

# Les athlètes masters sont-ils des exemples de vieillissement réussi?

## Are masters athletes examples of successful aging?

Romuald LEPERS<sup>1</sup>, France MOUREY<sup>2</sup>

### RÉSUMÉ

L'athlète master est défini comme une personne âgée de plus de 40 ans qui s'entraîne régulièrement et prend part à des épreuves sportives. L'augmentation de la participation des athlètes masters dans des épreuves sportives, en particulier d'endurance, au cours des dernières décennies s'est accompagnée d'une amélioration continue de leurs performances, beaucoup plus marquée en comparaison des jeunes athlètes. L'ampleur des améliorations est d'autant plus importante que les athlètes masters sont âgés (> 60 ans). Entre 40 et 80 ans, la réduction des performances avec l'âge est globalement linéaire avec une diminution de 7-10 % par tranche de dix ans. Le déclin des performances avec l'âge dépend de la discipline (elle est moins marquée en cyclisme qu'en course à pied) et de la durée d'effort (elle est plus prononcée en marathon qu'en sprint). Les capacités musculaires et aérobie diminuent de manière constante avec l'âge. Le principal facteur physiologique expliquant la diminution des performances en endurance avec l'âge est la diminution de la consommation maximale d'oxygène ( $VO_{2max}$ ). Les athlètes masters doivent être particulièrement vigilants quant à leur santé cardiaque, ostéo-articulaire et à leur nutrition. Les athlètes masters sont souvent décrits comme un modèle expérimental du vieillissement biologique primaire (i.e. le vieillissement biologique indépendant des facteurs environnementaux et des maladies) parce qu'ils sont exempts de l'influence négative de l'inactivité physique.

**Mots clés :** Activité physique - Sport - Vieillesse - Endurance -  $VO_{2max}$

<sup>1</sup> Inserm, UMR1093, CAPS, Faculté des Sciences du sport, Université Bourgogne-Franche-Comté, Dijon, France.  
<sup>2</sup> Centre gériatrique de Champmaillot, CHU de Dijon, Dijon, France.

### ABSTRACT

A master athlete is defined as a person over 40 years old who trains regularly and competes in sports events. The increase in the participation of master athletes in sports events, particularly endurance events, over the past decades has been accompanied by a continuous improvement in their performance, which is much more pronounced in comparison to younger athletes. The magnitude of the improvements is greater the older master athletes are (> 60 years). Between the ages of 40 and 80, the reduction in performance with age is generally linear with a decrease of 7-10% per decade. The decline in performance with age depends upon the discipline (it is less marked for cycling than for running) and the effort duration (it is more pronounced for marathon than for sprint). Muscular and aerobic capacities decrease steadily with age. The main physiological factor explaining the decrease in endurance performance with age is the decrease in maximal oxygen consumption ( $VO_{2max}$ ). Master athletes need to be particularly vigilant about their cardiac, osteoarticular, and nutritional health. Master athletes are often described as an experimental model of primary biological aging (i.e. biological aging independent of environmental factors and diseases) because they are free from the negative influence of physical inactivity.

Rev Geriatr 2022 ; 47 (7) : 339-49.

**Keywords:** Physical activity - Sport - Ageing - Endurance -  $VO_{2max}$

Auteur correspondant : Professeur Romuald Lepers, Laboratoire CAPS Inserm UMR1093, UFR STAPS, BP 27877, 21078 Dijon, France.  
Courriel : romuald.lepers@u-bourgogne.fr

Article reçu le 03/03/2022 et accepté le 18/08/2022

## INTRODUCTION

Le vieillissement est un processus biologique qui peut être considérablement accéléré ou ralenti par de nombreux facteurs liés au mode de vie. En effet, les recherches sur le vieillissement s'accordent toutes pour dire que notre mode de vie a un impact majeur sur notre biologie et détermine notre âge physiologique<sup>(1-3)</sup>. L'altération de la performance motrice avec l'âge peut être, en partie, compensée par l'activité physique. L'appellation « athlètes masters » est la version anglo-saxonne, plus moderne, du terme « athlètes vétérans » encore souvent utilisé pour désigner des athlètes « âgés ». Dans la littérature scientifique, l'athlète master est généralement défini comme une personne âgée de plus de 40 ans qui s'entraîne et prend part à des épreuves sportives grand public (ex. marathons, cyclospor­tifs) et/ou des compétitions sportives réservées aux sportifs âgés (ex. championnat de France masters). On distingue globalement trois catégories d'athlètes masters<sup>(4)</sup> : i) les compétiteurs expérimentés, qui poursuivent la même activité sportive commencée depuis leur adolescence (~ 20 %), ii) les personnes qui n'hésitent pas à changer de sport pour

garder leur vie sportive agréable et motivante – dans cette catégorie, on peut aussi inclure ceux qui reprennent le sport après de longues périodes d'inactivité (~ 50 %) – et iii) les nouveaux venus qui arrivent dans le sport tardivement sans aucun passé sportif, dans le but d'être en meilleure santé (~ 30 %). L'athlète master suit en général un programme d'entraînement régulier et structuré afin de maintenir, voire améliorer, ses performances. Il pratique au moins cinq fois par semaine, plaçant son niveau d'activité hebdomadaire bien au-delà de ce qui est recommandé en termes de santé générale<sup>(5)</sup>.

L'athlète master est considéré par les scientifiques comme un modèle du vieillissement réussi<sup>(6-8)</sup> (Figure 1). Le modèle idéal du vieillissement réussi est celui qui tendrait vers un vieillissement uniquement « physiologique » ou primaire, où la personne serait exemptée des pathologies liées à la sédentarité, la malnutrition ou encore la maladie.

Dans les sports comme l'athlétisme, la natation ou encore le cyclisme, les athlètes masters sont en compétition contre le chronomètre et/ou contre les autres, avec des attentes en matière de temps et de performance. À ce jour, la littérature scientifique concerne principalement les athlètes

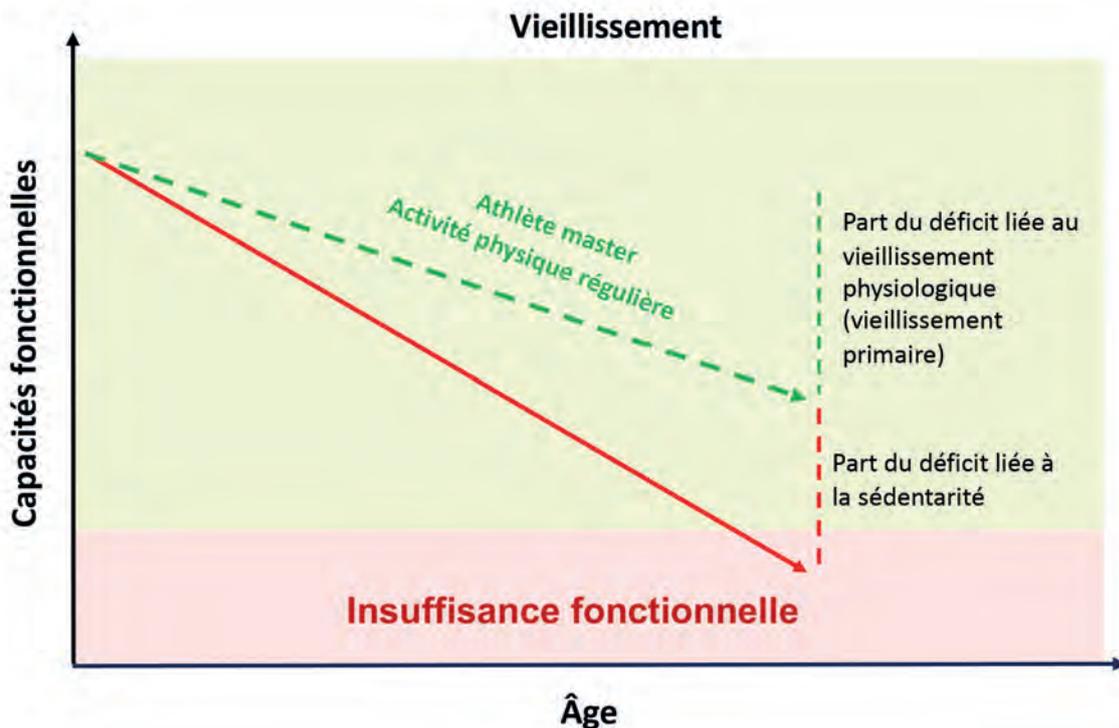


Figure 1 : L'athlète master comme modèle du vieillissement réussi. L'activité physique régulière permet dans l'idéal de limiter les effets du vieillissement sur la fonction motrice.

Figure 1: The Master Athlete as a model of successful aging. Regulating physical activity imbues the limiter ideal with the effects of movement on motor function.

masters pratiquant des sports individuels, en particulier des sports dits d'endurance. Par conséquent, cet article se focalisera principalement sur les athlètes masters pratiquant des sports d'endurance, voire d'ultra-endurance (> 6 h), car ils représentent la plus grande partie de cette population âgée sportive. De plus, une attention particulière sera portée sur les athlètes de plus de 60 ans.

## LA PARTICIPATION DES ATHLÈTES MASTERS À DES COMPÉTITIONS AUGMENTE

---

La participation des athlètes masters à des compétitions sportives spécifiques à leur âge ou à des épreuves sportives dites grand public n'a cessé d'augmenter ces dernières décennies. Par exemple, le nombre de participants aux championnats du monde Master d'athlétisme atteint désormais les 8 000 participants provenant de 100 nations différentes alors que ce nombre était d'environ 2 000 pour 40 nations dans les années 1980<sup>(9)</sup>. Les athlètes masters sont aussi de plus en plus nombreux sur les épreuves d'endurance et d'ultra-endurance. De nos jours, le pourcentage d'athlètes masculins de plus de 40 ans est souvent plus élevé que celui des moins de 40 ans sur les épreuves d'endurance en course à pied, type « marathon » ou « trail », ou en triathlon longue distance. Au Marathon de New York, par exemple, les coureurs masters masculins représentent désormais plus de 50 % du total des hommes qui terminent l'épreuve, tandis que les athlètes masters féminins représentent respectivement 40 % du total des femmes terminant l'épreuve<sup>(10)</sup>. Cette augmentation du nombre de masters sur les épreuves de masse comme les marathons a été croissante ces dernières années et s'est faite au détriment des plus jeunes, les moins de 40 ans étant de moins en moins nombreux à prendre part à ce type d'épreuves d'endurance. L'augmentation de la participation des athlètes masters n'est pas spécifique à la course à pied. Une augmentation de la participation des athlètes masculins et féminins de plus de 40 ans au cours des dernières décennies a également été observée pour le triathlon. Par exemple, au triathlon Ironman d'Hawaï considéré comme le Championnat du monde de la discipline, dans la catégorie « groupe d'âge » ou « amateur », les triathlètes masters représentaient 31 % du total des participants masculins et 23 % du total des participants féminins en 1986, alors qu'ils représentent à présent 56 % du total des participants masculins et 47 % du total des participants féminins<sup>(11)</sup>. Il faut aussi noter que l'augmentation de la participation des athlètes masters, sur marathon ou en triathlon, est d'autant plus marquée pour les groupes d'âge les plus âgés (*i.e.* au-delà de 60 ans)<sup>(10,11)</sup>.

Différents facteurs peuvent expliquer l'augmentation de la participation des athlètes masters dans les épreuves sportives, en particulier d'endurance. Avec l'âge, les athlètes se dirigent naturellement vers des distances plus longues où l'endurance et l'expérience jouent un rôle important. De plus, la santé, la forme physique, le plaisir et les facteurs sociaux sont les principaux moteurs de l'engagement sportif avec l'âge. Avec l'allongement de l'espérance de vie en bonne santé et la multiplication des structures d'entraînement (*ex.* club et coachs sportifs), les athlètes les plus âgés (> 60 ans), qui peuvent dans certains cas être à la retraite, ont souvent plus de temps et de ressources financières disponibles pour s'entraîner et participer à des compétitions. Cependant, le passé sportif, la catégorie sociale et la profession des athlètes masters restent mal connus<sup>(12)</sup>.

## LES PERFORMANCES DES ATHLÈTES MASTERS NE CESSENT DE S'AMÉLIORER

---

L'augmentation de la participation des athlètes masters aux épreuves sportives au cours des dernières décennies s'est accompagnée d'une amélioration continue de leurs performances, beaucoup plus marquée en comparaison des jeunes athlètes élites<sup>(12,13)</sup>. L'ampleur des améliorations est d'autant plus importante que les athlètes masters sont âgés (> 60 ans). On observe au fil des années une réduction progressive de l'écart entre les performances sportives des athlètes jeunes et celles des masters. Ces améliorations ont été observées, quelles que soient les disciplines (athlétisme, natation, cyclisme, triathlon) et les distances. Par exemple, il a été établi que les meilleurs marathoniens masculins de moins de 60 ans n'ont quasiment pas amélioré leurs performances au Marathon de New York au cours des trois décennies (de 1980 à 2009), alors que les meilleurs temps dans la catégorie d'âge 70-74 ans ont diminué de 7 % au cours de cette même période<sup>(10)</sup>. Les masters femmes ont suivi les mêmes tendances, mais les améliorations se sont produites à partir des catégories d'âge au-delà de 50 ans et ont été encore plus importantes que chez les hommes. En triathlon, qui est un sport relativement plus jeune que le marathon, l'amélioration des performances des masters est même plus importante que pour le marathon. Par exemple, au triathlon Ironman d'Hawaï, les triathlètes masculins de la tranche d'âge 60-64 ans ont amélioré leurs performances de 20 % en 25 ans (entre 1986 et 2010). Le même gain de 20 % a été constaté pour les meilleures triathlètes féminines de la catégorie 50-54 ans<sup>(11)</sup>.

L'un des principaux facteurs contribuant à cette amélioration des performances chez les athlètes masters est certainement leur participation croissante aux événements sportifs

et le renforcement de l'esprit de compétition, qui majorent la possibilité d'obtenir de meilleurs résultats. D'autres raisons peuvent expliquer l'amélioration des performances, comme le plus grand nombre d'installations sportives, les nouvelles méthodes d'entraînement (p. ex. entraînement combinant de la force et de l'endurance, entraînement polarisé), les stratégies nutritionnelles qui sont, à présent, également disponibles pour les athlètes masters<sup>(14)</sup>.

## LE DÉCLIN DES PERFORMANCES SPORTIVES AVEC L'ÂGE

Le déclin des performances sportives avec l'âge est bien décrit dans la littérature pour les disciplines de l'athlétisme, en natation, en cyclisme ou des sports d'ultra-endurance comme le triathlon<sup>(15-18)</sup>. Les performances sportives se dégradent avec l'âge, quelles que soient les disciplines et les distances. La *figure 2* montre par exemple l'évolution des records sur marathon et sur 100 m en fonction de l'âge. Les temps augmentent de façon linéaire jusqu'à 80 ans et de façon exponentielle ensuite. Les causes de cette « casure » dans les performances à partir de 80 ans environ ne sont pas claires. Des explications d'ordre physiologique sont possibles (ex. déclin plus marqué des capacités aérobie et/ou musculaires après 80 ans), mais le faible taux de participation à ces âges très avancés réduit aussi la probabilité de trouver des athlètes exceptionnellement performants à plus de 80 ans. En réalité, ces deux facteurs peuvent être liés. En effet, la diminution des capacités physiques entraîne un déclin de la participation, car ces personnes pourraient ne plus se « sentir capables ». De plus, la prévalence d'un grand nombre de pathologies (ou de troubles ostéo-articulaires) augmente avec l'âge, réduisant à la fois les performances physiques et la participation.

Entre 40 et 80 ans, la réduction des performances avec l'âge est globalement linéaire. Sur marathon, si on se base sur les records du monde par groupe d'âge chez les hommes, cela correspond à 17 min de plus sur marathon tous les dix ans. Sur 100 m, les performances chronométriques augmentent d'environ 1,1 s tous les dix ans. Si on raisonne en termes de vitesse de course, la réduction de performance correspond à 8,5 % par décennie sur marathon et 8 % sur 100 m. Il faut cependant préciser que cette estimation du déclin est basée sur les records du monde qui appartiennent la plupart du temps à des individus différents ; et par conséquent, elle présente une limite, car les données sont transversales et non longitudinales. Chez certains individus très entraînés, le taux de réduction des performances peut être inférieur à 8 % par décennie au moins jusqu'à 60 ans. Une étude récente a montré les athlètes « *5 Decades of Sub 3 marathons* » (*D5S3 runners*), c'est-à-dire des coureurs

ayant réalisé un marathon en moins de trois heures sur cinq décennies (1970, 1980, 1990, 2000, 2010) avaient une réduction moyenne de leur performance d'environ 6,5 % par décennie. Leur meilleure performance était en moyenne 2 h 27 min à 26 ans et celle de leur dernier marathon 2 h 53 min à 54 ans<sup>(19)</sup>. Autre exemple, la réduction des performances du marathonien irlandais Tommy Hughes actuel détenteur de la meilleure performance mondiale de la catégorie 60-64 ans sur marathon (2 h 30 min à 60 ans), correspond à seulement 5 % par décennie, ce qui représente une des valeurs les plus basses dans la littérature pour un ex-athlète de haut niveau<sup>(20)</sup>. Il faut cependant mentionner que Tommy Hughes a eu une interruption d'entraînement de seize années entre 32 et 48 ans. Cette grande période d'inactivité sportive lui a peut-être permis de limiter « l'usure » physique et psychologique liée à une charge d'entraînement trop importante s'il n'y avait pas eu cette coupure. De même, le Canadien Ed Whitlock, recordman du marathon dans les catégories 75-80 ans et 80-85 ans, après avoir couru dans sa jeunesse jusqu'à la sortie de l'Université, a ensuite arrêté de courir jusqu'à l'âge de 41 ans<sup>(21)</sup>. Ces exemples sont intéressants et suggèrent qu'une stratégie pour rester très performant avec l'âge serait peut-être de pratiquer des périodes de coupure importantes avec l'entraînement au cours de la vie.

Cernant la natation, l'altération des performances avec l'âge est un peu moins marquée qu'en course à pied. Entre 40 et 80 ans, sur 100 m nage libre, on observe une réduction de performance en termes de vitesse équivalente 7,2 % par tranche de 10 ans. Sur 800 m nage libre, le déclin de performance est légèrement plus faible que sur 100 m avec 6,8 % tous les 10 ans. Les raisons de ces différences spécifiques à la discipline sportive ne sont pas claires. La performance en natation est plus dépendante de la technique gestuelle que des capacités physiques, que la performance en course à pied. Une autre explication serait une incidence plus faible des blessures en natation par rapport à la course à pied. La baisse des performances en course à pied avec l'âge pourrait être partiellement attribuée à une incidence accrue des blessures impliquant le système musculo-squelettique (os, cartilage, ligaments, tendons, muscles), ce qui limiterait le volume d'entraînement des coureurs avec l'avancée de l'âge. Les blessures avec l'âge en natation (par ex. au niveau des membres supérieurs) sont aussi présentes, mais à un degré moindre.

Il semblerait que les altérations des performances avec l'âge dépendent du mode de locomotion<sup>(16,17)</sup>. Le triathlon, qui comprend trois disciplines (natation, cyclisme et course à pied), offre la possibilité de comparer les baisses des performances liées à l'âge dans les trois modes de locomotion pour un même athlète. Les performances du triathlon diminuent de manière curvilinéaire avec l'âge, mais il a été

Les athlètes masters sont-ils des exemples de vieillissement réussi?  
Are masters athletes examples of successful aging?

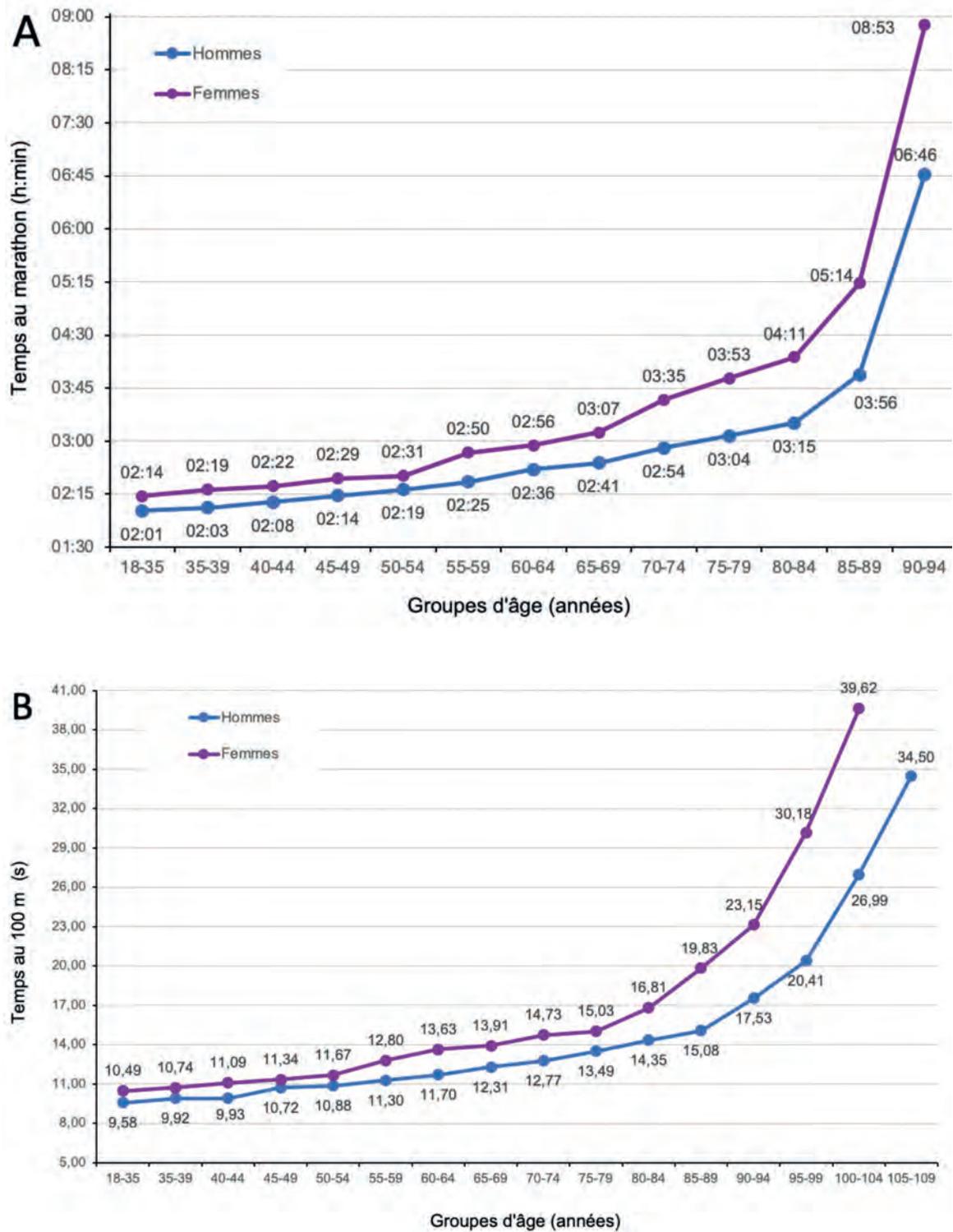


Figure 2 : Panel A : Records du monde du marathon pour les différents groupes d'âge hommes et femmes. Temps arrondis à la minute. Panel B : Records du monde du 100 m pour les différents groupes d'âge d'hommes et de femmes. Source WMA (<https://world-masters-athletics.com>).

Figure 2: Panel A: Marathon world records for the different male and female age groups. Times rounded to the minute. Panel B: World records in the 100 m for the different age groups of men and women.

observé une baisse des performances liée à l'âge plus faible en cyclisme qu'en course à pied et en natation (Figure 3). Plusieurs hypothèses (biomécaniques, énergétiques, traumatologiques...) ont été proposées pour expliquer la baisse moins importante des performances cyclistes avec l'âge. Cependant, ces hypothèses restent spéculatives et nécessitent des investigations supplémentaires, mais ces données suggèrent que le cyclisme est la discipline en triathlon pour laquelle il est le plus facile de maintenir le plus haut niveau de performance avec l'âge.

Il a été montré que les différences de performances entre les sexes (environ égales à 10 % chez les sportifs élités jeunes) ont tendance à augmenter avec l'âge. Cependant, ceci semble être dû à un taux de participation plus faible chez les femmes pour les catégories les plus âgées, et non à un déclin des fonctions physiologiques lié à l'âge plus important chez les femmes que chez les hommes<sup>(22)</sup>. Des études plus récentes montrent en effet une relative stabilité des différences de performances entre les sexes avec l'âge, suggérant que le déclin des fonctions physiologiques lié au vieillissement ne diffère pas entre les hommes et les femmes<sup>(10)</sup>. À l'avenir, les différences entre les sexes en matière de performances devraient être les mêmes pour

toutes les catégories d'âge, du moins si on considère les meilleurs athlètes masters hommes et femmes.

## LES CHANGEMENTS PHYSIOLOGIQUES LIÉS À L'ÂGE

### L'effet de l'âge sur les capacités aérobies

L'aptitude aérobique est une qualité essentielle au déplacement locomoteur. La consommation maximale d'oxygène ou capacité maximale aérobique ( $VO_{2max}$ ), qui est un indice de cette aptitude, constitue un très bon prédicteur de l'état de santé et des capacités fonctionnelles de la personne âgée. La  $VO_{2max}$  décroît avec l'âge et une valeur de 15-18 mL/kg/min est souvent considérée comme une valeur minimale pour maintenir les activités classiques de la vie quotidienne. La littérature scientifique s'accorde sur une diminution graduelle normale de la  $VO_{2max}$  de l'ordre de 5 à 10 % par décennie à partir de l'âge adulte<sup>(23-29)</sup>. Ce déclin résulterait, entre autres, d'altérations liées au vieillissement, du volume pulmonaire, de l'efficacité du muscle cardiaque et du système artérioveineux, du taux d'hémoglobine et de la proportion de mitochondries au niveau musculaire<sup>(8,24)</sup>. Les études récentes montrent que le déclin absolu de  $VO_{2max}$  avec l'âge

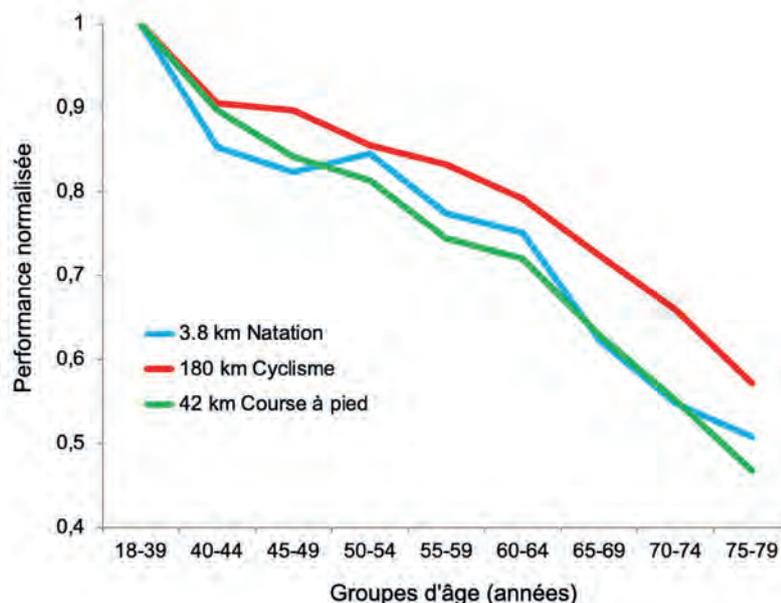


Figure 3 : Baisse des performances en natation, en cyclisme et en course à pied, liée à l'âge, lors du triathlon Ironman d'Hawaï (données établies pour les 5 premiers de chaque groupe d'âge en 2017). La baisse des performances liée à l'âge est moins importante en cyclisme qu'en course à pied et en natation (d'après Lepers *et al.*<sup>(16)</sup>).

Figure 3: Age-related drop in swimming, cycling and running performance in the Hawaii Ironman triathlon (data established for the top 5 in each age group in 2017). The age-related decline in performance is less significant in cycling than in running and swimming (from Lepers *et al.*<sup>(16)</sup>).

(en  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ), mais pas le déclin relatif (en  $\%\cdot\text{an}^{-1}$ ), semble plus important chez les athlètes entraînés en endurance par rapport à leurs homologues sédentaires en bonne santé. Cette différence ne semble pas être liée à des changements associés à l'âge en termes de fréquence cardiaque maximale, de composition corporelle ou de facteurs d'entraînement, mais à un effet de valeurs initiales. En termes simples, les individus présentant les niveaux les plus élevés de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  à l'âge adulte présentent les taux de déclin les plus élevés avec l'âge (plus la  $\text{VO}_{2\text{max}}$  est importante quand on est jeune, plus on perd de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  en valeur absolue avec l'âge)<sup>(25)</sup>. Lorsque cet effet de base est supprimé en exprimant les données en pourcentage de variation, les taux de déclin de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  avec l'âge chez les adultes entraînés en endurance et les adultes sédentaires sont similaires. Il est intéressant de noter que le déclin relatif de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  lié à l'âge semble similaire entre les hommes et les femmes. Les hommes ont des niveaux plus élevés de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  en tant que jeunes adultes par rapport aux femmes, mais démontrent un taux absolu de déclin plus important de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  avec l'âge par rapport aux femmes. Toutefois, lorsque le déclin est exprimé en pourcentage, les différences liées au sexe ne sont plus évidentes. Enfin, il faut bien noter aussi que les personnes inactives présentent en général une réduction progressive de la  $\text{VO}_{2\text{max}}$  dès 25 ans alors que pour les athlètes entraînés en endurance cette baisse commence à être significative seulement à partir de 45 ans. Il a également été montré que les adultes plus âgés (> 65 ans) qui maintiennent des niveaux élevés d'exercice d'endurance au cours de leur vie (> 20-25 ans d'expérience dans l'exercice d'endurance) atténuent ou même préviennent le déclin de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  lié à l'âge par rapport à ceux qui restent inactifs<sup>(27)</sup>. La  $\text{VO}_{2\text{max}}$  n'est pas le seul facteur de la performance en endurance. Deux autres facteurs permettent de maintenir une vitesse (en course à pied) ou une puissance (en cyclisme) élevée pendant une durée prolongée : la capacité à soutenir un pourcentage de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  le plus élevé possible pendant la durée de l'effort (que l'on définit comme l'endurance) et l'économie du geste (appelé coût énergétique en course à pied). Deux études de cas réalisées chez des coureurs masters marathoniens de très haut niveau ont montré que le coût énergétique de ces deux athlètes masters n'était pas spécialement dégradé avec l'âge. Par contre, ces athlètes masters couraient leur marathon à une vitesse sollicitant 91-93 % de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  démontrant une exceptionnelle endurance cardio-respiratoire<sup>(20,29)</sup>. Les athlètes masters pourraient donc compenser en partie la perte de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  par une très bonne endurance. De manière générale, les fonctions pulmonaires, cardiaques, vasculaires, musculaires et la capacité à transporter l'oxygène sont moins altérées chez l'athlète master en comparaison avec des individus âgés non entraînés<sup>(24)</sup>. Par rapport aux individus non entraînés,

l'athlète master présente : une diminution de la fibrose cardiaque, une amélioration de la densité capillaire musculaire, une préservation de la masse musculaire, un maintien du niveau d'hémoglobine et une meilleure capacité oxydative au niveau musculaire<sup>(24)</sup>.

### L'effet de l'âge sur les capacités musculaires

En plus des altérations de la capacité aérobie, les athlètes masters présentent également des diminutions de la masse musculaire liées à l'âge<sup>(30)</sup>. Le vieillissement général est associé à une altération de la performance du muscle et plus généralement du système neuromusculaire qui le commande. La diminution de la masse musculaire s'explique principalement par une apoptose cellulaire, c'est-à-dire une perte programmée des nerfs qui commandent le muscle. La conséquence de l'apoptose est la diminution du nombre d'unités motrices, plus évidente après 60 ans<sup>(31)</sup>. La diminution de la surface anatomique est également due à une diminution de la taille des cellules musculaires due à des niveaux d'activité physique qui diminuent avec l'âge. Cela se traduit par une diminution de la surface de section anatomique du muscle, qui concerne principalement les surfaces musculaires contractiles, alors que les tissus non contractiles (tissus conjonctifs et adipeux) augmentent avec l'âge. La diminution du nombre d'unités motrices et de la taille des fibres musculaires impacte principalement les fibres rapides, qui sont les moins utilisées, mais un entraînement régulier tout au long de la vie ou même une reprise tardive de l'entraînement peuvent permettre de maintenir un capital musculaire important même à des âges avancés<sup>(31-33)</sup>. La cause principale de la perte de masse musculaire serait une réduction de la sollicitation musculaire plutôt que l'effet de l'âge proprement dit. Le vieillissement résulte d'une atteinte aussi bien quantitative (masse musculaire) que qualitative (force/puissance musculaire) du tissu musculaire. Il faut différencier les pertes de masse musculaire et les pertes de force/puissance musculaire, qui ne sont pas directement proportionnelles. Dans la population générale, la force isométrique maximale décroît d'environ 7-10 % par décennie, après 30 ans. La perte de force lors de contractions concentriques serait un peu plus prononcée que la perte de force isométrique, ce qui impacterait donc plus la puissance musculaire<sup>(34)</sup>.

### CONSIDÉRATIONS MÉDICALES

Il est prouvé que l'activité physique réduit considérablement le risque de nombreux problèmes médicaux et que les athlètes masters ont un risque moins élevé de maladies chroniques que leurs homologues sédentaires, mais certains aspects (ex. cardiaque, ostéo-articulaire ou hydrique) sont à prendre en considération compte tenu de l'important

volume d'entraînement<sup>(35-37)</sup> de ces hommes et de ces femmes. Par exemple, la fibrillation atriale, qui se manifeste par des contractions rapides et désordonnées des oreillettes, est la plus fréquente des arythmies cardiaques; elle augmente avec l'âge avec une prévalence de 9 % chez les adultes de plus de 80 ans. La participation à des exercices d'endurance de longue durée et de haute intensité est associée à un risque accru de développer la fibrillation atriale<sup>(38)</sup>. Il semble y avoir en effet un lien entre l'entraînement en endurance de longue durée et la fibrillation atriale. La présence d'une fibrillation atriale permanente ne constitue toutefois pas une contre-indication à la pratique des activités sportives, mais elle peut diminuer les performances maximales à l'exercice, d'autant plus que le sujet est âgé et dépendant de la contribution atriale au remplissage ventriculaire. Une synthèse des études évaluant l'incidence de la fibrillation atriale chez les athlètes a révélé que le risque global est environ cinq fois plus élevé chez les athlètes pratiquant des sports d'endurance par rapport à la population générale. L'incidence de la fibrillation atriale chez les athlètes masters d'endurance est associée au nombre d'années de pratique<sup>(39)</sup>, mais la pathophysiologie de la fibrillation atriale induite par un exercice physique intense est, à ce jour, encore mal comprise. Un suivi médical régulier, notamment auprès d'un cardiologue, est fortement recommandé pour les athlètes masters<sup>(40,41)</sup>. Les recommandations de l'American College of Cardiology permettent aux sportifs atteints de fibrillation atriale asymptomatique, en l'absence de cardiopathie structurelle, de participer à des sports en compétition tant qu'ils maintiennent un rythme ventriculaire qui augmente et diminue en réponse au niveau d'activité d'une manière comparable à celle d'un rythme sinusal normal tout en ne recevant aucun traitement médicamenteux contre les arythmies.

L'athlète master doit être aussi attentif à sa glycémie sachant qu'un déclin de la tolérance au glucose et de la sensibilité à l'insuline est généralement observé avec le vieillissement<sup>(42,43)</sup>. Cependant, il a été montré que des athlètes masters âgés en moyenne de 60 ans présentaient une tolérance au glucose normale et des taux d'insuline plasmatique plus faibles (à jeun et après ingestion de glucose) par rapport à des hommes du même âge non entraînés. Les taux de glycémie et d'insuline des athlètes masters étaient aussi bas que ceux des jeunes athlètes<sup>(44)</sup>.

La relation de cause à effet possible entre l'exercice et l'arthrose chez les personnes âgées est encore controversée. Bien que les études indiquent que l'exercice et l'activité physique peuvent avoir un effet généralement positif sur la métrique du cartilage sain, le risque de développement de l'arthrose semble être modérément augmenté par la pratique d'un sport<sup>(45)</sup>. Les lésions articulaires associées à la pratique d'un sport peuvent être largement responsables de

cette augmentation du risque. La participation à des sports qui causent un impact minimal et une faible torsion sur les articulations ne devrait pas augmenter le risque d'arthrose chez les personnes dont les articulations et la fonction neuromusculaire sont normales. Les sports qui soumettent les articulations à des niveaux élevés d'impact et de charge en torsion (ex. sports collectifs, tennis, course à pied en compétition) augmentent cependant le risque de dégénérescence articulaire induite par les blessures<sup>(46)</sup>.

Enfin, la déshydratation doit être une préoccupation importante chez l'athlète master. La diminution de la réponse à la soif et une fonction rénale réduite augmentent le risque de déshydratation chez les sujets âgés, en particulier lors d'exercices à des températures extrêmes<sup>(47)</sup>. De plus, le mécanisme de thermorégulation et de transpiration est affecté par l'âge<sup>(47)</sup>. Cependant, il est difficile de recommander un programme spécifique de remplacement du liquide et des électrolytes qui convienne à chaque athlète en raison de la grande variabilité du type d'exercice, des exigences métaboliques, de la durée, des vêtements, de l'équipement, des conditions météorologiques et des facteurs personnels, tels que la prédisposition génétique, l'acclimatation à la chaleur et le statut d'entraînement. Les athlètes plus âgés présentent souvent une excrétion plus lente de l'eau et des électrolytes, ce qui augmente le risque d'hyponatrémie avec un excès d'eau et le risque d'hypertension suite à une ingestion excessive de sodium<sup>(48)</sup>. Il convient d'en discuter avec l'athlète master, car, bien que la déshydratation soit plus fréquente, la surconsommation d'eau avec une hyponatrémie symptomatique consécutive peut être dangereuse.

## L'ATHLÈTE MASTER : UN MODÈLE DU BIEN-VEILLIR?

---

Le vieillissement de la population mondiale et la présence de risques pour la santé associés à l'âge nécessitent des recherches sur la façon de promouvoir un vieillissement réussi; celui-ci pouvant être défini comme un processus caractérisé par un fonctionnement physique, psychologique, cognitif et social suffisant. Il a été démontré que l'activité physique et une meilleure condition physique favorisent un vieillissement réussi dans la population générale. Chez les adultes de plus de 18 ans et même au-delà de 65 ans, les recommandations hebdomadaires en termes d'activité physique sont : i) au moins 150 à 300 minutes d'activité d'endurance à intensité modérée ou ii) au moins 75 à 150 minutes d'activité d'endurance d'intensité soutenue; ou une combinaison équivalente d'activités d'intensité modérée et soutenue tout au long de la semaine. De plus, il est fortement recommandé de pratiquer au moins deux fois par semaine des activités de renforcement musculaire d'intensité

modérée ou supérieure – qui sollicitent les principaux groupes musculaires –, celles-ci procurant des bienfaits supplémentaires pour la santé<sup>(49)</sup>. Les résultats d'études récentes conduites sur des athlètes masters ayant pratiqué pendant des années montrent que la pratique d'un sport d'endurance ne permet pas de conserver la force musculaire en comparaison des personnes âgées qui ne faisaient pas d'exercice<sup>(50)</sup>. À l'échelle de la fibre isolée, les activités d'endurance renforcent la force développée par les fibres lentes, mais n'ont aucun effet sur la force développée par les fibres rapides, démontrant la nécessité d'effectuer du renforcement musculaire en complément des sports d'endurance<sup>(51)</sup>. Pour que les athlètes masters se rapprochent d'un modèle du bien-vieillir, il semble donc important qu'ils associent du renforcement musculaire en complément de leur activité d'endurance.

Les athlètes masters entraînés en endurance constituent sûrement la sous-cohorte la plus active physiquement et la plus en forme de la population des adultes âgés. Par conséquent, en raison de leur capacité physique fonctionnelle remarquable (évaluée par la performance sportive) et de leurs capacités et caractéristiques physiologiques, les athlètes masters sont régulièrement proposés comme un modèle de vieillissement réussi. Cependant, ce modèle reste limité parce qu'il adopte une vision étroite de la cohorte hétérogène des athlètes masters et du processus multidimensionnel du vieillissement. Ainsi, les études antérieures sur le vieillissement des athlètes masters ne permettent pas de réellement conclure sur l'état général du vieillissement des athlètes masters dans son ensemble, car elles n'ont pas examiné en profondeur d'autres aspects du vieillissement (par exemple, psychologique ou cognitif) et les différents types d'athlètes masters (par exemple, novices, récréatifs, athlètes de sports collectifs). Ainsi, on ne peut pas conclure que tous les athlètes masters sont des exemples de vieillissement réussi<sup>(6,52)</sup>.

Des études futures visant à déterminer si les données d'une cohorte d'athlètes masters correspondent à un modèle de vieillissement réussi intégrant des mesures du fonctionnement physique, psychologique, cognitif et social sont

nécessaires. De plus, des recherches complémentaires sont nécessaires pour différencier les avantages d'un vieillissement réussi dérivés du sport et ceux dérivés d'une participation à une activité physique moins structurée et non compétitive. Les athlètes masters ont été utilisés comme modèle expérimental du vieillissement biologique primaire (*i.e.* le vieillissement biologique indépendant des facteurs environnementaux et des maladies) parce qu'ils sont essentiellement exempts de l'influence négative de l'inactivité physique<sup>(8)</sup>. Les niveaux élevés d'activité physique pratiquée par les athlètes masters semblent préserver le fonctionnement physique et induire un vieillissement physique réussi. Cependant, nous ne connaissons pas : (i) toute l'étendue des avantages du sport en termes de fonctionnement physique par rapport aux formes moins structurées et non compétitives d'activité physique ; (ii) quels types, volumes et intensités de sport et d'activité physique sont les plus efficaces pour le fonctionnement physique ; et (iii) comment les différents types, volumes et intensités de sport et d'activité physique influencent le vieillissement dans les domaines de fonctionnement psychologique, cognitif et social qui sont aussi inclus dans la définition du vieillissement réussi. Les sociologues des sciences du sport identifient fréquemment des problèmes tels que les résultats négatifs liés au sport, la capacité, l'accès et l'équité à la participation sportive lorsque les athlètes masters sont proposés comme des exemples de vieillissement réussi<sup>(53)</sup>. Par conséquent, les études visant à développer des stratégies pour tempérer les conséquences négatives de la participation sportive en fin de vie et examiner certains des problèmes d'accès et d'équité seraient perspicaces. Il est donc nécessaire de savoir comment les variables modératrices telles que le sexe et le statut socio-économique influencent la relation entre le sport master et le vieillissement réussi. Enfin, il est bon de rappeler que la pratique d'une activité physique régulière sur le long terme, même non structurée, serait bénéfique pour la santé et permettrait aussi un vieillissement réussi<sup>(54)</sup>. ■

*Liens d'intérêts :* Romuald Lepers est l'auteur du livre *Athlète master, s'entraîner et performer à 40, 50 ans et plus...*, présenté en annexe de cet article.

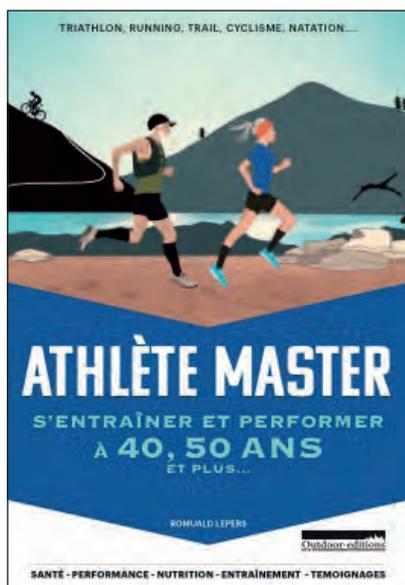
## RÉFÉRENCES

1. **Lazarus NR, Lord JM, Harridge SDR.** The relationships and interactions between age, exercise and physiological function. *J Physiol* 2019 ; 597 : 1299-309.
2. **Galloway MT, Jokl P.** Aging successfully: the importance of physical activity in maintaining health and function. *J Am Acad Orthop Surg* 2000 ; 8 : 37-44.
3. **Singh MA.** Exercise and aging. *Clin Geriatr Med* 2004 ; 20 : 201-21.
4. **McGrath D.** 50 Athletes over 50: Teach us to live a strong, healthy life. Wise Media Group, Denver (CO). 2010.
5. **Soto-Quijano DA.** The Competitive Senior Athlete. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2017 ; 28 (4) : 767-76.
6. **Geard D, Reaburn PRJ, Rebar AL, Dionigi RA.** Masters Athletes: Exemplars of Successful Aging? *J Aging Phys Act* 2017 ; 25 : 490-500.
7. **Lazarus NR, Harridge SDR.** Declining performance of master athletes: silhouettes of the trajectory of healthy human ageing? *J Physiol* 2017 ; 595 (9) : 2941-8.

## Les athlètes masters sont-ils des exemples de vieillissement réussi? Are masters athletes examples of successful aging?

8. **Tanaka H, Seals DR.** Invited Review: Dynamic exercise performance in masters athletes: insight into the effects of primary human aging on physiological functional capacity. *J Appl Physiol* 2003 ; 95 : 2152-62. <https://world-masters-athletics.com>
9. **Lepers R.** Athlète master. S'entraîner et performer à 40, 50 ans et plus. Outdoor Éditions, Lyon. 2021.
10. **Lepers R, Cattagni T.** Do older athletes reach limits in their performance during marathon running? *Age (Dordr)* 2012 ; 34 : 773-81.
11. **Lepers R, Rüst CA, Stapley PJ, Knechtle B.** Relative improvements in endurance performance with age: evidence from 25 years of Hawaii Ironman Racing. *Age (Dordr)* 2013 ; 35 : 953-62.
12. **Lepers R, Stapley PJ.** Master Athletes Are Extending the Limits of Human Endurance. *Front Physiol* 2016 ; 12 (7) : 613.
13. **Marck A, Antero J, Berthelot G, Johnson S, Sedeaud A, Leroy A, et al.** Age-Related Upper Limits in Physical Performances. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2019 ; 23 : 591-9.
14. **Louis J, Vercruyssen F, Dupuy O, Bernard T.** Nutrition for master athletes: Is there a need for specific recommendations? *J Aging Phys Act* 2019 ; 17 : 1-10.
15. **Baker AB, Tang YQ.** Aging performance for masters records in athletics, swimming, rowing, cycling, triathlon, and weightlifting. *Exp Aging Res* 2010 ; 36 : 453-77.
16. **Lepers R, Sultana F, Bernard T, Hausswirth C, Brisswalter J.** Age-related changes in triathlon performances. *Int J Sports Med* 2010 ; 31 : 251-6.
17. **Bernard T, Sultana F, Lepers R, Hausswirth C, Brisswalter J.** Age related decline in Olympic triathlon performance: effect of locomotion mode. *Exp Aging Res* 2010 ; 36 : 1-15.
18. **Lepers R, Knechtle B, Stapley PJ.** Trends in triathlon performance: Effects of sex and age. *Sports Med* 2013 ; 43 : 851-63.
19. **Lepers R, Burfoot A, Stapley PJ.** Sub 3-hour marathon runners for five consecutive decades demonstrate a reduced age-related decline in performance. *Front Physiol* 2021 ; 23-12 : 649282.
20. **Lepers R, Bontemps B, Louis J.** Physiological Profile of a 59-Year-Old Male World Record Holder Marathoner. *Med Sci Sports Exerc* 2020 ; 52 (3) : 623-6.
21. **Lepers R, Cattagni T.** Age-related decline in endurance running performance: An example of a multiple World records holder. *Appl Physiol Nutr Metab* 2018 ; 43 (1) : 98-100.
22. **Hunter SK, Stevens AA.** Sex differences in marathon running with advanced age: physiology or participation? *Med Sci Sports Exerc* 2013 ; 45 : 148-56.
23. **Maharam LG, Bauman PA, Kalman D, Skolnik H, Perle SM.** Masters athletes: factors affecting performance. *Sports Med* 1999 ; 28 : 273-85.
24. **Valenzuela PL, Maffuletti NA, Joyner MJ, Lucia A, Lepers R.** Life-long endurance exercise as a countermeasure against age-related  $\dot{V}O_{2max}$  decline: Physiological overview and insights from masters athletes. *Sports Med* 2020 ; 50 (4) : 703-16.
25. **Katzel LI, Sorkin JD, Fleg JL.** A comparison of longitudinal changes in aerobic fitness in older endurance athletes and sedentary men. *J Am Geriatr Soc* 2001 ; 49 : 1657-64.
26. **Kasch FW, Van Camp S, Netti F, Wallace JP.** Cardiovascular changes with age and exercise: a 28-year longitudinal study. *Scand J Med Sci Sports*. 1995 ; 5 : 147-51.
27. **Rogers MA, Hagberg JM, Martin WH, Ehsani AA, Holloszy JO.** Decline in  $\dot{V}O_{2max}$  with aging in master athletes and sedentary men. *J Appl Physiol* 1990 ; 68 : 2195-9.
28. **Trappe S, Hayes E, Galpin A, Kaminsky L, Jemiolo B, Fink W, et al.** New records in aerobic power among octogenarian lifelong endurance athletes. *J Appl Physiol* 2013 ; 1 : 3-10.
29. **Robinson AT, Watso JC, Babcock MC, Joyner MJ, Farquhar WB.** Record-breaking performance in a 70-year-old marathoner. *N Engl J Med* 2019 ; 380 : 1485-6.
30. **Mckendry J, Breen L, Shad BJ, Greig CA.** Muscle morphology and performance in master athletes: A systematic review and meta-analyses. *Ageing Res Rev* 2018 ; 45 : 62-82.
31. **Piasecki M, Ireland A, Coulson J, Stashuk DW, Hamilton-Wright A, et al.** Motor unit number estimates and neuromuscular transmission in the tibialis anterior of master athletes: evidence that athletic older people are not spared from age-related motor unit remodeling. *Physiol Rep* 2016 ; 4 : e12987.
32. **Wroblewski AP, Amati F, Smiley MA, Goodpaster B, Wright V.** Chronic exercise preserves lean muscle mass in masters athletes. *Phys Sportsmed* 2011 ; 39 : 172-8.
33. **Distefano G, Goodpaster BH.** Effects of exercise and aging on skeletal muscle. *Cold Spring Harb Perspect Med* 2018 ; 8 (3) : a029785.
34. **Izquierdo M, Ibañez J, Gorostiaga E, Garrues M, Zúñiga A, Anton A, et al.** Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiol Scand* 1999 ; 167 : 57-68.
35. **Tayrose GA, Beutel BG, Cardone DA, Sherman OH.** The Masters Athlete: A Review of Current Exercise and Treatment Recommendations. *Sports Health* 2015 ; 7 : 270-6.
36. **Wright VJ.** Masterful care of the aging triathlete. *Sports Med Arthrosc Rev* 2012 ; 20 : 231-6.
37. **Powell AP.** Issues unique to the masters athlete. *Curr Sports Med Rep* 2005 ; 4 : 335-40.
38. **Elliott AD, Linz D, Verdicchio CV, Sanders P.** Exercise and Atrial Fibrillation: Prevention or Causation? *Heart Lung Circ* 2018 ; 27 : 1078-85.
39. **Shapero K, Deluca J, Contursi M, Wasfy M, Weiner RB, Lewis GD, et al.** Cardiovascular risk and disease among masters endurance athletes: Insights from the Boston MASTER (Masters Athletes Survey To Evaluate Risk) Initiative. *Sports Med Open* 2016 ; 2 : 29.
40. **Churchill TW, Baggish AL.** Cardiovascular Care of Masters Athletes. *J Cardiovasc Transl Res* 2020 ; 13 : 313-21.
41. **Beaumont A, Campbell A, Grace F, Sculthorpe N.** Cardiac Response to Exercise in Normal Ageing: What Can We Learn from Masters Athletes? *Curr Cardiol Ver* 2018 ; 14 : 245-53.
42. **Rogers MA, King DS, Hagberg JM, Ehsani AA, Holloszy JO.** Effect of 10 days of physical inactivity on glucose tolerance in master athletes. *J Appl Physiol* 1990 ; 68 (5) : 1833-7.
43. **Rosenbloom C, Bahns M.** What can we learn about diet and physical activity from master athletes? *Holist Nurs Pract.* 2006 ; 20 : 161-6.
44. **Seals DR, Hagberg JM, Allen WK, Hurley BF, Dalsky GP, Ehsani AA, et al.** Glucose tolerance in young and older athletes and sedentary men. *J Appl Physiol* 1984 ; 56 : 1521-5.
45. **Runhaar J, Luijsterburg P, Dekker J, Bierma-Zeinstra SM.** Identifying potential working mechanisms behind the positive effects of exercise therapy on pain and function in osteoarthritis; a systematic review. *Osteoarthritis Cartilage* 2015 ; 23 : 1071-82.
46. **Buckwalter JA, Martin JA.** Sports and osteoarthritis. *Curr Opin Rheumatol* 2004 ; 16 : 634-9.
47. **Blatteis CM.** Age-dependent changes in temperature regulation: a mini review. *Gerontology* 2012 ; 58 : 289-95.
48. **Knechtle B, Gnädinger M, Knechtle P, Imoberdorf R, Kohler G, Ballmer P, et al.** Prevalence of exercise-associated hyponatremia in male ultraendurance athletes. *Clin J Sport Med* 2011 ; 21 : 226-32.
49. **Organisation mondiale de la santé (OMS).** Activité physique [Internet]. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
50. **Chambers TL, Burnett TR, Raue U, Lee GA, Finch WH, Graham BM, et al.** Skeletal muscle size, function, and adiposity with lifelong aerobic exercise. *J Appl Physiol* 2020 ; 128 : 368-78.
51. **Grosicki GJ, Gries KJ, Minchev K, Raue U, Chambers TL, Begue G, et al.** Single muscle fibre contractile characteristics with lifelong endurance exercise. *J Physiol* 2021 ; 599 : 3549-65.
52. **Hawkins SA, Wiswell RA, Marcell TJ.** Exercise and the master athlete—a model of successful aging? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2003 ; 58 (11) : 1009-11.
53. **Dionigi RA.** The competitive older athlete. A Review of Psychosocial and Sociological Issues. *Topics in Geriatric Rehabilitation* 2016 ; 32 : 55-62.
54. **Power GA, Dalton BH, Doherty TJ, Rice CL.** If you don't use it you'll likely lose it. *Clin Physiol Funct Imaging* 2016 ; 36 : 497-8.

## ANNEXE



### Athlète master, s'entraîner et performer à 40, 50 ans et plus... **Romuald LEPERS**

Un participant sur deux au Marathon de Paris, à l'Ultra-Trail du Mont Blanc ou encore à l'Ironman d'Hawaii a plus de 40 ans et rentre dans la catégorie des « athlètes masters ». Certains pratiquent depuis leur plus jeune âge et sont devenus des experts dans leur discipline. D'autres, au contraire, sont des novices et ont commencé à pratiquer de façon assidue sur le tard mais ont une forte motivation.

Ces athlètes masters, experts ou novices, doivent cependant faire face aux effets de l'âge. Qu'on le veuille ou non, l'ensemble des fonctions physiologiques s'altère après 40 ans de manière linéaire, puis souvent exponentielle aux âges les plus avancés. Certains athlètes masters, de par leur performance, donnent l'impression de repousser les limites du vieillissement, pourtant inéluctable. Quels enseignements peut-on tirer de ces athlètes masters qui représentent un modèle du vieillissement réussi ?

Sur la base, le plus souvent, de données scientifiques, cet ouvrage aborde des thématiques relatives à la santé, la performance, l'entraînement, la récupération, la nutrition, ou encore la

psychologie et la spécificité de l'athlète master féminine ; toutes indispensables pour continuer à exploiter son potentiel malgré l'âge. La parole est aussi donnée à des athlètes masters de différentes disciplines sportives, qui témoigneront des changements dans leur entraînement ou leur mode de vie au fil des années.

Le livre comporte six chapitres :

1. L'athlète master : un exemple du bien-vieillir ;
2. Les athlètes masters repoussent les limites de la performance ;
3. L'entraînement de l'athlète master ;
4. La nutrition de l'athlète master ;
5. La psychologie de l'athlète master ;
6. L'athlète master féminine.

Un ensemble de témoignages viennent compléter et ancrer le propos de l'auteur.

Romuald LEPERS\*

**Outdoor Éditions, 2022**  
**ISBN : 249032909X**  
**200 pages**  
**25,00 €**

\* Romuald LEPERS est professeur de physiologie à l'université de Bourgogne (Dijon). Ses travaux de recherche concernent les adaptations nerveuses et musculaires à l'exercice et la physiologie des athlètes âgés. Il est l'auteur de plus de 200 articles scientifiques dont une quarantaine sur les athlètes masters.