

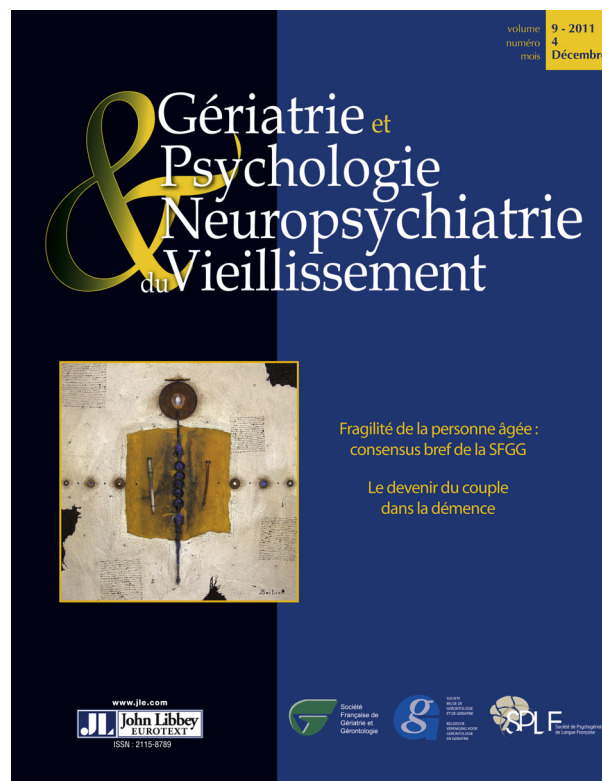


L'essentiel de l'information
scientifique et médicale

www.jle.com

Le sommaire de ce numéro

<http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/revues/medecine/gpn/sommaire.md?type=text.html>



Montrouge, le 06/01/2012

Guillaume Chauvel

Vous trouverez ci-après le tiré à part de votre article au format électronique (pdf) :

Utilisation des processus mnésiques non déclaratifs et automatiques dans l'apprentissage moteur : comment atténuer les effets du vieillissement

paru dans

Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement, 2011, Volume 9, Numéro 4

John Libbey Eurotext

Ce tiré à part numérique vous est délivré pour votre propre usage et ne peut être transmis à des tiers qu'à des fins de recherches personnelles ou scientifiques. En aucun cas, il ne doit faire l'objet d'une distribution ou d'une utilisation promotionnelle, commerciale ou publicitaire.

Tous droits de reproduction, d'adaptation, de traduction et de diffusion réservés pour tous pays.

© John Libbey Eurotext, 2011

Utilisation des processus mnésiques non déclaratifs et automatiques dans l'apprentissage moteur : comment atténuer les effets du vieillissement

Use of nondeclarative and automatic memory processes in motor learning: how to mitigate the effects of aging

GUILLAUME CHAUVEL¹
FRANÇOIS MAQUESTIAUX¹
ANDRÉ DIDIERJEAN²
SVEN JOUBERT³
BÉNÉDICTE DIEUDONNÉ⁴
MARC VERNY⁴

¹ Unité de recherche CIAMS, UFR STAPS, Université Paris-Sud 11, Orsay
<guillaume.chauvel@u-psud.fr>

² Université de Franche-Comté et Institut universitaire de France

³ Université de Montréal et Centre de recherche et Institut Universitaire de gériatrie de Montréal

⁴ Hôpital de la Pitié Salpêtrière, Paris

Tirés à part :
G. Chauvel

Résumé. Le vieillissement cognitif normal s'accompagne-t-il inexorablement d'une altération de l'apprentissage moteur ? Cet article est une synthèse des recherches sur la question en considérant la distinction fonctionnelle entre deux types de processus mnésiques : les processus déclaratifs, contrôlés, et les processus non déclaratifs, automatiques. Une littérature abondante indique que le vieillissement entrave l'apprentissage quand l'exécution des actions motrices implique le souvenir d'actions passées (mémoire épisodique) rappelées grâce à des traitements contrôlés (mémoire de travail). Cependant, d'autres études montrent que le vieillissement n'affecte pas l'apprentissage quand les actions motrices sont exécutées sur un mode non verbal et automatique (en utilisant la mémoire procédurale). Ces résultats nous ont conduits à formuler l'hypothèse selon laquelle on peut réduire l'impact du vieillissement sur l'apprentissage moteur en faisant prédominer les processus non déclaratifs et automatiques. Des données récentes validant cette hypothèse sont présentées. Nos résultats soulignent l'importance du développement de nouvelles stratégies d'apprentissage moteur servant à « contourner » les processus mnésiques déclaratifs et contrôlés.

Mots clés : vieillissement cognitif, apprentissage moteur, mémoire épisodique, attention, mémoire procédurale

Abstract. Does normal aging inexorably lead to diminished motor learning abilities? This article provides an overview of the literature on the question, with particular emphasis on the functional dissociation between two sets of memory processes: declarative, effortful processes, and non-declarative, automatic processes. There is abundant evidence suggesting that aging does impair learning when past memories of former actions are required (episodic memory) and recollected through controlled processing (working memory). However, other studies have shown that aging does not impair learning when motor actions are performed non verbally and automatically (tapping procedural memory). These findings led us to hypothesize that one can minimize the impact of aging on the ability to learn new motor actions by favouring procedural learning. Recent data validating this hypothesis are presented. Our findings underline the importance of developing new motor learning strategies, which "bypass" declarative, effortful memory processes.

Key words: cognitive aging, motor learning, episodic memory, attention, procedural memory

Les modifications produites par le vieillissement normal sur la mémoire humaine [1] peuvent ralentir l'apprentissage ou le réapprentissage [2]. Néanmoins, les déficits de la mémoire n'entravent pas complètement l'acquisition de nouvelles actions motrices. Ainsi, on peut apprendre à tout âge à utiliser les différentes fonctions d'un téléphone portable, même si l'acquisition d'un tel savoir-faire nécessite plus de persévérance à 80 ans qu'à 18 ans. On peut également apprendre en présence de

pathologies affectant la mémoire. Ainsi, Lekeu *et al.* [3] ont relaté comment, suite à la participation à un programme d'apprentissage de trois mois, deux patients atteints de la maladie d'Alzheimer (l'un âgé de 58 ans et l'autre de 82 ans) ont appris à utiliser un téléphone portable.

Dans cet article, nous nous proposons de faire une synthèse des résultats d'études s'intéressant aux effets du vieillissement cognitif normal sur l'apprentissage moteur. Notre article s'appuie sur la distinction fonctionnelle entre

deux types de processus mnésiques, primordiaux aux différentes étapes de l'apprentissage, mais affectés de façon différentielle par le vieillissement cognitif normal : les processus mnésiques déclaratifs et contrôlés (la mémoire épisodique, en lien avec la mémoire de travail) et les processus mnésiques non déclaratifs et automatiques (la mémoire procédurale) [4]. Nous considérerons aussi des éléments de réponse sur les façons d'optimiser l'apprentissage moteur aux âges avancés.

L'apprentissage moteur

L'apprentissage moteur est défini comme les modifications, associées à la pratique ou à l'expérience, des processus cognitifs sous-jacents au comportement moteur et qui aboutissent à des modifications relativement permanentes de la performance motrice [5]. Le comportement moteur se mesure au moyen de tâches mobilisant les systèmes sensorimoteurs. Un thème central des recherches consiste à identifier la nature des connaissances et les processus mnésiques mobilisés aux différents stades de l'apprentissage moteur.

Stades d'apprentissage

Le modèle des stades sériels de l'apprentissage proposé par Fitts [6] rend compte des modifications cognitives se produisant au cours de la pratique [7]. Ce modèle a été formulé dans les domaines de l'acquisition de savoir-faire [6] et de savoirs [8]. D'après ce modèle, l'apprentissage se déroule en trois stades successifs qualitativement distincts : le stade cognitif, le stade associatif, puis le stade autonome.

Lors du stade cognitif, les savoir-faire sont encodés sous la forme de connaissances épisodiques. Par exemple, lorsqu'un débutant effectue un lancer franc au basket-ball, il utilise la connaissance « placer le coude en position haute par rapport aux épaules » de façon relativement explicite. Cette connaissance se construit sur la base des essais réalisés. Le rappel des épisodes antérieurs sollicite la mémoire épisodique, définie comme la mémoire des événements situés dans leur contexte spatio-temporel [9] et elle-même sous-système de la mémoire déclarative¹. Les connaissances épisodiques sont accessibles à la conscience et sont facilement verbalisables. Afin d'améliorer le niveau de performance motrice, le débutant se souvient des épisodes

passés et sélectionne ceux qui vont optimiser l'exécution des actions motrices en cours et à venir [10, 11]. La mémoire de travail, quant à elle, permet d'activer, de maintenir et de manipuler les connaissances épisodiques au cours de l'exécution motrice. Les traitements cognitifs réalisés en mémoire de travail sont dits contrôlés dans la mesure où ils mobilisent fortement les ressources attentionnelles. Par conséquent, au stade cognitif, la performance motrice dépend de la disponibilité de l'attention : en condition de ressources attentionnelles amoindries (e.g., stress), la performance motrice est susceptible de chuter. À ce stade, les processus mnésiques déclaratifs et contrôlés sous-jacents au comportement moteur sont prépondérants.

Lors du stade associatif, l'habileté motrice est effectuée avec davantage de fluidité et d'efficacité que lors du stade cognitif. Les connaissances sous-jacentes à l'habileté motrice deviennent plus difficiles à verbaliser et mobilisent de moins en moins de traitements contrôlés (coûteux en attention). La connexion entre connaissance et procédure motrice devient plus directe. Les savoir-faire utilisés sont stockés sous la forme de connaissances semi-procéduralisées, semi-automatisées. Chez un basketteur de niveau intermédiaire par exemple, si le pourcentage de réussite au lancer franc est élevé à l'entraînement, il le sera probablement moins dans une situation qui détourne les ressources attentionnelles de la tâche motrice (e.g., une compétition stressante).

Lors du stade autonome, l'apprenant utilise des savoir-faire encodés sous la forme de connaissances procédurales, difficilement verbalisables [13]. Ainsi, le basketteur confirmé réussit un lancer à trois points avec fluidité et rapidité, sans être nécessairement en mesure d'exprimer, au moyen du langage, la façon dont il a exécuté l'habileté motrice (verbalisation difficile). De telles connaissances et procédures inaccessibles à la conscience sont stockées dans un sous-système de la mémoire non déclarative, appelé mémoire procédurale [14]. Elles sont utilisées au moyen de traitements automatiques lors de la réalisation d'une action motrice. À ce stade, la performance motrice ne dépend pas (ou peu) de la disponibilité de l'attention [15] : la performance motrice n'est pas altérée en condition de ressources attentionnelles amoindries. Au stade autonome de l'apprentissage, le comportement moteur est essentiellement sous-tendu par des processus mnésiques non déclaratifs et automatiques.

Mesure expérimentale de l'apprentissage

Les expérimentations sur l'apprentissage moteur comportent une phase de pratique et une phase de test. La phase de pratique consiste à modifier le comportement

¹ La mémoire déclarative comprend la mémoire épisodique et la mémoire sémantique [12]. La mémoire déclarative et la mémoire non déclarative constituent les deux grandes composantes de la mémoire à long terme.

moteur de façon durable dans le sens d'une amélioration. La phase de test consiste à identifier la nature des processus mnésiques responsables des modifications du comportement moteur et/ou à mesurer la durabilité des modifications observées.

Durant la phase de pratique, des participants réalisent une habileté sensorimotrice nouvelle (e.g., le service au tennis, le putt au golf) sur plusieurs essais dont le nombre varie, selon les expériences, de quelques dizaines à plusieurs milliers. Les essais sont regroupés en blocs d'essais, eux-mêmes entrecoupés de courtes pauses. La consigne donnée aux participants est d'atteindre le meilleur niveau possible de performance. Les participants sont répartis en au moins deux groupes : soit en deux groupes expérimentaux soumis chacun à une méthode distincte d'apprentissage, soit en un groupe expérimental soumis à une méthode d'apprentissage et en un groupe contrôle soumis à une activité sans rapport avec la tâche à apprendre (e.g., faire des *sudokus*). La comparaison des performances des groupes fournit une mesure des modifications comportementales.

Durant la phase de test, les participants réalisent soit un test de rétention, soit un test de transfert, soit les deux. Lorsqu'il s'agit d'un test de rétention, ils effectuent la tâche motrice dans des conditions identiques à celles de la phase de pratique. Le chercheur contrôle la durée séparant la fin de la pratique du début du test de rétention. Cette durée varie de plusieurs minutes à quelques jours. L'objectif de la phase de test est de déterminer si les effets observés durant la phase de pratique sont durables (apprentissage) ou, au contraire, s'ils sont temporaires (absence d'apprentissage). Lorsqu'il s'agit d'un test de transfert, les participants du groupe expérimental effectuent une version modifiée de la tâche motrice, à la différence des participants du groupe contrôle qui effectuent une tâche motrice identique à celle effectuée durant la pratique. Par exemple, la modification peut consister à simplifier ou à complexifier les conditions de réalisation de la tâche motrice, à demander aux participants d'effectuer une tâche de comptage à rebours en même temps qu'ils réalisent la tâche motrice, à supprimer les feedbacks visuels et donc l'accès à la connaissance du résultat, etc. L'objectif est alors de déduire, à partir des effets de la manipulation expérimentale, la nature des processus cognitifs à l'origine des changements comportementaux observés durant la phase de pratique. Dans la plupart des expériences, la phase de test a lieu en deux temps : avant la phase de pratique (le pré-test) et après la phase de pratique (le post-test). Dans d'autres expériences, la phase de test a lieu uniquement après la phase de pratique.

Le vieillissement, un frein à l'apprentissage moteur ?

En psychologie cognitive, il est établi que le vieillissement affecte l'efficacité des processus mnésiques déclaratifs et contrôlés, alors que ses effets sont nettement moins marqués quand il s'agit des processus mnésiques non déclaratifs et automatiques [1]. Étant donné que le stade cognitif mobilise fortement les processus déclaratifs et contrôlés, on peut prédire que le vieillissement normal compromet la performance et l'apprentissage moteur.

Performance

Les déclin de la performance motrice aux âges avancés s'expliquent par les effets négatifs du vieillissement opérant sur les capacités musculaires et physiologiques ainsi que sur les systèmes cognitifs et le système nerveux central (pour une revue, voir [16]). Dans une expérience consistant à apprendre à mémoriser une liste de mots tout en marchant sur une piste étroite, Li *et al.* [17] ont montré que les participants âgés ($m = 65,6 \pm 3,9$ ans ; étendue = 60-75 ans) rencontrent plus de difficultés que les participants jeunes ($m = 25,1 \pm 2,7$ ans ; étendue = 20-30 ans). Précisément, le déficit observé avec l'âge de la performance en double tâche est davantage prononcé sur la tâche de mémorisation que sur la marche. Ce résultat suggère que le contrôle de la marche change avec le vieillissement en devenant moins automatique. Les seniors compenseraient ainsi ce changement en recourant aux processus mnésiques déclaratifs et contrôlés (pour une revue, voir [18]).

Molander et Bäckman [19] se sont intéressés à la nature des processus cognitifs sous-tendant la performance motrice d'experts en golf miniature (activité sportive populaire en Suède). Spécifiquement, ils ont comparé la performance de compétiteurs jeunes ($m = 25,5 \pm 4,7$ ans) et plus âgés ($m = 50,7 \pm 4,2$ ans) en condition non stressante (entraînement sans enjeu) et en condition stressante (compétition). Le niveau global de stress, évalué par la fréquence cardiaque et le score obtenu sur une échelle d'anxiété, s'élève de façon comparable chez les participants jeunes et âgés. En revanche, la performance motrice des compétiteurs jeunes est comparable en condition non stressante et en condition stressante, alors que celle des compétiteurs plus âgés est moindre en condition stressante comparativement à la condition non stressante. L'augmentation de la demande attentionnelle induite par la situation stressante affecte donc la performance motrice des seniors, mais pas celle des participants jeunes. Ce résultat suggère que les traitements cognitifs sous-jacents

à la performance motrice nécessitent davantage d'efforts d'attention chez les experts âgés que jeunes. Plus généralement, l'exécution d'une habileté motrice perdrait en automaticité avec l'avancée en âge.

Apprentissage

Des signes notables du vieillissement sur l'apprentissage sont la lenteur de l'acquisition de savoir-faire et la difficulté à atteindre un niveau élevé d'efficacité. Par exemple, Pratt *et al.* [20] se sont intéressés aux effets du vieillissement sur les processus de contrôle sous-tendant la réalisation d'une tâche visuo-motrice. Dans cette étude, des participants jeunes ($m = 20,7$ ans, étendue = 18-24 ans) et plus âgés ($m = 66,3$ ans, étendue = 62-69 ans) ont réalisé 100 essais (répartis en 10 blocs d'essais) consistant à déplacer un curseur (au moyen d'un pointeur tenu dans la main droite) et à le placer dans une zone cible (i.e., espace délimité par deux traits espacés) figurant sur l'écran d'un ordinateur. Les résultats indiquent un allongement du temps de mouvement avec l'âge : les seniors mettaient environ 200 ms de plus que les participants jeunes pour positionner le curseur dans la zone cible tout au long de la phase d'apprentissage. Par ailleurs, les résultats indiquent que la vitesse et la précision du mouvement augmentaient au cours de la pratique chez les participants jeunes, à la différence des participants plus âgés chez qui le niveau d'efficacité du mouvement stagnait. L'analyse de la phase balistique du mouvement de pointage n'indique aucune différence entre adultes jeunes et plus âgés. En revanche, l'analyse de la phase d'approche du mouvement (partie terminale) indique un moindre niveau de performance chez les individus âgés comparativement aux jeunes adultes. Une hypothèse avancée est que les stratégies de contrôle du mouvement, mises en place lors de la phase d'approche de la cible, sont plus coûteuses en attention chez les adultes âgés, comparativement aux jeunes adultes. La partie terminale du geste de pointage nécessiterait la mise en jeu de processus cognitifs nécessitant des efforts d'attention, à la différence de la première partie de mouvement qui semblerait plus automatique, expliquant ainsi les effets du vieillissement davantage prononcés dans la phase terminale du mouvement. De façon similaire, McNay et Willingham [21] ont observé, dans une tâche consistant à reproduire une ligne droite présentée sur un écran en la dessinant à l'aide d'un stylet, un déficit de performance chez les seniors comparativement aux participants jeunes. Ces auteurs interprètent ce résultat par un amoindrissement des ressources attentionnelles disponibles avec le vieillissement, provoquant ainsi la baisse de performance

observée chez les seniors sur une tâche coûteuse en attention.

Une question importante est celle de la durabilité de l'apprentissage moteur, c'est-à-dire de la durée du maintien dans le temps du niveau de performance atteint durant la pratique. Dans l'une des rares études abordant cette question, Rodrigue *et al.* [22] ont mesuré, suite à trois sessions d'apprentissage distribuées sur trois jours, les performances de participants jeunes (étendue = 28-36 ans) et plus âgés (étendue = 62-82 ans) dans une tâche consistant à suivre une cible se déplaçant sur un écran d'ordinateur au moyen d'un stylet. Dans cette tâche de poursuite, les seniors présentaient des performances inférieures à celles des jeunes adultes au terme de la phase de pratique. Néanmoins, un post-test réalisé cinq ans plus tard sur ces mêmes participants indiquait une préservation de la différence initialement observée entre les deux groupes d'âge à la fin de la pratique. Ces données suggèrent que le souvenir d'un savoir-faire perdure dans le temps, quel que soit l'âge des participants. La question de la généralisation de ce résultat à d'autres situations et actions motrices demeure dans l'attente de validations empiriques.

En accord avec le modèle sériel de l'apprentissage, l'acquisition de nouveaux savoir-faire semble être freinée par les effets négatifs de l'avancée en âge sur les processus mnésiques déclaratifs et contrôlés [1, 23, 24]. Néanmoins, le vieillissement ne s'accompagne pas toujours d'une réduction de la capacité d'apprentissage, comme en attestent des données dans le domaine de l'apprentissage implicite [25, 26]. Par exemple, Howard et Howard [25] ont montré l'existence de capacités d'apprentissage épargnées des effets du vieillissement lorsque les participants n'ont pas conscience du matériel à apprendre, c'est-à-dire lorsqu'ils effectuent l'habileté motrice sur un mode relativement automatique, sans effort d'attention. Dans cette étude, des participants jeunes ($m = 22,2 \pm 4,9$ ans) et plus âgés ($m = 71,3 \pm 3,1$ ans) ont réalisé 4 séries d'une centaine d'essais d'une tâche de temps de réaction de choix. Cette tâche consiste à indiquer rapidement la zone de l'écran dans laquelle apparaît un astérisque (4 zones possibles positionnées de gauche à droite) en appuyant sur la touche de réponse correspondante d'un clavier (4 touches possibles disposées elles aussi de gauche à droite). Lors de chaque série, les participants réalisaient plusieurs séquences (de 10 ou 16 essais) de deux sortes : les séquences aléatoires et les séquences régulières. Pour les séquences aléatoires, l'ordre d'apparition de l'astérisque dans l'une des quatre zones de l'écran est aléatoire. Pour les séquences régulières, l'ordre d'apparition de l'astérisque dans les quatre zones d'écran est prédéterminé et maintenu

identique d'une série à l'autre. Ainsi, si les participants répondent à l'objectif d'identifier le plus rapidement possible la zone de l'écran dans laquelle l'astérisque est apparu, ils ne sont pas informés de la présence de régularités dans le matériel (i.e., les séquences régulières). Howard et Howard [25] ont observé que le temps de réaction moyen était plus court en condition séquence régulière qu'en condition séquence aléatoire, quand bien même les résultats à des tests ultérieurs de reconnaissance et de rappel montraient que les participants n'avaient aucun souvenir explicite des régularités du matériel. Ces résultats attestent que les participants avaient appris la régularité présente dans le matériel à apprendre, sans pour autant en avoir eu conscience. Howard et Howard [25] ont également observé que le temps de réaction moyen était comparable entre adultes jeunes et plus âgés en condition séquence régulière, alors qu'il était plus court chez les jeunes adultes comparativement aux adultes plus âgés en condition séquence aléatoire. Ce résultat suggère une préservation, au cours du vieillissement normal, de la capacité à apprendre les séquences motrices régulières sans effort d'attention (pour des résultats similaires, voir [27]).

Les études dans le domaine de l'apprentissage implicite montrent que si les différences de performance motrice entre participants jeunes et plus âgés sont marquées lorsqu'ils savent ce qu'ils doivent apprendre (condition d'apprentissage explicite), ces différences s'amoindrissent voire s'estompent lorsqu'ils ne savent pas ce qu'ils apprennent (condition d'apprentissage implicite). Ces résultats suggèrent que lorsque les participants réalisent l'habileté avec des efforts d'attention en direction de la tâche à apprendre (condition explicite), les processus mnésiques déclaratifs et contrôlés sont prédominants, alors que lorsqu'ils réalisent l'habileté sans effort d'attention (condition implicite), les processus non déclaratifs et automatiques sont prédominants. La nature des conditions d'apprentissage semble être un facteur susceptible d'influencer la prédominance de certains processus mnésiques sur d'autres.

Sur la base de ce constat, nous faisons l'hypothèse qu'en situation d'apprentissage explicite, il est possible d'observer des performances comparables entre adultes jeunes et plus âgés sous réserve que l'exécution de l'habileté motrice opère avec relativement peu de verbalisations et sans effort d'attention, c'est-à-dire en s'appuyant sur les processus mnésiques non déclaratifs et automatiques. L'évaluation de cette hypothèse nécessite de se pencher sur les résultats des recherches qui ont développé des méthodes d'apprentissage explicite facilitant l'exécution d'une tâche motrice sur un mode automatique.

Comment minimiser l'impact de l'âge lors de l'apprentissage moteur ?

En vue d'optimiser l'apprentissage explicite aux âges avancés, une question importante est de déterminer si les individus, quel que soit leur âge, sont capables d'acquérir de nouveaux savoir-faire en s'appuyant essentiellement sur les processus mnésiques non déclaratifs et automatiques (i.e., mémoire procédurale), provoquant une moindre nécessité de se rappeler des épisodes antérieurs et une moindre utilisation de traitements contrôlés en mémoire de travail.

Prédominance de la mémoire procédurale

Différentes études ont montré que l'apprentissage est facilité chez des patients amnésiques présentant des déficits de la mémoire épisodique quand la méthode d'apprentissage dite méthode sans erreur est appliquée durant la pratique [11]. L'élimination du nombre d'erreurs commises au début de la pratique, en plaçant les processus mnésiques déclaratifs et contrôlés au second plan (il n'est plus nécessaire d'identifier et d'éliminer les erreurs), placerait ainsi la mémoire procédurale au premier plan.

Maxwell *et al.* [15] ont testé l'hypothèse selon laquelle la réduction du nombre d'erreurs commises durant la phase d'acquisition d'un nouveau savoir-faire (réduction basée sur la méthode d'apprentissage sans erreur, mais appelée ici méthode d'apprentissage avec erreurs peu fréquentes en raison la présence de quelques essais incorrects) provoque une prédominance des processus mnésiques non déclaratifs et automatiques sur les processus mnésiques déclaratifs et contrôlés. Dans cette étude, la nouvelle habileté à acquérir est le putt, coup spécifique du golf consistant à frapper une balle (au moyen d'un putter) afin de la faire rouler puis tomber dans un trou. Durant la phase de pratique, des participants n'ayant aucune expérience préalable au golf ont réalisé 3 blocs de 50 putts à des distances éloignées du trou (175 cm, 150 cm, puis 125 cm) pour la moitié d'entre eux et à des distances proches du trou (25 cm, 50 cm, puis 75 cm) pour l'autre moitié d'entre eux. Comme attendu, le nombre total d'erreurs (putts ratés) était nettement plus important quand les participants étaient loin du trou (environ 90 erreurs), c'est-à-dire en condition d'apprentissage moteur avec erreurs fréquentes, que lorsqu'ils étaient proches du trou (environ 10 erreurs), c'est-à-dire en condition d'apprentissage moteur avec erreurs peu fréquentes. En outre, le nombre de stratégies que les participants se souvenaient avoir utilisées durant la

pratique était plus élevé chez les participants du groupe avec erreurs fréquentes que chez ceux du groupe avec erreurs peu fréquentes. Durant la phase de test, tous les participants effectuaient 50 putts à la nouvelle distance intermédiaire de 100 cm, soit en condition simple (groupe contrôle), soit en réalisant simultanément une tâche cognitive de comptage (groupe expérimental) qui mobilise les ressources attentionnelles. Les résultats montrent que la tâche cognitive affectait la performance motrice des participants qui avaient appris en condition d'erreurs fréquentes, alors qu'elle n'avait aucun effet sur la performance motrice de ceux qui avaient appris en condition d'erreurs peu fréquentes. Ces résultats suggèrent que, dès le stade initial d'un apprentissage explicite (apprendre à mettre la balle de golf au fond du trou), deux systèmes mnésiques à la fonctionnalité distincte sont disponibles : l'un nécessitant des connaissances épisodiques (mémoire épisodique) et des traitements contrôlés en mémoire de travail, l'autre opérant avec relativement peu de connaissances épisodiques et sans effort d'attention. Les résultats de l'étude de Maxwell *et al.* [15] montrent que dans des conditions minimisant la nécessité d'avoir à ajuster la performance d'un essai à l'autre de façon consciente, les processus mnésiques non déclaratifs et automatiques prédominent sur les processus mnésiques déclaratifs et contrôlés.

Mémoire procédurale et vieillissement

Au moyen de la méthode d'apprentissage de Maxwell *et al.* [15] qui offre la possibilité de manipuler la prédominance d'un système de mémoire sur un autre, Chauvel *et al.* [28] ont testé l'hypothèse qu'en situation d'apprentissage explicite, les performances motrices au putt sont comparables chez des adultes jeunes et âgés dans la condition qui facilite la prédominance des processus mnésiques non déclaratifs et automatiques (i.e., apprentissage avec erreurs peu fréquentes) mais qu'elles sont inférieures chez les adultes âgés comparativement aux adultes jeunes dans la condition qui induit la prédominance des processus mnésiques déclaratifs et contrôlés (i.e., apprentissage avec erreurs fréquentes). Quarante-huit jeunes adultes ($m = 23,5 \pm 3,3$ ans ; étendue = 18-31 ans) et 48 adultes plus âgés ($m = 65,0 \pm 3,7$ ans ; étendue = 59-71 ans) ont participé à cette expérimentation. Une évaluation neuropsychologique menée avant le début de la phase de pratique a permis de confirmer que les capacités attentionnelles, évaluées au moyen de différents tests (*Stroop Victoria* [29] ; *Trail-Making Test* [30] ; test séquence lettres-chiffres [31]), étaient moindres chez les seniors comparativement aux jeunes adultes. Ensuite, les participants ont été répartis aléatoirement dans la condition d'apprentissage avec

erreurs fréquentes et dans la condition d'apprentissage avec erreurs peu fréquentes. Pendant la pratique, ils effectuaient 160 putts répartis en 4 blocs d'essais, à des distances proches du trou en condition d'erreurs peu fréquentes (25 cm, 50 cm, 75 cm puis 100 cm) ou à des distances éloignées du trou en condition d'erreurs fréquentes (225 cm, 200 cm, 175 cm puis 150 cm). Les résultats montrent qu'en condition d'erreurs fréquentes (symbolisée par des carrés sur la *figure 1*), la performance motrice demeurait inférieure chez les adultes plus âgés par rapport aux adultes plus jeunes. En revanche, en condition d'erreurs peu fréquentes (symbolisée par des triangles), les courbes de performance motrice des deux groupes d'âge se superposaient : les jeunes adultes et les seniors exhibaient un niveau comparable de performance motrice.

Après la pratique, les participants ont effectué un test écrit au cours duquel ils ont noté les stratégies qu'ils se rappelaient avoir mises en place durant les essais de la pratique. Les résultats indiquent que, quel que soit le groupe d'âge, le nombre de stratégies rapportées était plus élevé en condition d'erreurs fréquentes qu'en condition d'erreurs peu fréquentes, témoignant ainsi de l'utilisation d'un registre mnésique davantage déclaratif pour les participants en condition d'erreurs fréquentes. Lors de la phase de test, tous les participants ont réalisé 40 putts à la nouvelle distance intermédiaire de 125 cm, soit en condition de tâche simple, soit en effectuant simultanément une tâche cognitive de comptage de sons (consistant à dénombrer les signaux sonores doubles entendus dans un flux de signaux

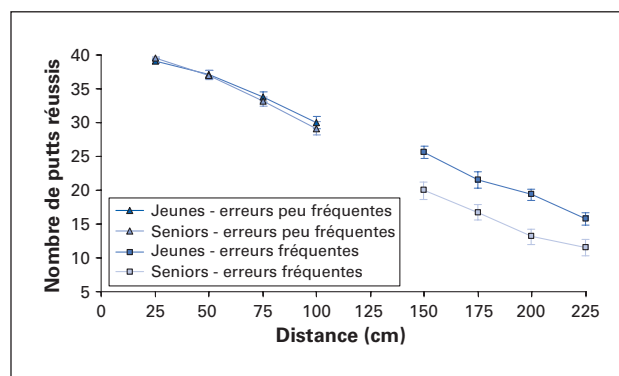


Figure 1. Nombre moyen de putts réussis chez des adultes jeunes ($n = 48$) et des adultes plus âgés ($n = 48$) en fonction de la distance du trou pour chacun des blocs d'essais en condition d'apprentissage avec erreurs peu fréquentes et en condition d'apprentissage avec erreurs fréquentes. Les barres verticales représentent l'erreur type.

Figure 1. Mean number of successful putts by younger adults (unfilled symbols) and older adults (filled symbols) as a function of distance from the hole for each of the blocks of trials for the infrequent-error learning condition (represented by triangles) and the frequent-error learning condition (represented by squares). Bars show standard errors.

sonores simples et doubles, présentés à la cadence d'un son toutes les 1 200 ms). En condition d'erreurs fréquentes, les résultats montrent que la tâche cognitive provoquait une chute de la performance motrice quel que soit le groupe. De plus, le pourcentage de précision à la tâche cognitive (nombre de bips doubles correctement dénombrés) était moindre chez les participants âgés que chez les jeunes (89,2 % de précision pour les jeunes adultes et 78,6 % de précision pour les adultes âgés). Par contre, en condition d'erreurs peu fréquentes, les résultats montrent d'une part, que la tâche cognitive n'avait aucun effet sur la performance motrice quel que soit le groupe d'âge et, d'autre part, que le pourcentage de précision était comparable entre adultes jeunes et âgés (87,5 % de précision pour les jeunes et 85,7 % de précision pour les seniors). Ces résultats démontrent globalement que, parmi les processus mentaux sous-tendant l'exécution d'un geste complexe orienté vers un but, les processus mnésiques non déclaratifs et automatiques sont épargnés des effets du vieillissement, à la différence des processus mnésiques déclaratifs et contrôlés. Des bénéfices comparables de la méthode avec erreurs peu fréquentes ont également été observés dans une étude sur l'apprentissage d'une tâche de pointage (consistant à frapper avec précision une cible horizontale au moyen d'un marteau) chez des patients atteints de la maladie de Parkinson [32].

Conclusion et perspectives

Les effets du vieillissement cognitif sur l'apprentissage moteur ne sont pas forcément délétères dès lors que l'on considère les effets différentiels de l'âge sur deux types de processus mnésiques fonctionnellement distincts : les processus déclaratifs et contrôlés vs les processus non déclaratifs et automatiques. En effet, si de nombreuses études montrent que le vieillissement s'accompagne globalement d'une réduction de la capacité d'apprentissage moteur, les études dans le domaine de l'apprentissage implicite mettent en évidence un impact moindre du vieillissement lors de l'acquisition d'actions motrices qui s'appuient sur la mémoire procédurale. Ces résultats suggèrent qu'en s'appuyant sur les systèmes de mémoire les moins affectés par le vieillissement normal (mémoire procédurale), les seniors pourraient acquérir de nouvelles habiletés motrices avec des performances proches, si ce n'est équivalentes, à celles d'adultes plus jeunes. Dans le domaine de l'apprentissage moteur, l'étude de Maxwell *et al.* [15] montre que la méthode d'apprentissage avec erreurs peu fréquentes permet d'apprendre à réaliser une nouvelle habileté motrice sans effort d'attention,

Points clés

- Le vieillissement cognitif affecte l'efficacité des processus mnésiques déclaratifs et coûteux en attention. Or, ces processus jouent un rôle clé dans l'apprentissage moteur, notamment dans le souvenir des épisodes moteurs antérieurs (mémoire épisodique) et dans le maintien actif et la manipulation des connaissances portant sur la manière de procéder (traitements contrôlés en mémoire de travail).
- Les processus mnésiques non déclaratifs et automatiques culminent dans les situations où les participants ne savent pas consciemment ce qu'ils doivent apprendre (apprentissage implicite). Ces processus mnésiques sont relativement résistants aux effets du vieillissement.
- Les écarts de performance motrice entre jeunes adultes et adultes plus âgés sont réduits dans les situations d'apprentissage explicite (i.e., les participants savent ce qu'ils doivent apprendre) pour lesquelles les erreurs de performance sont peu fréquentes car elles induisent une prépondérance des processus mnésiques les moins affectés par l'âge (i.e., les processus non déclaratifs et automatiques).

c'est-à-dire en s'appuyant sur les processus mnésiques non déclaratifs et automatiques (la mémoire procédurale) et en minimisant le recours aux processus mnésiques déclaratifs et contrôlés (i.e., mémoire épisodique et traitements contrôlés en mémoire de travail). Cet examen de la littérature nous a conduit à proposer l'hypothèse selon laquelle, pour optimiser l'apprentissage moteur aux âges avancés, il est préférable de placer les seniors dans des conditions d'apprentissage qui favorisent la prédominance de la mémoire procédurale sur les processus mnésiques déclaratifs et contrôlés. Des données récentes indiquent que des seniors, placés dans de telles conditions d'apprentissage (i.e., la méthode d'apprentissage avec peu d'erreurs), apprennent aussi bien que des adultes jeunes. Ce résultat valide notre hypothèse d'un moindre effet du vieillissement lors de l'apprentissage quand la mémoire procédurale prédomine sur les processus mnésiques déclaratifs et contrôlés. Davantage de recherches sont nécessaires afin de tester la portée de nos résultats à d'autres actions motrices et auprès de populations aux caractéristiques différentes (e.g., les centenaires).

Mise à part la méthode d'apprentissage avec erreurs peu fréquentes, d'autres méthodes (utilisées jusqu'à présent seulement chez des adultes jeunes) sont susceptibles de faciliter le « contournement » des effets négatifs du vieillissement sur les processus mnésiques déclaratifs et contrôlés. Par exemple, des études ont mis en évidence

que, lorsque le focus de l'attention porte sur des éléments situés en dehors du corps de l'individu (la tête du putter par exemple), l'exécution de l'action motrice repose davantage sur des processus non déclaratifs et automatiques [33]. De la même manière, les méthodes d'apprentissage moteur qui privilégient les instructions reposant sur des analogies (e.g., « pour effectuer un lancer franc au basket-ball, essayez de faire comme si vous deviez déposer un biscuit dans une corbeille placée sur une étagère au-dessus de votre tête ») semblent favoriser l'apprentissage procédural, à la différence des méthodes d'apprentissage privilégiant des consignes explicites portant sur les règles d'action (e.g., « pour lancer la balle, il faut fléchir les genoux, plier le coude, faire un fouetté du poignet, etc. ») qui favorisent l'utilisation de la mémoire épisodique et de la mémoire de travail [34]. La méthode d'apprentissage moteur par analogies donne moins accès aux règles concernant la biomécanique du mouvement, minimisant ainsi le recours à des traitements cognitifs contrôlés (i.e., coûteux en attention). Ces différentes méthodes (focus externe de l'attention, analogie), si elles s'avèrent prometteuses au regard de la possibilité qu'elles offrent de minimiser l'utilisation des processus déclaratifs et contrôlés lors d'un nouvel apprentissage moteur aux âges avancés, demeurent dans l'attente de davantage de validations empiriques.

Sur le terrain de l'application, il s'agit de déterminer si le résultat observé en laboratoire – préservation de la capacité

d'apprentissage moteur au cours du vieillissement – peut être généralisé à la sphère des savoir-faire nécessaires à la réalisation des activités de la vie quotidienne (AVQ) utilisant ou non un ustensile, un outil (pour les AVQ sans instrument, voir [35] ; pour les AVQ instrumentales, voir [36]), comme par exemple savoir faire ses lacets de chaussures ou savoir utiliser un téléphone portable. Au regard des effets néfastes occasionnés chez le senior chuteur par un déploiement des ressources attentionnelles en direction du contrôle de la marche [37], la question de l'accentuation ou du renforcement par apprentissage de la qualité automatique des coordinations motrices complexes (équilibre postural, marche) mériterait d'être soulevée. De façon plus générale, le présent article de synthèse défend l'idée qu'il serait pertinent de prendre en compte les effets différentiels du vieillissement sur « les mémoires » lors de l'apprentissage moteur. Il fait également ressortir l'importance qu'il y a à découvrir des méthodes d'apprentissage moteur permettant de contourner l'utilisation des systèmes de mémoire les plus sensibles aux effets du vieillissement. Ces pistes de réflexions ouvrent la voie à l'évaluation des bénéfices de telles méthodes lors de l'apprentissage ou du réapprentissage de savoir-faire chez des patients atteints de la maladie d'Alzheimer (pour une étude exploratoire sur la question, voir [38]).

Conflits d'intérêts : aucun.

Références

1. Hoyer WJ, Verhaeghen P. Memory aging. In : Birren JE, Schaie KW, eds. *Handbook of the psychology of aging*. San Diego : Academic Press, 2006 : 209-32.
2. Willingham DB. Implicit learning and motor skill learning in older subjects. In : Stadler MA, Frensch PA, eds. *Handbook of implicit learning*. Thousand Oaks : Sage, 1998 : 537-94.
3. Lekeu F, Wojtasik V, Van der Linden M, Salmon E. Training early Alzheimer patients to use a mobile phone. *Acta Neurol Belg* 2002 ; 102 : 114-21.
4. Schneider W, Shiffrin RM. Controlled and automatic human information processing : 1 detection, search, and attention. *Psychol Rev* 1977 ; 84 : 1-66.
5. Schmidt RA. *Motor control and learning : a behavioral emphasis*. 2nd edition. Champaign, IL : Human Kinetics, 1988.
6. Fitts PM. Perceptual-motor skill learning. In : Meton AW, ed. *Categories of human learning*. New York : Academic Press, 1964 : 243-85.
7. Rosenbaum DA, Carlson RA, Gilmore RO. Acquisition of intellectual and perceptual-motor skills. *Annu Rev Psychol* 2001 ; 52 : 453-70.
8. Anderson JR. Acquisition of cognitive skill. *Psychol Rev* 1982 ; 89 : 369-406.
9. Tulving E. *Elements of episodic memory*. Oxford : Clarendon Press, 1983.
10. Beilock SL, Wierenga SA, Carr TH. Expertise, attention, and memory in sensorimotor skill executive : impact of novel task constraints on dual-task performance and episodic memory. *Q J Exp Psychol A* 2002 ; 55 : 1211-40.
11. Baddeley A, Wilson BA. When implicit learning fails : amnesia and the problem of error elimination. *Neuropsychologia* 1994 ; 32 : 53-68.
12. Squire LR. Memory systems of the brain : a brief history and current perspective. *Neurobiol Learn Mem* 2004 ; 82 : 171-7.
13. Beilock SL, Carr TH. On the fragility of skilled performance : what governs choking under pressure ? *J Exp Psychol Gen* 2001 ; 130 : 701-25.
14. Cohen NJ, Squire LR. Preserved learning and retention of pattern analyzing skill in amnesics : dissociation of knowing how and knowing that. *Science* 1980 ; 210 : 207-10.
15. Maxwell JP, Masters RSW, Kerr E, Weedon E. The implicit benefit of learning without errors. *Q J Exp Psychol A* 2001 ; 54 : 1049-68.
16. Spirduso WW, Francis KL, MacRae PG. *Physical dimensions of aging* (2nd ed.). Champaign, IL : Human Kinetics, 2005.
17. Li KZH, Lindenberger U, Freund AM, Baltes PB. Walking while memorizing : age-related differences in compensatory behavior. *Psychol Sci* 2001 ; 12 : 230-7.
18. Schäfer S, Huxbold O, Lindenberger U. Healthy mind in healthy body ? A review of sensorimotor-cognitive interdependencies in old age. *Eur Rev Aging Phys Act* 2006 ; 3 : 45-54.

19. Molander B, Bäckman L. Effects of adult age and level of skill on the ability to cope with high-stress conditions in a precision sport. *Psychol Aging* 1986 ; 1 : 334-6.
20. Pratt J, Chasteen AL, Abrams RA. Rapid aimed limb movements : age differences and practice effects in component submovements. *Psychol Aging* 1994 ; 9 : 325-34.
21. McNay EC, Willingham DB. Deficit in learning of a motor skill requiring strategy, but not of perceptuomotor recalibration with aging. *Learn Mem* 1998 ; 4 : 411-20.
22. Rodrigue KM, Kennedy KM, Raz N. Aging and longitudinal change in perceptual-motor skill acquisition in healthy adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 2005 ; 60 : 174-81.
23. Allen PA, Ruthruff E, Lien MC. Attention. In : Birren JE, ed. *Encyclopedia of gerontology (2nd Ed.)*. Academic Press : San Diego, 2007 : 120-9.
24. Hartley AA. Attention. In : Craik FIM, Salthouse TA, eds. *The handbook of aging and cognition*. Hillsdale, NJ : Erlbaum, 1992 : 3-49.
25. Howard DV, Howard JH. Age differences in learning serial patterns : direct versus indirect measures. *Psychol Aging* 1989 ; 4 : 357-64.
26. Howard DV, Howard JH. Adult age differences in the rate of learning serial patterns : evidence from direct and indirect tests. *Psychol Aging* 1992 ; 7 : 232-41.
27. Light LL, Singh A. Implicit and explicit memory in young and older adults. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 1987 ; 13 : 531-41.
28. Chauvel G, Maquestiaux F, Hartley AA, Joubert S, Didierjean A, Masters RSW. Age effects shrink when motor learning is predominantly supported by nondeclarative, automatic memory processes : Evidence from golf putting. *The Quart J Exp Psychol* 2011 : sous presse.
29. Regard M. *Cognitive rigidity and flexibility : a neuropsychological study*. Unpublished Ph.D. dissertation, University of Victoria, Canada, 1981.
30. Reitan RM, Wolfson D. *The Halstead-Reitan neuropsychological test battery*. Tucson : Neuropsychology Press, 1985.
31. Wechsler D. *Wechsler adult intelligence scale-III*. San Antonio : The Psychological Corporation, 1997.
32. Masters RSW, MacMahon KMA, Pall HS. Implicit motor learning in Parkinson's disease. *Rehabilitation Psychology* 2004 ; 49 : 79-82.
33. Poolton JM, Maxwell JP, Masters RSW, Raab M. Benefits of an external focus of attention : common coding or conscious processing. *J Sports Sci* 2006 ; 24 : 89-99.
34. Lam WK, Maxwell JP, Masters RSW. Analogy learning and the performance of motor skills under pressure. *J Sport Exerc Psychol* 2009 ; 31 : 337-57.
35. Katz S, Ford AB, Moskowitz RW, Jackson BA, Jaffe MW. Studies of illness in the aged. The index of ADL : a standardized measure of biological and psychosocial function. *JAMA* 1963 ; 21 : 914-9.
36. Lawton MP, Brody EM. Assessment of people : self-maintaining and instrumental activities of daily living. *Gerontologist* 1969 ; 9 : 179-86.
37. Wong WL, Masters RSW, Maxwell JP, Abernethy B. The role of reinvestment in walking and falling in community-dwelling older adults. *J Am Geriatr Soc* 2009 ; 57 : 920-2.
38. Chauvel G, Maquestiaux F, Dieudonné B, Didierjean A, Joubert S, Lacomblez L, et al. Le golf à l'hôpital : l'apprentissage moteur reposant sur la mémoire procédurale est-il influencé par la maladie d'Alzheimer ? XI^e Colloque international sur le vieillissement cognitif (septembre 2010). Université de Liège, Belgique.