

Muscle, gènes et performances

JESPER ANDERSEN • PETER SCHJERLING • BENGT SALTIN

La biologie cellulaire du muscle explique les performances des athlètes et suggère comment les futurs sportifs pourraient augmenter leurs chances.

«**À** vos marques!» Dans un silence total, 60 000 paires d'yeux fixent les huit hommes les plus rapides du monde. Nous sommes à Séville, le 22 août 1999. Les coureurs sont alignés au départ du 100 mètres des championnats du monde d'athlétisme.

«Prêts?» Et le coup de feu claque dans l'air chaud du soir. Les concurrents bondissent hors de leur starting-block. La foule hurle et, 9 secondes 80 centièmes plus tard, le gagnant franchit la ligne d'arrivée. C'est Maurice Greene, un athlète de 25 ans, originaire de Los Angeles.

Pourquoi Maurice Greene est-il arrivé premier, devant le Canadien Bruny Surin? Les deux hommes se sont entraînés sans relâche pendant des années ; ils ont suivi un régime ascétique, n'ont fait presque rien d'autre que s'exercer et dormir. L'issue de la course à pied dépend d'une multitude de facteurs secondaires, tel l'état d'esprit des athlètes ou la conception de leurs chaussures de sport, mais le facteur physiologique reste primordial : les fibres musculaires des jambes de M. Greene et, en particulier, celles des cuisses développent une puissance légèrement supérieure à celles de ses concurrents pendant la brève durée du sprint.

Comment les muscles humains s'adaptent-ils à la pratique ou à l'absence d'exercice et comment se modifient-ils sous l'effet de sollicitations aussi différentes qu'un marathon ou un sprint? Récemment, nos travaux ont répondu à ces questions. Nous savons désormais ce qui fait la supériorité physiologique de M. Greene, et nous avons une idée plus précise des capacités physiques des individus. Les

champions, qu'ils soient coureurs, nageurs, cyclistes ou skieurs, ont-ils des aptitudes physiques supérieures à celles des autres être humains, dès la naissance? Ou de la détermination et un entraînement approprié feraient-ils de chacun de nous un sportif de haut niveau? Nous apportons un éclairage nouveau sur ces questions éternelles.

Le muscle est le tissu le plus abondant du corps humain et celui qui s'adapte le mieux. Un entraînement intensif en musculation fait doubler, voire tripler, la masse d'un muscle, alors qu'en l'absence d'effort, par exemple lors d'un voyage spatial, le muscle perd environ 20 pour cent de sa masse en deux semaines. Depuis plusieurs décennies, les biologistes étudient les mécanismes biochimiques responsables de cette adaptabilité. Aujourd'hui, ils savent comment les muscles réagissent à l'entraînement.

Un muscle est un faisceau de cellules allongées, nommées fibres musculaires, entourées d'un tissu conjonctif, qui assure le rôle de soutien et de renfort mécanique (voir la figure 2). Chaque fibre a plusieurs noyaux contenant les gènes. Les noyaux sont répartis le long de la fibre, sous la membrane qui l'entoure. Des milliers de brins internes nommés myofibrilles forment le cytoplasme de la cellule. Les plus grandes fibres musculaires humaines ont 30 centimètres de longueur et 0,05 à 0,15 millimètre de largeur. Elles contiennent plusieurs milliers de noyaux.

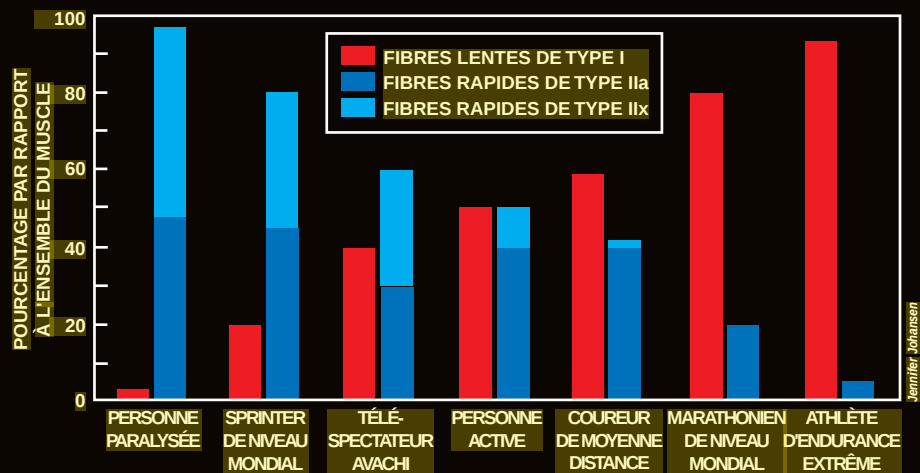
Les myofibrilles, qui remplissent l'intérieur d'une fibre musculaire, ont la même longueur qu'elle. Elles réagissent aux influx nerveux en provoquant la contraction de la cellule. Les neu-

rones moteurs partent de la moelle épinière et aboutissent à un groupe de fibres constituant une unité motrice. Dans les muscles des jambes, un neurone moteur commande ou «innervé» plusieurs centaines, voire un millier de fibres musculaires. En revanche, dans les muscles responsables des mouvements de grande précision, tels ceux des doigts, des globes oculaires ou du larynx, un neurone moteur ne commande que quelques fibres musculaires, voire une seule.

Une myofibrille se compose de sous-unités nommées sarcomères, reliées bout à bout. Les sarcomères sont constitués de deux protéines, la myosine et l'actine, dont l'interaction produit la contraction : les filaments d'actine, à chaque extrémité d'un filament de myosine, glissent vers son centre, de sorte que le sarcomère se raccourcit comme un tube télescopique (voir l'encadré de la page 37).

L'une des parties de la molécule de myosine, nommée chaîne lourde, détermine les caractéristiques fonctionnelles de la fibre musculaire. Chez l'homme adulte, cette chaîne lourde existe sous trois formes, nommées isoformes, et désignées par I, IIa et IIx, de même que les fibres musculaires qui les renferment. Les fibres de type I sont des fibres «lentes», celles de type IIa et IIx des fibres «rapides» : la vitesse de

1. LE SPRINTER AMÉRICAIN BRIAN LEWIS a plus de fibres musculaires rapides dans les cuisses qu'un marathonien : les trois types de fibres musculaires ont des proportions différentes suivant les individus. Les fibres rapides, de type IIx, se contractent dix fois plus vite que les fibres lentes, de type I. Les fibres de type IIa ont une vitesse de contraction intermédiaire.



Howard Schatz, Schatz/Orrstein Studio

contraction d'une fibre de type I est dix fois inférieure à celle d'une fibre de type IIx. Celle d'une fibre IIa est comprise entre les deux précédentes.

L'étoffe du muscle

Les vitesses de contraction des fibres diffèrent suivant l'isoforme de myosine qu'elles contiennent, car elles ne récupèrent pas de la même façon l'énergie chimique stockée dans la molécule d'adénosine triphosphate. Les fibres musculaires lentes ont un métabolisme plutôt aérobie (il s'effectue en présence d'oxygène) relativement efficace, alors que les fibres rapides ont un métabolisme plutôt anaérobie. Ainsi, les fibres lentes sont importantes pour les activités d'endurance, telle la course à pied sur de longues distances, le cyclisme et la natation, tandis que les fibres rapides sont essentielles pour fournir de la puissance, par exemple en haltérophilie ou en sprint.

Un adulte en bonne santé possède à peu près autant de fibres lentes que

de fibres rapides dans le quadriceps de la cuisse. Cependant, les variations interindividuelles sont considérables : nous avons observé des personnes qui n'avaient que 19 pour cent de fibres lentes, et d'autres qui en avaient 95 pour cent (voir la figure 1). Ces dernières feraient probablement de grands marathoniens, mais ne seront jamais d'excellents sprinters. L'inverse vaut pour une personne qui n'aurait que 19 pour cent de fibres rapides.

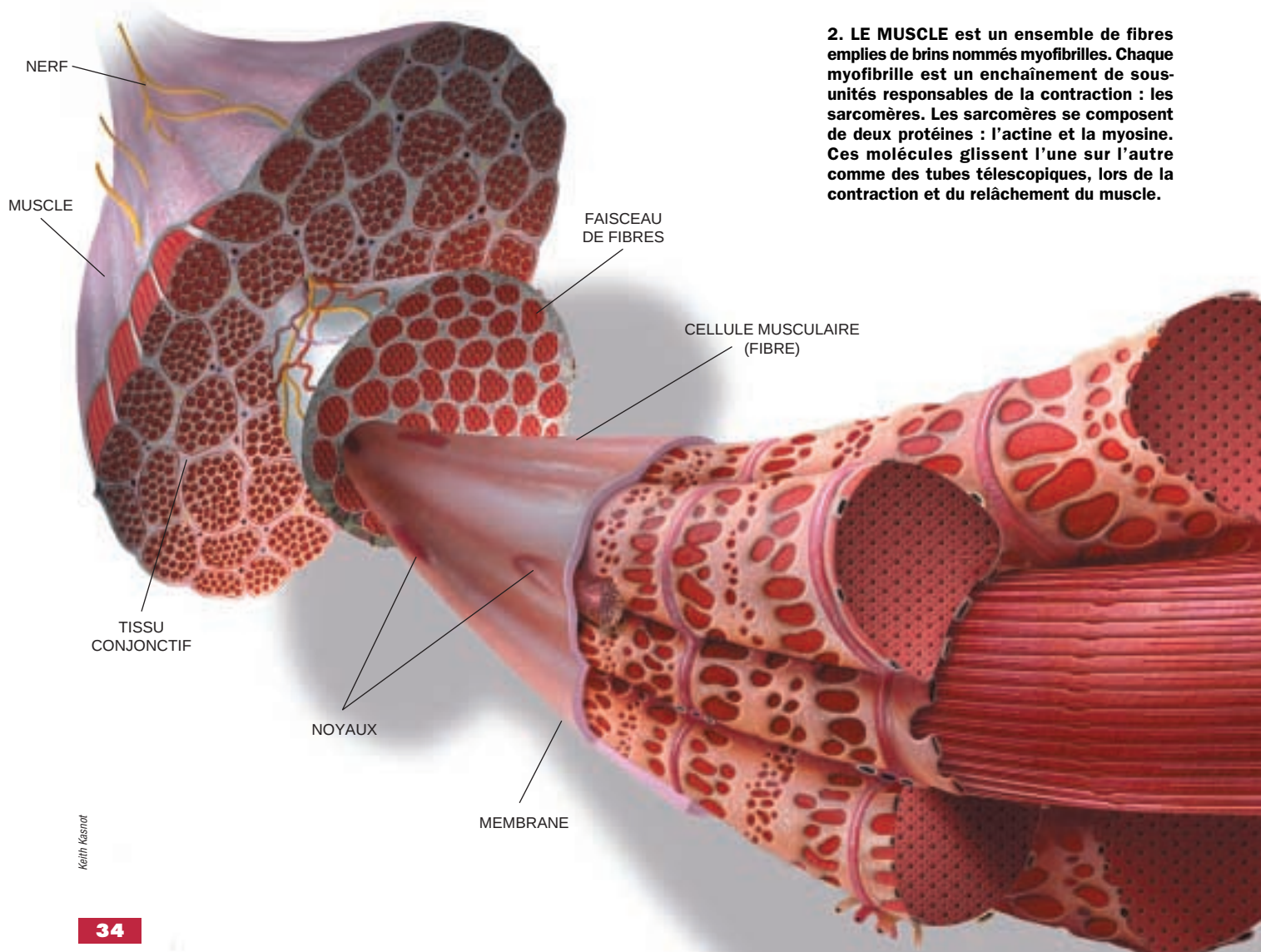
Certaines fibres musculaires ne sont ni de type I, ni de type IIa, ni de type IIx : elles contiennent deux isoformes de la myosine. La gamme est continue entre les fibres à myosine exclusivement lentes et celles qui ne contiennent presque que l'isoforme la plus rapide (IIx). Les caractéristiques fonctionnelles des fibres sont proches de celles du type d'isoforme dominant.

La myosine est une protéine qui est à la fois particulière et abondante chez les animaux. Chez les mammifères, un même type d'isoforme de myosine est assez semblable d'une espèce à

l'autre. Par exemple, la myosine lente du rat ressemble plus à celle de l'homme qu'à la myosine rapide du rat : des isoformes de myosine fonctionnellement distinctes auraient ainsi traversé des millions d'années d'évolution. Ces types de myosine sont apparus depuis longtemps, car même les créatures les plus anciennes et les plus primitives avaient des isoformes de myosine peu différentes des nôtres.

L'épaississement du muscle

L'entraînement physique provoque le grossissement du muscle, mais sans faire apparaître de nouvelles fibres. Les fibres musculaires ne se scindent pas pour former de nouvelles fibres. Lors du vieillissement, par exemple, certaines fibres disparaissent, mais aucune fibre nouvelle ne se crée (voir l'encadré de la page 36). L'augmentation de la masse d'un muscle résulte uniquement de l'hypertrophie des fibres, c'est-à-dire d'une augmentation de leur volume.



2. LE MUSCLE est un ensemble de fibres emplies de brins nommés myofibrilles. Chaque myofibrille est un enchaînement de sous-unités responsables de la contraction : les sarcomères. Les sarcomères se composent de deux protéines : l'actine et la myosine. Ces molécules glissent l'une sur l'autre comme des tubes télescopiques, lors de la contraction et du relâchement du muscle.