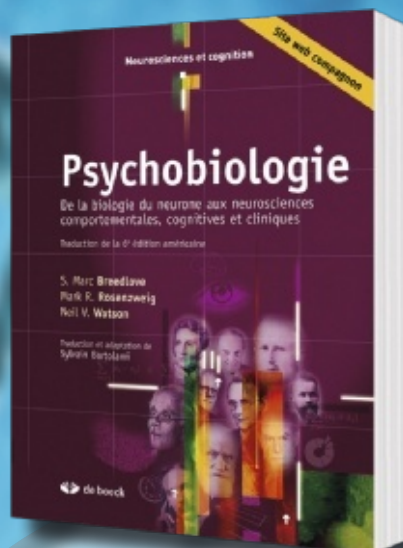
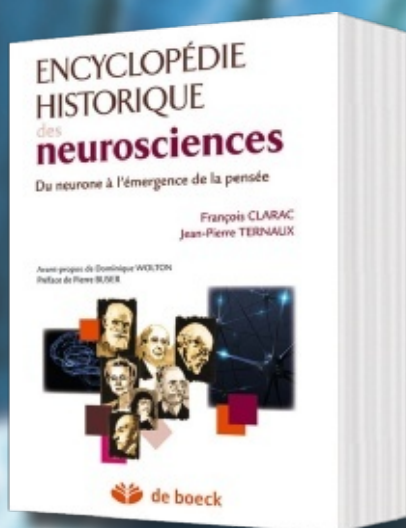


Une introduction
aux **NEUROSCIENCES
COMPORTEMENTALES**

Breedlove • Rosenzweig • Watson
760 pages • 60 €



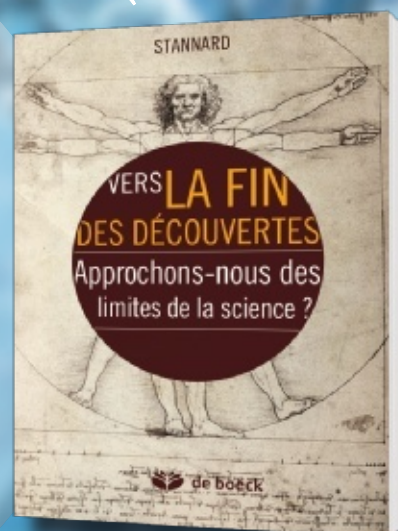
Approchons-nous des
LIMITES DE LA SCIENCE ?



Clarac • Ternaux
1042 pages • 75 €

Du neurone à **L'ÉMERGENCE
DE LA PENSÉE**

DES LIVRES POUR ALLER PLUS LOIN



Stannard • 323 pages • 19 €



Thomas • Lefèvre • Raymond
840 pages • 90 €

Tous les concepts
de la biologie évolutive
LA référence

LES RECORDS SPORTIFS

auront-ils une fin ?

G. Berthelot, A. Sedeaud, M. Guillaume et J.-F. Toussaint

Dans de nombreuses disciplines sportives, les facteurs de progrès ont été très largement exploités. Conséquence : de moins en moins de records du monde sont battus.

Plus vite, plus haut, plus fort ! dit la devise olympique. Jusqu'où l'être humain pourra-t-il aller ? Depuis les premiers jeux Olympiques modernes de 1896, pas moins de 3 263 records mondiaux ont marqué la progression sportive. Alors qu'à Pékin, en 2008, 42 nouveaux records avaient été établis, cette année à Londres, seuls 20 l'ont été, dont celui du 4 × 100 mètres avec le Jamaïcain Usain Bolt (voir la figure 1).

Cette différence pourrait bien illustrer une tendance à long terme qu'éclairent de nombreux constats scientifiques. Sur ce terrain, deux interprétations s'affrontent depuis longtemps : pour certains, l'augmentation des performances serait linéaire ; pour d'autres, elle ne peut être que limitée. Or on constate aujourd'hui un ralentissement des progressions sportives, manifestement dû au fait qu'après un siècle de développement, l'environnement de la performance a été largement optimisé. La détection des jeunes athlètes, les volumes d'entraînement, la récupération, l'équipement, la nutrition, le suivi médical font désormais l'objet d'une attention systématique. Ont-ils été poussés jusqu'au bout ? C'est ce que nous allons examiner avant d'envisager l'avenir.

L'ESSENTIEL

- Les performances sportives dépendent de l'influence conjointe des gènes et de l'environnement.
- Outre les facteurs physiques, la progression des records subit l'influence du contexte historique et politique.
- Malgré les substances dopantes illicites et les progrès techniques, l'optimisation des facteurs de performance est à peu près achevée, d'où le plafonnement actuel des records.





Si l'on établit l'évolution du cumul des records du monde et des meilleures performances, que constate-t-on ? De nombreuses études, dont certaines récemment menées à l'IRMES, l'Institut de recherche biomédicale et d'épidémiologie du sport, ont montré qu'ils suivent une croissance par paliers, ralentie par les guerres et accélérée par l'introduction de nouvelles techniques (voir les figures 2 et 3).

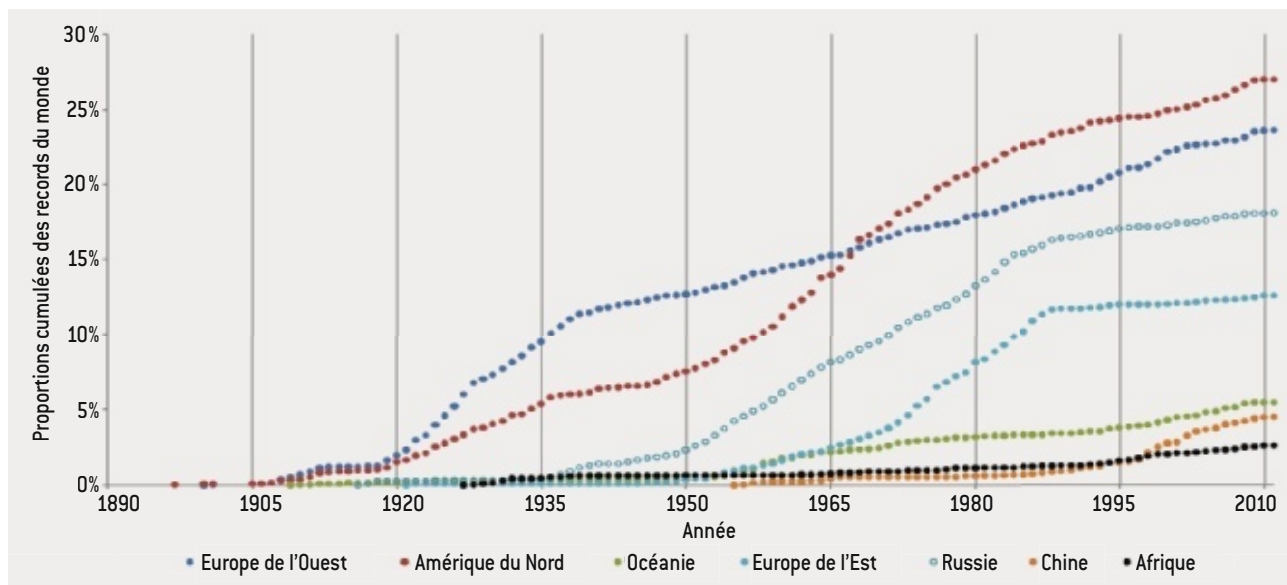
Cette croissance est le résultat des progrès accomplis pour entraîner les sportifs, optimiser leur condition physique et leur état de santé. Souvent fondés sur de longues observations et, parfois, sur des recherches scientifiques poussées, ils sont aujourd'hui connus des meilleurs entraîneurs (on ne dira jamais assez leur rôle essentiel dans la détection des talents et leur encadrement), du moins dans les pays qui ont les moyens de cultiver un haut niveau sportif. Nous ne discuterons pas ici de ces savoir-faire, qui dépendent de la discipline sportive en question.

Guerres contre records

L'étude approfondie des performances met en lumière le rôle de l'histoire et de l'économie sur les volontés nationales d'optimisation. Si très peu de records du monde ont été battus durant les deux guerres mondiales, la guerre froide, caractérisée par une compétition générale entre deux systèmes politiques, a eu un tout autre impact. Ainsi, pendant cette période (1945-1989), l'Europe de l'Est a décuplé ses performances et accumulé 249 records du monde. Depuis la publication des archives de la Stasi (la Staatssicherheit, c'est-à-dire le ministère est-allemand de la Sécurité d'État), nous savons que l'Allemagne de l'Est optimisait par la pharmacologie les capacités de ses athlètes, dans le cadre de programmes étatiques de dopage. Pendant la même période, les évolutions équivalentes de l'Union soviétique (210 records du monde) et des États-Unis (200 records) révèlent des politiques différentes d'optimisation des

1. CENT MÈTRES EN 9,58 SECONDES : c'est la performance du Jamaïcain Usain Bolt aux championnats du monde d'athlétisme de Berlin, en 2009. Ce record fait de lui l'être humain le plus rapide ayant jamais vécu. Ici, il manifeste sa joie après avoir remporté l'épreuve du 200 mètres en 19,68 secondes la même année à Thessalonique, en Grèce.

©Shutterstock/Verveitidis Vasilis



2. LES PROPORTIONS CUMULÉES DE RECORDS MONDIAUX par pays ou grande région et par année depuis les premiers jeux Olympiques traduisent les effets sur le sport de la puissance économique et des politiques nationales. Les sportifs de l'Europe de l'Ouest et des États-Unis obtiennent presque 50 pour cent de tous les records jusqu'à aujourd'hui. Mais pendant la guerre froide, l'Europe de l'Est et la Russie, sous la coupe de

l'Union soviétique, avaient un taux cumulé de records comparable ; or ce taux cumulé plafonne depuis la fin de la guerre froide... Fermée sur elle-même pendant cette période, la Chine multiplie les records depuis qu'elle a une économie puissante et qu'elle s'est ouverte au monde. L'Afrique et l'Océanie, dont les économies se développent plus lentement, accroissent lentement, mais sûrement, leurs contributions aux records mondiaux.

■ LES AUTEURS

Geoffroy BERTHELOT, Marion GUILLAUME et Adrien SEDEAUD, épidémiologistes, travaillent à l'Institut de recherche biomédicale et d'épidémiologie du sport (IRMES), que dirige Jean-François TOUSSAINT, cardiologue et professeur de physiologie à l'Université Paris-Descartes.

performances (masculinisation des performances féminines d'un côté, initiatives privées de dopage, puis couverture par les instances sportives des athlètes contrôlés positifs de l'autre), aboutissant à des résultats très similaires (voir la figure 2). On voit avec la victoire olympique du cycliste Alexandre Vinokourov, ou les révélations de l'affaire Lance Armstrong, toujours dans le cyclisme, à quels systèmes, officiellement qualifiés de mafieux, ont pu conduire de telles pratiques.

La confrontation Est-Ouest était ainsi un puissant catalyseur des performances sportives, qu'elle a stimulées exactement comme elle a nourri la compétition spatiale. En matière sportive, l'influence politique peut toutefois aller dans le sens inverse : on constate que les records soviétiques, comme l'espérance de vie, cessent de progresser peu avant la chute de l'URSS, à l'époque où la volonté politique et les moyens s'évanouissent. De même, la Chine de la révolution culturelle (1966-1969), repliée sur elle-même, n'a produit aucun record du monde, et a interrompu complètement le développement de ses performances sportives. Mais depuis que la Chine s'est ouverte à l'économie de marché et manifeste une volonté de domination économique et politique, ses athlètes ont battu 117 records mondiaux (mais plus de la moitié le sont en haltérophilie féminine). La

volonté d'affirmation d'un État reste donc un facteur essentiel de l'optimisation des performances de ses athlètes.

Hormis les paramètres politiques, les facteurs environnementaux peuvent aussi favoriser les records. La température, l'altitude, le taux d'humidité, la pression atmosphérique, le vent, ont une influence, jusqu'ici peu étudiée. Nos recherches récentes et celles de confrères montrent par exemple le lien entre température et performance (voir la figure 4). Cela suggère que de nouveaux records pourraient être établis si l'on planifiait les compétitions pour des températures optimales.

Vers une sélection génétique ?

Ces circonstances mises à part, que peuvent faire les sportifs et leurs entraîneurs pour obtenir de nouveaux records ? L'un des leviers consiste à coordonner la détection, à l'échelle de toute la population, de futurs athlètes. Pour le moment, ces talents sont essentiellement repérés dans les résultats des jeunes sportifs. Mais les entraîneurs commenceront peut-être bientôt à sélectionner les porteurs de certains gènes favorables.

Une telle sélection est, en théorie, envisageable. On conçoit aisément que chaque discipline sportive nécessite des qualités

différentes, liées à des caractères génétiques portant sur la taille, les fibres musculaires, le métabolisme, la psychologie, etc. (voir l'encadré page 41). Les chercheurs ont déjà identifié plusieurs gènes associés à la performance sportive. Par exemple, la vitesse de course implique notamment le gène *ACNT3*, qui joue sur l'ancrage des filaments d'actine aux stries Z du sarcomère (l'unité de base des microfibrilles dont sont constitués les muscles squelettiques).

De nombreuses recherches à travers le monde suggèrent que des variations existent dans l'expression du gène *VEGF* (de l'anglais *Vascular Endothelial Growth Factor*) à l'origine du facteur de croissance de l'endothélium vasculaire. Ce facteur de croissance qui circule dans le sang favorise l'angiogenèse, c'est-à-dire la croissance des vaisseaux sanguins et donc la croissance tissulaire, ce qui semble particulièrement important pour une récupération rapide des muscles et des tendons après les entraînements de plus en plus intenses.

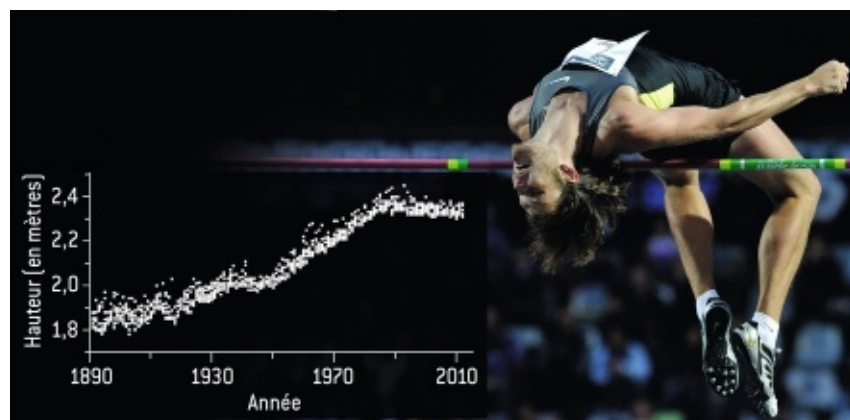
Récemment, le gène *HFE* dont l'expression produit la protéine *HFE* (pour *Human Hemochromatosis Protein*), qui régule le métabolisme du fer et facilite le transport de l'oxygène, a été l'objet de nos recherches et de celles de nombreux collègues : les mutations de ce gène seraient plus fréquentes chez certains athlètes de haut niveau pratiquant des sports énergivores. Repérables, ces mutations influencent favorablement la performance. La génétique est aussi impliquée dans certaines formes d'hyperandrogénisme associées à une sécrétion trop importante de testostérone, qui augmente les performances des athlètes féminines affectées par ce syndrome.

Sans doute favorisés par certains gènes, les talents sportifs se traduisent d'autant plus en records qu'ils s'expriment au bon âge. On constate en effet un âge optimal pour chaque performance. Cet optimum est plus tardif pour le marathon, plus précoce pour les nageurs. Les études ont également précisé la relation âge-performance : elle comprend une phase de croissance, pendant laquelle on se rapproche rapidement de l'optimum, puis une phase de décroissance, liée au vieillissement. Les deux phases sont exponentielles. Cette relation entre âge et performance se retrouve dans tous les sports individuels, collectifs ou intellectuels (voir la figure 5), chez d'autres espèces et à plusieurs échelles biologiques... On la retrouve ainsi dans les organismes simples tels que le ver nématode *Caenorhab-*

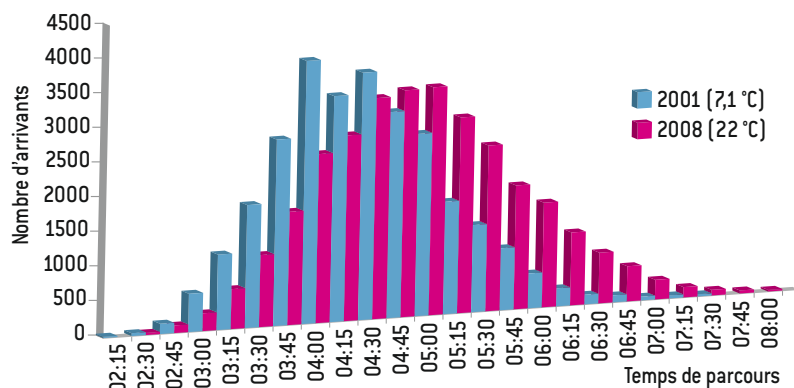
diti elegans, tant pour les organes que pour les cellules. Mais les entraîneurs n'ont pas attendu ces études pour tenir compte intuitivement de l'âge !

L'expansion biométrique, ressource du XX^e siècle

Au cours du XX^e siècle, les entraîneurs ont aussi exploité une ressource d'origine à la fois génétique et socio-économique : l'expansion biométrique des populations. Le poids, la taille, l'indice de masse corporelle au sein des populations européennes et américaines ont en effet augmenté en même temps que l'espérance de vie, à mesure que s'amélioraient les conditions



3. LA PROGRESSION DES DIX MEILLEURES PERFORMANCES PAR ANNÉE dans le sprint féminin sur 100 mètres (*en haut*) et au saut en hauteur masculin (*en bas*) montre l'influence de l'histoire sur les records. Ainsi, pendant les deux guerres mondiales, périodes de faibles investissements nationaux dans les sports, les performances baissent alors que la plupart des jeunes athlètes masculins sont au front et que les athlètes féminines contribuent à l'effort de guerre en travaillant ; les meilleurs sportifs ne sont plus sur les stades et n'ont plus la motivation des temps de paix. À l'inverse, la guerre froide, période d'intense rivalité internationale, s'accompagne d'une progression presque linéaire des performances, qui conduit en 1988 au point singulier du record de l'Américaine Florence Griffith-Joyner, à ce jour inégalé, puis au plateau, traduisant désormais la maturité des disciplines (le décrochage de 1975 sur la courbe du 100 mètres correspond à l'arrivée du chronométrage électronique au centième de seconde).



4. LA TEMPÉRATURE AMBIANTE INFLUE SUR LES PERFORMANCES DES MARATHONIENS, montrent les histogrammes de la répartition des résultats du marathon de Chicago en 2001 et en 2008. Il en est ainsi de toutes les pratiques sportives associées à une élévation thermique corporelle importante, tels les sports d'endurance (efforts longs et soutenus). Toutefois, dans le sprint, un optimum thermique se révèle aussi. L'influence de la température extérieure sur les performances et les métabolismes pendant la pratique de ces sports traduit un phénomène essentiellement thermodynamique.

de vie. La taille moyenne des Américains est ainsi passée de 169,5 centimètres en 1880 à 172,2 centimètres en 1940, puis à 175,8 centimètres en 2010 (voir la figure 6). Leur poids moyen a augmenté encore plus vite, puisqu'il est passé de 64 kilogrammes en 1880 à 87 kilogrammes en 2010. Les Français, quant à eux, mesuraient en moyenne 167 centimètres avec un poids moyen de 65 kilogrammes en 1867 ; ces valeurs étaient de 177 centimètres et 77 kilogrammes en 2007. L'amélioration de l'alimentation et de l'hygiène, la réduction des maladies infectieuses materno-infantiles, l'accès généralisé aux soins, etc., expliquent ces augmentations.

Dans leur livre *The Changing Body*, Roderick Floud, Robert Fogel, Bernard

Harris et Sok Chul Hong donnent une explication à ce phénomène fondée sur l'influence du statut nutritionnel sur la santé. Les connaissances nouvelles en épigénétique indiquent que la santé de la mère détermine celle de l'enfant à la naissance, mais aussi une part de ses maladies à l'âge adulte. Si l'enfant est ensuite confronté à un environnement favorable lui fournissant les apports nécessaires, il atteindra sa taille maximale. Dans l'hypothèse où l'alimentation joue un rôle majeur, la transmission de conditions nutritionnelles optimales de génération en génération, après la Seconde Guerre mondiale, aurait favorisé la taille optimale de chacun, et par là même celles des athlètes de haut niveau. Validé par nos récents

travaux, le concept d'expansion phénotypique montre la croissance des capacités humaines dans des circonstances propices et décrit l'optimisation de notre génome dans les conditions environnementales clémentes du XX^e siècle.

Le vivier morphologique bientôt épuisé ?

Il existe un lien direct entre la taille ou le poids des athlètes et leurs performances. Nombre d'auteurs pensent ainsi que les records de vitesse resteront dominés par les athlètes les plus grands et les plus lourds. De même, dans le rugby, le poids des avants et la taille des arrières restent des facteurs discriminants de la performance des équipes. Cependant, la morphologie ne peut à elle seule expliquer la totalité de la performance ; elle détermine simplement des champs de potentiels – ou des fenêtres de sélection – dans lesquels les traits anthropométriques les plus adaptés peuvent être trouvés. La combinaison de ces différentes fenêtres (morphologiques, techniques, tactiques, psychologiques...) associée à un entraînement adéquat détermine la performance.

La volonté des entraîneurs de trouver leurs athlètes au sein de ces fenêtres de sélection a ainsi produit une « course aux armements » tout au long du XX^e siècle, aboutissant à une optimisation des morphologies. Cette exploitation du vivier mondial va-t-elle se poursuivre ou faut-il anticiper un prochain « arrêt de crois-



5. LES PERFORMANCES ÉVOLUENT AVEC L'ÂGE, que ce soit dans les sports physiques (à gauche, cas du 400 mètres féminin) ou dans les sports intellectuels (à droite, dans le cas des échecs). Les diminutions du nombre de fibres musculaires, de la fonction cardio-vasculaire ou de



la vitesse de conduction de l'influx nerveux déterminent un pic de capacité entre 25 et 30 ans. Ce maximum est suivi par une diminution rapide des performances physiques. Les performances intellectuelles diminuent de la même façon, mais plus lentement.

sance», lié aux limites biométriques du corps humain ?

La seconde hypothèse est clairement la plus probable. Dans certains sports où la taille est un avantage majeur (basket, volley, rugby, lancers...), la sélection a déjà été orientée depuis longtemps pour recruter les athlètes de poids et de tailles les plus élevés. Le cas de la NBA (*National Basketball Association*) américaine est particulièrement démonstratif. Après l'ouverture à l'international en 1984, les joueurs de plus de 2,13 mètres ont été recrutés dans le monde entier. La taille moyenne des équipes américaines de basket a immédiatement augmenté, mais elle a aussi très vite atteint un plateau. Il en a été de même dans la plupart des autres sports professionnels, où l'on observe depuis 20 ans une diminution nette du taux de croissance de la taille des athlètes (*voir la figure 6*). Ces constatations s'expliquent facilement si l'on prend en compte le fait

que les tailles des populations suivent le même rythme. Après des gains très importants au début du XX^e siècle, les augmentations de la taille moyenne au sein des nations sont désormais bien plus modestes. Et rien ne dit que les conditions environnementales (et nutritionnelles) qui nous ont été favorables perdureront.

L'acmé est proche

Si le recrutement d'athlètes aux mensurations très supérieures à la moyenne devient de plus en plus difficile, quel en sera l'impact sur la performance ? Quand on examine la situation dans chaque discipline, il apparaît que de nombreux facteurs ont été exploités au maximum. Désormais, on ne peut guère plus que les améliorer à la marge, soit par des modifications des règlements, soit par le recours à des moyens biotechnologiques illicites (amphétamines, anabolisants, EPO...).

En athlétisme, seule une poignée d'athlètes, en sprint ou en marathon, semblent avoir les capacités de repousser encore un peu les limites, mais deux tiers des épreuves ne progressent déjà plus. Affiner les mesures au millième de seconde permettra peut-être d'établir de nouveaux records, mais cela ne fera en réalité que rééchantillonner les courbes. Tous ces constats laissent penser que, pour des raisons de limites endogènes autant que de contraintes croissantes sur les ressources, l'amélioration de la performance, à l'instar de celle de l'espérance de vie, approche de son acmé.

Les derniers jeux Olympiques, à Londres, ont accentué ces tendances. Comme nous l'avons déjà noté, en comparaison des 42 records du monde battus à Pékin en 2008, seuls 20 nouveaux records du monde ont été établis à Londres. Avec quatre records (relais 4 × 100 mètres féminin et masculin, 800 mètres masculin, 20 kilomètres

Génétique et performance

Les paramètres morphologiques et métaboliques d'un coureur sur 800 mètres sont à mi-chemin de ceux des sprinteurs et des marathoniens. Quels gènes jouent un rôle dans leurs différences ? Parmi ceux qui ont été récemment identifiés, on peut citer :

— *ACNT3* : ce gène est présent dans les fibres musculaires associées aux efforts de sprint. Son impact sur la performance de course fait l'objet d'un large consensus entre chercheurs. Les génotypes des marathoniens internationaux (l'allèle X est présent chez 50 pour cent d'entre eux) diffèrent de ceux des sprinteurs de même niveau (l'allèle R est présent chez plus de 95 pour cent d'entre eux). Le gène *ACNT3* est fréquent dans la population jamaïcaine.

— *HFE* : ce gène régule le métabolisme du fer. Son lien avec la performance en endurance (en aviron comme en ski de fond) a été mis en évidence par quatre équipes françaises (CNRS Hématologie Necker, Labex Globules Rouges, IBT Troyes & Parc INSERM, associées à l'IRMES). La pratique du sport d'endurance de haut niveau s'accompagne d'une augmentation des pertes de fer et d'une diminution de son absorption intestinale.

Le manque de fer limite alors les capacités en réduisant la production de globules rouges, mais aussi les fonctions musculaires et cardiaques. Dès lors, on comprend la fréquence élevée d'une mutation associée à une plus grande absorption du fer chez les sportifs d'endurance qui trident les podiums internationaux. Toutefois, cette mutation, lorsqu'elle se présente sous forme homozygote (lorsque les deux allèles, maternel et paternel, sont concernés), est habituellement responsable d'une maladie héréditaire : l'hémochromatose, qui entraîne une intoxication des tissus par le fer en excès. Cet effet, dit de superdominance, est très important pour comprendre la persistance de certaines maladies génétiques récessives (se déclarant à l'état homozygote), mais dont l'état hétérozygote se révèle très favorable à la survie dans certaines conditions (à l'époque où les blessures et pertes hémorragiques étaient plus fréquentes et où la transfusion n'existait pas).

— Les gènes influant sur la taille : un consortium international, associant 322 chercheurs et 174 institutions, a récemment mis en évidence la complexité des interrelations génétiques dans la détermination de

la taille, un paramètre « héritable ». Au-delà des locus codant l'hormone de croissance ou ses récepteurs, plus de 180 sites du génome, associés dans des voies métaboliques cohérentes, ont ainsi été découverts. Mais à eux tous, ils n'expliquent que dix pour cent de l'hérédité. Il reste encore un long chemin à parcourir pour l'identification de chacun des autres locus, mais on comprend mieux comment ces génotypes favorables se transmettent « en bloc » de parents grands à enfants grands.

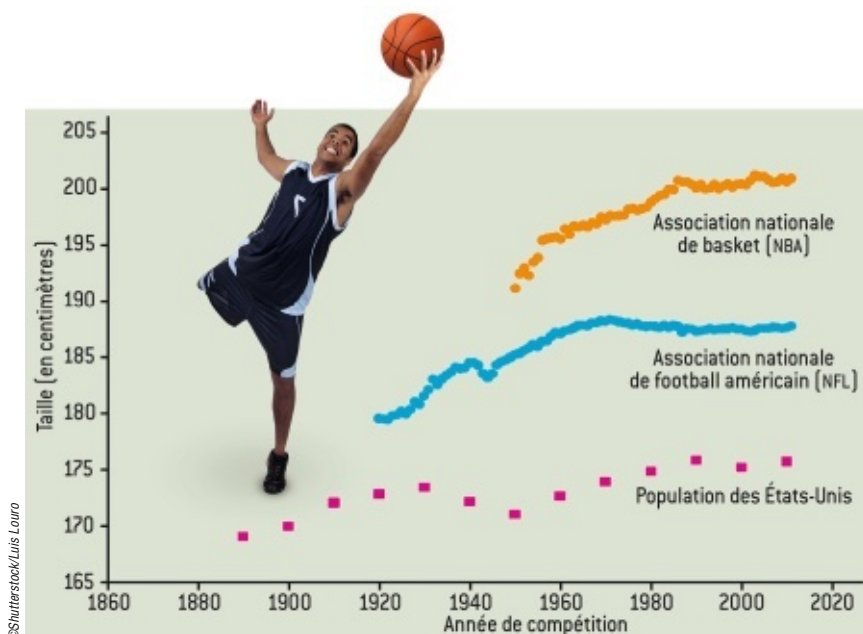
On suppose aujourd'hui que certains athlètes, tels qu'Usain Bolt ou Florent Manaudou, cumulent plusieurs gènes favorisant la performance. Leur équation pourrait être du type : *ACNT3* + gènes associés à la taille (dont l'effet prédomine sur les membres inférieurs pour l'un, et sur les membres supérieurs pour l'autre) + régénération musculaire et vasculaire (facilitant la résistance et la récupération après des entraînements intenses) + allèle X = titre olympique. La même équation, combinée avec une innovation technique, pourrait donner un nouveau record du monde.

L'apparition d'athlètes génétiquement taillés pour la performance ré-

sulte de deux facteurs. Le premier est un effet de l'essor démographique mondial (de un à sept milliards d'êtres humains en cinq générations). Avec l'augmentation du nombre d'individus, la probabilité de voir apparaître des personnes aux performances exceptionnelles augmente selon des lois statistiques précises. Le second facteur est l'optimisation des processus de détection : la probabilité conjointe de cumuler des gènes favorables et de bénéficier des hasards de la sélection conduisant aux qualifications olympiques reste encore perfectible.

Un dernier exemple de l'influence des gènes sur la performance est celui de ces skieurs qui avaient été temporairement interdits de course aux derniers jeux Olympiques d'hiver, en raison de taux d'hémoglobine sérique trop élevés. On les pensait dopés ! En réalité, ces athlètes synthétisent naturellement plus d'hémoglobine que la normale grâce à une prédisposition génétique. Dès lors, et compte tenu des plafonds de performance objectivés, la question principale redevient celle des limites physiologiques : sont-elles déjà optimisées au regard de notre génétique ?

Jean-François Toussaint,
IRMES



© Shutterstock/Luis Larro

6. LES ÉVOLUTIONS DE LA TAILLE MOYENNE DES JOUEURS de basket-ball (NBA), de football américain (NFL) et de la population américaine illustrent les plafonds observés depuis la fin du XX^e siècle. Dans ces deux sports où les critères biométriques reflètent des avantages cruciaux, la croissance de la taille moyenne des athlètes a cessé dès les années 1980 : l'exploitation du vivier mondial des très grands gabarits est alors complète.

marche féminin), l'athlétisme stagne, voire régresse dans certaines épreuves (les lancers notamment). Ce phénomène se manifeste désormais pour toutes les disciplines « matures ». Malgré l'annonce d'une « pluie de records » en natation, il n'y en a eu que huit, contre 25 à Pékin... Ces nouvelles performances concernent d'ailleurs les épreuves (brasse, papillon et longues distances) qui avaient le moins bénéficié des progrès hydrodynamiques apportés par les combinaisons en polyuréthane. Leur marge de progression reste encore possible et est en tout cas supérieure à celles des épreuves dont les records avaient explosé en 2008 et 2009 (nage libre, dos et courtes distances).

Dans un contexte de maturation de plus en plus fréquent, comment produire encore des records ? La création de gestes techniques est une voie. L'exemple le plus frappant est l'invention du rouleau dorsal (*Fosbury-flop*) au saut en hauteur. Introduite dans les années 1970, cette technique a permis une nette amélioration des performances. Quatre ans à peine après son introduction par Dick Fosbury en 1968, 28 des 40 compétiteurs en saut en hauteur l'utilisaient déjà. Aujourd'hui, cette méthode, qui a permis de porter le record du monde à 2,45 mètres pour les hommes et à 2,09 mètres chez les femmes, est la plus couramment utilisée.

Encore faut-il que les techniques inventées respectent la physiologie, tant pour l'efficacité du geste que pour la sécurité de

l'athlète. Quand bien même, une technique apte à changer les performances de haut niveau ne s'invente pas facilement. Dans les sports qui nécessitent un équipement, tels le saut à la perche, le ski ou le patinage, le recours à de nouvelles techniques dans la conception du matériel sportif peut sans doute plus facilement changer la situation. Cela s'est par exemple produit en patinage de vitesse, quand furent introduits les klaps pour patins (fixation de la lame seulement à l'avant de la chaussure).

Un cas similaire s'est produit entre 2007 et 2009 en natation. Élaborées en collaboration avec des ingénieurs de la NASA, les combinaisons en polyuréthane ont entraîné une augmentation sans précédent des vitesses de nage (plus de deux pour cent). Mais, en janvier 2010, la Fédération internationale de natation, arguant d'un bénéfice technique trop important au regard de la composante physiologique et du coût trop élevé de ces équipements, a interdit leur usage. Les vitesses moyennes de nage ont aussitôt baissé de 1,8 pour cent... Le dopage technologique est une question de règle et de convention, puisqu'il change la nature du sport et biaise les compétitions s'il n'est pas universellement partagé.

Moins de dopage, moins de records...

Le dopage pharmacologique, lui, existe depuis fort longtemps. Il n'a toutefois pas empêché le plafonnement des performances observé aujourd'hui. Depuis plusieurs années, un renforcement de la lutte contre ce dopage a été mis en place. À Londres, plus de 6000 tests urinaires et sanguins ont été effectués, de sorte que plus d'un athlète sur deux a été contrôlé pendant cette olympiade. Ce nombre important pourrait dissuader certains de frauder, d'autant qu'il a été complété, pour la première fois, par le passeport biologique : un suivi des athlètes permettant de déceler des anomalies du profil sanguin (afin de cibler les suspects à contrôler). Certaines substances ou procédés restent cependant encore difficiles à détecter, telle la transfusion autologue, qui consiste à se réinjecter son propre sang pour augmenter le nombre de globules rouges, donc l'apport d'oxygène aux muscles.

Le renforcement de la lutte antidopage dirigée par l'AMA (l'Agence mondiale antidopage) entraîne un nouveau recul des performances. Cela avait été observé lors

BIBLIOGRAPHIE

N. Lanotte et S. Lem, *Sportifs high tech*, Belin/Pour la Science, 2012.

G. Dine *et al.*, HFE mutations associated with high level sport performance, *Hematologica*, vol. 96(2), p. 229, 2011.

R. Floud *et al.*, *The Changing Body : Health, Nutrition, and Human Development in the Western World since 1700*, Cambridge University Press, 2011.G.

G. Berthelot *et al.*, Athlete atypicality on the edge of human achievement : performances stagnate after the last peak, in 1988, *PLoS ONE*, vol. 5, e8800, 2010.

R. Neptune *et al.*, The influence of muscle physiology and advanced technology on sports performance, *Annual Review of Biomedical Engineering*, vol. 11, pp. 81-107, 2009.

J. Charles, The evolution of speed, size and shape in modern athletics, *The Journal of Experimental Biology*, vol. 212, pp. 2419-2425, 2009.

des derniers championnats du monde d'athlétisme en 2011. Les valeurs établies à Daegu, en Corée du Sud, étaient en effet inférieures de quatre pour cent aux records du monde en vigueur.

Le plafonnement des performances révèle que, malgré le recours aux produits dopants, les performances associées au phénotype humain (l'ensemble des caractères de notre espèce) sont intrinsèquement limitées par nos gènes et par les conditions de leur expression, c'est-à-dire par l'environnement. Si ce dernier se révélait moins favorable dans une ou plusieurs de ses composantes (climatique, économique, démographique ou culturelle), les performances optimales autorisées par le génome humain se restreindraient fortement. De fait, avec leur mesure précise et leur archivage sur plus d'un siècle, les maxima physiologiques, certifiés par le sport de haut niveau, révèlent un processus beaucoup plus global, en cours dans l'ensemble des activités humaines. En effet, les principes qui gouvernent ces progressions limitent

aussi nos taux de croissance actuels – qu'ils soient énergétiques, économiques, agricoles, technologiques ou démographiques. Et si certains frisent le zéro, beaucoup plongent déjà dans le négatif.

IL EST DIFFICILE D'IMAGINER comment progressera la recherche à laquelle se livre l'humanité pour tenter d'accroître encore ses performances.

Dès lors, que va-t-il se passer à court terme ? Un premier recul des performances se produira très probablement dès 2013. Cette cyclicité est en effet observée tous les quatre ans à l'issue de chaque olympiade. Elle traduit le renouvellement des générations sportives autant que la fatigue des meilleurs, une fois récompensés et rassurés dans leur quête de gloire.

Les athlètes continueront cependant d'éprouver leurs limites, mais dans des marges de progression de plus en plus restreintes. Ce stress supplémentaire poussera certains à s'orienter vers de nouveaux procédés illicites et indétectables. Le dopage

génétique (par détournement des thérapies géniques) apparaît comme l'ultime utopie de ces tentatives. Son échec est cependant prévisible tant sa maîtrise est, à ce jour, incertaine. De plus, la multitude des interactions entre les gènes cibles rend très aléatoire le gain de performance espéré, sans parler des déséquilibres physiologiques que ne manquera pas d'occasionner toute altération d'un génome aussi complexe que celui de l'homme. Les nombreux échecs qu'essuient les manipulations génétiques de végétaux en témoignent.

Il est donc difficile d'imaginer comment progressera la recherche à laquelle se livre l'humanité pour accroître encore ses performances sportives. Cette quête est soumise à des contraintes croissantes d'ordre technique, économique, environnemental ou sociopolitique. Une seule chose est certaine ; comme les chercheurs à l'orée d'une découverte ou les politiques à la veille d'une élection, les athlètes vont continuer à mettre tout leur talent en jeu pour atteindre leur objectif : monter sur la plus haute marche dans leur discipline. ■

universcience présente

cité des sciences et de l'industrie

Palais de la Découverte

les conférences

entrée libre

JUSQU'EN DÉCEMBRE 2012

théma La fin des mondes

Est-ce pour 2012 ? D'où vient le mythe ?

Anthropologues, économistes, astrophysiciens, biologistes et même auteurs de SF partageront leur vision de l'avenir.

En partenariat avec

Avec le soutien de

programme complet sur www.universcience.fr

