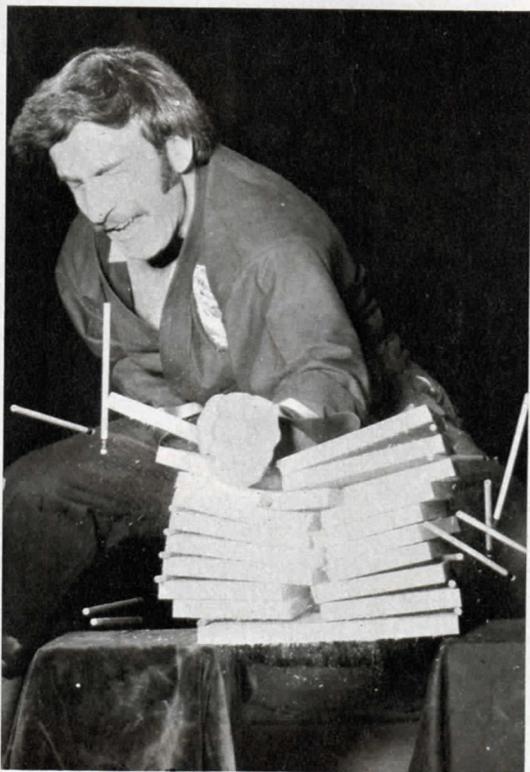
Photographié ici au millième de seconde, le poing du karatéka frappe le ciment à 15 m/s.

Ce qui est valable du point de vue mathématique, ne l'était pas forcément pour les physiciens karatéka : ils avaient, en effet, constaté qu'il est moins facile, avec un coup de poing de 50 joules, de rompre du ciment que de briser du bois.

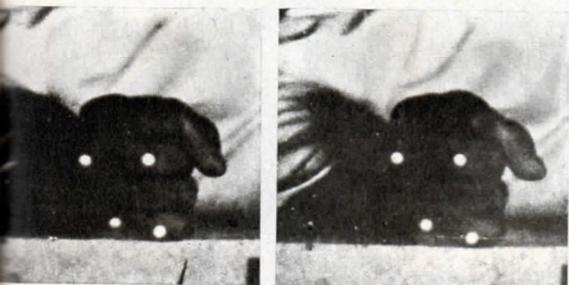
Pour le Pr. Feld, cette contradiction entre « théorie » du physicien et « pratique » du karatéka s'explique : même si le coup porte initialement la même quantité d'énergie au bois qu'au ciment, l'énergie effectivement transmise au ciment est moindre. Pour le bois, dont la masse est inférieure à celle de la main, la cible « accepte » la plus grande partie de l'énergie. Le ciment, bien plus massif, n'en « accepte » qu'une faible partie.

L'énergie transmise est toujours plus petite que l'énergie initiale si un objet ayant une masse  $M$  et une énergie initiale  $U_i$ , frappe un objet au re-

## DÉFORME MAIS C'EST LA CIBLE QUI CÈDE



Tout autant que la force du coup, la justesse du point d'impact est fondamentale : à la même puissance, l'onde de choc ne brise que 9 cibles (à gauche) et 10 (à droite) lorsque le coup est bien placé.



Lors du choc (et de la décélération), la main, l'emporte sur le ciment au jeu du « dur » et du « mou ».

pos dont la masse est  $m$ , l'énergie transférée est égale à  $U_i (1 + m/M)$ .

Ainsi, on calcule qu'une énergie initiale de 6,4 joules est requise pour transmettre au bois les 5,3 joules nécessaires à la rupture. Mais il faut 8,9 joules d'énergie initiale pour transmettre les 1,6 joules qui briseront le ciment. Le poing ayant une masse de 0,7 kg environ utilisé dans le « coup de marteau » doit atteindre une vitesse de 4,3 m/sec pour rompre le bois, et de 5 m/sec pour le ciment.

Ce modèle mathématique ne donne qu'une approximation, car en fait, on peut voir que le poing, filmé en stroboscopie rapide, est un objet très déformable. Au moment du contact, il se comprime et se déforme. L'impact lui-même n'est pas instantané, mais dure 5 millisecondes. Parfois, on

observe un petit rebond du poing après le contact initial. Ce n'est qu'après que la plaque de ciment se courbe : 1 mm de déflexion suffit alors pour provoquer la rupture, qui intervient à la partie inférieure, subissant l'élongation.

Un poing dans un gant noir marqué de points blancs permet de constater une décélération très rapide, atteignant 3 500 et même 4 000 mètres par seconde carrée, ce qui correspond à des forces de l'ordre de 2 400 à 2 800 newtons, soit 400 fois environ la force du poing soumis à la gravité terrestre. Ces résultats ont été confirmés expérimentalement en mesurant la force d'un impact en fonction du temps.

Un karatéka expérimenté peut casser d'un seul coup non seulement une planche de bois ou une plaque de ciment, mais plusieurs. La force requise pour rompre par exemple cinq plaques de ciment, n'est pas cinq fois supérieure à celle requise pour une seule plaque, surtout si les plaques sont séparées par un espace. En effet, la première cible rompue transmet à la seconde un moment angulaire suffisant pour la briser, puis la seconde à la troisième, et ainsi de suite. Il suffit que le coup sur la première cible soit assez fort pour que les suivantes se brisent.

Les coups manqués peuvent être très instructifs à cet égard. En examinant les photos d'un coup « en marteau de fer » sur une pile de dix planches, lors duquel neuf cibles ont cédé, la dernière restant intacte, Feld a constaté que l'impact initial était dévié par rapport au centre de la cible. □

## RACISME

(suite de la page 39)

série de sondages entreprise il y a déjà 35 ans, et portant sur 1 500 personnes.

C'est la culture qui, au Brésil, a d'abord favorisé le mixage racial et c'est de nouveau l'occidentalisation de cette culture qui fait resurgir là-bas une forme de racisme. Le phénomène peut être rapproché de celui que l'on a observé récemment en Israël. Dans les premières années de l'existence de cet Etat, la ferveur nationaliste et confessionnelle favorisa d'abord le mixage entre les Juifs d'Orient ou Sépharades et les Juifs d'Europe ou Aschkénazes. Mais le nombre croissant des immigrants Aschkénazes et l'occidentalisation accrue de la culture israélienne finirent par créer, là aussi une ségrégation défavorable aux Sépharades. L'on a même vu, il y a quelques années, les Sépharades, exclus des postes importants (et parfois même rejetés du service militaire) manifester dans les rues de Tel-Aviv contre le « racisme » Aschkénaze... Ce qui démontre que la communauté religieuse elle-même pèse d'un moindre poids que la communauté culturelle.

### **Pas d'avenir sans hybrides**

Comme l'observe l'anthropologiste britannique Sir Ashley Montagu : « C'est un mythe que la nature irrémédiable de la condition humaine... Ce sont nos conditions sociales et non génétiques qui requièrent le plus notre attention ». Peut-être qu'un jour, d'ailleurs, le bénéfice génétique des croisements entre groupes sociaux et humains finira par battre en brèche le racisme : « En accroissant la variabilité génétique, l'hybridation offre une plus grande variété de génotypes adaptatifs », déclare le célèbre généticien américain Stanley M. Garn, de même qu'elle offre « de plus belles chances de survie prolongée... Les hybrides ont les plus belles chances d'avenir ».

C'est ainsi que le racisme des Khmers montagnards, dits « rouges », à l'égard des Khmers des plaines, reflète dans toute son horreur la force que le racisme peut revêtir dans une société close.

Ce que nous sommes aujourd'hui résulte de l'opposition ancestrale de deux poussées psychosociales puissantes : l'une est faite de la défense de soi contre les autres, de son groupe contre les « étrangers », l'autre est le besoin de renouvellement génétique et culturel qui justement nécessite l'échange avec l'autre ou l'étranger. Le racisme apparaît quand la balance se déséquilibre. Le meilleur contrepoids est la prise de conscience de la valeur de l'autre, cet autre qui nous est d'autant plus précieux qu'il nous est plus dissemblable.

**Dr Jacqueline RENAUD  
et Alexandre DOROZYNSKI ■**

## LE KARATÉ

(suite de la page 72)

son poing, et frapper la cible correctement, près du centre. Le poing correctement formé, le sabre du pied, ou le tranchant de la main, permettent de concentrer la force sur une petite surface. « Essayez de couper un fromage avec le plat d'un couteau, vous n'y arriverez peut-être pas. Avec la lame, c'est facile. »

Si le coup est bien porté, l'os ne risque pas de se rompre. L'os est d'ailleurs un matériau très résistant. Selon le Pr. Feld, un os cylindrique, isolé, de 2 cm de diamètre et de 6 cm de long, soutenu à ses extrémités, peut supporter à son centre une force de plus de 15 000 newtons.



Pour Feld et McNair, les physiciens-karatékas, une nouvelle conception de la force de frappe.

Et ce n'est pas là une limite absolue, car dans le corps, l'os est supporté par la chair et les muscles, qui absorbent une partie de l'impact. Des calculs ont permis aux physiciens d'estimer qu'il faudrait 2 000 fois plus de force pour briser le « pied en sabre » qu'il n'en faut pour rompre la plaque de ciment.

Un karatéka expérimenté peut d'ailleurs briser non une, mais plusieurs plaques de ciment, surtout si elles sont séparées par un espace. Les ondes de choc développées par l'impact sur la première cible, suffisent à briser les autres, si cet impact est assez violent. Des photos stroboscopiques montrent alors que plusieurs cibles se rompent sans que le poing ne passe au travers. En appliquant leur connaissance de la physique au karaté, Feld et McNair ont pu expliquer l'efficacité de ses coups ; quant à trouver mieux que les maîtres anciens, c'est une autre histoire. Au fond ce sont les deux savants américains qui ont peut-être le plus appris. « Mes recherches sur le karaté, dit McNair, m'ont apporté une aide considérable dans mon activité de physicien. »

Bref : *mens sana in corpore sano*... Même dans ce haut lieu de la science qu'est le fameux Massachusetts Institute of Technology !

**Alexandre DOROZYNSKI**