



HAL
open science

Effet de l'imagerie motrice, des techniques mentales et/ou du climat tropical sur les performances motrices, cognitives et l'activité physique

Nicolas Robin

► **To cite this version:**

Nicolas Robin. Effet de l'imagerie motrice, des techniques mentales et/ou du climat tropical sur les performances motrices, cognitives et l'activité physique. Education. Université des Antilles, 2021. tel-03188334

HAL Id: tel-03188334

<https://hal.science/tel-03188334>

Submitted on 3 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Campus Fouillole, UFR STAPS de Guadeloupe

Effet de l'imagerie motrice, des techniques mentales et/ou du climat tropical sur les performances motrices, cognitives et l'activité physique

Note de synthèse en vue de l'obtention d'une

HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

Spécialité : Science et Techniques des Activités Physiques et Sportives
(74^{ième} section du Conseil National des Universités)

Rédigée par

Nicolas Robin

Soutenance réalisée le 25 mars 2020 à l'Université des Antilles

Rapporteurs désignés par le Président de l'Université des Antilles

M. Christian Collet, Professeur des Universités, Université Claude Bernard, Lyon I.
M. Alain Gros Lambert, Professeur des Universités, Université de Bourgogne Franche Comté.
M. Bertrand Troadec, Professeur des Universités, Université des Antilles.

Membres du Jury

M. Christian Collet, Professeur des Universités, Université Claude Bernard, Lyon I.
M. Alain Gros Lambert, Professeur des Universités, Université de Bourgogne Franche Comté.
M. Bertrand Troadec, Professeur des Universités, Université des Antilles.
M. Arnaud Badets, Maître de Conférences-HDR, Université de Bordeaux.
M. Frédéric Anciaux, Maître de Conférences-HDR, Université des Antilles.

Président du Jury désigné par les membres du Jury

M. Olivier HUE, Professeur des Universités, Université des Antilles.

Table des matières

Chapitre 1. Influence d'une pratique en imagerie mentale sur l'activité motrice	6
1.1. Imagerie motrice et représentation mentale	7
1.2. Similarité fonctionnelle entre exécution réelle et imagerie motrice	8
1.2.1. <i>Les processus d'intégration sensorielle</i>	8
1.2.2. <i>Les indices neurophysiologiques</i>	13
1.2.3. <i>L'activité cérébrale</i>	14
1.2.4. <i>La chronométrie mentale</i>	15
1.3. Modalités d'imagerie	19
1.4. Modulation circadienne	21
1.5. Capacités d'imagerie	24
1.6. Combinaison d'imagerie motrice et de feedback-back	36
1.7. Imagerie mentale et apprentissage par observation	39
1.8. Imagerie motrice dynamique	42
1.9. Imagerie motrice dynamique et observation d'un modèle	44
1.10. Imagerie motrice et activité physique	48
Conclusion chapitre 1	52
Chapitre 2. Conséquences du climat tropical sur les facteurs psychologiques et les performances cognitives et/ou motrices	54
2.1. Le climat tropical	55
2.2. Climat tropical et facteurs psychologiques	56
2.3. Impact du climat tropical sur la cognition	59
2.3.1. <i>Climat tropical et processus attentionnels</i>	61
2.3.2. <i>Climat tropical et imagerie mentale</i>	64
2.3.3. <i>Climat tropical, langage et mémoire</i>	66
2.4. Influence du climat tropical sur les performances motrices	72
2.5. Stratégies de lutte contre les effets négatifs d'un climat tropical	74
2.5.1. <i>Stratégies physiques</i>	76
2.5.2. <i>Stratégies mentales</i>	82
Conclusion chapitre 2	87
Autres perspectives	88
Limites	90
Conclusion	91
Annexe (PANAS)	129

Remerciements

Ce document représente la synthèse des principaux travaux de recherche réalisés en tant qu'étudiant/doctorant à l'Université de Poitiers, puis attaché temporaire d'enseignement et de recherche à l'Université Claude Bernard de Lyon et enfin en tant qu'enseignant chercheur à l'Université des Antilles.

Ce formidable plaisir engendré par mes différentes activités de recherches est né de la rencontre avec des enseignants-chercheurs passionnés et passionnants comme Michel Leher de l'Université des Antilles et de la Guyane, puis de Lucette Toussaint et Yannick Blandin de l'Université de Poitiers qui ont eu la générosité de co-diriger ma thèse, de Christian Collet et d'Aimeric Guillot de l'Université de Lyon qui ont été de vrais modèles pour moi, et Guillaume Coudevyille, Stéphane Sinnapah et le Pr. Olivier Hue de l'Université des Antilles qui sont devenus de formidables collègues et collaborateurs avec lesquels j'ai eu et je continue à avoir plaisir à collaborer.

Cette synthèse est l'aboutissement d'une réflexion personnelle que les échanges avec les enseignants chercheurs et collègues chercheurs rencontrés dans différentes structures, Universités et Laboratoires de recherche ont permis d'enrichir et de développer. Sans leur implications, leur temps, leurs conseils, leur aide mais également leur confiance, il est probable que mon parcours professionnel d'enseignant ait pris une toute autre direction, c'est pourquoi je souhaite leur adresser mes plus sincères remerciements.

Je souhaite également témoigner ma grande sympathie envers les étudiants que j'ai encadré en MASTER 2 (Joris, Vanessa, Anthony, Noémie, Robbin) qui m'ont fait confiance pour la direction de leur mémoire de recherche et qui ont partagé le goût de la recherche notamment dans le domaine de l'apprentissage et de l'imagerie mentale. Des projets devraient nous permettre de poursuivre cette aventure (avec au moins deux d'entre eux).

Mes remerciements concernent également les collègues de l'UFR STAPS de Guadeloupe (Sébastien, Gael, Eric, Aodren, Cédric...) et également des autres composantes de l'Université des Antilles qu'ils soient enseignants-chercheurs, professeurs, personnels administratifs ou agents techniques.

Je suis également particulièrement reconnaissant et exprime ma très grande gratitude envers les membres du jury et rapporteurs pour avoir pris de leur temps rare et précieux pour la lecture et l'expertise de ce document.

Enfin un très grand merci à mes parents pour leur soutien inconditionnel et à ma compagne Nancy et mon fils Sohan qui égayent et illuminent ma vie au quotidien.

Avant propos

Les travaux de recherche évoqués dans ce document se situent dans le domaine des Sciences Humaines et plus spécifiquement dans le champ de la Psychologie Cognitive. Le travail mené en thèse portait sur l'apprentissage moteur et plus particulièrement sur la similarité fonctionnelle entre pratique en imagerie mentale et pratique réelle en ce qui concerne le traitement privilégié des modalités sensorielles spécifiques visuelles et/ou proprioceptives. Les expériences, réalisées sous la direction de la Docteure et maintenant Professeure Lucette Toussaint et du Professeur Yannick Blandin à l'Université de Poitiers, s'intéressaient aux effets de la pratique mentale sur la performance motrice et plus particulièrement à l'influence des modalités d'imagerie et des capacités d'imagerie sur la précision du sens de la position.

Suite à mon intégration au Laboratoire ACTES (UPRES EA 3596) de l'Université des Antilles, sous l'égide du Professeur Olivier Hue et avec le concours de collaborateurs (dont principalement Dr. Guillaume Coudeville, Dr. Stéphane Sinnapah et Pr. Lucette Toussaint), j'ai proposé, mis en place et participé à des études scientifiques basées sur mes connaissances et compétences dans le domaine de l'imagerie mentale et de l'apprentissage moteur mais aussi s'inscrivant dans l'axe de recherche « optimisation de la performance motrice en environnement tropical » de notre laboratoire. Ces travaux s'articulent autour de 2 axes principaux.

Le premier axe de recherche, qui sera traité dans le chapitre 1, porte sur l'influence d'une pratique en imagerie motrice sur l'apprentissage moteur et la performance motrice, domaine dont les investigations étaient restées en suspens depuis une collaboration initiée en 2007 entre mon laboratoire d'origine (LPMC, de Poitiers), le laboratoire CRIS de Lyon (dans lequel j'étais ATER) et le laboratoire ACTES (Dr. M. Leher) rattaché à l'UFR STAPS de Guadeloupe. Les travaux de recherche nouvellement menés se sont notamment intéressés à l'influence de la combinaison d'imagerie motrice avec l'apprentissage par observation d'un modèle et/ou avec le feedback de l'entraîneur sur la performance dans des tâches de précisions motrices. De plus, comme nous avons besoin d'un outil de mesure (actualisé) des capacités d'imagerie pour nos expérimentations, nous nous sommes attelés à la traduire et valider une version française du « Movement Imagerie Questionnaire-Third version ». L'encadrement d'étudiants et la direction de mémoires de MASTER 2 m'ont permis de superviser des expérimentations

utilisant l'imagerie motrice en contextes scolaires (i.e., lancer franc au basket et course de longue durée). Nous poursuivons actuellement des travaux de recherche portant sur l'apprentissage moteur et la performance sportive avec par exemple des expérimentations dans le domaine de la natation (e.g., plongeon) et du tennis (e.g., service et retour de service). Notre activité de recherche consiste notamment à tester des combinaisons de stratégies mentales s'articulant principalement autour de l'imagerie motrice afin d'optimiser l'apprentissage, les performances motrices et augmenter l'activité physique.

Le second axe de recherche, développé dans le chapitre 2 de ce document, porte sur les travaux que nous avons menés concernant les conséquences du climat tropical sur les facteurs psychologiques et les performances cognitives et/ou motrices. En effet, nous avons investigué l'influence d'un climat tropical sur les performances dans des tâches de rotation mentale, de chronométrie mentale, de mémoire, de temps de réaction, d'attention et de précision oculo-manuelle ainsi que sur des composantes psychologiques comme les affects, la sensation et le confort thermique ou la fatigue. Enfin, nous nous sommes également intéressés aux stratégies de gestion des conséquences négatives d'un climat tropical, en contexte sportif, au moyen de différentes techniques de refroidissement physique ou mental, ou scolaire avec l'ingestion d'eau fraîche ou la suggestion au froid, et nous poursuivons des investigations dans ce domaine de recherche avec notamment l'encadrement d'étudiants de Master. Après une revue de littérature intégrant les travaux de recherche réalisés et les principaux résultats obtenus dans ces derniers, nous évoquerons des perspectives de recherches et des pistes d'investigations pour des expérimentations et collaborations futures.

Chapitre 1.
Influence d'une pratique en
imagerie mentale sur
l'activité motrice

Chapitre 1. Influence d'une pratique en imagerie mentale sur l'activité motrice

Après avoir défini l'imagerie motrice, nous développerons les similarités fonctionnelles existant entre cette pratique et l'exécution réelle, puis aborderons des facteurs influençant son efficacité comme notamment les modalités et capacités d'imagerie. Ensuite, nous évoquerons l'intérêt de combiner des techniques mentales comme l'observation d'un modèle et/ou les feedbacks donnés par l'entraîneur avec les simulations mentales des actions motrices qu'elles soient statiques ou accompagnées de léger mouvements (i.e., imagerie motrice dynamique) pour enfin évoquer l'effet positif de ces dernières sur l'augmentation de l'activité physique.

1.1. Imagerie motrice et représentation mentale

Selon Vasilyev, Liburkina, Yakovlev, Perepelkina, et Kaplan (2017), l'imagerie motrice (IM) peut être définie comme étant la capacité du cerveau humain à recréer des expériences motrices en l'absence d'action réelle. L'IM est une technique fréquemment utilisée qui a montré des effets positifs dans les domaines de l'apprentissage moteur (Goss, Hall, Buckolz, & Fishburne, 1986 ; Robin, Toussaint, Joblet, Roublot, & Coudeville, 2020), de la rééducation (Jackson, Lafleur, Malouin, Richards, & Doyon, 2001), du réapprentissage (Malouin, Richards, Jackson, & Doyon, 2010) ou de la performance sportive (Anuar, Cumming, & Williams, 2016 ; Guillot & Collet, 2008 ; Simonsmeier, Andronie, Buecker, & Frank, 2020). Selon Jeannerod (2001), l'IM partage avec la réalisation réelle des actions, les représentations mentales. Le concept de représentation mentale peut être considéré comme central en psychologie cognitive et fait référence aux informations multi-sensorielles, construites tout au long de la vie sur la base des apprentissages et expériences vécues, qui sont stockées en mémoire à long terme. Selon la théorie de la simulation motrice (Jeannerod, 1994), les représentations mentales guident la réalisation de mouvements ou d'enchaînements d'actions, sont évolutives et présentent le système moteur comme étant flexible, adaptable aux contraintes environnementales et à la variabilité des commandes motrices. La sollicitation des représentations mentales lors de la réalisation physique d'une action mais également au

cours de l'IM, permettant pendant cette dernière d'imaginer la réalisation de mouvements mais aussi d'anticiper les conséquences sensorimotrices des actions et de leurs effets dans un environnement donné (Frank, Land, Popp, & Schack, 2014), a amené Jeannerod et Frak (1999) à faire l'hypothèse que l'exécution réelle et l'IM seraient fonctionnellement similaires.

1.2. Similarité fonctionnelle entre exécution réelle et imagerie motrice

1.2.1. Les processus d'intégration sensorielle

Les questions qui nous ont initialement préoccupés portaient sur la validation du principe de similarité fonctionnelle entre l'IM et la pratique physique en ce qui concerne le traitement privilégié des modalités sensorielles spécifiques (i.e., visuelles et/ou proprioceptives). C'est ainsi qu'entre les années 2002-2005, sous la co-direction du Professeur Yannick Blandin et du Docteur Lucette Toussaint, nous avons réalisé des travaux de recherche qui ont fait l'objet de ma thèse intitulée « Imagerie mentale et performance motrice : influence de la modalité d'imagerie, de la quantité de pratique et des capacités d'imagerie ». Les expériences que nous avons réalisées portaient notamment sur l'influence des modalités d'imagerie (voir tableau 1 pour un résumé des modalités d'IM qui seront développées ultérieurement) sur la performance motrice dans des tâches de reproductions de configuration corporelles simples ou de pointage impliquant le sens de la position. Selon Velay (1984), le sens de la position représente la capacité à évaluer la position respective des pièces mobiles du squelette et leur localisation dans l'espace. Les travaux de recherche portant sur le développement du sens de la position montrent l'importance de la modalité proprioceptive dans la reproduction d'une configuration angulaire des membres inférieurs ou supérieurs (Cadopi, 1988 ; Euzet et Gahéry, 1995, 1996 ; Rodier, Euzet, Gahery, & Paillard, 1991). Dans ces études, il a été montré une supériorité de la précision de la performance motrice en condition intramodale, qui ne faisait intervenir que la modalité proprioceptive, qu'en condition intermodale dans laquelle un transfert d'information était réalisé entre les modalités visuelle et proprioceptive. Dans une première étude (encadré 1), les participants disposaient uniquement des informations proprioceptives (i.e., tâche réalisée les yeux fermés) pour reproduire avec précision une position angulaire (i.e., 132°, 147°, ou

162°) mobilisant l'articulation du genou.

Tableau 1. Les modalités d'imagerie.

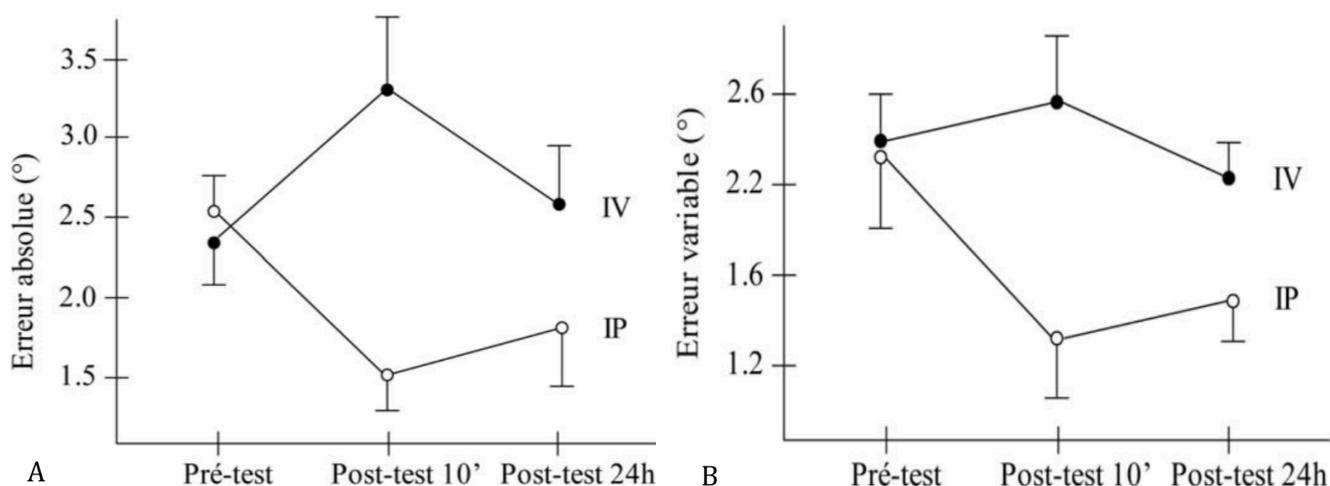
Modalités	Définition
Imagerie visuelle externe	Elle consiste à s'imaginer se voir à la troisième personne, c'est-à-dire du point de vue du « spectateur », réaliser un mouvement ou un enchaînement d'actions donnés comme si l'on avait été filmé.
Imagerie visuelle interne	Elle donne pour consigne de s'imaginer voir les changements découlant d'une ou de plusieurs actions du point de vue de l' « exécutant » comme si l'on se voyait de ses propres yeux ou on avait une caméra (e.g., Go pro) posée sur sa tête.
Imagerie proprioceptive ou kinesthésique	C'est l'évocation mentale des sensations (contractions, relâchement, étirement, etc) générées et qui évoluent durant la réalisation des actions motrices. Faire de l'imagerie proprioceptive demande un certain degré d'expertise dans la tâche à réaliser.
Imagerie auditive	Elle consiste à se représenter mentalement les sons ou rythmes accompagnant la réalisation d'un mouvement comme la musique lors d'une chorégraphie en danse par exemple ou le tir lors du départ d'une course.
Imagerie tactile	Elle va consister à retrouver mentalement les contacts, pressions, frottements réalisés par l'environnement ou le corps lui-même.
Imagerie olfactive	Elle est associée à l'évocation mentale des senteurs, odeurs accompagnant les actions ou se trouvant dans l'environnement du sujet. Ce type d'imagerie peut aider à s'imaginer se retrouver dans un contexte particulier.
Imagerie gustative	Bien que moins utilisé dans le milieu sportif, cette imagerie qui consiste à s'imaginer retrouver le goût, saveur, texture, etc des différents aliments, ou boissons peut être utilisée lors de la découverte de l'imagerie (ex « tu vas t'imaginer en train de manger un bon gâteau au chocolat), elle peut jouer sur le facteur motivationnel et aider à diminuer l'anxiété ou le stress en pensant à des éléments familiers.

Les résultats de cette étude ont montré que seule l'IM proprioceptive a permis aux participants d'améliorer et stabiliser à long terme leur performance (i.e., diminution de l'erreur de positionnement angulaire aux post-tests 10 minutes et 24 heures en comparaisons avec la performance obtenue au pré-test). Alors que pour le groupe ayant réalisé une pratique en IM visuelle, une détérioration transitoire (i.e., post-test 10 minutes) de la performance était observée, indiquant une absence de transfert positif de la modalité visuelle à la modalité proprioceptive. Ces résultats nous ont amené d'une part à suggérer la nécessité de conserver à l'identique la modalité dominante de la tâche à réaliser (i.e., la proprioception pour une tâche de reproduction de configuration angulaire réalisée en absence de vision) et la modalité d'imagerie utilisée lors de l'IM ; et ont apporté d'autre part des arguments en faveur d'une similitude

entre les modalités d'imagerie et les modalités sensorielles impliquée dans la tâche (Robin, Toussaint, & Blandin, 2006).

Encadré 1. Robin, N., Toussaint, L., & Blandin, Y. (2006). Importance des modalités d'imagerie dans l'apprentissage de reproduction de configurations corporelles simples. *Science et Motricité*, 57, 67-78. doi: 10.3917/sm.057.78

Cette étude porte sur l'influence des modalités d'imagerie visuelle et proprioceptive sollicitées lors d'une pratique mentale sur le développement de la précision de la reproduction de configurations corporelles. Dans un premier temps (pré-test), 20 sujets ont été évalués sur leurs capacités à reproduire avec précision, sans l'aide de la vision, une position angulaire mobilisant l'articulation du genou. Ils ont ensuite été assignés aléatoirement soit à un groupe de pratique par imagerie visuelle, soit à un groupe de pratique par imagerie proprioceptive (90 essais de pratique). Des post-tests ont été réalisés 10 minutes et 24 heures après cette phase de pratique. Les résultats obtenus montrent que l'imagerie proprioceptive permet aux sujets de réduire leurs erreurs de positionnement angulaire. À l'opposé, une pratique sollicitant l'imagerie visuelle s'accompagne d'une détérioration temporaire de la performance. Ces résultats suggèrent la nécessité de conserver à l'identique la modalité dominante de la tâche à apprendre et la modalité d'imagerie sollicitée lors d'une pratique mentale.



Figures.

A) Erreur absolue (en degré) en fonction de la modalité d'imagerie (Imagerie visuelle ou IV versus Imagerie Proprioceptive ou IP) et de la phase expérimentale (pré-test, post-test 10 minutes, post-test 24 heures)

B) Erreur variable (en degré) en fonction de la modalité d'imagerie (Imagerie visuelle ou IV versus Imagerie Proprioceptive ou IP) et de la phase expérimentale (pré-test, post-test 10 minutes, post-test 24 heures)

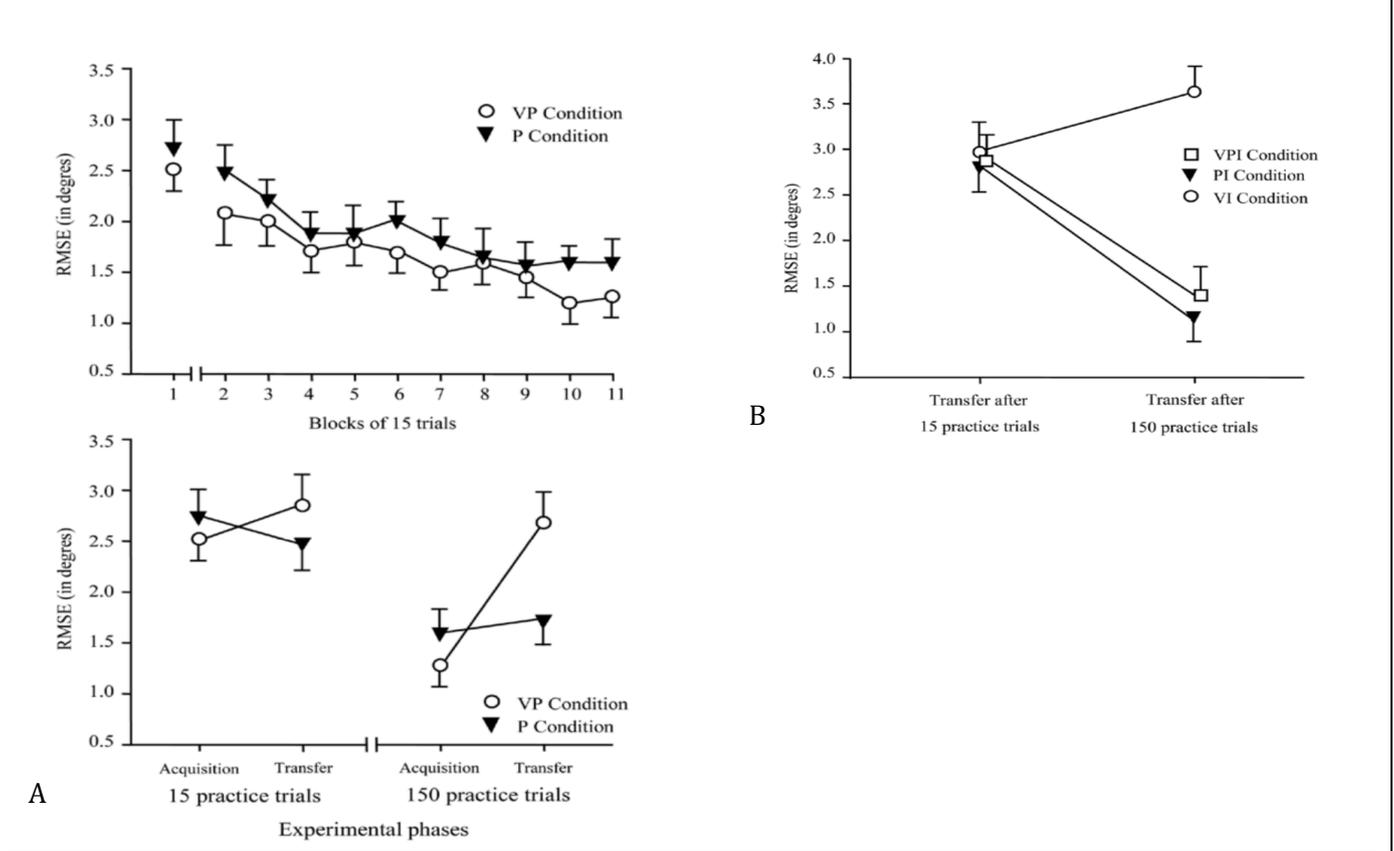
Les résultats que nous avons obtenus semblent aller dans le sens de l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissage (Tremblay & Proteau, 1998) qui propose qu'en fonction du type de tâche réalisée, il existerait une source d'information pertinente qui permettrait l'obtention d'une performance optimale et qu'une fois sa dominance établie, elle serait traitée prioritairement et au détriment des autres d'informations sensorielles disponibles dans l'environnement. Mais comment expliquer l'absence d'effet positif de l'IM visuelle ? Hardy (1997) a proposé que les effets bénéfiques d'une pratique en IM visuelle,

dans des tâches reposant sur une forme à reproduire (e.g., enchaînement en gymnastique), proviendraient de l'apport d'informations supplémentaires à celles disponibles dans l'environnement. Cette modalité d'IM permettrait aux utilisateurs de se représenter mentalement, et avec précision, les mouvements à réaliser et les positions attendues. Or dans la tâche utilisée dans notre étude, seule l'articulation du genou était sollicitée pour réaliser une forme corporelle simple (i.e., une position angulaire) en l'absence de vision, ce qui peut expliquer l'absence d'effet positif de l'IM visuelle qui n'apportait pas d'indice pertinent contrairement à l'IM proprioceptive. Comme cette similitude entre pratique en IM et pratique réelle avait été mise en évidence dans une tâche dans laquelle la modalité sensorielle dominante était la proprioception, nous avons voulu vérifier si ce serait également le cas pour des tâches à dominante visuelle. Nous avons répliqué cette étude en utilisant une tâche similaire, mais réalisée les yeux ouverts au moyen d'un pointeur laser afin de rendre les informations visuelles pertinentes, et avons observé une plus forte amélioration de performance suite à une pratique en IM visuelle (Robin, 2005). Cette congruence entre la modalité sensorielle dominante dans une tâche donnée (i.e., la vision) et la modalité d'imagerie (i.e., IM visuelle) confirme les résultats obtenus dans l'étude de Robin et al. (2006) avec une pratique en IM proprioceptive. Par la suite, nous avons testé si une pratique en IM pouvait engendrer une dépendance progressive à l'égard des sources d'informations spécifiques comme celle observée en pratique réelle (encadré 2). Dans un premier temps, il a été demandé à des participants de réaliser physiquement 15 puis 150 essais de reproduction de configurations angulaires en condition de proprioception uniquement (i.e., P) ou de vision avec un miroir et de proprioception (i.e., VP). Dans un second temps, il a été demandé à d'autres participants de réaliser 15 puis 150 essais de pratique en IM selon les modalités d'imagerie visuelle (VI) ou proprioceptive (PI) ou mixte (VPI). Les participants réalisaient ensuite une tâche de transfert qui consistait à reproduire réellement des configurations angulaires en l'absence de vision. Les résultats obtenus, à la suite des pratiques physiques, ont mis en évidence un établissement progressif de la dominance de la vision en condition VP, au détriment de la proprioception, et ont confirmé les résultats généralement observés dans la littérature (Coull, Tremblay, & Elliott, 2001 ; Proteau, Marteniuk, Girouard, & Dugas, 1987 ; Tremblay, Welsh, & Elliott, 2001 ; Toussaint & Meugnot, 2013 ; Soucy & Proteau, 2001). De plus, conformément aux résultats obtenus dans nos précédentes études, la pratique

réelle en condition P a permis une amélioration de la précision des configurations angulaires dans la tâche de transfert réalisée en l'absence de vision (voir encadré 2 figure A).

Encadré 2. Toussaint, L., Robin, N., Blandin, Y. (2010). On the content of sensorimotor representations after actual and motor imagery practice. *Motor Control*, 14, 159-175. doi : 10.1123/mcj.14.2.159

We examined the similarities between actual and motor imagery practice with regard to the development of sensorimotor representations. Participants had to reproduce knee joint positions (15 or 150 trials) in visuo-proprioceptive or proprioceptive conditions (Experiment 1) or in visual, proprioceptive or visuo-proprioceptive imagery conditions (Experiment 2), before being transferred in a proprioceptive condition. A familiarization session in a proprioceptive condition was performed before imagery practice only (Experiment 2). Results showed that the effect of vision withdrawal varied according to actual or motor imagery practice: performance accuracy in transfer decreased after actual visuo-proprioceptive practice while it increased after visuo-proprioceptive imagery practice. These results suggest that different movement representations can be developed following actual or imagery practice. They also suggest that information from previous experience could be stored in a sensori-motor memory and could be fundamental for the efficiency of motor imagery practice.



Figures.

A) Top panel: RMSE as a function of sensory conditions (VP and P) and blocks of practice. Block 1 corresponded to the first acquisition phase (15 trials), blocks 2–11 corresponded to the second acquisition phase (150 trials). Lower panel: RMSE as a function of sensory conditions (VP and P), acquisition (15 trials and 150 trials) and experimental phases (acquisition and transfer).

B) RMSE as a function of imagery conditions (VI, PI and VPI) and acquisition (15 trials and 150 trials) recorded during the transfer phases.

En ce qui concerne la pratique en IM, alors que l'acquisition avec une modalité d'imagerie visuelle (VI) a engendré une baisse de performance lors du test de transfert réalisé sans vision, les pratiques en imagerie

mixte (VPI) et en imagerie proprioceptive (PI) ont entraîné une amélioration de la performance. Ainsi au cours de la pratique en imagerie mixte, la modalité d'imagerie visuelle n'a pas nui au traitement de la modalité proprioceptive. Les résultats obtenus dans cette étude, valident donc l'hypothèse de similarité fonctionnelle entre pratique réelle et pratique en IM, notamment pour les modalités d'imagerie visuelle ou proprioceptive. Ce résultat n'est pas en accord avec l'hypothèse de spécificité des conditions d'apprentissages (Proteau et al., 1987), évoquant le développement d'une représentation mentale intégrant l'ensemble des informations sensorielles disponibles au cours de l'acquisition, mais plutôt avec sa version révisée (Coull et al., 2001 ; Tremblay & Proteau, 1998) qui propose que les participants sont capables de déterminer la source d'information, qui est la plus pertinente pour réaliser une performance optimale, et de traiter celle-ci au détriment des autres sources d'information sensorielles qui sont disponibles dans l'environnement. Selon Robin (2018), d'autres travaux de recherches utilisant des paradigmes expérimentaux variés comme la chronométrie mentale, la mesure de l'activité cérébrale ou d'indices physiologiques périphériques ont fourni des arguments en faveur d'une similarité entre la réalisation réelle d'une action et l'IM de cette même action.

1.2.2. Les indices physiologiques

Afin d'évaluer le parallèle existant entre l'exécution réelle et l'IM, Collet, Guillot, Bolliet, Delhomme, et Dittmar (2003) ont mesuré l'activité végétative, du système nerveux autonome, au niveau périphérique. L'enregistrement d'indices neurophysiologiques, comme les réponses thermovasculaires, cardio-respiratoires et électrodermales, a montré de fortes similarités entre les mesures faites pendant l'IM et celle obtenues au cours de l'exécution réelle d'action (Decety, Jeannerod, Germain, & Pastene 1991 ; Guillot et al., 2003 ; Oishi, Kasai, & Maeshima, 2000 ; Roure et al., 1999). Par exemple, dans une étude utilisant une tâche de tir, Deschaumes-Molinario, Dittmar, et Vernet-Maury (1992) ont mis en évidence que les fréquences cardiaques enregistrées pendant l'action réelle et l'IM d'un tir étaient similaires. D'autres travaux de recherche mesurant l'activité musculaire (i.e., électromyographie : EMG) ont observé une activité électrique subliminale au niveau des muscles impliqués dans une tâche, lors de l'IM (Jacobson, 1932 ; Lebon et al., 2007), et proportionnelle à la charge mentalement soulevée (Bakker, Boschker, & Chung, 1996 ; Boschker, 2001). L'analyse de ces réponses végétatives et musculaires, lors

de l'IM, peut permettre d'estimer la qualité des représentations mentales (Guillot et al., 2004). Robin (2005) a proposé que l'IM inclut des processus neurophysiologiques qui préparent et accompagnent la réalisation d'une action. En effet, Decety et Lindgren (1991) ont montré que l'activité végétative périphérique augmentait avec la quantité d'effort mental, ce qui semble indiquer que l'activation des représentations mentales, lors de l'IM, permettrait d'anticiper les exigences métaboliques des actions motrices. Comme lors de l'IM les activités somatiques et végétatives proviennent d'activations des structures corticales centrales, nous allons à présent nous intéresser aux similarités fonctionnelles entre pratique réelle et simulation mentale au niveau neuronal.

1.2.3. L'activité cérébrale

Selon Jeannerod (2001), l'IM partage des substrats neuronaux communs avec la préparation et l'exécution réelle d'une action motrice (voir figure 1A).

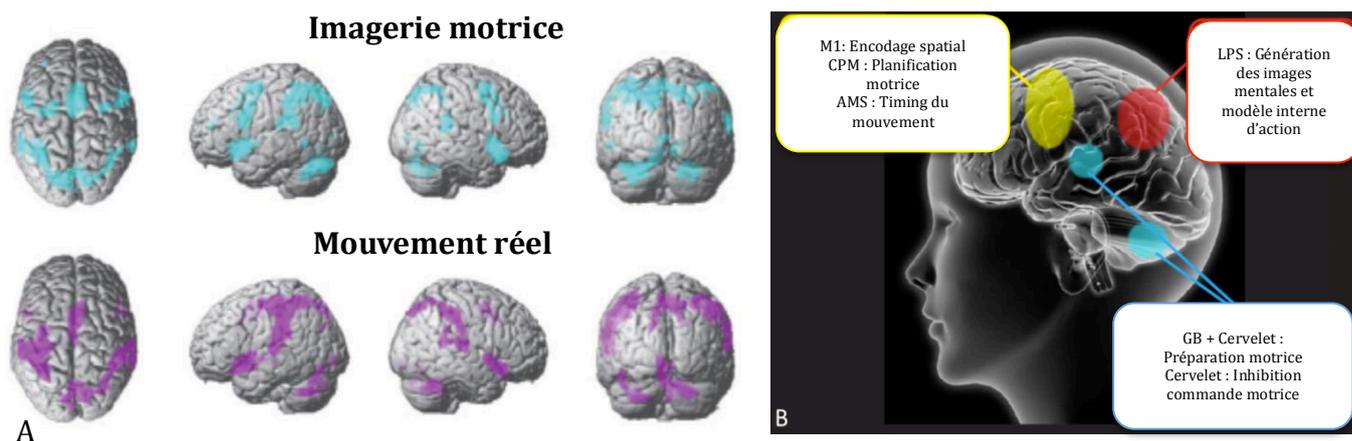


Figure 1 : Activité cérébrale mesurée au cours de l'imagerie motrice. A) Activités cérébrales, enregistrées par IRMf, au cours d'un mouvement réel ou imaginé du membre supérieur (adapté d'Hanakawa, Dimyan, & Hallett, 2008). B) Aires corticales principalement activées lors de l'imagerie motrice (adapté de Kanthak, 2018). M1 : Aire motrice primaire 1 ; CPM : Cortex prémoteur ; AMS : Aire motrice supplémentaire ; LPS : Lobe pariétal supérieur ; GB : Ganglions de la base.

En effet, des études utilisant la tomographie par émission de positons (TEP) et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) ont permis d'observer que les aires cérébrales impliquées dans la réalisation d'actions volontaires étaient également activées, mais pas de façon strictement identique, au cours de l'IM (Tomasino & Gremese, 2016). Comme schématisé dans la figure 1B, les activations

communes concernent principalement le cortex moteur primaire (Hétu et al., 2013), le cortex pré-moteur ventral et dorsal (Guillot et al., 2008), les aires motrices supplémentaires (Gérardin et al., 2000), les ganglions de la base (Münzer, Lore, & Entra, 2009), le cortex pariétal (Lote et al., 1999 ; Nair et al., 2003) et le cervelet (Hanakawa et al., 2003, 2008 ; Lotze, 1999).

Bien que certaines études aient montré l'existence de dissociations anatomiques (Gerardin et al., 2000 ; Tyszka et al., 1994) dans certaines des zones cérébrales préalablement évoquées comme le cortex pariétal, de nombreux travaux de recherches ont pu appuyer l'hypothèse de similarité neurofonctionnelle entre l'IM et l'exécution réelle (Guillot, Di Rienzo, & Collet, 2014 ; Munzert et al., 2009 ; Ruffino, Papaxanthis, & Lebon, 2017). La similarité fonctionnelle entre l'IM et la réalisation réelle d'action a été également confirmée au moyen d'autres techniques expérimentales comme la chronométrie mentale que nous allons à présent aborder.

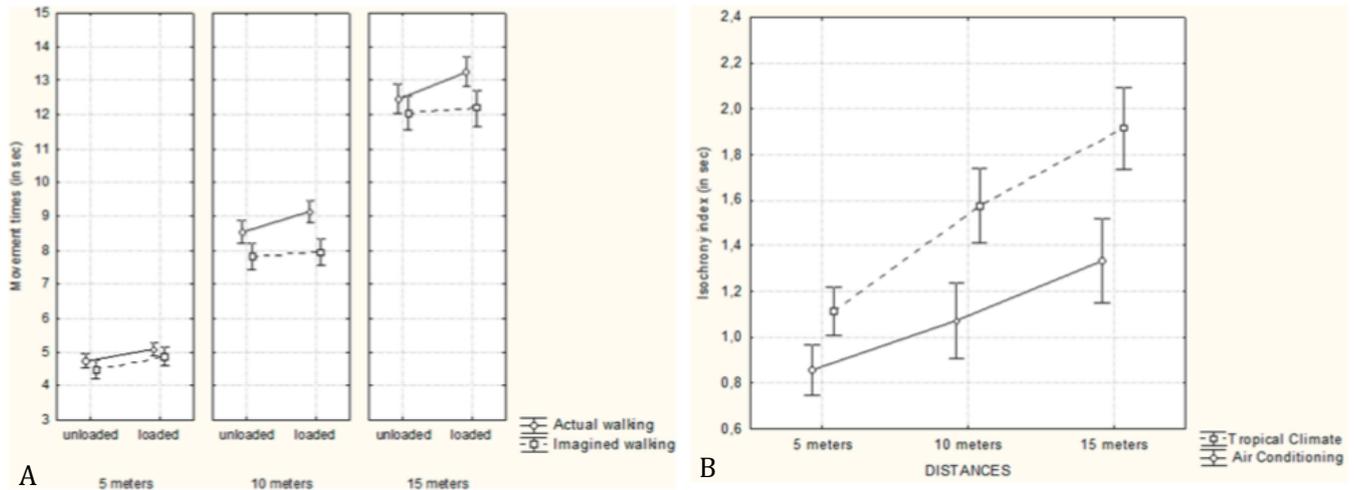
1.2.4. La chronométrie mentale

Afin de mieux comprendre le parallèle existant entre la production réelle d'une action et l'IM, de nombreux chercheurs ont eu recours au paradigme de chronométrie mentale qui consiste notamment à mesurer et comparer la durée des actions réelles avec celle des actions imaginées (pour revue voir Guillot & Collet, 2005). Plusieurs études ont ainsi mis en évidence une corrélation entre la durée de parcours mental et la distance réalisée physiquement (Cocude, Mellet & Denis, 1999 ; Denis & Cocude, 1989 ; Kosslyn, Ball, & Reiser, 1978). Des résultats similaires ont été obtenus avec des tâches plus complexes de locomotion, de pointage ou d'activités sportives (Calmels, Holmes, Lopez, & Naman, 2006 ; Decety, 1993 ; Maruff & Velakoulis, 2000 ; Papaxanthis, Pozzo, Skoura, & Schieppati, 2003 ; Personnier, Kubicki, Laroche, & Papaxanthis, 2010). Il a par exemple été montré que les temps requis pour écrire et simuler mentalement une production écrite étaient similaires (Decety & Michel, 1989). De même, il a été mis en évidence que les durées respectives de mouvements (i.e., marche ou mouvement de bras) réels et simulés étaient également très proches (Decety, Jeannerod, & Prablanc, 1989 ; Papaxanthis, Schieppati, Gentili, & Pozzo, 2002). Il semble donc que l'IM conserve les mêmes caractéristiques spatio-temporelles et obéit aux mêmes lois de contrôle des mouvements que l'exécution réelle (Cerritelli, Maruff, Wilson, &

Currie, 2000 ; Papaxanthis et al., 2002). En effet, dans une étude (Robin, Coudevylle, Hue, & Toussaint, 2018), résumée dans l'encadré 3, nous avons observé une équivalence temporelle entre les temps de marches réelles et imaginées notamment en direction d'une cible localisée à 5 mètres. De même, et conformément à la littérature (pour revue voir Guillot, Hoyek, Louis, & Collet, 2012), nous avons observé que les temps de mouvements réels et ceux imaginés augmentaient avec la distance parcourue. Ces résultats peuvent être considérés comme des arguments en faveur d'une similarité fonctionnelle entre la préparation à l'action et l'IM. Cependant, comme évoqué dans la revue de littérature réalisée par Guillot et Collet (2005), il est important de noter que d'autres travaux ont montré une sur-estimation (Cerritelli et al., 2000) ou une sous-estimation (Collet, Dittmar, & Vernet-Maury, 1999 ; Reed, 2002 ; Robin et al., 2018) des durées d'actions imaginées. En effet, dans l'expérience que nous avons réalisée au sein de notre laboratoire (encadré 3), nous avons également observé que les temps des marches imaginées pour les distances de 10 et 15 mètres étaient sous-estimés par rapport à ceux de marches réelles, allant dans le sens des résultats obtenus dans l'étude de Grealy et Shearer (2008). Les auteurs ont évoqué que l'équivalence temporelle entre IM et marche réelle était plus facilement observable pour des distances courtes que pour des grandes distances. Il en est de même lorsque l'on ajoute des charges à porter lors des déplacements : les temps de marches simulées étant supérieurs à ceux de marches réelles pour les plus longues distances (e.g., Cerritelli et al., 2000). C'est pourquoi il est suggéré, lorsque l'on a recours à la technique de chronométrie mentale, de prendre en compte des facteurs comme la difficulté ou complexité des actions à réaliser (Calmels et al., 2006 ; Decety et al., 1989), les contraintes environnementales (Cerritelli et al., 2000 ; Robin et al., 2018), le degré d'expertise des participants (Barthais, 1998) ou la capacité d'imagerie de ces derniers (Guillot et al., 2012 ; Robin & Coudevylle, 2018).

Encadré 3. **Robin, N.**, Coudeville, G.R., Hue, O., & Toussaint, L. (2018). The influences of tropical climate on imagined walking time. *Journal of Cognitive Psychology*, 30(1), 98-107. doi : 10.1080/20445911.2017.1384382

This study investigated the effects of a Tropical Climate (TC) on actual and imagined walking times. Participants had to execute and imagine walking 3 distances with or without a 10-kg weight in either a TC or an Air Conditioning (AC) condition. The motor imagery quality was evaluated by computing the isochrony index. The results revealed that movement times were shorter for imagined walking than for actual walking and increased with the distance of the paths in both cases. By contrast, the effect of the load increased actual walking times for the 10- and 15-meter distances without affecting imagined walking times. Importantly, the isochrony index was negatively affected by the increase in load and distance and the effects of distance were amplified in a TC. These findings showed that the environmental climate in which motor imagery arises can modulate the subject's ability to build up the temporal characteristics of simulated actions.



Figures.

A) Movement time (in seconds) as a function of distance (5, 10 and 15 m), load condition (loaded vs. unloaded) and action (actual vs. imagined). I-beams indicates the 95% confidence intervals for the mean values.

B) Isochrony index (in seconds) as a function of distance (5, 10 and 15 m) and climatic condition (Tropical Climate vs. Air Conditioning). I-beams indicates the 95% confidence intervals for the mean values.

En effet, bien qu'au moyen d'un protocole expérimental similaire à celui utilisé dans l'expérience de l'encadré 3 nous ayons confirmé la similarité fonctionnelle entre IM et pratique réelle, nous avons également observé que les participants ayant un « faible » score de capacités d'imagerie sous-estimaient leurs temps de marches imaginées en direction de cibles localisées à 10 et 15 mètres en comparaison avec leurs temps de marches réelles (voir encadré 4). Ce résultat nous a amené à suggérer qu'il est important de contrôler la capacité d'imagerie des participants lorsque que l'on souhaite avoir recours à un protocole basé sur la chronométrie mentale et utilisant l'IM. L'influence du facteur capacité d'imagerie sera ultérieurement développée, de façon plus approfondie, après avoir évoqué les différentes modalités d'imagerie pouvant être utilisées lors d'une pratique d'IM. En effet, la plupart des travaux en chronométrie mentale n'ont pas fait de distinction entre les modalités d'imagerie, notamment visuelles (interne vs. externe) utilisées lors de l'IM, que nous allons aborder dans le paragraphe suivant. Il est

possible que des effets différenciés (i.e., synchronie ou asynchronie entre IM et action réelle) puissent être observés en lien avec les capacités d'imagerie des participants et les types d'images utilisées lors de l'IM pour des tâches plus ou moins complexes (e.g., déplacements longs, enchainements d'actions) réalisées avec des contraintes particulières (e.g., ajout de masse, environnement chaud, absence de vision). Des travaux de recherches supplémentaires sont nécessaires pour explorer ces éventualités, permettre notamment une meilleure compréhension du rôle des différentes modalités d'IM et donner des recommandations de terrains plus spécifiques et/ou adaptées au contexte Caribéen.

Encadré 4. **Robin, N., & Coudeville, G.R. (2018).** The Influences of Tropical Climate, Imagery Ability, Distance and Load on Walking Time. *International Journal of Sport Psychology*, 3, 140-155.

We investigated whether tropical climate and an external load would influence mental chronometry and whether imagery ability would act as a moderator. The Movement Imagery Questionnaire–Revised was used to determine good and poor imagers. Participants had to walk and imagine walking toward three targets with and without a 10-kg weight in an air-conditioned setting (AC) or tropical climate (TC). Movement times were recorded with a stopwatch. The isochrony index was used to evaluate motor imagery quality. The results revealed that poor imagers had slower times in motor imagery that in actual walking condition and had a lower isochrony index in the AC than in the TC condition at 10-m and 15-m. Regardless of the climate condition, good imagers had a lower isochrony index in the unloaded than in the loaded condition and had a significantly lower isochrony index than poor imagers in all conditions. Tropical climate and poor individual imagery ability can negatively influence mental chronometry.

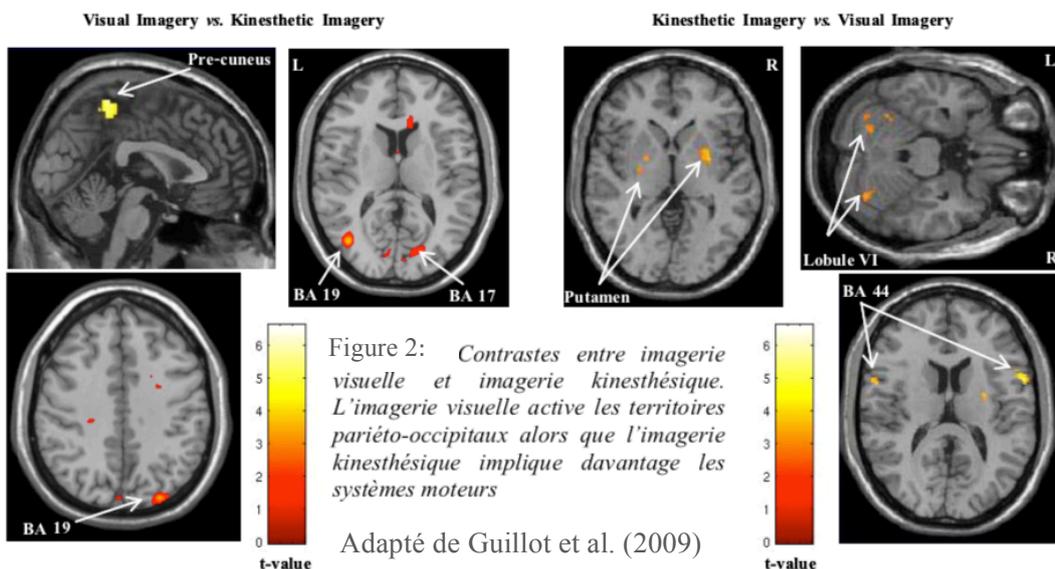
Table. Mean actual and imagined movement times (and standard deviation), in seconds, of the good and poor imagers as a function of climate condition (air-conditioning: AC vs. tropical climate: TC), load (loaded vs. unloaded) and target distance (5-m vs. 10-m vs. 15-m). * Significant differences between actual and imagined movement times (all $ps < .05$)

Climate Load condition		5-m		10-m		15-m	
		Actual	Imagined	Actual	Imagined	Actual	Imagined
Poor imagers							
AC	Loaded (N=14)	4.7 (0.7)	4.4 (1.0)	8.8 (1.1)	7.0 (1.4)*	13.0 (1.2)	11.6 (1.9)*
	Unloaded (N=14)	5.2 (1.9)	4.9 (2.2)	9.6 (2.5)	8.4 (2.8)*	13.6 (3.2)	12.5 (3.7)*
TC	Loaded (N=14)	5.3 (0.9)	5.2 (1.4)	9.7 (1.2)	7.3 (1.8)*	14.2 (2.4)	12.8 (2.3)*
	Unloaded (N=14)	4.8 (0.9)	4.4 (1.3)	8.7 (0.9)	8.1 (2.5)*	12.9 (1.5)	12.4 (2.9)*
Good imagers							
AC	Loaded (N=14)	5.0 (0.7)	5.1 (1.1)	8.9 (1.2)	8.3 (1.4)	12.8 (1.6)	12.7 (1.6)
	Unloaded (N=14)	4.2 (0.8)	4.1 (0.8)	7.6 (1.6)	7.2 (1.3)	11.3 (1.8)	11.2 (1.8)
TC	Loaded (N=14)	5.4 (0.6)	5.2 (0.9)	9.4 (1.0)	8.7 (1.1)	13.4 (1.3)	13.2 (1.8)
	Unloaded (N=14)	4.2 (0.7)	4.0 (0.7)	7.7 (1.4)	7.1 (1.2)	11.8 (2.1)	11.7 (2.0)

* Significant differences between actual and imagined movement time ($ps < .05$)

1.3. Modalités d'imagerie

Selon Kosslyn (1980), les images mentales se construisent sur la base des modalités sensorielles qui sont disponibles dans l'environnement ou issues de notre propre corps. Ainsi, différentes modalités d'IM sont envisagées en fonction du type d'information(s) sensorielle(s) traitée(s) lors de la représentation mentale de l'action. Robin (2018) a récemment évoqué que les modalités d'IM les plus fréquemment rencontrées dans les travaux de recherches scientifiques et par les athlètes sont l'imagerie visuelle interne (i.e., voir les changements découlant de la réalisation d'une action du point de vue de l'exécutant comme si on regardait avec ses propres yeux), l'imagerie visuelle externe (i.e., se voir réaliser une action ou une séquence de mouvements à la troisième personne comme si on était filmé avec une caméra placée par exemple sur le côté) et l'imagerie proprioceptive qui est liée aux sensations de mouvement, de force, et d'étirement qui accompagnent la réalisation d'une action. Guillot et al. (2009) ont montré que malgré l'activation de structures cérébrales communes, les modalités d'imagerie impliquent sélectivement des réseaux neuronaux spécifiques (voir figure 2).

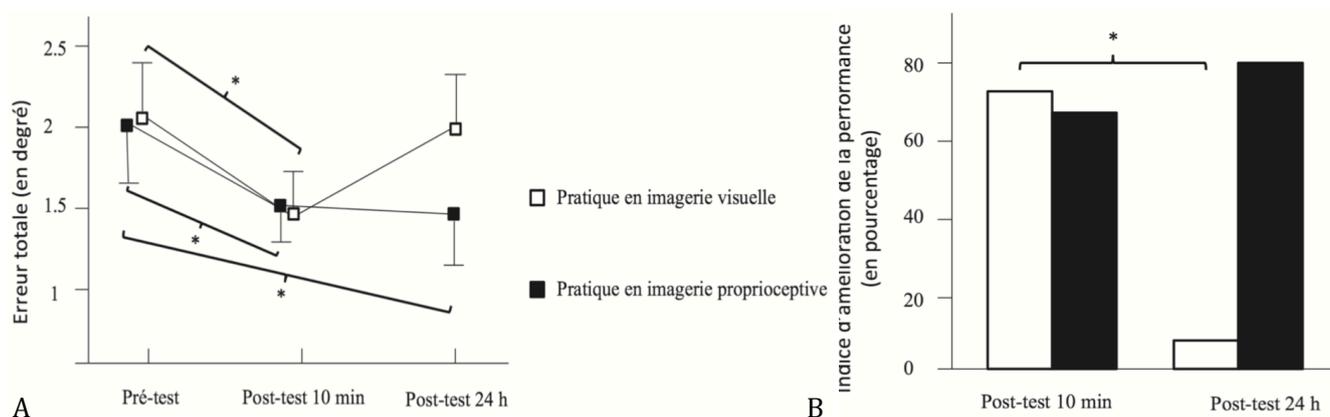


Comme il peut y avoir des effets différenciés des modalités d'IM sur les performances motrices (Munroe, Giacobbi, Hall, & Weinberg, 2000 ; Robin et al., 2006), il est primordial de spécifier dans les consignes données aux participants quelle(s) modalité(s) d'IM devrai(en)t être utilisée(s). En effet, dans une étude publiée en 2018 (encadré 5), l'influence des modalités d'IM visuelle et proprioceptive, sur le

développement de la précision de la reproduction de configurations corporelles sur un mannequin équipé de potentiomètre goniométrique, a été testée. Les participants devaient reproduire 3 positions angulaires présentées par l'expérimentateur au cours d'un pré-test et de post-tests 10 minutes et 24 heures réalisés après une pratique en IM. Les résultats montrent des améliorations à court et long terme de la performance uniquement pour le groupe ayant réalisé une pratique en IM proprioceptive. En effet, Féry (2003) a évoqué que l'imagerie proprioceptive devait être privilégiée afin de favoriser l'apprentissage des aspects temporels et/ou de coordination inter-segmentaires de mouvements (e.g., patinage artistique, gymnastique, kata).

Encadré 5. Robin, N. (2018). Importance des modalités d'imagerie dans la reproduction de configurations angulaires simples sur un mannequin. *Revue STAPS, 120(2), 83-97.* doi:10.3917/sta.120.0083

Cette étude porte sur l'influence des modalités d'imagerie proprioceptive et visuelle utilisées au cours d'une pratique en imagerie motrice sur le développement de la précision de la reproduction de configurations corporelles sur un mannequin. Les participants étaient divisés en deux groupes. Un groupe a réalisé une pratique en imagerie visuelle (groupe IV), l'autre groupe a réalisé une pratique en imagerie proprioceptive (groupe IP). Le pré-test et les post-tests (10 min. et 24 h) étaient réalisés sur un mannequin équipé d'un potentiomètre goniométrique permettant de mesurer l'angle de l'articulation du genou. L'expérimentateur présentait une position d'encodage sur le mannequin puis les participants devaient présenter une position de rappel. Trois positions angulaires étaient utilisées (132°, 147° et 162°). Les résultats montrent que l'amélioration de la performance observée pour le groupe IP est durable tandis que, pour le groupe IV, cette amélioration est transitoire n'étant observée qu'au post-test 10 min. Les résultats de cette étude confirment le bénéfice de la pratique en imagerie et particulièrement de l'imagerie proprioceptive sur la reproduction de configurations corporelles simples sur mannequin.



Figures.

A) Erreur totale, en degré, calculée lors des différentes phases expérimentales (pré-test, post-test 10 mn et post-test 24 h), pour les groupes ayant réalisé une pratique en imagerie visuelle et une pratique en imagerie proprioceptive (* différences significatives, $p < .05$)

B) Indice d'amélioration de la performance, en pourcentage, calculé pour les groupes ayant réalisé une pratique en imagerie visuelle et en imagerie proprioceptive pour le post-test 10 mn et le post-test 24 h (* différence significative, $p < .05$)

Cependant d'autres chercheurs ont montré que les effets de l'imagerie proprioceptive pouvaient être influencés par l'expertise, l'âge ou la capacité d'imagerie des utilisateurs et le moment de la journée (Barr & Hall, 1992 ; Chevalier & Renaud, 1990 ; Debarnot, Sahraoui, Champely, Collet, & Guillot, 2012 ; Hardy, 1997 ; Hardy & Callow, 1999 ; Isaac, 1992 ; Malouin & Richards, 2010). D'autres études ont montré des effets positifs des modalités d'imagerie visuelles (pour revues voir Driskell, Copper & Moran, 1994 ; Feltz & Landers, 1983 ; Hall, 2001 ; Robin, 2005). Il a par exemple été montré que l'imagerie visuelle interne était la modalité d'imagerie la plus adaptée pour des actions motrices au cours desquelles les contraintes de planification d'actions, en réponse aux changements intervenant dans l'environnement, étaient fortes comme lors d'une tâche de slalom réalisée en fauteuil roulant ou avec un kayak (White & Hardy, 1995, 1998) ou le retour de service au tennis (Robin et al., 2007). De même, il a été montré que l'imagerie visuelle externe apparaissait être la modalité d'imagerie la plus appropriée pour assurer la mémorisation ainsi que la précision de mouvements précis et standardisés comme pour la réalisation d'un kata en karaté ou d'un enchaînement de gymnastique (Hardy & Callow, 1999). Les effets différenciés des modalités d'imagerie sur la performance motrice comportent encore de nombreuses « zones d'ombres » et résultats contradictoires (Callow, Roberts, Hardy, Jiang, & Edwards, 2013) dû au fait qu'il semble important de tenir compte de la nature de la tâche, du degré d'expertise des participants, de la quantité de pratique en IM, voir même de l'heure de la journée que nous allons brièvement évoquer, avant de développer l'influence de la capacité d'imagerie sur l'apprentissage et la performance motrice.

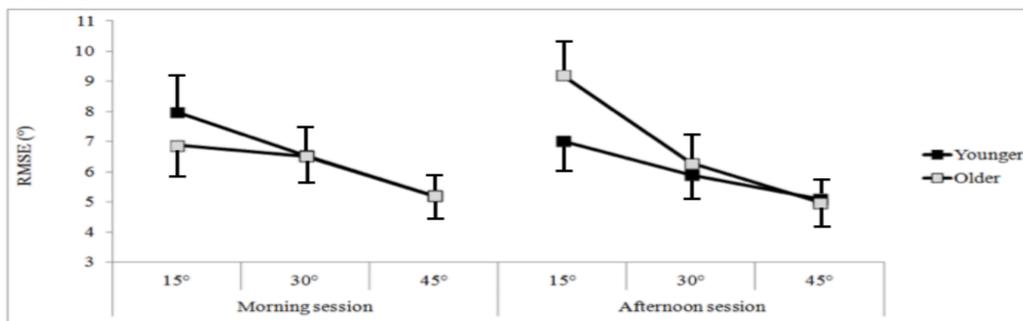
1.4. Modulation circadienne

Les effets d'une pratique en IM peuvent varier en fonction de l'heure de la journée. Par exemple, Gueugneau, Mauvieux, et Papaxanthis (2009) ont mis en évidence que la capacité de former des images motrices de différentes parties du corps (i.e., membres supérieurs et membres inférieurs) était supérieure l'après-midi que le matin ou le soir chez des jeunes adultes. De plus, une étude réalisée par Debarnot et al. (2012) a montré que la modulation circadienne de la capacité d'IM dépendait de la difficulté de la tâche. En effet, les auteurs ont observé que la capacité d'imaginer en temps réel une tâche simple (i.e., marche sur 2 mètres) était influencée par le moment de la journée, avec des temps d'IM plus long le matin que le

soir. Par contre, le rythme circadien n'affectait pas les temps d'IM de tâches plus complexes (i.e., slalom sur 7 mètres avec une charge de 25 kg ou marche sur 40 mètres). D'autres travaux de recherche ont, quant à eux, mis en évidence que l'effet de la modulation circadienne sur l'IM variait en fonction de l'âge des participants. Par exemple, Rulleau, Mauvieux, et Toussaint (2015) ont constaté que la qualité de l'IM était supérieure, pour des tâches de marche et d'écriture, en fin de matinée (i.e., vers 10h00 et 12h00) que plus tôt ou plus tard dans la journée, chez des personnes âgées. Comme les travaux de recherche précédemment évoqués, portaient soit sur des jeunes adultes soit sur des personnes âgées, nous avons cherché à comparer la capacité d'IM de ces deux types de population en fonction du moment de la journée. Le but de l'expérience, présentée dans l'encadré 6, était d'examiner si les performances, dans une tâche de reproduction de configurations angulaires du bras, obtenues à la suite d'une pratique en IM proprioceptive pouvaient varier en fonction de l'heure de la journée et de l'âge des participants (i.e., jeunes adultes vs. personnes âgées). Au regard des travaux de la littérature, nous avons supposé que si les modulations circadiennes jouent un rôle dans la pratique de l'IM, alors les améliorations de performance devraient être supérieures le matin pour les participants les plus âgés et l'après-midi pour les plus jeunes. Les résultats de cette étude ont, dans un premier temps, montré une amélioration de la précision des reproductions des configurations angulaires après la pratique en IM, confirmant les résultats d'études similaires (Robin et al., 2006 ; Toussaint, Robin & Blandin, 2010 ; Toussaint & Blandin, 2013). Dans un deuxième temps, nous avons montré qu'aussi bien les jeunes adultes que les personnes âgées pouvaient bénéficier d'une pratique en IM proprioceptive comme rapporté par Saimpont, Malouin, Tousignant, et Jackson (2012). Enfin, nous avons observé que la reproduction de configuration angulaire était moins précise l'après-midi que le matin chez les personnes âgées, que ce soit avant mais aussi après la pratique en IM, alors qu'aucune différence significative n'est apparue chez les jeunes adultes confirmant les résultats obtenus dans l'étude de Kwon et Nam (2014).

Encadré 6. Rulleau, T., Robin, N., Abou-Dest, A., Chesnet, D., & Toussaint, L. (2018). The effect of time-of-day on motor imagery practice in younger and older participants. *Experimental Aging Research*, 44(5), 443-454. doi : 10.1080/0361073X.2018.1521496

The effectiveness of motor imagery practice is known to depend on age and on the ability to form motor images. In the same individual, motor imagery quality changes during the day, being better late in the morning for older adults and in the afternoon for younger adults. Does this mean that motor imagery practice should be done at specific time of the day depending of the age of participants to maximize motor learning? **Methods:** To examine whether the effect of motor imagery practice varies as a function of time-of-day and age, we used an arm configuration reproduction task and measured position sense accuracy before and after 135 kinesthetic motor imagery trials. Younger and older participants were randomly assigned to either a morning or an afternoon session. **Results:** Data showed that the accuracy for reproducing arm configurations improved following imagery practice regardless of time-of-day for both younger and older adults. Moreover, we observed that the position sense was less accurate in the afternoon than in the morning in older participants before and after motor imagery practice), while performance did not change during the day in younger participants. **Conclusions:** These results may have practical implications in motor learning and functional rehabilitation programs. They highlight the effectiveness of motor imagery practice for movement accuracy in both younger and older adults regardless of time-of-day. By contrast, they reveal that the assessment of position sense requires that the time-of-day be taken into account when practitioners want to report on the older patients' progress without making any mistakes.



Angular positions of the arm

		15°	30°	45°
Morning Session	Younger	8.0° (5.1°)	6.5° (3.6°)	5.2° (2.4°)
	Older	6.9° (3.4°)	6.5° (3.1°)	5.2° (2.4°)
Afternoon Session	Younger	7.0° (4.2°)	5.9° (3.2°)	5.1° (2.3°)
	Older	9.2° (4.7°)	6.3° (3.4°)	5.0° (2.6°)

Figure. Root Mean Square Errors (RMSE, in degrees) as a function of position (15°, 30°, 45°), session (morning versus afternoon) and age (younger versus older). Error bars indicate the standard error of the mean.

En effet, nous avons observé chez les personnes âgées, pour la position angulaire de 15°, que la précision de reproduction était moins bonne l'après-midi que le matin confirmant les résultats obtenus dans l'étude de Schmidt, Collette, Cajochen, et Peigneux (2007) qui a montré que les performances cognitives des personnes âgées étaient moins efficaces l'après-midi que le matin. Ces résultats nous paraissent importants à prendre en compte avec des patients notamment quand un praticien vise à évaluer la précision du sens de la position des personnes âgés pour quantifier les résultats d'un programme de réadaptation. Dans cette étude nous avons contrôlé la capacité d'imagerie des participants car ce facteur,

que nous allons à présent développer, est susceptible d'influencer les performances obtenues suite à une pratique en IM (Hall, 2001 ; Robin, 2005).

1.5. Capacités d'imagerie

Bien qu'il semble que tout les individus soient en capacité de générer des images mentales, Hall (2001) a évoqué qu'il existait des différences interindividuelles en IM et a définit la capacité d'imagerie comme étant la difficulté ou la facilité à créer et utiliser l'IM. La capacité d'imagerie peut être évaluée au moyen de questionnaires standardisés, basés sur le principe d'auto-évaluation, tels que le « Movement Imagery Questionnaire » (MIQ) développé par Hall et Pongrac (1983) ou sa version révisée le (MIQ-R) de Hall et Martin (1997). Ces questionnaires sont composés d'items, impliquant la réalisation physique de mouvements de bras, de jambes ou du corps en entier puis l'IM de ces mêmes mouvements, dont la moitié est dédiée à l'imagerie visuelle et l'autre à l'imagerie proprioceptive. L'estimation des capacités d'imagerie visuelle ou proprioceptive de chaque item se fait au moyen d'échelles de Likert à 7 degrés (allant de 1 « très facile à imaginer ou à ressentir » à 7 « très difficile à imaginer ou à ressentir »). Bien que très fréquemment utilisés, ces questionnaires ne permettent pas de faire la distinction entre les deux types de perspectives d'imagerie visuelles (interne et externe) ce qui est problématique étant donné les influences spécifiques et différenciées que ces dernières peuvent avoir sur les performances motrices en fonction notamment des caractéristiques des tâches réalisées (Cumming & Ste-Marie, 2001 ; Roberts, Callow, Hardy, Markland, & Bringer, 2008). Williams et al. (2012) ont ainsi développé une troisième version du questionnaire d'imagerie de mouvement (MIQ-3) afin de différencier les capacités d'imagerie visuelle interne, visuelle externe et proprioceptive. Comme cet outil était en anglais, nous avons traduit et mis en place une procédure de validation (voir l'encadré 7) d'une version française de ce questionnaire (MIQ-3f) afin de pouvoir faire des distinctions entre les modalités d'imagerie visuelles interne et externe. Pour ce faire, nous avons examiné la validité de construit, la cohérence interne des items, et la fiabilité test-retest du MIQ-3f au moyen de 272 jeunes participants. Les résultats ont montré que la cohérence interne (score de fiabilité $\geq 0,88$ pour les trois sous-échelles) et la fiabilité test-retest (coefficients de corrélation intraclasse : 0,87 pour l'imagerie visuelle interne ; 0,86 pour l'imagerie visuelle externe ; et

0,88 pour l'imagerie proprioceptive) du questionnaire étaient satisfaisantes. De plus, une structure à trois facteurs a été mise en évidence par une analyse factorielle confirmatoire, ce qui nous a amené à suggérer que le MIQ-3f serait un instrument valide et fiable pouvant être utilisé pour évaluer la capacité d'imagerie de personnes francophones. Cependant, le MIQ-3f comprend des items qui nécessitent que le participant réalise des sauts, ce qui n'est pas approprié pour tous les types de publics dont notamment les personnes en rééducation, certains patients à mobilités réduites ou les personnes âgées.

Encadré 7. Robin, N., Coudeville, G.R. Guillot, A., & Toussaint, L. (2020). French Translation and Validation of the Movement Imagery Questionnaire—third Version (MIQ-3f). *Movement and Sport Science*. doi : 10.1051/sm/2019035

Objectives: Imagery ability is a variable influencing the effectiveness of imagery practice that can be estimated by means of questionnaires. Among them, the Movement Imagery Questionnaire-Revised, translated and validated in French, is widely used by French speakers. However, it does not allow for the distinction between the two visual imagery perspectives (internal vs. external). The Movement Imagery Questionnaire-3 has been recently proposed in the English literature to differentiate between the ease of performing internal visual, external visual and kinesthetic imagery. The aim of this study was to translate and validate a French version of this questionnaire (MIQ-3f). **Method:** We examined the validity of constructs, internal consistency, and test-retest inter-rate reliability of the visual and kinesthetic items of the MIQ-3f in 272 healthy participants (M_{age} = 20.26 years, SD = 1.73). **Results:** The internal consistency (composite reliability scores ≥ 0.88 for the three subscales) and test-retest reliability (intraclass correlation coefficients: 0.87 for visual internal imagery, 0.86 for visual external imagery, and 0.88 for kinesthetic imagery) of the MIQ-3f were satisfactory. The three-factor structure (with 4 items for each factor) was supported by confirmatory factor analysis. The MIQ-3f appears to be a valid and reliable instrument that can be used to assess imagery ability in French speakers.

Scale	Items	Standard error	Parameter estimate	T values	Imagery scales	N	Mean scores	Standard deviations
Kinesthetic	1	1.73	0.12	15.05*	Test (week 1)			
	4	1.76	0.11	15.54*	External visual	100	5.76	1.21
	7	1.68	0.11	14.89*	Internal visual	100	4.72	1.81
	10	1.82	0.12	15.60*	Kinesthetic	100	4.44	1.97
Internal visual	2	1.62	0.11	15.06*	External visual	172	5.82	1.38
	5	1.70	0.10	16.50*	Internal visual	172	5.12	1.77
	8	1.65	0.10	16.02*	Kinesthetic	172	4.69	1.92
	11	1.63	0.10	16.41*	Retest (week 2)			
External visual	3	1.21	0.09	13.72*	External visual	172	5.85	1.30
	6	1.26	0.09	14.85*	Internal visual	172	5.08	1.75
	9	1.22	0.08	14.61*	Kinesthetic	172	4.71	1.88
	12	1.19	0.08	14.47*				

A higher score represents higher motor imagery ability.

B

A * $p < 0.01$.

Figures.

A) Confirmatory factor analysis of the three-dimensional structure of the MIQ-3f, n = 172, calculation parameters by maximum likelihood estimation.

B) Descriptive statistics for the imagery scores (kinesthetic, internal visual, external visual scales) at the test and retest.

De plus, comme le suggèrent Gregg, Hall, et Butler (2010), la latéralité des actions motrices à effectuer ne doit pas être mentionnée (imposée) dans les questionnaires afin de permettre notamment à des patients hémiplésiques de réaliser les actions motrices demandées. Étant donné que l'IM est considérée comme une stratégie pertinente permettant d'améliorer les performances motrices chez des personnes en cours de réathlétisation (Sharma, Pomeroy, & Baron, 2006), de favoriser la récupération motrice après des dommages au système nerveux central (Mateo et al., 2015) ou de promouvoir la rééducation motrice (Jackson et al., 2001), il nous semblait important de disposer d'un outil de mesure de la capacité d'IM adapté au public concerné. Bien qu'une version révisée du Questionnaire en Imagerie du Mouvement (MIQ-RS) ait été validée (Gregg et al., 2010) et traduite en français (Loison et al., 2013), cet outil à destination des rééducateurs ne permet pas de faire la distinction entre les modalités d'imagerie visuelles interne et externe. De même, le MIQ-3f (Robin et al., 2020) que nous avons récemment validé est composé de mouvements très difficiles à réaliser pour certains patients et/ou personnes âgées (e.g., sauts). C'est pourquoi une révision adaptée de ce questionnaire était nécessaire pour évaluer la capacité d'imagerie de mouvements simples et utilisés dans la vie quotidienne pour une population à mobilité réduite. Nous avons donc réalisé une étude (encadré 8), dont le but était de tester la validité des construits (structure factorielle et cohérence interne) ainsi que la reproductibilité, d'une version française et seconde du « Movement Imagery Questionnaire-3 » (MIQ-3Sf) composée de mouvements des membres inférieurs et supérieurs adaptés au contexte de rééducation et qui dissocie les perspectives d'imagerie visuelle interne et visuelle externe et proprioceptive.

Encadré 8. Robin, N., Coudeville, G., Dominique, L., Rulleau, T., Guillot, A., & Toussaint, L. (under review). French translation and validation of the Movement Imagery Questionnaire-3 second version (MIQ-3Sf).

Introduction. Motor imagery (MI) is a conscious process that requires individuals to mentally simulate a movement without concomitantly executing it. Imagery ability is a factor that can influence the effectiveness of MI. Internal visual, external visual and kinesthetic imagery are three main modalities used in MI. In the context of rehabilitation, MI combined with physical therapy is known to facilitate functional improvements, cortical reorganization, and long-term recovery.

Aim. The aim of this study was to evaluate the Movement Imagery Questionnaire-3 Second French version (MIQ-3Sf), and to compare the results of this new version with the French version of the MIQ-3 (Robin et al., 2020).

Method. We examined the validity of constructs, internal consistency, and test-retest inter-rate reliability of the visual and kinesthetic items of the MIQ-3f in xxx healthy participants.

Results. The internal consistency (composite reliability scores ≥ 0.92 for the three subscales) and test-retest reliability (intraclass correlation coefficients: 0.90 for kinesthetic imagery, 0.93 for visual internal imagery and 0.88 for visual external imagery) of the MIQ-3Sf were satisfactory. Moreover, Pearson correlations revealed a strong relationship between the MIQ-3Sf and the MIQ-3f.

Conclusion. The French version of MIQ-3Sf is a valid and reliable questionnaire for motor examining imagery ability in the context of rehabilitation.

Table. Confirmatory factor analysis of the three-dimensional structure of the MIQ-3Sf, n = 282, calculation parameters by maximum likelihood estimation (MLE)

Scale	Items	Parameter estimate	Standard error	T values
Kinesthetic	1	1.15	.07	15.22*
	4	1.20	.07	16.02*
	7	1.13	.08	14.41*
	10	1.47	.07	20.41*
	13	1.16	.07	15.93*
	16	1.42	.06	19.28*
Internal visual	19	1.33	.07	18.06*
	2	1.30	.08	17.43*
	5	1.22	.07	17.48*
	8	1.38	.07	19.83*
	11	1.27	.08	17.05*
	14	1.25	.06	18.06*
External visual	17	1.37	.06	20.07*
	20	1.23	.07	17.13*
	3	1.03	.06	16.07*
	6	1.02	.07	14.23*
	9	1.03	.06	15.39*
	12	1.06	.06	16.62*
	15	1.15	.06	17.17*
	18	1.02	.06	15.48*
	21	0.87	.07	12.27*

* $p < .01$

Les résultats de cette étude ont montré que la cohérence interne (scores de fiabilité composite $\geq 0,92$) pour les trois sous-échelles ainsi que la fiabilité test-retest (coefficients de corrélation intraclass de 0,90 pour l'imagerie kinesthésique, 0,93 ; pour l'imagerie visuelle interne et 0,88 pour l'imagerie visuelle externe) du questionnaire étaient satisfaisantes. Une forte corrélation entre le MIQ-3Sf et le MIQ-3f a également été constatée. Le MIQ-3Sf peut être considéré comme un questionnaire valide et fiable qui pourrait permettre d'évaluer la capacité d'imagerie motrice en contexte de réadaptation.

En complément de l'utilisation de questionnaires (Guillot, Louis, & Collet, 2009) et au moyen de techniques beaucoup plus sophistiquées (i.e., TEP ; IRMf), des travaux de recherche ont rapporté des différences d'activations corticales entre les modalités d'imagerie visuelles (interne et externe) entre elles et avec l'IM proprioceptive (Jackson, Meltzoff, & Decety, 2006 ; Jiang, Edwards, Mullins, & Callow, 2015 ; Lorey et al., 2009 ; Ruby & Decety, 2001 ; Seiler, Monsma, & Newman-Norlund, 2015). De plus, comme illustré sur la figure 3, Logie, Pernet, Buonocore, et Della Sala (2011) ont mis en évidence des

différences d'activations corticales en fonction de la capacité d'imagerie des participants c'est à dire entre les « bons » et les « faibles » imageurs.

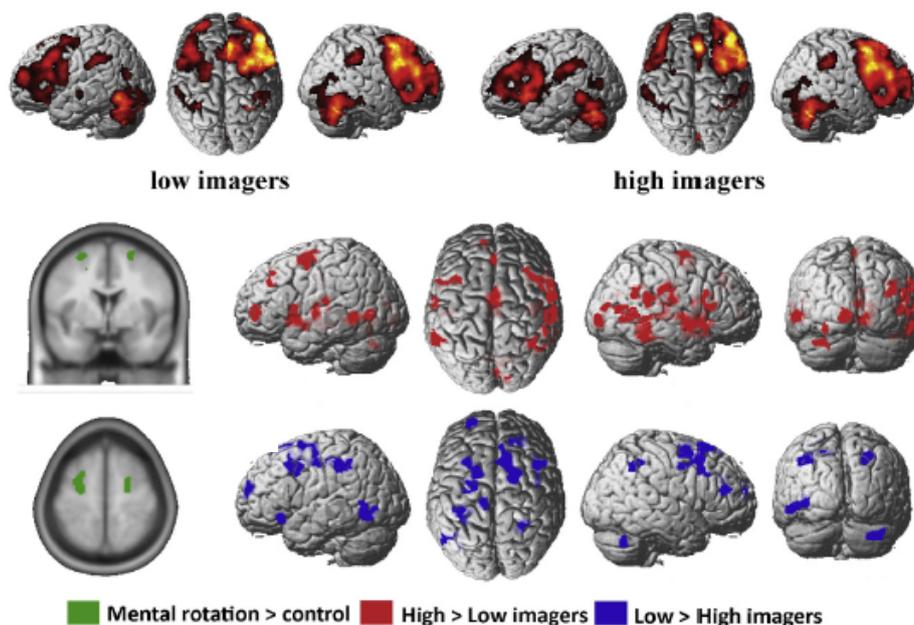


Figure 3. Réseau d'activation cérébrale en fonction de la capacité d'imagerie (Adapté de Logie et al., 2011).

Des différences entre « bons » et « faibles » imageurs ont également été constatées au niveau végétatif (Guillot, Collet, & Dittmar, 2005) mais aussi au niveau de la vitesse d'acquisition motrice suite à une pratique en IM. Par exemple, Goss et al. (1986) ont montré qu'un score élevé de capacité d'imagerie (i.e., bons imageurs), mesuré avec le questionnaire en imagerie du mouvement (Hall & Pongrac, 1983), facilitait l'acquisition, après une pratique en imagerie, de quatre patrons de mouvements. Les auteurs ont proposé qu'une « bonne » capacité d'imagerie favoriserait la vitesse d'acquisition, l'apprentissage et l'encodage en mémoire. Au moyen d'un autre type de tâche de laboratoire (i.e., rotation mentale), nous avons testé si la capacité d'imagerie influençait la performance des participants (encadré 9) comme nous l'avions précédemment observé au moyen du paradigme de chronométrie mentale (Robin & Coudeville, 2018).

Encadré 9. **Robin, N.,** Coudeville, G. R., Hue, O., & Sinnapah, S. (2017). Effects of Tropical Climate on Mental Rotation: The Role of Imagery Ability. *American Journal of Psychology*, 130, 455-465. doi: 10.5406/amerjpsyc.130.4.0455

This study examined how a tropical climate (i.e., hot and wet climatic environment) could affect mental rotation according to imagery ability. The participants performed 2 test sessions in a tropical climate (TC), then in air conditioning (AC), in a randomized order. During each session, the participants completed the Movement Imagery Questionnaire, revised version (MIQ-R) and the Vandenberg Mental Rotation Test (VMRT). A first analysis including all the participants revealed that men had better VMRT scores than women in AC, which confirms the gender effect generally observed. However, no statistical gender difference was observed in TC, in which men performed worse. A second analysis including MIQ-R scores as participant selection found a significant interaction between imagery ability and climate condition and revealed that poor imagers had worse VMRT scores in TC than in AC, whereas no significant difference was observed for good imagers. Moreover, MIQ-R scores were lower in TC than in AC for the visual and kinesthetic imagery. More precisely, good imagers had significantly lower visual imagery MIQ-R scores in TC than in AC, and kinesthetic imagery MIQ-R scores of poor imagers tended to deteriorate in TC. The results of this study are consistent with the idea that TC can negatively affect mental rotation, motor imagery, and imagery ability, and the influence of TC on them is discussed. More research is needed to investigate the effects of hygrometry on imagery.

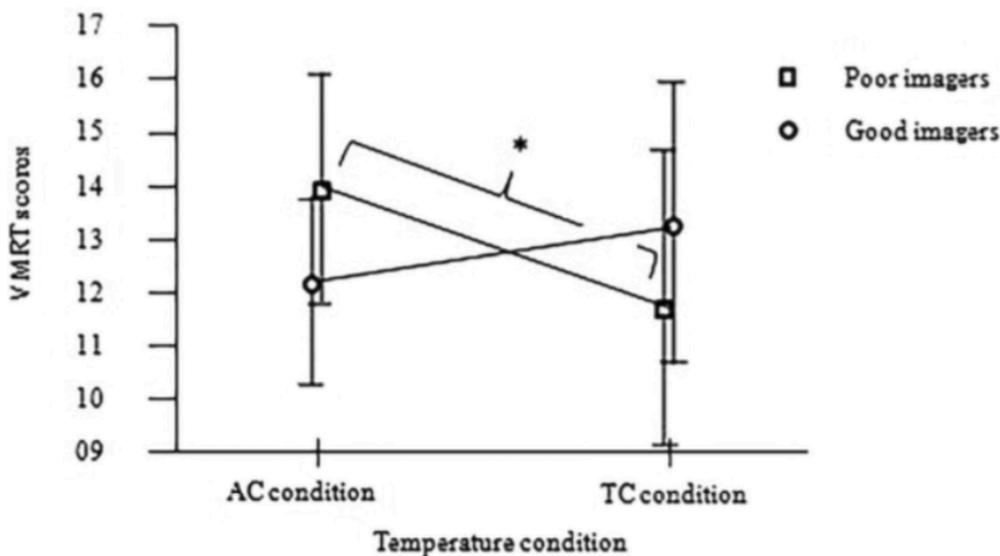
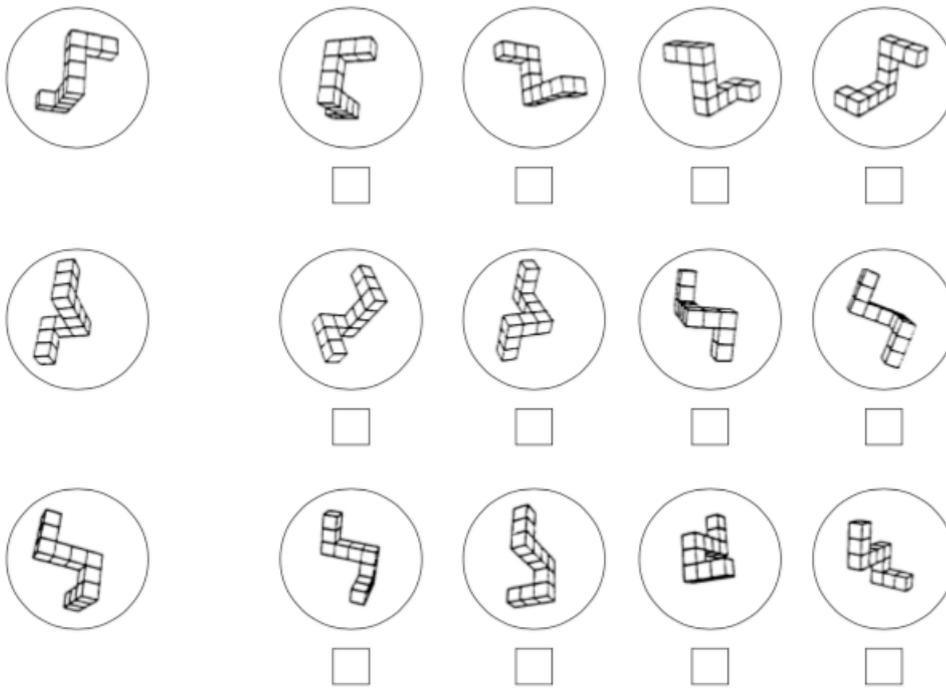


Figure. Imagery ability and temperature condition interaction on Vandenberg Mental Rotation Test (VMRT) scores. AC, air conditioning ; TC, tropical climate. * $p < .05$

Selon Shepard et Metzler (1971), la rotation mentale consiste à faire tourner une image mentale, d'un objet en 2 ou 3 dimensions, dans l'espace. Généralement cela consiste à comparer des objets tridimensionnels identiques, en miroirs ou ayant subis des rotations angulaires plus ou moins importantes (voir figure 4).



"Réponses : 1 - Premier et second dessins corrects
 2 - Premier et troisième dessin corrects
 3 - Deuxième et troisième dessins corrects

Figure 4. Exemple d'items utilisés dans un test de rotation mentale.

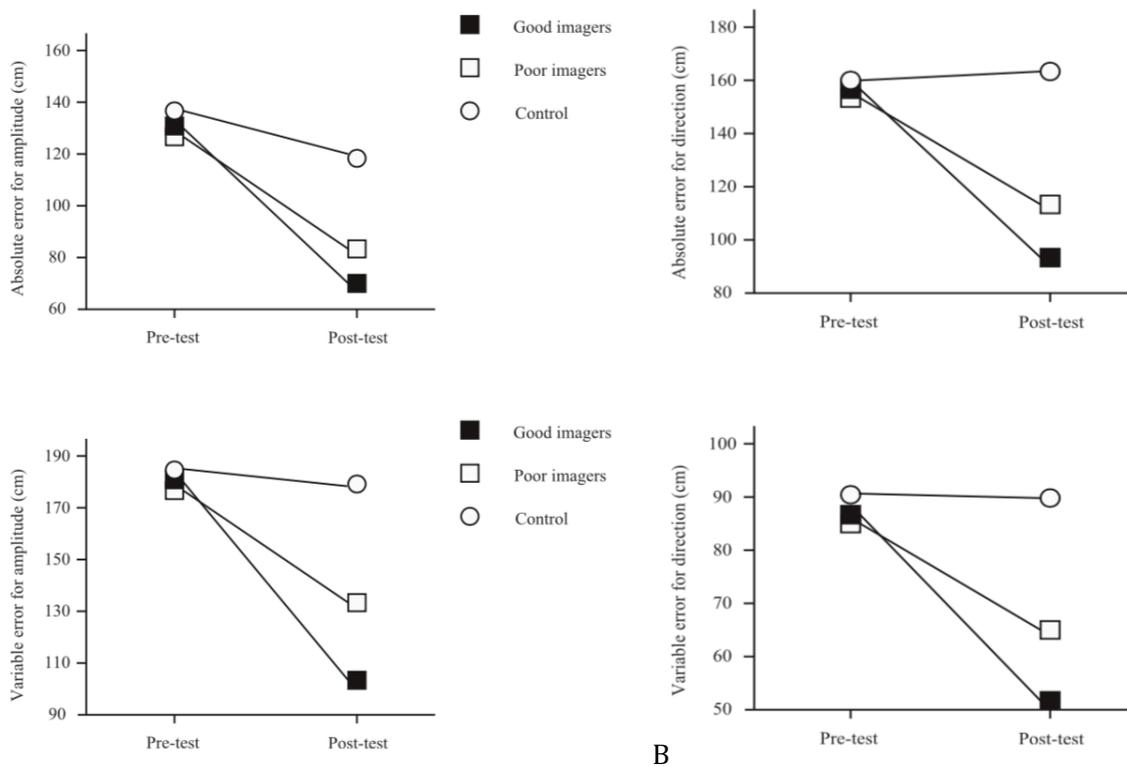
Selon Kosslyn, Thompson, Wraga, et Alpert (2001), la rotation mentale et l'IM activent des structures corticales similaires (e.g., cortex moteur primaire 4), spécifiques (pour une revue, voir Tomasino & Gremese, 2016) et impliquent des processus neuronaux complémentaires (Hoyek, Collet, & Guillot, 2010 ; Sirigu & Duhamel, 2001). Wohlschläger et Wohlschläger (1998) ont en effet montré qu'il existait un lien direct entre les processus moteurs et la transformation des images mentales. Comme évoqué par Hoyek et al. (2010), pour une grande variété d'activités sportives, dont notamment celles qui utilisent des rotations (e.g., judo, danse, gymnastique), la « capacité » à faire des rotations mentales peut être nécessaire (Habacha, Molinaro, & Dosseville, 2014). Pour ce faire, les pratiquants peuvent avoir recours à l'IM (Schack, Essig, Frank, & Koester, 2014) qui contribue à la réalisation des rotations mentales (Sirigu & Duhamel, 2001). Comme les effets de l'IM peuvent dépendre de la capacité d'imagerie des participants (Hall, 2001), des auteurs ont voulu savoir s'il en était de même pour la rotation mentale ; mais les résultats de la littérature semblent contradictoires. Alors que Logie et al. (2011) ont observé des différences de performances et d'activation cérébrale entre les « bons » et les « faibles » imageurs,

Habacha et al. (2014) n'en n'ont pas trouvé. En utilisant le test de rotation mentale de Vandenberg (VMRT), développé par Vandenberg et Kuse (1978), nous avons confirmé les résultats obtenus par Hacha et al., c'est à dire une absence d'effet du facteur capacité d'imagerie en climat neutre. Par contre, nous avons mis en évidence une baisse significative des scores de rotation mentale, chez les « faibles imageurs », en fonction du contexte environnemental dans lequel la tâche était réalisée (voir figure de l'encadré 9). Cet aspect concernant l'influence de l'environnement climatique, sur la performance dans une tâche cognitive de rotation mentale, sera développé dans le chapitre 2.

Des différences de performances, en fonction des capacités d'imagerie des participants, ont également été observées dans des tâches sportives réalisées en condition écologique comme le putting au golf (Williams, Cooley, & Cumming, 2013). Par exemple, dans une expérience mise en place avec des joueurs de tennis experts, nous nous sommes intéressés à l'influence de la capacité d'imagerie des participants, et d'une pratique en IM intégrée dans les séances d'entraînements, sur la précision des retours de service (encadré 10). Les participants, ont réalisé 15 séances de pratique réelle combinée (groupes d'imagerie) ou non (groupe contrôle) à une pratique en IM basée sur la modalité visuelle interne. Les participants des groupes d'imagerie étaient répartis en « bons » versus « faibles » imageurs sur la base des scores au questionnaire en imagerie du mouvement (MIQ, Hall & Pongrac, 1983). Les résultats de cette étude montrent d'une part une amélioration de la performance chez les joueurs ayant réalisé une pratique en IM en comparaison avec la performance de ceux du groupe contrôle qui est restée stable au cours des phases expérimentales. D'autre part, nous avons observé des performances supérieures chez les « bons » imageurs que chez les « faibles » imageurs. En plus d'aller dans les sens des études scientifiques ayant montré des effets positifs d'une combinaison de pratique physique et d'IM (Atienza, Balaguer, & Garcia-Merita, 1998 ; Feltz & Landers, 1983 ; Ingram, Kraeutner, Solomon, Westwood, & Boe, 2016) sur la précision motrice, cette expérience a également confirmé les nombreux travaux de recherche ayant mis en évidence que l'effet de l'IM sur la performance pouvait être modulé par la capacité d'imagerie des participants (Goss et al., 1986 ; Robin & Coudeville, 2018 ; Williams et al., 2013).

Encadré 10. Robin, N., Dominique, L., Toussaint, L., Blandin, Y., Guillot, A., & Le Her, M. (2007). Effects of motor imagery training on returning serve accuracy in tennis: the role of imagery ability. *International Journal of Sport & Exercise Psychology*, 2, 177-188. doi : 10.1080/1612197X.2007.9671818

This study examined how imagery ability could affect motor improvement following motor imagery training in tennis. Skilled tennis players were divided into 3 groups with regard to their MIQ scores (good imager, poor imager and control group). During a pre-test, participants physically performed 15 service returns towards a target. The motor imagery training period was included during physical training for 15 sessions and each session consisted of 2 series of 15 imagined trials and 15 physical trials. Some of the participants were required to use internal visual imagery (good and poor imager groups) while others were given a reading task (control group). Finally, 48 hours after the last training session, participants were submitted to a post-test similar to the pre-test. Results indicated that motor imagery improved service return, and that this improvement was better in good imagers than in poor imagers. The impact of motor imagery practice on motor performance, for skilled tennis players, is discussed.



Figures.
 A) Absolute errors (top panel) and variable errors (lower panel) of amplitude of service returns as a function of test (pre- and post-test) and group (good/ poor imagers and control).
 B) Absolute errors (top panel) and variable errors (lower panel) of direction of service returns as a function of test (pre- and post-test) and group (good/poor imagers and control).

Les résultats de cette étude montrent également des effets bénéfiques d'une pratique en IM basée sur la modalité visuelle interne dans laquelle il était demandé aux joueurs de tennis de focaliser leur attention sur la trajectoire de la balle en fonction de la frappe du joueur adverse et confirment les données de la littérature montrant l'intérêt de cette modalité dans les tâches ayant des exigences perceptives élevées (Callow & Hardy, 2004 ; Hardy & Callow, 1999 ; White & Hardy, 1995). Enfin, cette étude confirme l'intérêt de réaliser l'IM en situation de contexte (Hall, 2001 ; Holmes & Collins, 2001). En effet, dans

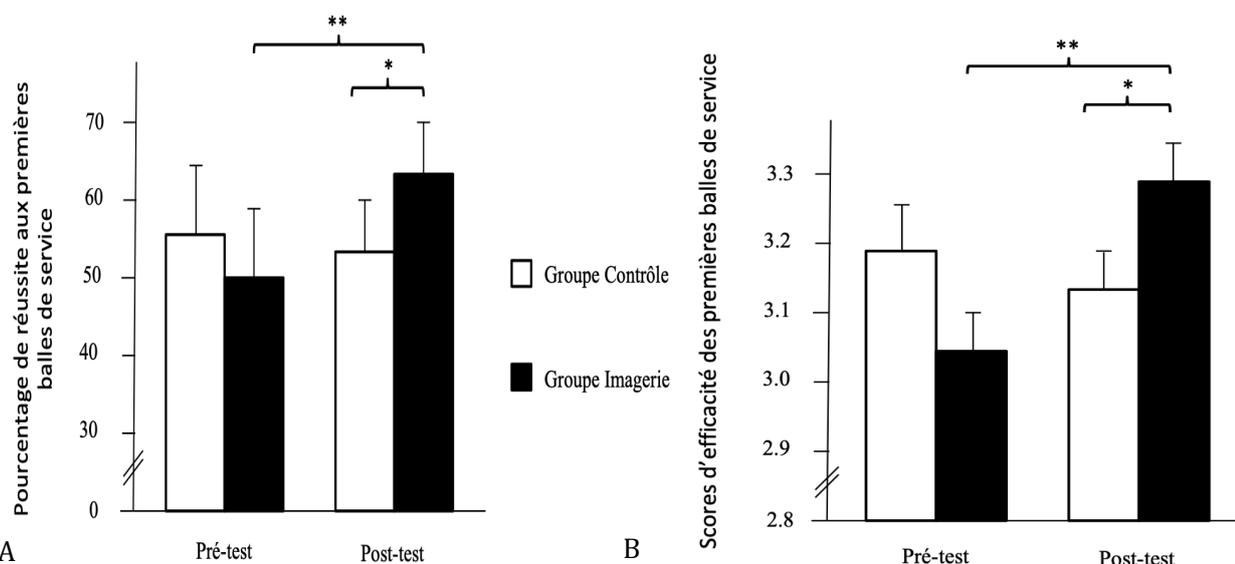
une expérience utilisant une tâche de retour de service au tennis de table, Guillot, Collet, et Dittmar (2005), se sont intéressés à l'efficacité de l'IM lorsque cette dernière est effectuée dans un contexte proche de la situation de pratique réelle plutôt que dans un environnement neutre (i.e., vestiaires). Les auteurs ont mis en évidence que les conditions environnementales aidaient les participants à visualiser et à ressentir les sensations des actions motrices imaginées. Ils ont suggéré d'effectuer l'IM dans des situations proches du contexte de jeu réel, c'est-à-dire par exemple devant la table, en tenue de sport et avec la raquette. Tout comme pour le tennis de table, il semble que les résultats de nos travaux de recherche en tennis montrent l'intérêt de réaliser l'IM directement sur le terrain.

Nous avons, en collaboration avec le Dr. Laurent Dominique (Préparateur Mental référent de la Fédération Française de Tennis) poursuivi les expérimentations dans le domaine du tennis au travers d'une seconde étude portant sur les effets d'une routine de préparation au service composée principalement d'IM visuelle externe centrée sur la trajectoire de la balle et la zone à atteindre dans le carré de service (encadré 11). Le Scanff (1999) a évoqué que l'IM, qui peut être utilisée afin de favoriser la régulation des processus attentionnels, se trouve régulièrement intégrée aux routines de performances des athlètes et joueurs experts. En effet, intégrer une phase de décentration de l'attention sur d'autres éléments que la technique gestuelle d'une action motrice à réaliser, en ayant notamment recours à une routine de préparation au mouvement, peut favoriser la performance chez des joueurs expérimentés (Cohn & Winters, 1995 ; Le Scanff, 2005). Les routines sont des stratégies comportementales et cognitives apprises puis utilisées intentionnellement par les sportifs pour optimiser leur performance (Cohn, 1990). Elles peuvent être réalisées avant une action motrice (e.g., putting au golf, service au tennis, penalty au football ou pénalité au rugby) comme suggéré par Le Her (1999). Jackson et Baker (2001) ont ajouté que les routines avaient également pour fonction de permettre aux joueurs de réaliser des actions motrices dans des conditions aussi standardisées que possible afin d'éviter par exemple l'apparition de pensées négatives ou d'images parasites. Il est ainsi fréquent de voir des athlètes, pendant la phase de concentration, faire rebondir la balle et/ou prendre des inspirations profondes avant de faire un service au tennis (Brandy & Ostraw, 2007). En effet, Clark, Lucett, et Kirkendall (2010) ont proposé que le recours à une respiration profonde pourrait permettre aux athlètes de ne pas se concentrer sur leurs signaux

endogènes (e.g., langage interne ou pensées négatives) ou environnementaux non pertinents (Boutcher, 1992 ; Jackson & Baker, 2001). De plus, des études ont montré que l'IM avait des effets positifs sur la performance au service en tennis (Desliens, Guillot, & Rogowski, 2011 ; Fekih et al., 2020 ; Guillot, Genevois, Desliens, Saieb, & Rogowski, 2012) et notamment lorsqu'il était demandé aux joueurs de focaliser leur attention sur la trajectoire de la balle (Guillot, Desliens, Rouyer, & Rogowski, 2013).

Encadré 11. Dominique, L., Coudeville, G. R., & Robin, N. (2021). Effect of a routine based on mental imagery on service efficiency of expert tennis players. *Revue STAPS*.

This study investigates the effects of a service routine mainly composed of visual mental imagery (MI) focused on the trajectory of the ball and the target area to be reached before the actual strike on the performance of the tennis service. Forty expert players were divided into two experimental groups: Control and Imagery. They performed a pre-test (i.e., 25 first service balls in match condition), 20 acquisition sessions (i.e., physical practice + IM or neutral task) and a post-test similar to the pre-test in ecological condition. The results of this experiment show an improvement in performance (i.e., percentage of first ball) as well as in the efficiency of services in the participants of the Imagery group only. It therefore seems beneficial for expert tennis players to use routines based on visual imagery of the trajectory of the ball and the target to be hit before serving the first balls in match condition.



Figures.

A) Pourcentage de réussite aux premières balles de services, calculée lors des tests (pré-test et post-test), pour les groupes Contrôle et Imagerie. (* $p < .05$, ** $p < .01$)

B) Scores d'efficacité des premières balles de services, calculée lors des tests (pré-test et post-test), pour les groupes Contrôle et Imagerie. (* $p < .05$)

C'est ainsi que dans une expérience ayant duré plus de 5 mois, nous avons demandé à des joueurs de tennis experts de réaliser des séances composées d'un échauffement standardisé puis d'un exercice consistant à faire 25 services dans des conditions similaires à celle d'un match : soit sans consigne particulière (i.e., groupe Contrôle) soit en incluant une routine préparatoire aux premières balles de service. Cette routine comprenait une respiration profonde puis l'IM visuelle externe d'un service réussi pendant qu'ils faisaient rebondir la balle (i.e., groupe Imagerie). Pendant l'IM, les joueurs devaient

visualiser la trajectoire de la balle ainsi que la zone cible qu'ils voulaient atteindre dans le carré de service adverse. A la fin de la séance, les participants de ce groupe réalisaient, sur le terrain de tennis, des exercices de respiration (i.e., sophronisation) et de relaxation dans un premier temps, puis d'IM dans un second temps pour une durée totale de 15 minutes. Les résultats de cette expérience montrent d'une part un effet bénéfique d'avoir recours l'IM à focus externe en complément de la pratique physique sur l'efficacité et le pourcentage des premières balles au service et confirment les résultats de la littérature (Guillot et al., 2013). D'autre part, nous avons montré l'intérêt d'intégrer des routines préparatoires aux premières balles de service composées d'IM, de respiration profonde et de rebond de balle. Ces travaux de recherche réalisés en conditions écologiques, permettent d'apporter des recommandations appliquées aux joueurs de tennis, entraîneurs et préparateur mentaux (Dominique & Robin, in press).

Nous allons poursuivre les expérimentations en tennis, dans un premier temps en incluant la respiration à la pratique en IM réalisée avant une tâche de retour de service, qui représente une action motrice décisive en match. Au moyen d'un lanceur de balle électronique, nous allons simuler le service et mesurer la précision des retours de service sur une cible située en diagonale (pour un protocole similaire voir Robin et al., 2007) mais aussi en ligne (tâche de transfert) et comparer les performances de 45 participants (i.e., joueurs de tennis experts de 2nd série) qui réaliseront une des 3 tâches (neutre vs. imagerie vs. respiration + imagerie) en complément de leur pratique réelle. Nous avons également comme projet de poursuivre ces investigations en combinant notamment l'IM dynamique (Kanthak et al., 2016) ainsi que la respiration (i.e., expiration accompagnant la simulation mentale du geste comme recommandé par le coach lors de l'exécution réelle d'un retour de service) pendant l'IM, et pas uniquement avant la pratique mentale, afin d'évaluer l'influence de cette combinaison sur la précision des retours de service.

La plupart des travaux de recherche ont montré l'intérêt de combiner la pratique réelle et l'IM pour améliorer la performance motrice, chez des experts ou chez des novices (Blair, Hall, & Leyshon, 1993 ; Crossman, 1992 ; Frank, Linstromberg, Hennig, Heinen, & Schack, 2018 ; Thelwell, Greenlees, & Weston, 2010 ; Veraksa & Gorovaya, 2012). Cependant, peu de travaux se sont intéressés aux effets de ces combinaisons chez des participants de niveaux intermédiaires (i.e., non-experts et non débutants). De même, alors que les coaches et professeurs d'EPS utilisent très fréquemment des feedbacks lors des

séances et entraînements (Schmidt & Lee, 1999), à notre connaissance peu de travaux se sont intéressés aux effets de la combinaison de ceux-ci avec l'IM, c'est pourquoi nous avons choisi de mener des investigations dans ce domaine.

1.6. Combinaison d'imagerie motrice et de feedback-back

Selon Jeannerod (1999), l'IM est la représentation d'une action mentalement simulée qui tient compte des contraintes biomécaniques du mouvement. C'est pourquoi, nous avons émis l'hypothèse que la « qualité » de la représentation mentale d'une action motrice pourrait avoir une influence sur l'effet de l'IM sur la performance. En effet, il est possible que la simulation mentale d'une action que l'on a du mal à réaliser ne permette pas une amélioration optimale de performance. Si l'on prend le cas des joueurs de football non-experts (i.e., niveau régional), il est fort probable qu'ils ne disposent pas d'une représentation mentale « optimale » des actions motrices qu'ils souhaitent réaliser (e.g., la passe) et nous pouvons suggérer qu'ils pourraient tirer bénéfice de rétroactions (i.e., feedbacks extrinsèques) d'un expert (e.g., entraîneur). En effet, Landin (1996) a évoqué que l'usage de rétroactions verbales (i.e., feedback verbal) peut améliorer l'attention des bénéficiaires, faciliter l'exécution des actions à réaliser, notamment si elles portent sur les éléments clés de celles-ci, et fournir des informations importantes qui peuvent ne pas être perçues par les joueurs. Il a ainsi été évoqué que l'ajout de feedback extrinsèque (e.g., la connaissance de résultats ou de performance) pouvait améliorer les performances motrices (Delignières, 2017). Il a par exemple été montré, dans une tâche de tir au football, que des participants qui avaient reçu des feedbacks extrinsèques avaient de meilleures performances que ceux d'un groupe contrôle (Buekers, 1995). D'autres auteurs, ont mis en évidence que recevoir des feedbacks avec des indices sur les corrections à apporter au mouvement permettait d'améliorer la performance des joueurs de badminton (Tzetzis, Votsis, & Kourtessis, 2008). Cependant, alors que les feedbacks peuvent guider la réalisation des actions motrices (Salmoni, Schmidt, & Walter, 1984), ils peuvent également entraîner une certaine forme de dépendance (Winstein & Schmidt, 1990). C'est pourquoi, Schmidt, Lange, et Young (1990) ont préconisé le recours aux feedbacks résumés (i.e., donnés après un certain nombre d'essais en fonction de la complexité de la tâche) donnés après un délai de quelques secondes pour permettre le traitement des

feedbacks intrinsèques (Swinnen, Schmidt, Nicholson, & Shapiro, 1990). Tout comme le feedback extrinsèque, qui permet de corriger le modèle interne guidant la réalisation des actions motrices (Dhawale, Smith, & Ölveczky, 2017), l'IM peut avoir un impact positif sur les performances motrices (Feltz & Landers, 1983 ; Schmidt & Lee, 1999, Simonsmeier et al., 2020). C'est pourquoi, dans une étude présentée dans l'encadré 12, nous avons envisagé que la réalisation d'une pratique en IM, tenant compte du feedback donné par l'entraîneur (e.g., simuler mentalement une action motrice corrigée), favoriserait l'amélioration de la précision des passes au football. Nous avons, premièrement, fait l'hypothèse que l'ajout de feedback extrinsèque à la pratique physique (i.e., condition feedback) permettrait une amélioration supérieure de la performance en comparaison avec celle obtenue dans une condition contrôle (i.e., sans feedback). Deuxièmement, nous avons émis l'hypothèse que la combinaison de la pratique physique et d'IM favoriserait plus la performance que la pratique physique réalisée seule. Enfin, nous avons émis l'hypothèse que recevoir un feedback, après la pratique physique, mais juste avant d'effectuer l'IM (i.e., condition feedback + IM) permettrait une amélioration supérieure de la précision des passes que dans les autres conditions préalablement évoquées. Les résultats obtenus dans cette expérience montrent que recevoir un feedback (i.e., positif permettant de renforcer la représentation mentale de l'action lorsque celle-ci est correctement réalisée, ou comportant des indices pour corriger son mouvement voir tableau 2), avant l'IM, permet d'obtenir une amélioration de performance supérieure à celle des autres conditions expérimentales (i.e., contrôle, feedback ou imagerie).

Numéro	Corrections
1	Le pied qui touche le ballon doit continuer en direction de la cible même après la frappe.
2	Utilise préférentiellement l'intérieur du pied qui doit rester ouvert même après la frappe.
3	Plie la jambe d'appui pour pouvoir longuement accompagner le mouvement.
4	Garde les épaules face à la cible pendant la frappe.

Tableau 2. Feedbacks extrinsèques de corrections utilisés par les coaches

Encadré 12. **Robin, N.**, Toussaint, L., Joblet, E., Roublot, E., & Coudeville, G.R. (2020). The Beneficial Influence of Combining Motor Imagery and Coach's Feedback on Soccer Pass Accuracy in Intermediate Players. *Journal of Motor Learning and Development*. doi: 10.1123/jmld.2019-0024

This study compared the effects of motor imagery, feedback, and feedback+imagery interventions on soccer pass performance in non-elite players (intermediate, regional level). Participants were randomly divided into Control, Feedback, Imagery, and Feedback+Imagery groups, within a pre- post- intervention design. The intervention lasted 7 weeks, and the task consisted of passing the ball to a target 20-meters away. In each intervention session, the participants performed 3 blocks of four physical trials. The participants of the Feedback and Feedback+Imagery groups received expert feedback, given by the coach, after each block and then, all the participants realized a mental task (countdown or motor imagery). Results showed that the Feedback+Imagery group had the greatest pre- to post-test improvement compared to the other groups, and highlight the beneficial effect of combining verbal feedback and motor imagery to improve soccer passing accuracy. It is suggested to coaches or physical education teachers to adapt their training by incorporating feedback and imagery.

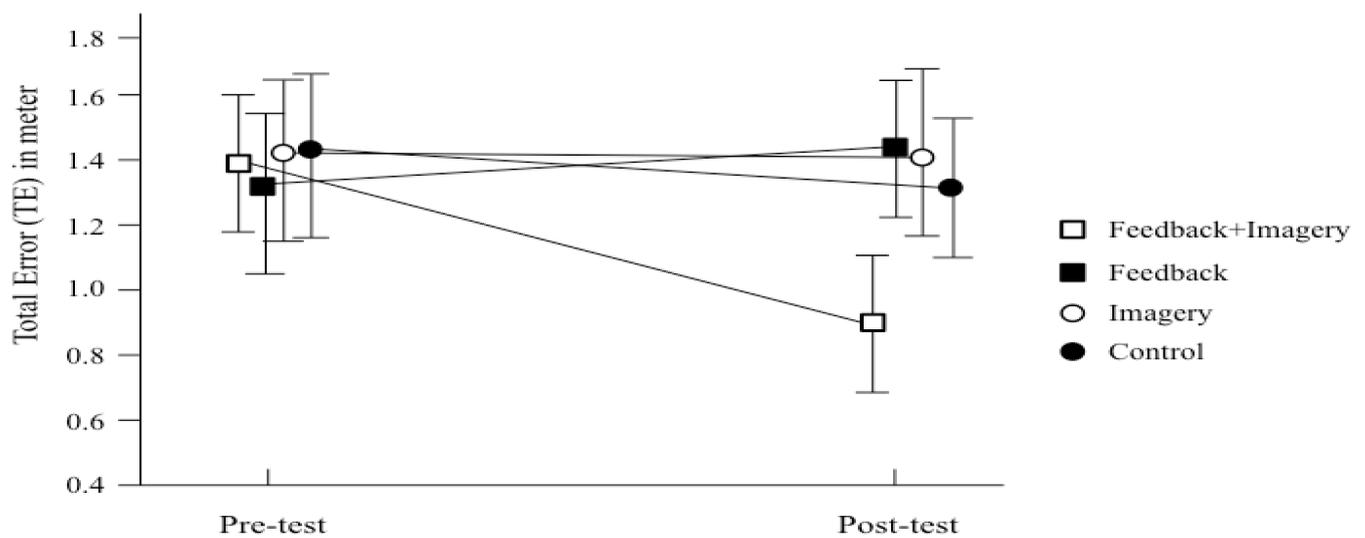


Figure. Significant interaction between the tests (pre-test vs. post-test) and the group (Feedback+Imagery vs. Feedback vs. Imagery vs. Control) for the total error (TE). $p < .05$. I-beams indicate the 95% confidence intervals for the mean values.

Par contre, contrairement à nos hypothèses, les résultats de cette étude n'ont pas montré d'amélioration de performances dans les conditions « feedback » et « imagerie » réalisées seules, que nous avons interprété comme pouvant être lié au fait que les participants auraient eu besoin de plus d'essais pour bénéficier de ces stratégies d'apprentissage comme suggéré par Frank et al. (2014). En effet, à cause des conditions climatiques (i.e., cyclone) et au fait que l'expérimentation se déroulait sur un terrain de football extérieur, la phase d'acquisition a été limitée à 5 séances. Par contre, les résultats de cette étude semblent montrer l'intérêt de combiner des stratégies d'apprentissage lorsqu'on ne dispose pas d'un nombre conséquent de séances d'entraînements. C'est pourquoi, nous avons proposé que l'ajout d'une autre stratégie d'apprentissage (i.e., l'apprentissage par observation), également connue pour avoir des effets bénéfiques

sur la performance (pour revue voir Ste-Marie et al., 2012), pourrait permettre une amélioration supérieure, voire optimale de la performance des joueurs, en comparaison avec une condition contrôle notamment.

1.7. Imagerie mentale et apprentissage par observation

Selon Grèzes et Decety (2001), l'IM et l'observation d'un modèle (OM) sont deux formes de simulations motrices qui activent le système moteur en l'absence d'exécution réelle. Eaves, Riach, Holmes, et Wright (2016), ont évoqué que comme l'IM, l'« OM évoque la représentation mentale de l'action motrice observée ». L'OM est une stratégie efficace qui favorise l'apprentissage moteur dans de nombreuses habiletés motrices (Ste-Marie et al., 2012). En effet, elle permet notamment une réduction du nombre d'essais de pratique physique requis pour atteindre une performance donnée ; et combinée à la pratique physique, elle favorise la performance (pour une revue, voir Blandin, 2002 ; McCullagh, Law, & Ste-Marie, 2012). L'OM et l'IM sont traditionnellement considérées comme des stratégies distinctes d'amélioration de la performance, mais des études se sont récemment concentrées sur leur utilisation combinée : le participant s'imaginant réaliser l'action ou l'enchaînement d'action qu'il vient d'observer (Eaves et al., 2016 ; Mizuguchi & Kanosue, 2017 ; Robin & Joblet, 2018 ; Wright, McCormick, Birks, Loporto, & Holmes, 2015). Des travaux de recherches ont montré que l'excitabilité et l'activité corticomotrice étaient considérablement augmentées lorsque l'OM et l'IM étaient combinées (Ohno et al., 2011; Wright, Williams, & Holmes, 2014) par rapport au même mouvement uniquement observé ou imaginé (Mouthon, Ruffieux, Wälchli, Keller, & Taube, 2015). Ces résultats ont été confirmés avec des études réalisées en conditions « plus écologiques » et qui ont montré que la combinaison d'OM et d'IM améliorait plus les performances, que leur réalisation indépendante (i.e., uniquement l'OM ou seulement l'IM), dans des tâches de putting au golf (Smith & Holmes, 2004), de musculation (Wright & Smith, 2009) ou de basket-ball (Robin, Charles-Charlery, & Coudeville, 2019). Par exemple, dans une expérience réalisée dans le cadre d'un MASTER 2 MEEF (direction du mémoire de recherche de Mme Vanessa Hatchi), et avec des élèves de collèges, nous avons montré que l'observation d'un modèle sur

tablette, combinée à l'IM et la réalisation réelle de lancer-francs au Basket-ball permettait d'améliorer la précision des lancer-francs chez des débutants.

De plus, au moyen d'une tâche similaire à celle utilisée dans l'expérience décrite dans l'encadré 12 (Robin et al., 2020) et aux vues des résultats obtenus dans cette étude, nous avons voulu tester si la combinaison d'OM (i.e., vidéo d'un modèle expert réussissant la passe) et d'IM était plus efficace, que les pratiques (i.e., OM ou IM) seules, si elle était précédée d'un feedback extrinsèque, donné par le coach, permettant le renforcement ou la correction de la représentation mentale de l'action à imaginer. Nous allons dans un premier aborder les résultats les moins pertinents de cette expérience (voir encadré 13) qui n'ont pas montré de différence entre les performances du groupe contrôle et celles des groupes ayant réalisé l'IM, l'OM ou bénéficié de feedback en complément de la pratique réelle.

Encadré 13. Robin, N., Joblet, E., Roublot, E., & Coudeville, G.R. (2020). The Beneficial Effect of Combining Feedback, Observational Learning and Motor Imagery on Football Pass Performance. *Motricidade*, 16(1), 55-65. doi: 10.6063/motricidade.18142

The aim of this original research was to investigate the effect of a combination of feedback, action observation of a model, and motor imagery on passes accuracy in non-expert football players. All the participants performed a pre-test, 5 week-intervention sessions, and a post-test similar to the pre-test. The task consisted of passing toward a target located at 20-meters in an outdoor football field. During each session, the participants, divided into Control (i.e., physical practice only), Feedback, Model, Imagery, and Feedback plus Model plus Imagery (FMI) groups, performed 3 blocks of 4 trials. After each block, they received or not feedback by the coach, watched a clip or a video of a skilled peer model touching the target, and finally realized a mental task or motor imagery. The main results of this study revealed that the FMI group increased the performance from the pre- to the post-test, whereas the performance of all the other groups remained stable across the experimental conditions. The current study showed the beneficial effect of combining the observation of a model, the motor imagery, and expert feedback after physical practice, especially in the case of a short learning session in non-expert football players.

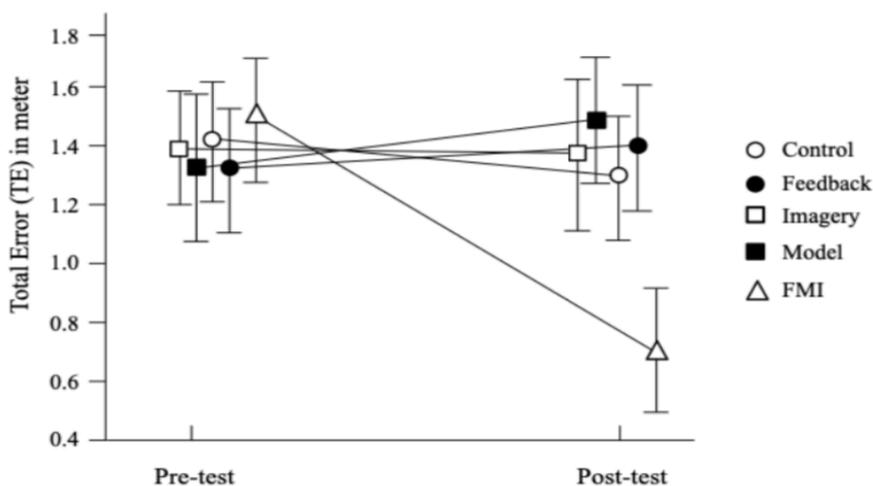


Figure. Significant interaction between the tests (pre-test vs. post-test) and the group (Control vs. Feedback vs. Imagery vs. Model vs. FMI) for the total error (TE). $p < .05$. I-beams indicate 95% confidence intervals for the mean values. FMI corresponds to Feedback plus Model plus Imagery group.

Comme précédemment évoqué, il a été proposé que les participants de ces groupes auraient probablement eu besoin d'un plus grand nombre de sessions d'apprentissage et/ou d'essais pour bénéficier de ces stratégies d'apprentissage et notamment utiliser de façon plus efficiente les feedbacks (Schmidt & Lee, 1999) ou la pratique en IM (Frank et al., 2014). En ce qui concerne l'absence d'effet de l'OM combinée à la pratique réelle, il est possible que le type de modèle (i.e., pair expert), utilisé dans cette étude, n'était pas adapté ou le plus pertinent. Mais il est important de noter que les résultats de la littérature concernant les effets du type de modèle utilisé dans l'OM sont contradictoires (pour revue voir Ste-Marie et al., 2012). Par exemple, Gould et Weiss (1981) ont montré que l'observation d'un modèle pair non-expert permettait d'obtenir une meilleure performance d'endurance que celle d'un modèle non-pair et expert. En revanche, Weir et Leavitt (1990), utilisant une tâche de lancer de fléchettes, n'ont montré aucune différence significative de performance entre l'observation d'un modèle pair expert et celle d'un modèle pair non-expert. De plus, George, Feltz, et Chase (1992) ont mis en évidence que l'observation de modèles pairs ou non-pairs experts permettait de meilleures performances d'endurance que l'observation de non-experts (pair ou non). Enfin Holmes et Calmels (2008) ont proposé que le recours au modèle de soi pourrait être encore plus bénéfique que les autres types de modèles en raison d'une similitude fonctionnelle accrue avec l'action motrice réelle. Cependant, des résultats incohérents sont également rapportés dans la littérature. Alors qu'Emmen, Wesseling, Bootsma, Hoogesteger, et Whiting (1985) n'ont observé aucune différence de performance quels que soient les types de modèles, des études ont montré des effets positifs de l'OM de soi (Clark & Ste-Marie, 2007 ; Potdevin et al., 2018 ; Onate et al., 2005), alors que d'autres ont constaté que ce type de modèle était moins efficace que d'autres types de modèles (Zetou, Fragouli, & Tzetzis, 1999). Des travaux de recherche seront menés au sein de notre laboratoire concernant notamment l'influence des différents types de modèles (soi vs. pair vs. expert) et des modalités d'imagerie (proprioceptive vs. visuelle interne vs visuelle externe) utilisées pour faire l'IM, dans différents types de tâches dont celles utilisées au cours des expériences précédemment réalisées à l'Université des Antilles (e.g., lancer franc au basket-ball).

Nous allons maintenant nous pencher sur les principaux résultats obtenus qui montrent que les participants ayant bénéficié d'une combinaison de feedback, d'OM et d'IM ont obtenu de meilleures

performances que ceux des autres groupes expérimentaux. Ces résultats semblent d'une part aller dans le sens de ceux obtenus par Gray et Fernandez (1989), dans une tâche de tir au basket-ball, et montrant des performances supérieures consécutives à une combinaison d'OM et d'IM. Comme suggéré par Onestak (1997), il est possible que les informations visuelles apportées par l'OM et complétées par l'IM (ou vice versa) pourraient améliorer la vitesse d'apprentissage et la performance motrice. D'autre part, les résultats de cette étude semblent également cohérents avec ceux de McCullagh et Meyer (1997) qui ont montré l'effet bénéfique de combiner les feedbacks et l'OM dans une tâche de musculation. Il semble que les feedbacks d'un expert pourraient contribuer à l'efficacité du modèle (Ste-Marie et al., 2002) notamment lorsqu'ils sont combinés à l'OM et l'IM. Le fait que la performance du groupe Feedback soit restée stable, tandis que celle du groupe FMI s'est améliorée, semble indiquer que le recours à des feedbacks (i.e., indices portant sur la correction à apporter au mouvement) afin d'améliorer les performances des passes sur la base d'une représentation mentale "corrigée" de l'action pendant l'IM et après l'OM peut être particulièrement efficace comme évoqué précédemment.

Étant donné que la combinaison de la pratique physique puis de feedback, d'OM et d'IM était la combinaison la plus efficace, nous pourrions suggérer aux entraîneurs d'adapter leurs entraînements en incorporant l'OM, l'IM en plus des feedbacks sur les corrections d'action(s) motrice(s), en particulier lorsqu'ils ont des possibilités d'interventions limitées entre des échéances (e.g., 6-10 semaines). Le fait que nous n'ayons pas obtenu d'effet bénéfique d'une combinaison d'IM et de pratique physique, dans cette étude, nous ont amené à porter une réflexion, sur l'imagerie motrice « elle-même », autrement qu'en prenant en compte des facteurs « classiques » comme les modalités ou capacités d'imagerie qui sont susceptibles d'influencer la performance et que nous avons contrôlés en amont. C'est ainsi que nous avons envisagé d'avoir recours à une autre « façon » de faire de l'IM appelée l'imagerie motrice dynamique.

1.8. Imagerie motrice dynamique

Peu de travaux de recherche ont porté sur l'IM dynamique qui selon Di Rienzo et al. (2016) peut être définie comme étant un type d'IM dans laquelle les participants utilisent les caractéristiques (i.e.,

invariants) spatiales et temporelles d'une action motrice en faisant de petits mouvements et en adoptant une position corporelle congruente avec l'action mentalement simulée. Par exemple, Callow, Roberts, et Fawkes (2006) ont demandé à des skieurs d'ajouter à l'IM, des mouvements d'amplitudes limitées de la main ou du bras, tout en imaginant réaliser un slalom en ski alpin (voir image 1).



Image 1 : Skieur de l'équipe de France réalisant une session d'imagerie mentale dynamique

Il a été postulé que l'IM dynamique, permettrait d'ajouter des informations proprioceptives à la simulation mentale, améliorerait la clarté des images mentales et favoriserait les performances motrices (Gould & Damarjian, 1996). Dans une tâche de saut en hauteur, Guillot, Moschberger, et Collet (2013) ont comparé les effets de l'IM statique et de l'IM dynamique sur la performance, tout en mesurant la capacité d'imagerie des participants. Les auteurs ont montré que l'IM dynamique améliorait à la fois la qualité (i.e., vivacité) des actions mentalement simulées mais également les performances motrices et permettait d'obtenir des meilleures performances de saut que l'IM statique. De même, les travaux réalisés par Fusco et al. (2014) ont mis en évidence, au moyen d'un paradigme de chronométrie mentale utilisant des tâches de marche et de course, que l'IM dynamique permettait une meilleure congruence temporelle avec la pratique réelle que l'IM statique, ce qui peut être particulièrement intéressant pour les tâches dans lesquelles les contraintes de temps sont importantes (e.g., les courses). De même, dans une tâche de lancer franc au basket-ball réalisée par des athlètes de haut niveau, Kanthack et al. (2016) ont montré qu'une pratique en IM dynamique associée à la pratique physique permettait d'obtenir une meilleure

précision aux tirs qu'une pratique en IM statique combinée à une pratique réelle ou qu'une pratique physique réalisée seule (i.e., condition contrôle). Comme de nombreux travaux de recherches ont récemment proposé qu'une combinaison d'IM et d'OM permettait également d'améliorer les performances motrices (e.g., Battaglia et al., 2014 ; Robin & Flochlay, 2017 ; Romano-Smith, Wood, Wright, & Wakefield, 2018 ; Taube, Lorch, Zeiter, & Keller, 2014), nous avons cherché à savoir si cette amélioration pourrait être optimisée par l'utilisation de l'IM dynamique réalisée en complément de l'OM.

1.9. Imagerie motrice dynamique et observation d'un modèle

L'IM et l'OM sont deux formes de simulations motrices qui activent les représentations internes des actions (Rizzolatti & Sinigaglia, 2010) et permettent d'améliorer les performances motrices (Farsi, Bahmanbegloo, Abdolis, & Ghorbani, 2016 ; Simonsmeier et al., 2020). Des travaux de recherche ont récemment souligné que les bénéfices apportés par la combinaison de ces deux formes de pratiques (Sarasso, Gemma, Agosta, Filippi, & Gatti, 2015 ; Taube et al., 2014 ; Vogt, Di Rienzo, Collet, Collins, & Guillot, 2013) complèteraient de façon efficiente la pratique physique (Eaves et al., 2016) ; et nous avons testé cette hypothèse en utilisant l'IM dynamique. Ainsi, dans une étude présentée dans l'encadré 14 (Robin, Toussaint, Charles-Charlery, & Coudeville, 2019), nous avons évalué les effets d'une combinaison d'OM et d'IM dynamique sur la performance au lancer franc chez des joueurs de basket-ball non-experts. Nous avons dans un premier temps émis l'hypothèse qu'une pratique en IM dynamique, réalisée en plus de la pratique réelle (i.e., condition imagerie), permettrait une amélioration plus importante, des scores au lancer franc, qu'une pratique physique réalisée seule (i.e., condition contrôle), mais les résultats obtenus dans cette étude n'ont pas confirmé cette hypothèse. Par contre, nous avons observé que les participants du groupe « imagery » avaient un indice d'amélioration de la performance plus élevé que ceux du groupe « control », confirmant les résultats des études qui ont montré les effets positifs de l'IM sur les performances au basketball (Guillot et al., 2009 ; Kanthak, Bigliassi, Vieira, & Altimari, 2014 ; Post, Wrisberg, & Mullins, 2010) et plus spécifiquement de l'IM dynamique (Kanthack et al., 2016) ; mais également dans d'autres activités sportives comme le saut en hauteur (Guillot et al., 2013). Callow et al. (2006) ont par exemple montré, avec des skieurs, que l'IM dynamique augmentait la

confiance des participants. Il est possible que des effets similaires se soient produits dans le test Evan Fournier que nous avons également utilisé dans cette expérience et qui combinait des contraintes de précisions avec une pression temporelle (i.e., réaliser un maximum de bloc de 2 lancer-francs combinés à des allers-retours, en 45 secondes).

Encadré 14. Robin, N., Toussaint, L., Charles-Charlery, C., & Coudeville, G.R. (2019). Free Throw Performance in Intermediate Basketball Players: The Effect of Dynamic Motor Imagery with and without a Video of a Model. *Learning and Motivation*, 68. doi: 10.1016/j.lmot.2019.101595

We investigated the effect of dynamic motor imagery (dMI) combined with physical practice on free throw performances of advanced basketball players in two conditions: With and without a video of a model. They performed a pre-test, participated in 5-weeks of intervention sessions, and performed a post-test. During pre-test and post-test, they performed 10-free throws followed by the “Evan Fournier test”: Maximum number of sequences of two consecutive free throws and round trips to the midfield and shot zone in 45-seconds. During intervention sessions, they were assigned to Control, Imagery or Model + imagery groups and performed five blocks of two free throws. Before each block, they watched a video and performed countdown or dMI. The results revealed that the Imagery and Model + imagery groups had higher free throw performances in the post-test than in the pre-test. At the post-test, the Model + Imagery group made more consecutive shots in the onfield-test Evan Fournier than the two other groups.

Table 1. Free throw and Evan Fournier test task scores across the groups during pre- and post tests.

Groups	Ten free throw scores		Evan Fournier test scores	
	Pre-test M (SD)	Post-test M (SD)	Pre-test M (SD)	Post-test M (SD)
Control (n = 12)	5.0 (2.66)	4,7 (2.53)	5.8 (2.71)	5.2 (3.01)
Imagery (n = 12)	4.6 (2.26)	6.1 (1.56)	4.5 (1.78)	6.4 (1.72)
Model + imagery (n = 12)	4.8 (1.46)	6.3 (1.23)	4.4 (1.72)	6.8 (2.13)

M = Mean scores, SD = Standard Deviation.

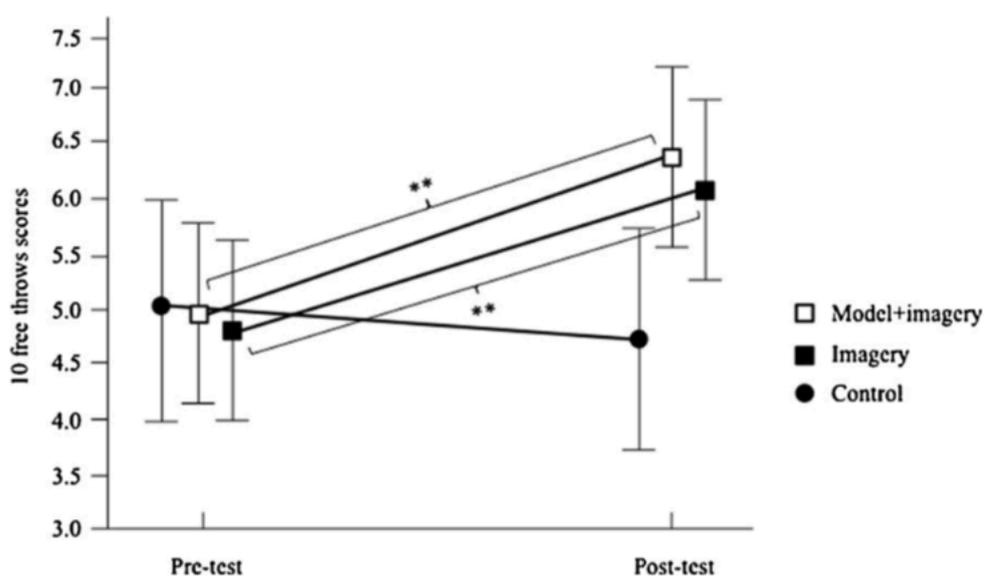


Figure. Significant interaction between the phase (pre-test vs. post-test) and the group (Model + imagery vs. Imagery vs. Control) for free-throw scores. Note. ** $p < .01$. I-beams indicate the 95% confidence intervals for the mean values.

Dans un deuxième temps, nous avons fait l'hypothèse que la combinaison d'IM dynamique et d'OM, en complément de la pratique réelle (condition « model + imagery »), permettrait une amélioration de performance et que celle-ci serait supérieure à celle des groupes « control » et « imagery ». Les résultats obtenus dans cette étude n'ont validé que partiellement cette hypothèse. En effet, les participants des groupes « model + imagery » et « imagery » ont amélioré leurs scores, entre le pré-test et le post-test, au lancer-franc et au test Evan Fournier alors que la performance du groupe « control » est restée stable, montrant l'intérêt d'avoir recours à l'IM dynamique. De plus, il est important de noter que les participants du groupe « model + imagery » ont réalisé plus de lancer consécutifs que les participants des autres groupes dans le test Evan Fournier, ce qui semble indiquer que la combinaison d'IM dynamique et d'OM est pertinente pour améliorer la performance des lancer-francs au basketball. Ces derniers résultats, montrant l'intérêt de combiner l'OM et l'IM, vont dans le sens de ceux observés avec des tâches sportives (Smith & Holmes, 2004 ; Wright & Smith, 2009) ou de laboratoire (Taube et al., 2015). Cependant, l'absence de différence significative de scores de lancer-franc entre les conditions expérimentales, lors du post-test, semble moduler la « supériorité » de la combinaison d'OM et d'IM par rapport à l'IM uniquement. Ce résultat est conforme à celui obtenu par Taube et al. (2014) qui ont observé le balancement postural des participants après une intervention de 4 semaines de pratique basée sur l'IM ou une combinaison d'OM et d'IM. La réduction supérieure du balancement dans la condition combinant l'OM et l'IM, bien que numérique, n'était pas significative. Ces absences de différences significatives pourraient s'expliquer de différentes façons. Premièrement, en dehors d'un effet plateau il est possible que les participants du groupe « model + imagery » aient eu besoin de plus d'essais pour bénéficier de cette combinaison et ainsi améliorer de façon optimale leur performance. Deuxièmement, il est possible que les participants aient éprouvé des difficultés à générer des images kinesthésiques et à s'imaginer exécuter un lancer franc après avoir regardé une vidéo dans laquelle le modèle était une autre personne qu'eux (Callow & Hardy, 2004). En effet, Eaves et al. (2016) ont fait remarquer que le conflit entre le modèle utilisé lors de l'OM et l'IM peut être problématique car il peut diminuer l'effet et l'attention portée à l'imagerie proprioceptive. De même, il est possible qu'il y ait une influence de la perspective utilisée dans la vidéo du modèle. Alors que des études ont suggéré de filmer le mouvement à observer

selon une perspective visuelle « à la première personne » (Wright et al., 2014), d'autres ont préconisé l'utilisation d'une perspective « à la troisième personne » (Mouthon et al., 2015; Taube et al., 2015). Dans notre étude, une perspective « à la troisième personne » a été utilisée dans le modèle vidéo et il est possible, comme évoqué par Eaves et al. (2016), que les participants aient eu besoin de faire une rotation de l'image lors de l'IM, engendrant une activité corticale supplémentaire (Chen, Bin, Daly, & Gao, 2013) et limitant les ressources attentionnelles disponibles pour l'IM proprioceptive. Il est aussi envisageable que l'observation d'un modèle de soi eut été plus pertinente, comme proposé par Martini, Rymal, et Ste-Marie (2011). Ces auteurs ont notamment montré que l'auto-modélisation augmentait les performances de natation en modifiant la motivation intrinsèque et les croyances d'auto-efficacité des participants (Clark & Ste-Marie, 2007). Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour manipuler les perspectives des modèles utilisés en vidéo dans les études utilisant l'OM combinée à l'IM dynamique. Enfin, il est possible qu'il y ait eu une influence de la capacité d'imagerie chez nos participants non-experts, rendant l'utilisation de l'IM (i.e., proprioceptive) moins aisée comme évoqué par (Guillot, Collet, & Dittmar, 2004). Il est envisageable que les joueurs du groupe « model + imagery » aient des difficultés à réaliser l'IM et que l'augmentation de leur performance puisse principalement être due aux effets de l'OM. En effet, Lawrence, Callow, et Roberts (2013) ont révélé que la relation entre l'apprentissage par observation et la performance peut être modulée par la capacité d'imagerie des participants impliquant la nécessité de contrôler ce facteur ce que nous avons cependant fait dans cette étude au moyen d'une échelle de type Lickert (pour une procédure similaire voir Kanthack et al., 2016). Pour finir, en plus de résultats contradictoires observés dans la littérature, dans de nombreux protocoles expérimentaux utilisant une combinaison d'OM et d'IM, il a été montré que cette combinaison était efficace sans contrôler si elle était plus efficace que l'IM ou l'OM réalisées seules. L'étude de Ram, Riggs, Skaling, Landers, et McCullagh (2007), l'une des rares exception, a montré que l'OM seule ou combinée à l'IM permettait d'obtenir une meilleure performance, dans une tâche de stabilité (i.e., équilibre), que l'IM ou l'absence d'intervention (i.e., condition contrôle) chez des débutants. Selon Neuman et Gray (2013), l'efficacité relative de l'IM, de l'OM ou d'une combinaison des deux stratégies peut dépendre du niveau d'expertise du participant, de la difficulté de la tâche, mais aussi de la capacité

d'imagerie des participants (Lawrence et al., 2013) ou du choix du modèle. Bien que soulevant de nombreuses interrogations, cette étude originale semble montrer un effet bénéfique de l'utilisation d'IM dynamique et d'OM notamment pour des sessions courtes d'apprentissage faites avec des joueurs de basket-ball non-experts.

Bien que la plupart des travaux en IM aient porté sur l'apprentissage, l'optimisation de la performance ou la rééducation, nous nous sommes enfin intéressés à une autre utilisation possible de l'IM : l'augmentation de l'activité physique hebdomadaire.

1.10. Imagerie motrice et activité physique

L'activité physique présente de nombreux avantages pour la santé (Taylor, 2014) et influence positivement le vieillissement des individus notamment au niveau de la variabilité de la fréquence cardiaque et de la performance des fonctions exécutives (Albinet, Boucard, Bouquet, & Audiffren, 2010), tout en limitant les risques de mortalité précoce (Charansonney, 2011). Selon Warburton (2009), l'activité physique correspond à tous les mouvements corporels conduisant à une augmentation de la dépense énergétique de repos et comprend le transport (e.g., marche, vélo), les travaux domestiques (e.g., promener son chien, entretenir le jardin ou le potager), l'activité professionnelle (e.g., travail) et les loisirs (exercice et activité physique). La pratique d'une activité physique régulière permet également de réduire l'obésité, les chutes, les troubles cognitifs, l'ostéoporose et les faiblesses musculaires (pour une revue, voir McPhee et al., 2016). Pour les personnes âgées, un minimum de 150 minutes d'activité physique par semaine est recommandé par l'OMS (2013), dont 75 minutes d'activité aérobie d'intensité élevée ou une combinaison équivalente par semaine (Elsawy & Higgins, 2010). Cependant, selon Sun, Norman, et While (2013), moins de 20% des adultes entre 50 et 64 ans et moins de 16% de ceux qui sont plus âgés respectent ces recommandations. Il est donc nécessaire de trouver des stratégies afin d'augmenter l'activité physique des séniors (Brawley & Latimer, 2007) comme les vidéos personnalisées (Vandelanotte et al., 2015) ou les SMS (Antoine Parker & Ellis, 2016) qui ont montré des effets positifs sur l'augmentation de la durée hebdomadaire d'activité physique chez des participants adultes relativement jeunes. Comme l'IM est un moyen utilisé dans la publicité pour faire passer des messages

(Gavilan, Avello, & Abril, 2014), favoriser les souvenirs, le plaisir ou l'intention de faire une activité (Argyriou, 2012 ; Rodero, 2012), nous avons pensé qu'il serait intéressant d'utiliser cette stratégie en la combinant à des messages électroniques reçus sur téléphone portable. Le but de l'étude, présentée dans l'encadré 15, était de tester l'efficacité d'une pratique en IM, incitée par SMS, sur l'augmentation de l'activité physique hebdomadaire des personnes de plus de 50 ans. Les résultats de cette étude ont montré une amélioration significative de plus de 36% de l'activité physique hebdomadaire lorsque les participants recevaient, 3 fois par semaine, un SMS le matin les invitant à s'imaginer réaliser l'activité physique de leur choix. Ce résultat montre les effets positifs de la technique d'envoi de SMS (Antoine Parker & Ellis, 2016) et confirme l'hypothèse selon laquelle l'IM permettrait d'augmenter la durée de la pratique physique (Hall, Mack, Paivio, & Hausenblas, 1998).

Encadré 15. Robin, N., Toussaint, L., Coudeville, G.R., Stuart, S., Hue, O., & Sinnapah, S. (2018). Mental Imagery Promoted by Text Messaging Can Increase Self-Reported Physical Exercise in Elderly. *Journal of Aging and Physical Activity*, 26(3), 462-470. doi: 10.1123/japa.2017-0069

This study tested whether text messages prompting adults over 50 years of age to perform mental imagery would increase Aerobic Physical Activity (APA) duration using a randomized parallel trial design. **Method:** Participants were assigned to an Imagery 1, Imagery 2 or Placebo group. For 4 weeks, each group was exposed to two conditions (morning text message vs. no morning text message). In the morning message condition, the Imagery groups received a text message with the instruction to mentally imagine performing an APA and the Placebo group received a placebo message. All participants received an evening text message: "Did you do your cardio today? If yes, what did you do?" 3 days per week. **Results:** Participants of the Imagery groups reported significantly more weekly minutes of APA in the morning text message condition compared with the no morning message condition. **Conclusion:** Electronic messages were effective at increasing minutes of APA.

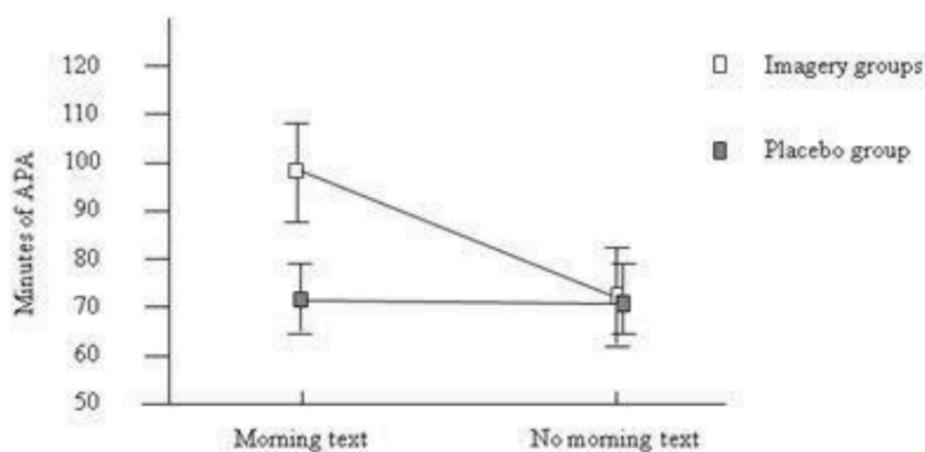
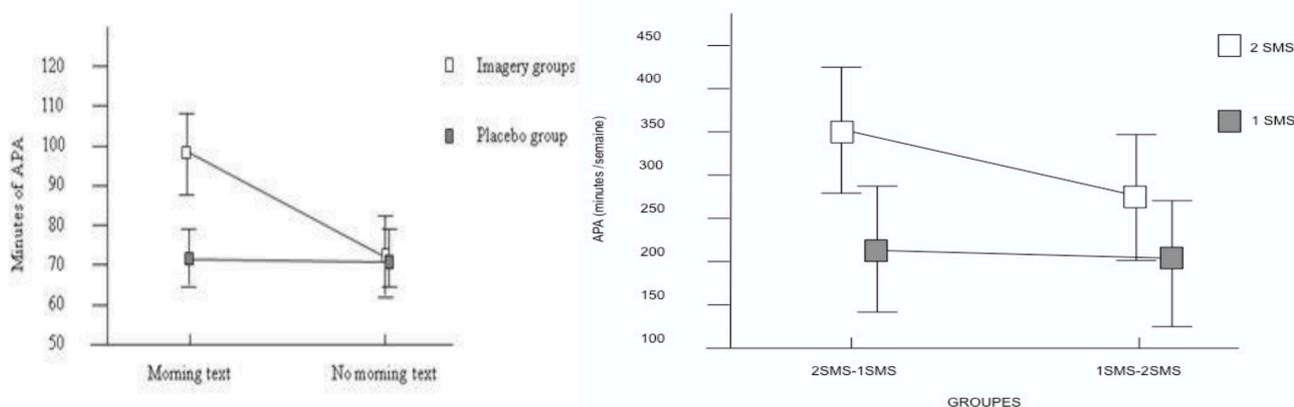


Figure. Significant interaction between condition (Morning text vs. No morning text) and groups (Imagery vs. Placebo) by ANOVA. I-beams indicates the 95% confidence intervals for the mean values.

Les résultats de cette étude ont été également confirmés dans une autre expérience utilisant une procédure similaire, et mise en place dans le cadre d'un mémoire de Master 2, réalisée avec des lycéens (voir encadré 16). Nous avons ainsi observé une amélioration de l'activité physique de loisir chez les élèves d'une classe de seconde, ainsi qu'une amélioration des temps de réalisation d'épreuves de courses de durées (400 mètres).

Encadré 16. Robin, N., Laurent, J., & Stuart, S. (2018). Influence des messages électroniques sur l'activité physique aérobie personnelle et les performances en éducation physique et sportive. *Revue eJRIEPS*, 43, 83-101. doi : 10.4000/ejrieps.491

Le but de cette étude était d'une part de déterminer si le recours à une stratégie d'envoi de « Short Message System » (SMS) pouvait augmenter l'Activité Physique Aérobie (APA) chez vingt-deux élèves de seconde afin qu'ils atteignent les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé qui est de 60 minutes par jour d'activité ; d'autre part si cette stratégie avait une influence positive sur les performances dans une activité de course de durée en Education Physique et Sportive (EPS). Les résultats de cette étude mettent en évidence que recevoir un SMS le matin (6 fois par semaine pendant 3 semaines), invitant à réaliser une APA, augmente de façon significative la durée moyenne hebdomadaire d'APA (de loisir). De plus, une amélioration des temps de réalisation des 3 x 400 mètres (réalisés en début, milieu et fin d'un cycle de course de durée en EPS) est observée tout en étant supérieure lorsque les élèves reçoivent le SMS du matin que quand ils n'en ont pas reçu. L'utilisation des SMS est donc une stratégie efficace permettant de rendre les élèves plus actifs. Cette technique pourrait pleinement trouver sa place au sein d'un lycée dans le cadre d'un projet faisant un lien entre l'EPS, l'éducation à la santé et les Techniques de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement.



Figures.

A) Moyennes de l'Activité Physique Aérobie (APA) par semaine, en minutes, en fonction de la condition expérimentale (2 SMS vs. 1 SMS) et des groupes expérimentaux (2SMS-1SMS vs. 1SMS-2SMS).

B) Indice d'Amélioration de la Performance en fonction de la condition expérimentale (2 SMS vs. 1 SMS) et des groupes expérimentaux (2SMS-1SMS vs. 1SMS- 2SMS).

Nous avons décidé de poursuivre ce travail de recherche, au travers d'une collaboration qui sera menée avec le réseau régional de cancérologie KARUKERA-ONCO afin d'évaluer si la technique que nous avons développée permettrait d'augmenter l'activité physique chez des femmes atteintes du cancer du sein. En effet, la communauté internationale de chercheurs sur les maladies chroniques et les cancers s'efforce de trouver différentes stratégies pour encourager les patients à être plus actifs (Denison, Vist,

Underland, & Berg, 2014). Giaccobi et al. (2014) ont montré que l'IM peut permettre d'augmenter la fréquence d'activité physique tout en étant positivement associée à l'auto-efficacité (Silbernagel, Short, & Ross-Stewart, 2007). Selon Bandura (1997), le sentiment d'efficacité personnelle, ou auto-efficacité, peut être défini comme « la croyance d'une personne en ses capacités à organiser et à exécuter les actions nécessaires pour réaliser des actions particulières et atteindre des buts ». L'auto-efficacité contribue à déterminer les choix d'activités, l'investissement dans la poursuite des buts qu'une personne s'est fixée, la persistance de son effort et les réactions émotionnelles qu'elle éprouve en cas d'obstacles. L'auto-efficacité n'est pas en lien avec « les capacités que l'on possède mais avec le jugement de ce que l'on peut faire avec les capacités que l'on possède » (Bandura, 1986) et peut expliquer l'investissement des individus dans un comportement donné ainsi que leurs capacités à persévérer face à des difficultés rencontrées (Bandura, 1997). Des interventions se basant sur l'utilisation des concepts issus de la théorie de l'auto-efficacité ont montré leur efficacité dans l'augmentation de l'activité physique (Heath et al., 2012). En effet, comparées aux personnes qui doutent de leurs capacités, celles qui ont un sentiment d'auto-efficacité élevé, pour accomplir une activité motrice par exemple, participent plus facilement, se fixent des objectifs plus ambitieux et persistent plus longtemps dans celle-ci. Or selon Rogers, McAuley, Courneya, et Verhulst (2008), l'auto-efficacité est un facteur qui influence l'activité physique chez des personnes atteintes de cancer. De plus, l'activité physique a tendance à décliner après le diagnostic de la maladie (Courneya & Freidenreich, 1997). Il est fort probable que les personnes atteintes de cancer sous-estiment leurs capacités physiques ce qui pourrait être un des facteurs pouvant expliquer leur moindre implication dans une ou plusieurs activités physiques. Ainsi, le recours à des stratégies permettant d'augmenter le sentiment d'auto-efficacité, chez ces dernières, devrait favoriser une augmentation de la fréquence et de la durée d'activité physique comme cela a été mis en évidence chez des personnes jeunes et des seniors (McAuley, 1993 ; Rodgers & Gauvin, 1998). A ce titre, Hall (2001) a suggéré que des personnes s'imaginant mentalement réaliser une activité physique de leur choix devraient augmenter leur score d'auto-efficacité. Le but de cette étude sera d'évaluer si des messages électroniques invitant à faire de l'imagerie motrice d'une activité physique de son choix, trois fois par semaine, permettrait d'augmenter l'activité physique hebdomadaire chez des femmes atteintes d'un cancer du sein. La suite de

ces travaux d'investigation pourrait s'orienter sur des mesures plus objectives de l'activité physique et de la sédentarité au moyen d'outils tels que les montres cardio-fréquencemètre, podomètres ou programmes connectés, sur le choix d'activités physiques (e.g., la marche) notamment en cas d'absence de pratique régulière, mais aussi sur d'autres techniques mentales permettant d'influencer l'activité physique comme la pleine conscience (Robin, Toussaint, Sinnapah, Hue, & Coudevylle, 2019).

Conclusion chapitre 1

Comme nous l'avons préalablement évoqué dans ce chapitre, lorsque l'on souhaite bénéficier d'une pratique en IM, il semble important de contrôler un certain nombre de facteurs comme par exemple les modalités d'imagerie (Munroe et al., 2000), les capacités d'imagerie des participants (Robin & Flochlay, 2017), le degré d'expertise dans la tâche à réaliser (Hardy & Callow, 1999), la difficulté de la tâche (Guillot et al., 2012), l'âge (Rulleau et al. 2018), ou les modulations circadiennes (Debarnot et al., 2012 ; Gueugneau et al., 2009) qui peuvent influencer de façon significative les effets de l'imagerie motrice. Les travaux de recherche que nous avons récemment menés au sein du laboratoire ACTES, ainsi que les données de la littérature, semblent montrer les effets bénéfiques de la combinaison de techniques mentales (e.g., IM, observation d'un modèle, feedback), en complément de la pratique réelle, sur la performance motrice et l'apprentissage. Cependant, il reste de très nombreuses interrogations en ce qui concerne notamment la façon de réaliser ces combinaisons. Par exemple, quelle(s) modalité(s) d'IM (i.e., visuelle interne, visuelle externe, kinesthésique, mixte) faut-il privilégier lorsque l'on combine l'IM et l'observation d'un modèle ? Est-ce que ce choix de modalité(s) d'IM dépendrait du degré d'expertise des participants ? Est-ce que le type de modèle (pair, soi-même, expert) utilisé dans l'observation aurait un effet sur l'apprentissage et/ou la performance motrice lorsqu'il est combiné à l'IM ? Est-ce que les choix de modalités de combinaisons (i.e., types de modèles et modalités d'IM) devraient tenir compte de la capacité d'imagerie des participants (i.e., facilité ou difficulté à réaliser une ou plusieurs modalités d'IM) ? Les effets de cette combinaison dépendent-elles des caractéristiques de la tâche à réaliser (e.g., tâches morphocinétiques versus topocinétiques). L'usage d'un feedback externe donné par l'entraîneur, intégré dans cette combinaison, dont l'effet bénéfique a été mis en évidence avec des joueurs de football de niveau intermédiaire est-il également bénéfique avec des experts (par exemple en pouvant nuire au

traitement des feedbacks intrinsèques) ou des débutants (en risquant de surcharger les capacités de ressources attentionnelles) ? Est-il nécessaire de contrôler l'ordre de combinaison de ces techniques mentales ? Ces questions, dont la liste n'est bien entendu pas exhaustive, devraient alimenter de nombreux travaux de recherches et pourraient faire l'objet notamment de travaux de thèses afin de mieux comprendre les effets des différents types de combinaisons et apporter des recommandations appliquées.

Il existe un autre facteur, qu'il est nécessaire de prendre en compte, qui est l'environnement dans lequel la simulation mentale est réalisée (Guillot et al., 2005 ; 2012 ; Holmes & Collins, 2001), notamment lorsque l'on réalise l'IM en climat tropical (Robin Coudevylle, Hue, & Sinnapah, 2017). En parallèle avec l'étude de l'influence de la pratique en IM sur la performance et l'apprentissage moteur, un second axe de recherche m'a tout autant passionné et porte sur les effets et conséquences du climat tropical (CT) sur les performances cognitives (e.g., tâches de rotation mentale, de mémoire, d'attention) et motrices ainsi que sur les facteurs psychologiques et les stratégies permettant d'en limiter les effets négatifs. Les travaux de recherche réalisés avec le concours du directeur (Pr. Olivier Hue), d'enseignants chercheurs de notre laboratoire (Dr. Guillaume Coudevylle et Dr. S. Sinnapah) ainsi qu'avec des collaborateurs dont notamment la Professeure Lucette Toussaint (laboratoire CERCA, Poitiers), le Docteur Frédéric Anciaux (laboratoire CREEF, Pointe-à-Pitre) et le Docteur Fernando Marmolejo-Ramos (School of Psychology, Australie) sont développés dans le second chapitre que nous allons à présent aborder.

Chapitre 2.
Conséquences du climat
tropical sur les facteurs
psychologiques et les
performances cognitives
et/ou motrices

Depuis mon arrivée au sein du laboratoire ACTES en tant que vacataire, puis maître de conférences en Sciences Humaines j'ai initié, réalisé, participé et collaboré à des travaux de recherche portant sur les conséquences du climat tropical sur les facteurs psychologiques ainsi que les performances cognitives et/ou motrices. Après avoir abordé le climat tropical (CT), nous évoquerons l'impact que ce dernier peut avoir sur des facteurs psychologiques (e.g., confort et sensation thermiques, affects et sensation de fatigue), sur la cognition et plus spécifiquement sur l'IM, les processus attentionnels, la mémoire et le langage, ainsi que sur les performances motrices. Enfin, nous développerons les stratégies physiques et mentales utilisées, testées, ou susceptibles de permettre de lutter contre les effets négatifs du CT.

2.1. Le climat tropical

Selon Kosonen et Tan (2004), le stress thermique est l'un des facteurs les plus importants qui peut impacter les performances humaines. Il a par exemple été récemment montré que la chaleur pouvait induire une charge cognitive supplémentaire (Gaoua, Herrera, Périard, El Massioui & Racinais, 2018) et influencer négativement les performances dans des tâches motrices et/ou cognitives (Schmit, Hausswirth, Le Meur, & Duffield, 2017). Cependant, la plupart des travaux de recherche ont étudié l'influence de chaleur seule, et peu les conséquences de la chaleur combinée à un niveau élevé d'humidité relative (rH) que l'on retrouve en CT, comme nous l'avons récemment évoqué (Coudevylle, Sinnapah, Popa-Roch, Hue, & Robin, 2020). Au travers de revues de littérature et études expérimentales, nous allons nous intéresser aux effets et conséquences du CT sur les performances dans différents types de tâches. Selon Salati, Lovejoy, et Vose (1983), le CT est caractérisé par des températures relativement élevées dépassant 18°C au cours de l'année, ainsi que des précipitations qui dépassent l'évapotranspiration au moins 270 jours par an. Au cours de la journée, la température peut fréquemment atteindre $31^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ avec une humidité relative de 75% ($\pm 10\%$ rH), c'est pourquoi Robin et al. (2017) ont évoqué que le CT devrait être considéré comme un facteur de stress environnemental. Bien que de nombreux bâtiments publics, administrations ou entreprises aient recours à la climatisation des locaux, permettant d'obtenir des températures avoisinant généralement $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et $40\% \pm 5\%$ rH, la majorité des étudiants, sportifs ou

travailleurs évoluent en condition de CT une majeure partie de leur temps. La comparaison entre un espace climatisé et un environnement en CT montre à la fois une différence de température de près de 7°C mais aussi d'humidité relative de près de 40%. L'humidité relative ou hygrométrie est définie comme la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air donné par rapport au maximum qu'il pourrait contenir à une pression et une température donnée. Le degré d'hygrométrie va de 0 à 100% rH. L'air est considéré comme sec quand l'humidité relative est inférieure à 35%, il est moyennement humide entre 35 et 65%, et il est humide à plus de 65% rH comme généralement mesuré en CT.

2.2. Climat tropical et facteurs psychologiques

Les conditions environnementales telles que la température et l'humidité dans l'air peuvent influencer le confort thermique, la fatigue et les affects (Gaoua, 2010 ; Gonzales, 2012). Dans une étude évoquée dans l'encadré 17, nous avons voulu étudier l'influence du CT, en comparaison avec un climat neutre (CN), sur les facteurs préalablement évoqués et que nous allons brièvement définir.

Le confort (ou inconfort thermique), qui peut être considéré comme étant l'« état mental » exprimant la satisfaction ou l'insatisfaction à l'égard des conditions environnementales (Xiong, Lian, Zhou, You, & Lin, 2015), est généralement évalué au moyen d'une échelle (voir figure 5 ci dessous).

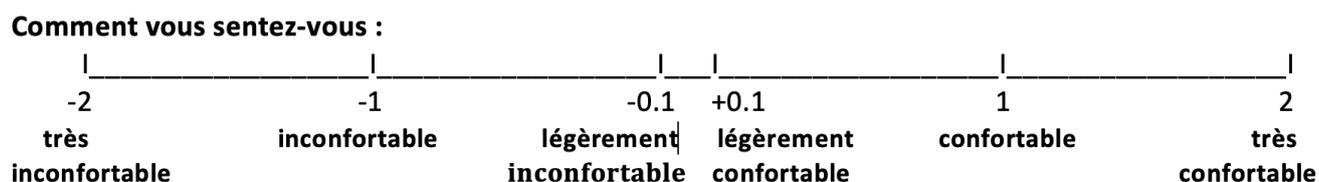


Figure 5. Exemple d'échelle utilisée pour estimer le confort thermique.

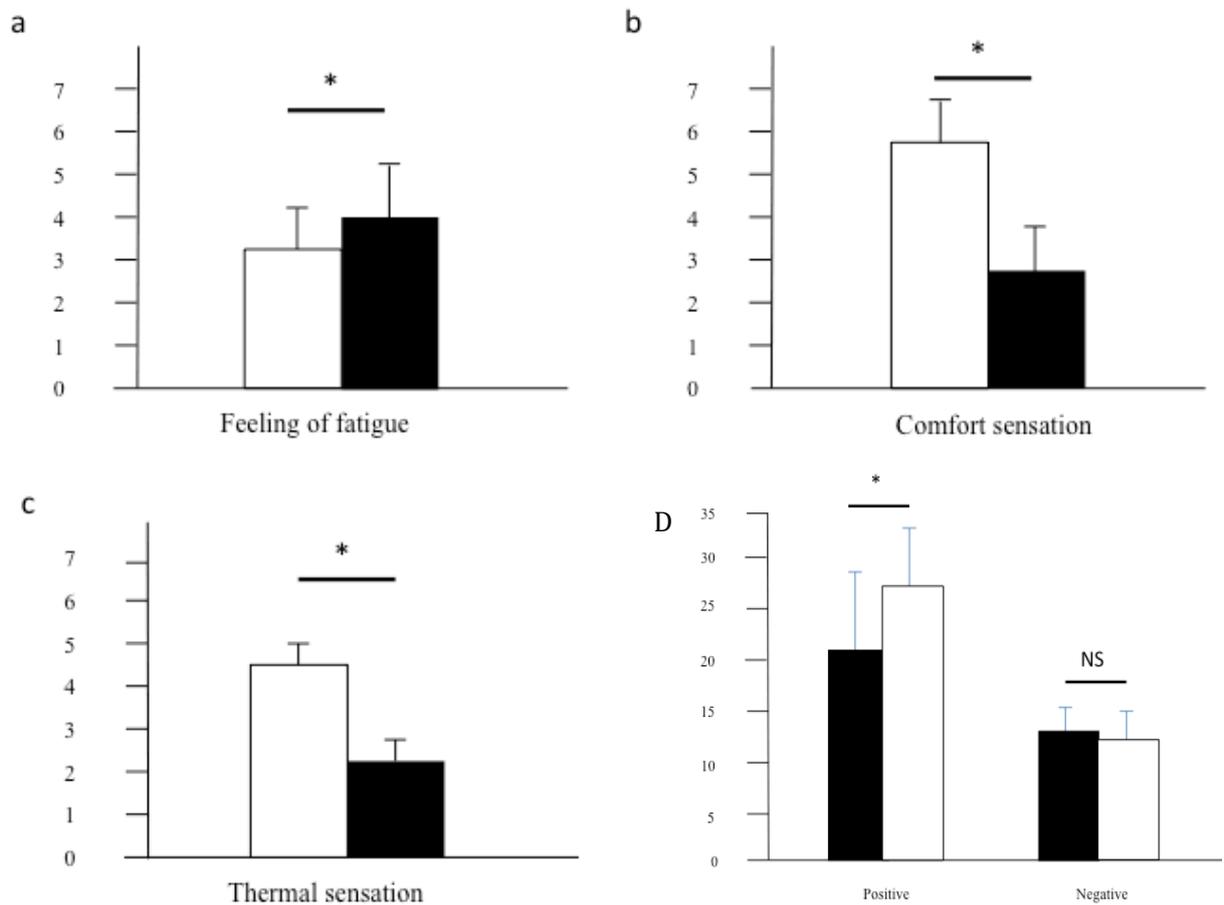
Lan, Wargocki, et Lian (2011) ont par exemple observé que des participants placés en environnement chaud (i.e., 30°C) avaient un score de confort thermique inférieur que lorsqu'ils étaient placés en condition neutre à 22°C de température ambiante. D'autres auteurs ont également évoqué que le sentiment d'inconfort thermique pouvait potentiellement être responsable des dégradations de performances dans des tâches cognitives (Gaoua, Grantham, Racinais, & El Massioui, 2012 ; Robin et al., 2018 ; Wijayanto, Toramoto, Maeda, Sonomi, & Tochihara, 2017) et/ou sportives (Coudevylle et al.,

2019). Comme pour le confort thermique, les conditions environnementales (e.g., CT) peuvent influencer la fatigue physique (e.g., apparition précoce de celle-ci) et impacter négativement la performance (Hue, 2011). Les effets du climat sur la fatigue mentale sont moins bien connus (Li et al., 2015 ; Robin et al., in press). Cette dernière fait référence aux sentiments ressentis (généralement après une activité prolongée), comme l'épuisement, l'aversion, les baisses de motivation et de niveau d'engagement (Meijman, 2000), qui peuvent induire des perturbations au niveau cognitif (Lorist, Boksem, & Ridderinkhof, 2005). La sensation de fatigue, que l'on peut mesurer au moyen d'une échelle allant de "1" pas du tout fatigué à "7" totalement fatigué, peut induire également des changements au niveau des affects (Desmond & Hancock, 2001). Les affects peuvent être classés en deux catégories : les affects positifs et les affects négatifs. Ces derniers sont assimilés à des notions désagréables et incluent les sentiments de colère, dégoût, culpabilité, crainte et nervosité, tandis que les affects positifs concernent comment un individu se sent enthousiaste, actif et alerte. Les affects sont conceptualisés sur la base d'un continuum allant d'un état optimal d'énergie, de concentration et de plaisir dans l'engagement, à un état de tristesse et de léthargie (Villodas, Villodas, & Roesh, 2011). Ils sont généralement évalués moyen de questionnaires comme le PANAS (Positive and Negative Affect Schedule ; Watson, Clark, & Tellegen, 1988 ; voir annexe 1). Comme les travaux de Gaoua et al. (2012) avaient montré qu'en condition chaude obtenue en chambre climatique (50°C, 50% rH) les participants avaient des scores d'affects négatifs plus élevés (sans que les affects positifs ne soient impactés) qu'en condition neutre, nous avons voulu vérifier si dans des conditions "plus écologiques" combinant chaleur et humidité relative élevées des résultats similaires seraient obtenus avec 60 étudiants de l'Université des Antilles (voir encadré 17). Les résultats de cette étude ont montré que le CT a entraîné une baisse des scores d'affects positifs (mais pas des affects négatifs) et du confort thermique ainsi qu'une augmentation de la sensation fatigue, en comparaison avec un climat neutre. La diminution des scores d'affects positifs, en CT, peut s'expliquer par le fait qu'il était plus plaisant pour les participants d'être en CN. En effet, la baisse du score de confort thermique en CT semble aller dans le sens de cette hypothèse et confirme les données de la littérature pour des études réalisées en climats humides et/ou chauds (Hue, 2011; Lan et al., 2011). La baisse des scores d'affects positifs peut aussi être liée au fait que le stress induit par le CT implique la sollicitation de plus de ressources mentales

(Hocking, Silberstein, Lau, Stough, & Roberts, 2001), qu'en CN, comme Wijayanto, Toramoto, et Tochiara (2013) l'ont observé au niveau cortical.

Encadré 17. Robin, N., Coudeville, G. R., Sinnapah, S., & Hue, O. (in press). The Influence of Tropical Climate on Affect, Fatigue and Environmental Perceptions. *Psyecology*.

The current study evaluated how a tropical climate (i.e., wet and hot environment) influences positive and negative affects, sensation of fatigue and environmental perceptions (i.e., comfort and thermal sensations). The participants, students who lived all the year in the French West-Indies, performed two sessions in Tropical Climate (TC) and in Neutral Climate (NC), counterbalanced. During each climate condition, they completed the Positive and Negative Affect Schedule and a questionnaire evaluating feeling of fatigue, thermal and comfort sensations. This original study revealed that TC reduces positive affect (PA) scores, whereas no significant statistical difference was revealed for negative affect (NA). In addition, participants revealed lower thermal, and comfort sensations, and a greater feeling of fatigue, in TC than in NC. These results are in line with the suggestion that TC can negatively influence mental states compared with a temperate climate. Moreover, TC could also have a potential fatigue-enhancing effect and negatively influences comfort sensations. The impact of TC on affectives states is discussed.



Figures.

A) Feeling of fatigue, (B) comfort, and (C) thermal sensations scores in Tropical Climate (TC, black bars) and Neutral Climate (NC, white bars) condition. (D) PANAS measures. Positive and Negative affect averages in Tropical Climate (TC, black bars) and Neutral Climate (NC, white bars) condition. I-beams indicate the 95% confidence intervals for the mean values. * Significant difference by ANOVA: $p < .05$; ; NS: Not Significant.

De plus, et contrairement aux résultats de Gaoua et al. (2012), les participants de cette expérience, qui vivaient à l'année en Guadeloupe, n'ont pas obtenu des scores d'affects négatifs plus élevés en CT qu'en

CN. Ces résultats sont en accord avec le modèle adaptatif de confort thermique (de Dear & Brager, 1998) qui indique que les individus s'adaptent aux conditions environnementales auxquelles ils sont fréquemment exposés, ce qui était le cas de nos étudiants qui sont acclimatés au CT (Hwang & Cheng, 2007 ; Wijayanto et al., 2017). En effet, Zhang, Chen, Wang et Meng (2016) ont évoqué que les personnes natives des zones tropicales se sentent plus proches de "la neutralité" dans des conditions de température et d'hygrométrie élevées. Ces derniers bénéficient également d'adaptations physiologiques comme une augmentation plus faibles des températures centrales et cutanées ainsi qu'une meilleure régulation des fluides de part une diminution de la transpiration et une augmentation du seuil de sudation, pendant l'exposition à un CT (Wakabayashi et al., 2014 ; Wijayanto et al., 2011). Enfin, l'augmentation de la sensation de fatigue en CT, mise en évidence dans cette expérience, confirme les résultats généralement observés dans la littérature pour des expérimentations réalisées en condition de stress thermique (Lan et al., 2011 ; Qian et al., 2015). Comme le CT semble augmenter la fatigue mentale, nous avons suggéré qu'il pourrait entraîner une détérioration du fonctionnement cognitif (e.g., processus attentionnels, planification) et de la performance, ce que nous allons aborder dans la partie suivante.

2.3. Impact du climat tropical sur la cognition

Alors que la plupart des études ont porté sur les conséquences physiologiques d'un stress thermique, peu d'études se sont intéressées aux conséquences psychologiques d'un environnement chaud notamment en ce qui concerne les performances dans des tâches cognitives (Coudevylle, Popa-Roch, Sinnapah, Hue, & Robin, 2018 ; Robin et al., 2019 ; Schmit et al., 2017). Epstein et al. (1980) ont par exemple observé, dans une tâche psychomotrice complexe notamment à 21°C et à 30°C, une baisse significative de la performance des participants dans la condition la plus chaude. L'augmentation de la ventilation respiratoire, en condition de stress thermique, réduit le flux sanguin cérébral ce qui peut impacter négativement les processus d'élimination de la chaleur au niveau du cerveau (Rasmussen et al., 2007) et engendrer une contrainte cognitive supplémentaire pouvant nuire au traitement dans certaines tâches cognitives notamment complexes (Bandelow et al., 2010 ; Gaoua, Grantham, Racinais, & El Massioui, 2011). Afin de mieux comprendre le fonctionnement cognitif en climat tropical, nous avons réalisé une revue de littérature (encadré 18) et avons identifié un certain nombre de facteurs délétères,

comme notamment les états d'hydratation et de fatigue des participants, l'acclimatation ou non de ces derniers, la nature et la complexité des tâches utilisées, les durées de celles-ci, qui peuvent expliquer l'incohérence des résultats obtenus dans la littérature (pour revues voir Cheung & Slevert, 2004 ; Gaoua, 2010 ; Hancock & Vasmatazidis, 1998 ; 2003 ; Pilcher, Nadler, & Bulsch, 2002). Par exemple, nous avons évoqué que l'hygrométrie pouvait être un facteur limitant de la performance dans des tâches cognitives comme l'ont mis en évidence Vasmatazidis, Schlegel, et Hancock (2002) dans une étude utilisant un paradigme de double tâche (i.e., time-sharing). Les auteurs ont en effet observé qu'à 34°C, les performances des participants étaient plus élevées à 30% qu'à 70% d'humidité relative. Une température environnementale élevée n'est pas obligatoirement synonyme de « détérioration de performance ». Des auteurs ont montré des effets positifs (e.g., vitesse de conduction nerveuse supérieure) en environnement chaud (Racinais, Gaoua, & Grantham, 2008) et ont suggéré l'existence de « bénéfices neurophysiologiques » qui permettraient l'amélioration de temps de réaction ou compenseraient et masqueraient des altérations qui surviendraient à d'autres niveaux (Gaoua, 2010 ; Racinais et al., 2008).

Encadré 18. Robin, N. & Coudeville, G. R. (under review). Fonctionnement Cognitif en Climat Tropical : Revue et Perspectives de Recherches. *Psychologie Française*.

The physiological and psychological responses to environmental heat stress have been well established. However, in the tropical climate (i.e., hot and wet climatic environment), most studies deals with exercise and the impact of this environment on cognition is unclear. This article reviews studies using cognitive tasks realized in Tropical Climate (TC) or studies realized in the heat. The wide ranges of environmental factors that can influence the cognitive performances, in TC and in the heat, are addressed. Of these, humidity is particularly debilitating and is discussed in the first part. Subjective states of the individual may be one of the factors affecting cognitive performance and the evolution of the positive and negative affective states in heat stress condition and TC will be also discussed. Other factors that can negatively influence the cognitive performance as dehydration or fatigue will be evoked in two separate parts. Moreover, the influence of heat on brain activity will be explained. Because individual has at their disposal a certain amount of neural resources that can be allocated to different tasks or activities, performance of the latter will deteriorate when the amount of resources is insufficient to deal with both the tasks and heat stress, such that people will be able to maintain their performance level until the resources are overloaded. This element will be discussed according to different authors' point of views and theories. In another part, we will see that the acclimatization levels of the participants have effects on cognitive performance in the heat. TC acclimatized individuals, who have better physiological function to tolerate heat stress, showed more resistance to cognitive performance losses. We recommend to author investigating the cognitive performance during the heat exposure, to specify heat acclimatization (natural adaptation) or heat acclimation (artificial adaptation) level of their subjects. A point will be made on the recent techniques and strategies used to limit the negative effects of heat and the psychological training that was recently used to supplement physical practice and enhance performance in the heat will be evoked. Finally, recommendations and future research propection are addressed.

Ces éléments ont amené des auteurs à suggérer que l'influence du stress thermique sur les fonctions cognitives dépendrait notamment du type et de la complexité des tâches à réaliser (Cheung & Slevert, 2004 ; Gaoua, 2010 ; Hancock & Vasmatazidis, 1998 ; 2003 ; Pilcher et al., 2002).

Les performances dans des tâches simples sont peu ou pas affectées par la chaleur (Gaoua, 2010 ; Hancock & Vasmatazidis, 2003 ; Robin et al., 2019), voir même améliorées comme pour certaines tâches de temps de réaction simple (Grether, 1973), alors qu'une diminution de la performance est généralement observée dans des habiletés complexes de vigilance, de double tâches et/ou sollicitant fortement les ressources attentionnelles (Coudevylle et al., 2018 ; Gaoua, 2010 ; Ramsey & Kwon, 1992). C'est pourquoi nous avons notamment mené, au sein du Laboratoire ACTES, des expérimentations afin de mieux comprendre l'influence du CT sur les processus attentionnels.

2.3.1. Climat tropical et processus attentionnels

L'impact de la chaleur sur le fonctionnement cognitif, comme par exemple l'attention, a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche dont les résultats peuvent paraître contradictoires. Alors que Gaoua et al. (2011) ont montré qu'un stress thermique influençait négativement la mémoire de travail mais pas la performance dans des tâches d'attention soutenue (e.g., « Rapid Visual Processing »), d'autres auteurs ont observé une baisse de la performance dans une double tâche réalisée sur ordinateur, en condition de chaleur (e.g., 30°C), due à l'incapacité des participants à allouer suffisamment de ressources attentionnelles à la tâche (Chase, Karwowski, Benedict, Quesada, & Irwin 2003). Comme ces études ont été réalisées en environnement chaud uniquement, nous avons voulu tester si la combinaison d'humidité relative élevée et de chaleur (i.e., CT) induirait un niveau de stress élevé qui impacterait négativement la performance dans des tâches sollicitant les processus attentionnels. C'est ainsi que nous avons réalisé une expérience (Encadré 19), dont le but était notamment d'étudier l'influence du CT sur les performances dans le test d2 (Brickenkamp & Zillmer, 1998) sollicitant l'attention sélective (voir figure 6).

Exemple	"	"	'	'																		
	d	d	d	d	d	p	d	d	p	d	"	d	d	'	"	d	"	"	p	d	d	
Essai	"	"	'	'	"	"	'	'	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
	d	p	d	d	d	p	d	d	p	d	"	d	d	'	"	d	"	"	p	d	d	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

Figure 6. Exemple d’item utilisé dans le test d2 (Brickenkamp & Zillmer, 1998) d’évaluation de l’attention sélective. Dans ce test, il est demandé aux participants de barrer rapidement et d’un trait simple tous les « d » entourés de deux traits, comme indiqué dans les trois exemples.

Les résultats de cette étude ont montré que les participants obtenaient des scores moins élevés en CT qu’en CN. Ces résultats, confirmant ceux obtenus par Chase et al., (2003), nous ont amené à notamment proposer que l’inconfort induit par le CT engendrerait un « coût cognitif » supplémentaire (en comparaison avec un environnement neutre) impliquant le recours à davantage de ressources attentionnelles pour réaliser la tâche (Sanders, 1983).

Encadré 19. Coudeville, G. R., Poparoch, M., Sinnapah, S., Hue, O., & Robin, N. (2018). Impact of Tropical Climate on Selective Attention and Affect. *Journal of Human Performance in Extreme Environments*, 14(1), 11. doi : 10.7771/2327-2937.1109

Heat has an impact on several aspects of human cognition but the effects of the tropical climate (i.e., hot and wet) have rarely been explored. The purpose of this study was to determine whether selective attention and affect are negatively impacted by the tropical climate. The study followed a within-participants design: participants responded to an affective scale (PANAS) and performed an attention task (d2 Test) in two experimental climate conditions (tropical vs. neutral) with a one-week interval between sessions. The results indicated that they had lower positive affect and selective attention in the tropical climate than in the neutral climate. However, there was no significant difference in the effect on negative affect between conditions. The impact of tropical climate on affects and selective attention is discussed.

Table. Means and standard deviations for selective attention scores as a function of the climate condition

Task	Climate condition	
	Tropical <i>M (SD)</i>	Neutral <i>M (SD)</i>
Processing speed	187.63 (42.87)*	200.84 (46.15)*
Inattention	112.78 (44.91)*	98.47 (47.12)*
Impulsivity	2.81 (6.59)	1.91 (2.37)
Concentration performance	72.03 (89.05)*	100.47 (93.82)*

*Main effect for climate, *p* < .05.

Or comme évoqué par Baars (1993) dans la « *Global Workspace Theory* », il semble que l'on dispose de capacités cognitives ou d'un « réservoir » de ressources attentionnelles » (Kahneman, 1973) limitées. La théorie de Sanders (1983) propose que dans des conditions exigeantes, maintenir un niveau de performance nécessite un effort mental. Cet effort permet une gestion active des opérations concurrentes en jouant sur la distribution des ressources énergétiques en fonction de l'évolution des demandes. Généralement, la performance reste stable et résiste aux distractions. Cependant, la gestion de distractions externes, comme dans le cas de conditions climatiques particulièrement stressantes (e.g., CT), nécessite un traitement et donc représente un coût énergétique supplémentaire qui peut entraîner une baisse de performance dans une tâche cognitive (Hockey, 1997), notamment quand cette tâche est complexe ou nécessite beaucoup de ressources attentionnelles comme pour réaliser le test d2. Ainsi pour Delignières (1994), il y aurait une compétition entre le stress thermique et la tâche pour l'investissement d'un même « pool » de ressources attentionnelles qui a probablement engendré une baisse de la performance des participants de notre expérience en condition de CT.

Dans une revue de littérature (encadré 20), nous avons mis en évidence que le stress thermique n'impacte pas les différents processus attentionnels de la même façon. En effet, selon Wallace (2015) l'attention peut être divisée en trois réseaux spécifiques d'alerte, d'orientation et de contrôle exécutif. Selon Liu et al. (2013), le réseau d'alerte de l'attention permet de se préparer à l'arrivée d'un stimulus en établissant et en maintenant un état de vigilance de par notamment l'activation du thalamus, du cortex pariétal et du cortex frontal (Coull, 2004). Le réseau d'orientation, qui dirige sélectivement l'attention sur des zones repérées dans l'espace et qui permet de se concentrer sur des éléments pertinents, active les noyaux gris centraux, les lobes pariétaux et le cortex préfrontal (Posner, 2012). Enfin, le réseau concernant l'attention exécutive est impliqué dans la planification, la prise de décision, la coordination des actions simultanées, l'inhibition et la réalisation des actions. Il active le cortex cingulaire antérieur, le cortex frontal et le cortex préfrontal (Posner & Petersen, 1990). Dans une étude, Liu et al. (2013) ont testé séparément ces trois réseaux en condition de stress thermique. Ils ont mis en évidence qu'alors qu'aucune baisse de performance n'était observée pour l'alerte ou l'orientation de l'attention en environnement chaud, un déclin des performances au niveau de l'attention exécutive était constaté. Les auteurs ont

également observé que les réseaux d'orientation et d'alerte de l'attention utilisaient des ressources d'autres zones cérébrales dont celle du réseau impliqué dans l'attention exécutive afin de permettre le maintien des performances dans des tâches simples réalisées en environnement chaud. Le réseau d'attention exécutive qui a besoin d'une grande quantité de ressources neuronales pour réaliser des tâches cognitives complexes est ainsi plus perturbé, en condition de stress thermique, que les réseaux d'alerte et d'orientation (Hocking et al., 2001). C'est pourquoi Qian et al. (2015) ont évoqué que la réduction de l'efficacité locale de chaque réseau, combinée à des changements dans les trois réseaux d'attention, augmentait la dégradation du traitement neuronal par rapport à un environnement neutre et donc pouvait engendrer une baisse de performance notamment pour les tâches complexes (Gaoua et al., 2011 ; Simmons, Saxby, McGlone, & Jones, 2008). Comme l'IM sollicite les ressources attentionnelles (Robin, 2005), nous avons cherché à savoir si un climat chaud et humide pouvait impacter ce type de pratique.

Encadré 20. Robin, N., Coudeville, G. R., & Hue, O. (under review). Attentional processes and sport performance in hot dry or humid environments: Review, applied recommendation and new research directions. *Movement & Sport Science*.

Many important sporting events are organized in hot environments as the Summer Olympics Games or the FIFA World Cup. In addition, given the global warming around the world, and because heat also concerns millions of people living in hot-dry and/or hot-humid environments, athletes often train and compete under heat stress conditions. Physical exercise in a hot environment can negatively affect aerobic and high intensity performances and can also negatively influence mental performances and cognitive function as executive functions and attention. This review was realized in order to permit a better understanding of the influence of the heat on exercise and cognition as attentional processes. In addition, applied recommendations and strategies (e.g., acclimation, cooling, mental technics), that athletes can use during learning, training and competitions performed in hot environments, are discussed. Finally, new directions in research are proposed.

2.3.2. Climat tropical, rotation mentale et imagerie mentale

Les conditions environnementales (e.g., température et hygrométrie) peuvent influencer les performances mentales et la productivité au travail (Kosonen & Tan, 2004). Malgré certain travaux, les effets d'un stress thermique sur la cognition sont encore mal-connus notamment en condition écologique. Par exemple, Gaoua (2012) a observé un effet négatif de la chaleur sur la mémoire de travail en chambre thermique (50°C) ; et nous avons précédemment évoqué des baisses de performances attentionnelles pour des températures avoisinant 30°C. C'est pourquoi nous avons choisi une tâche de rotation mentale qui, selon Tomasino & Gremese (2016), est une tâche cognitive complexe qui implique les processus

attentionnels (e.g., attention exécutive) ainsi que la mémoire de travail afin de pouvoir manipuler, orienter, faire tourner, comparer des objets imaginés (Guillot, Champely, Batier, Thiriet, & Collet, 2007). Classiquement, une tâche de rotation consiste à faire tourner un objet pour le rendre congruent (ou non) avec un modèle, ce qui implique d'en construire une représentation mentale. L'imagerie mentale peut être un moyen pour faciliter l'opération, on parlera alors d'IM implicite. Cependant, il n'est pas obligatoire de recourir à l'IM implicite pour exécuter des rotations mentales : c'est une stratégie possible parmi d'autres. Il était donc possible qu'un CT puisse avoir un impact sur les performances dans ce type de tâche. C'est ainsi qu'à mon arrivée au Laboratoire ACTES, j'ai proposé et réalisé une expérience (voir encadré 9 présenté précédemment page 28) dont un des buts consistait à évaluer si un CT pouvait impacter les performances de rotation mentale de configurations géométriques en 3 dimensions de « type Shepard & Metzler, 1971 » en tenant compte du genre des participants. Nous avons ainsi pu mettre en évidence que les hommes obtenaient de meilleures performances que les femmes en climat neutre (pour rappel, CN), confirmant les résultats généralement observés dans la littérature (Hoyek et al., 2009 ; Ozel, Molinaro, & Larue, 2001). De façon plus surprenante, les scores des hommes au test de rotation mentale étaient inférieurs en CT qu'en CN, alors que ceux des femmes étaient similaires. Nous avons interprété ces résultats comme pouvant être lié au fait que les femmes seraient moins sensibles à une hygrométrie élevée que les hommes par l'utilisation d'une stratégie différente (Habacha et al., 2014) qui serait moins impactée par le CT, et/ou par une sensibilité supérieure des hommes à la chaleur (Karjalainen, 2007). En effet, alors que certains travaux (e.g., Butler et al., 2006) ont montré que les femmes préféraient la stratégie analytique (consistant à décomposer la structure de l'objet et ne se concentrer que sur certaines caractéristiques) à la stratégie analogique (consistant à faire une représentation mentale de l'objet analogue à celle d'un objet réelle et généralement préférée par les hommes), il s'avère que cette première stratégie a l'avantage d'être toujours accessible lorsque les ressources cognitives sont limitées car la manipulation en une opération unique de l'objet dans sa totalité (seconde stratégie) consomme plus de ressources qu'opérer séquentiellement sur chaque sous-partie de la configuration de cubes. Enfin, comme évoqué dans le chapitre 1, cette expérience avait également comme objectif d'évaluer si le CT pouvait influencer les performances de rotation mentale en fonction des capacités d'IM des participants. Les

résultats ont montré que bien qu'il n'y ait pas de différence significative au niveau des scores de rotation mentale entre les « bons » et les « faibles » imageurs, confirmant les résultats de la littérature (Habacha et al., 2014), les « faibles » imageurs ont obtenu des scores de rotation mentale inférieurs en CT qu'en CN. Ce résultat confirme la nécessité de prendre en compte l'environnement dans lequel une tâche cognitive est réalisée. Enfin, nous avons observé que les scores de capacités d'imagerie, évalués avec le questionnaire en imagerie du mouvement (Hall & Martin, 1997) que nous avons précédemment évoqué, étaient inférieurs en CT qu'en CN. Comme il existait une version traduite en Créole du MIQ-R (Anciaux, Alin, Le Her, & Mondor, 2002) et que la plupart des personnes vivant en Guadeloupe sont bilingues, nous avons voulu savoir si le CT influencerait la capacité d'IM en fonction de la langue utilisée dans les consignes du questionnaire pour réaliser les simulations mentales.

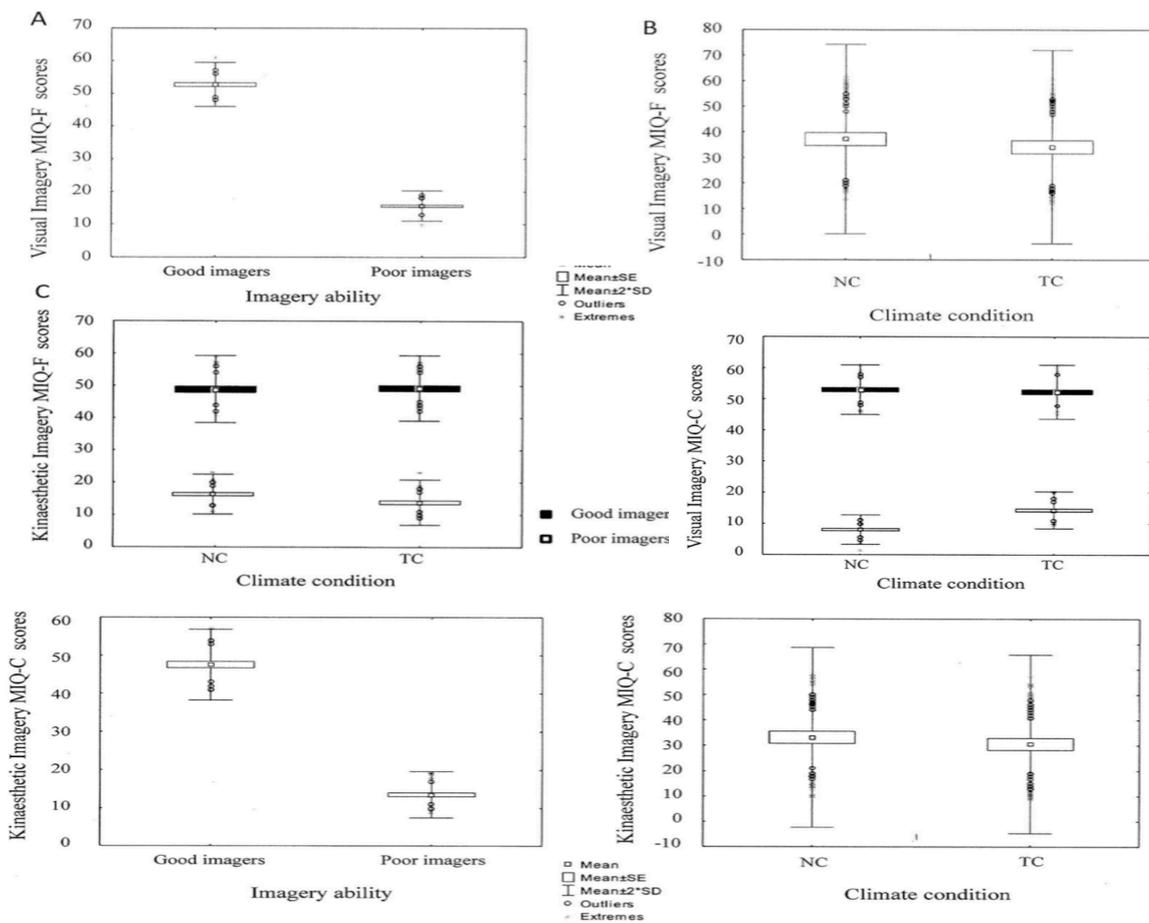
2.3.3. Climat tropical, langage et mémoire

La Guadeloupe est une île de la Caraïbe, disposant d'un climat de type tropical, au sein de laquelle la communication se fait en français et en créole, la majorité des habitants étant bilingues (Massina et al., 2000). Le créole est une langue vernaculaire (Fergusson, 1959), qui a obtenu le statut officiel de langue régionale. Une étude a évoqué que le créole est un langage fait d'images ou agrémenté d'images car il se transmet principalement oralement (Michelot, 2000). D'autres travaux ont montré un effet de la langue (i.e., français et créole) sur les capacités d'IM (Anciaux 2003 ; Anciaux et al., 2002 ; Anciaux, Caliari, Alin, Le Her, & Fery, 2005). En effet, la langue de présentation des consignes semble influencer l'évocation des images mentales chez certains bilingues français-créole et donc augmenter les capacités de mémoire et le rappel moteur de séries d'actions (Anciaux 2007). Ces effets singuliers de langage pourraient également se situer au niveau de la mobilisation de la motivation, de l'attention, de l'émotion, de la mémoire et de la cognition (Ardila & Ramos, 2010 ; Robin, Coudeville, & Anciaux, 2020) mais aussi être liés aux conséquences du bilinguisme sur l'activité cérébrale (pour revue voir Bialystoc, 2017). Etant donné les conséquences qu'un stress thermique peut avoir au niveau de l'activité cérébrale (Gaoua, Herrera, Périard, El Massioui, & Racinais, 2018 ; Hocking et al., 2001 ; Wijayanto et al., 2017), il est possible que l'environnement (CT vs. CN) influence différemment la capacité d'IM, de personnes

bilingues, en fonction de la langue utilisée dans les consignes les invitant à réaliser l'IM. C'est ainsi, que nous avons réalisé une expérience (voir encadré 21) dont le but était d'évaluer si le CT pourrait différemment influencer les scores aux questionnaires en imagerie du mouvement en fonction de la version (française vs. créole). Dans un premier temps, les résultats de cette étude ont mis en évidence un effet de la condition climatique : les participants avaient des scores de capacité d'imagerie inférieurs pour les modalités visuelles et proprioceptives pour la version française et uniquement de la modalité proprioceptive pour la version créole. Ces résultats confirment les données de la littérature ainsi que les résultats d'une étude que nous avons préalablement évoqués (Hocking et al., 2001 ; Robin et al., 2017). Le fait qu'il n'y ait que la modalité d'imagerie visuelle de la version créole du questionnaire qui n'a pas été impactée par le CT, peut paraître surprenant. Ce résultat semble indiquer que bien que le français et le créole partagent des structures cérébrales communes, ces langages semblent également impliquer des zones cérébrales spécifiques comme l'ont observé Massina et al. (2000) dans une étude de cas. De plus, le créole étant une langue « imagée » (Michelot, 2000), on pourrait supposer qu'elle pourrait faciliter le recours à l'IM visuelle de par notamment le partage de structures neuronales (Gallese & Lakoff, 2005) comme par exemple les zones occipito-temporales activées par la langue maternelle chez des bilingues (e.g., Perani et al., 1996) et également lors de l'imagerie mentale (e.g., Mellet, Petit, Mazoyer, Denis, & Tzourio, 1998). En effet, les travaux d'Anciaux et al. (2002 ; 2005 ; 2007) ont montré que la langue utilisée dans les consignes (e.g., le créole) influençait l'évocation d'images mentales et augmentait les capacités de mémoire et de rappel moteurs d'une série d'actions. Enfin, nous pouvons supposer que lorsque les participants (i.e., enseignants vivant en Guadeloupe) ont appris le créole, ils ont construit une représentation mentale incluant des éléments environnementaux comme le climat.

Encadré 21. **Robin, N.**, Coudeville, G. R., & Anciaux, F. (2020). Effects of tropical climate and language format on imagery ability among french-creole bilinguals. *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*. doi: 10.1080/13670050.2019.1709412

This study examined how a tropical climate (i.e. hot and wet climatic environment) and different language instructions, in French and in Creole, could affect imagery ability on French-Creole bilingual in the French West Indies. Participants were divided into two groups: Half of them completed the French Movement Imagery Questionnaire (MIQ-F), the others realized the Creole version (MIQ-C), in Neutral Climate (NC) then in Tropical Climate (TC). The results of this original study showed that participants had lower visual and kinaesthetic MIQ-F and kinaesthetic MIQ-C imagery scores, but had higher visual MIQ-C imagery scores, in TC than in NC. Poor imagers had significant lower kinaesthetic MIQ-F, and better visual MIQ-C imagery scores in TC than in NC. The results of this study suggested that imagery language instruction can modulate the influence of tropical climate on imagery ability. The difference between Creole and French language effects on cognition as imagery is discussed.



Figures.

Main effects of imagery ability (A) and climate (B) on visual imagery MIQ-F scores. TC = Tropical Climate, NC = Neutral Climate. Imagery ability × climate condition interaction (C) on kinaesthetic imagery MIQ-F scores. Imagery ability × climate condition interaction (D) on Visual imagery MIQ-C scores. Main effects of imagery ability (E) and climate condition (F) on kinaesthetic imagery MIQ-C scores. I-beams indicate the 95% confidence intervals for the mean values. *Significant difference by ANOVA: $p < .05$.

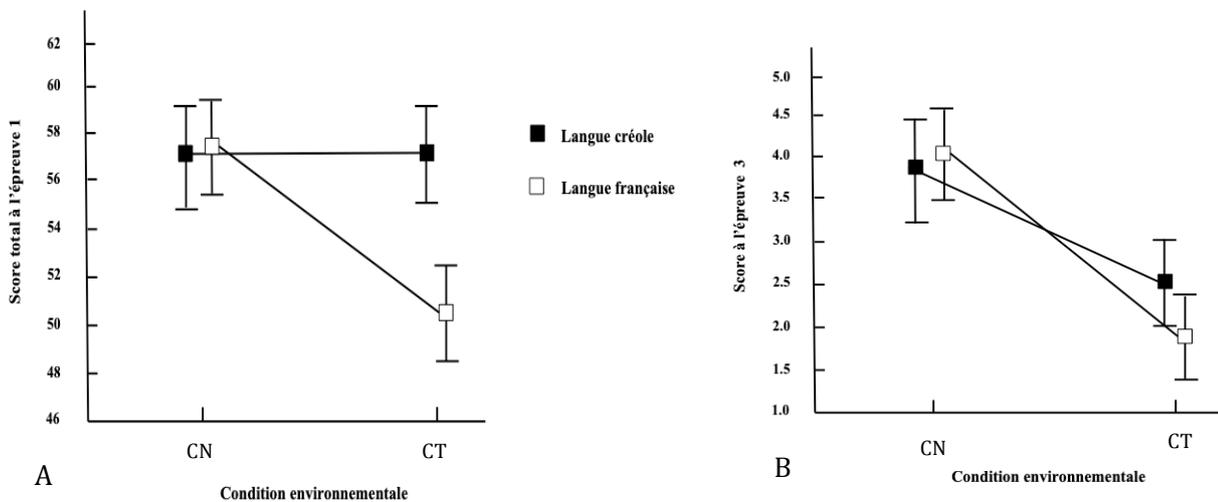
Le fait d'être en CT, pendant l'IM visuelle réalisée sur la base de consignes en créole, peut avoir facilité ou « ne pas avoir limité » l'accès à cette représentation, comme le montrent les travaux de Guillot et al. (2005) sur l'influence du contexte de réalisation de l'IM. Comme nous avons observé un effet différencié du CT, sur la capacité d'IM, en fonction de la langue utilisée dans les consignes, nous avons

voulu savoir si cet effet concernait d'autres types de tâches cognitives plus ou moins complexes comme le rappel, la reconnaissance et le rangement par ordre alphabétique de mots mémorisés. Dans une expérience réalisée avec des personnes bilingues français-créole (encadré 22), nous avons fait l'hypothèse que contrairement au français, le créole pourrait faciliter le rappel et la reconnaissance de mots en CT. De plus, comme le stress thermique peut avoir des effets négatifs, qui augmentent généralement avec la complexité des tâches à réaliser, nous avons proposé que ces effets « délétères » pourraient être modulés par la langue (e.g., le créole) chez des personnes bilingues. Les résultats de cette étude, ont mis en évidence un effet négatif du CT sur les performances de mémoire et rappel de mots (i.e., baisse du nombre mots justes mémorisés, augmentation du nombre de mots doubles ou faux), confirmant les résultats généralement observés dans la littérature (pour revue voir, Robin & Coudevylle, under review). Ces résultats pourraient être interprétés au regard du modèle d'adaptabilité maximal (Hancock & Warm, 1989) qui propose que la chaleur exerce des effets délétères sur la performance en étant en compétition et éventuellement en mobilisant des ressources attentionnelles. En effet, il a été proposé l'existence d'une zone « normative » correspondant à une zone de confort dans laquelle les ajustements cognitifs liés aux demandes de la tâche sont plus facilement réalisés avec un niveau optimal de performance (Hancock & Vasmatazidis, 2003). Lorsque le stress thermique augmente (e.g., par une augmentation de la température et/ou de l'humidité relative dans l'air), les ressources attentionnelles sont progressivement restreintes (Coudevylle et al., 2018) et les performances cognitives peuvent se dégrader (Robin et al., 2017). De plus, Kobrick et Johnson (1991) ont suggéré qu'en CT, le maintien de la vigilance rendu difficile par les conditions environnementales pourrait être responsable de l'atteinte de la fonction cognitive et de la baisse des performances. Les résultats de cette étude ont également mis en évidence, dans une tâche de rangement de mots mémorisés par ordre alphabétique que l'on peut considérer comme complexe, une baisse de la performance des participants en CT en comparaison avec un environnement neutre (i.e., CN). Ces résultats confirment les données de la littérature montrant un effet du stress thermique sur la mémoire pour des tâches complexes (Cian et al., 2000 ; Hocking et al., 2001). Selon John (2000), les informations issues des stimuli sont généralement distribuées à des réseaux neuronaux dispersés dans le cortex et leur traitement sollicite de nombreuses ressources lors de la réalisation de tâches complexes. Les ressources

mobilisées par le CT semblent donc rentrer en compétition avec celles nécessaires à la réalisation de la tâche, et une détérioration de performance peut être observée lorsque les ressources cognitives totales sont insuffisantes tant pour la tâche que le stress thermique (Hocking et al., 2001). Nous avons de plus observé que les participants bilingues renaient plus de mots en créole et rangeaient plus de mots par ordre alphabétique en créole qu'en français en CT, alors qu'aucune différence en fonction de la langue n'a été relevée en environnement neutre. Ces résultats sont cohérents avec ceux de l'étude de Massina et al. (2000) mettant en évidence une différence dans la récupération du français et du créole chez une patiente bilingue après six mois de rééducation, post accident cérébral, en français. Nous nous sommes interrogés sur les raisons d'un potentiel avantage, dans la tâche de rappel, de la langue créole en CT alors que ce climat est généralement associé à une baisse de performance. Il est premièrement possible que ce résultat s'explique par la fréquence et la familiarité des mots qui peuvent avoir une influence sur les performances mnésiques (Kowialiewski & Majerus, 2018). Il est deuxièmement envisageable qu'il y ait une distribution différente des ressources cognitives de l'individu bilingue sur le plan verbal et imagé (Paivio, 1986), dans chacune des deux langues, pouvant suggérer ainsi des stratégies cognitives distinctes dans la mémorisation d'informations verbales. Les différences de performance de rappel verbal des séries de mots, en fonction de la langue utilisée, pourraient être expliquées par une répartition différente de l'information au sein de ces deux sous-systèmes de mémorisation. Selon Deviterne (2001), le double codage initial de l'information verbale faciliterait la mémorisation et le rappel verbal. De fait, la langue utilisée pour lire une série de mots pourrait influencer les performances d'individus bilingues dans des tâches de rappel verbal car la possibilité d'encoder les informations initiales sur le plan verbal et imagé augmenterait la probabilité de retrouver les éléments dans l'ordre (Engelkamp, 1988) ou pourrait faciliter le recours à des stratégies particulières (e.g., imagerie mentale pour le créole ou concentration pour le français) comme indiqué par certains participants de cette étude.

Encadré 22. Robin, N., Coudeville, G. R., Marmolejo-Ramos, F., & Anciaux, F. (2020). Influence du climat et de la langue dans des tâches de mémorisation chez des bilingues français-créole aux Antilles Françaises. *L'année Psychologique*.

This study examines the effects of the presence or absence of thermal stress and language (French vs. Creole) on performance in memory tasks, recognition, and alphabetical ordering of previously learned words. Sixty-four French-Creole bilingual participants conducted two test sessions either in the absence (24°C) or in the presence (31°C) of thermal stress. The A and B versions of the tests of each session were either in French or in Creole. The results show an effect of climate, language and complexity of the task on memory and recognition performance. In fact, the performances in the tests were lower under heat stress condition than in the absence of the latter. In addition, the performances of the participants in the Creole language were superior to those obtained in French, under heat stress condition, whereas no difference was observed in the absence of this one. Language is likely to modulate the influence of climate on memorization.



A) Figure representing the scores for the significant interaction between environmental condition and language in the test 1. The vertical bars represent approximately the 95% confidence intervals.

B) Figure representing the scores for the significant interaction between environmental condition and language in the test 3. The vertical bars represent approximately the 95% confidence intervals.

L'épreuve 1, issue du RAVLT (Rey, 1941) utilise une liste de 15 mots, enregistrée en français ou en créole, présentée à 5 reprises avec rappel libre suivant chacune des présentations. Des additions des mots justes, mots faux et doubles servent de variables dépendantes.

L'épreuve 3 consiste à ranger, de mémoire, le maximum de mots appris lors de l'épreuve 1.

Lors des expériences préalablement évoquées dans ce chapitre, nous avons pu mettre en évidence un effet négatif du CT sur les performances cognitives principalement avec des participants non experts dans les différentes tâches utilisées. C'est pourquoi nous nous sommes posés la question si un CT influencerait également les performances de participants considérés comme experts que ce soit pour des tâches cognitives mais également des tâches motrices de pointage.

2.4. Influence du climat tropical sur les performances motrices

Dans le cadre d'un projet PO-FEDER (ACTES APLI, 2014-2018) et en collaboration avec la Professeure E. Rosnet (Université de Champagnes-Ardennes), le Dr. M. Poparoch (Université de Strasbourg) et d'une postdoctorante financée par le projet (Dr. A. Collado), nous avons mis en place un protocole de recherche portant sur les effets du CT sur les perceptions psychologiques, les performances dans des tâches de temps de réaction et d'attention ainsi que de précision cognitivo-motrice avec des athlètes internationaux du pôle France Escrime Antilles-Guyane. Les athlètes ont réalisé différentes tâches en condition de stress environnemental (i.e., CT) et en environnement neutre (i.e., salle climatisée d'escrime du CREPS des Antilles-Guyane) contrebalancées. Dans chaque condition, les escrimeurs ont répondu à des questions relatives aux affects (PANAS, Lapierre, Gaudreau, & Blondin, 1999) ainsi qu'aux confort et sensation thermiques et à la sensation de fatigue. De plus, ils ont réalisé des tâches cognitives de temps réaction simple et de choix, d'attention et de vigilance. Enfin, ils devaient réaliser une tâche de précision cognitivo-motrice en direction d'une cible réalisée en tenue d'escrime avec leur masque et leur arme. Comme illustré sur la figure 7, les participants devaient réaliser 3 blocs de 5 essais qui consistaient à faire des déplacements imposés avant de réaliser un pointage avec l'arme en direction d'une cible verticale.

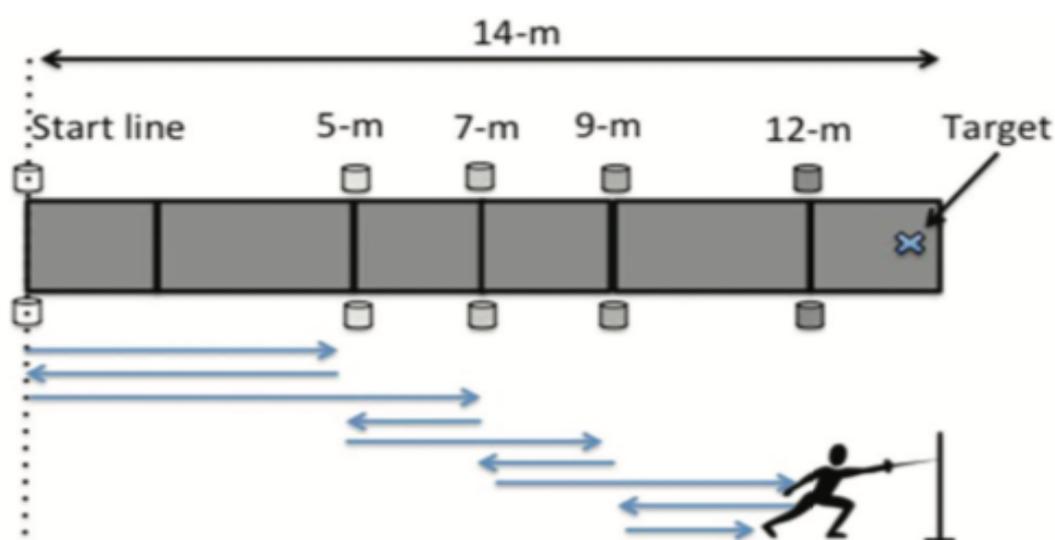
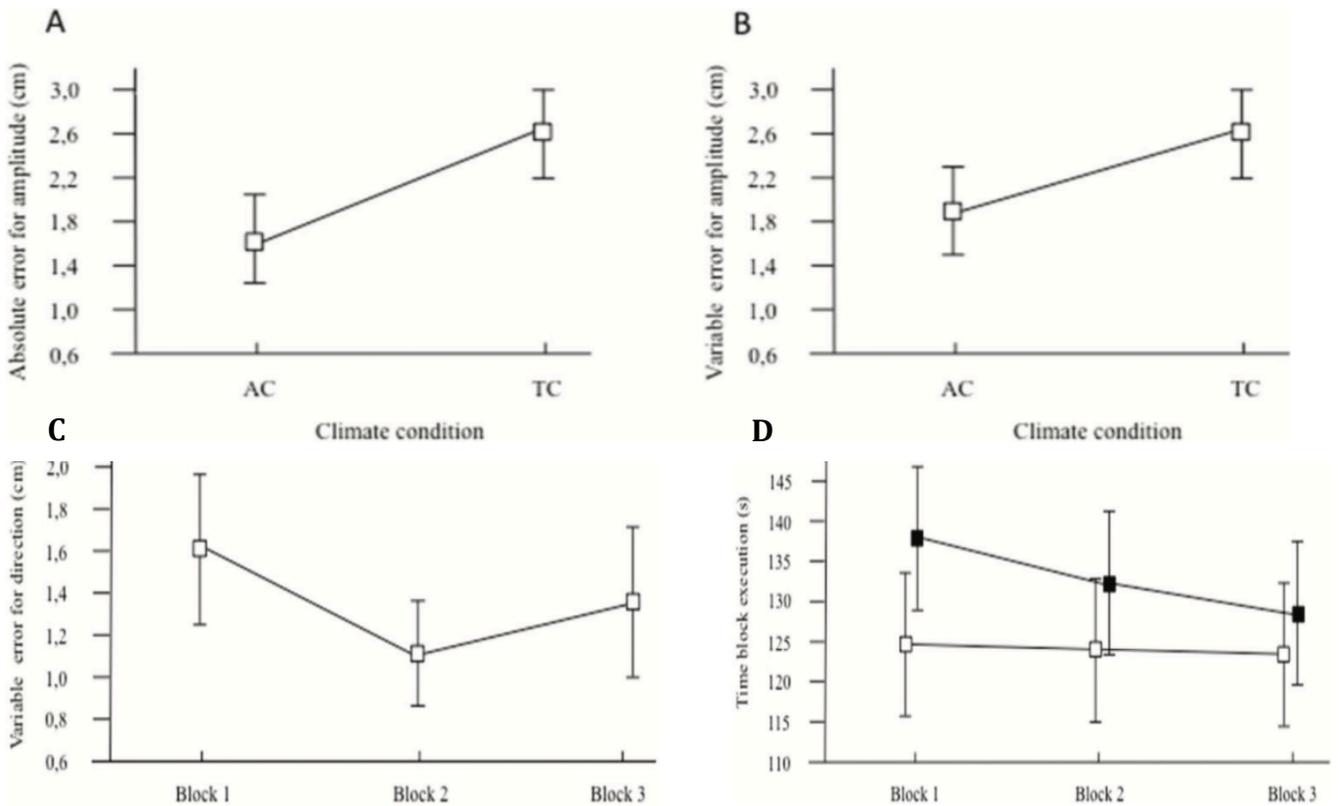


Figure 7 : Illustration des déplacements des escrimeurs, réalisés sur la piste d'escrime, au cours de la tâche de précision motrice.

Encadré 23. **Robin, N.**, Collado, A., Sinnapah, S., Rosnet, E., Hue, O., & Coudeville, G.R. (2019). The Influence of Tropical Climate on Cognitive Task Performance and Aiming Accuracy in Young International Fencers. *Journal of Human Performance in Extreme Environments*, 15(1), 4. Doi : 10.7771/2327-2937.1110

This study examined how a tropical climate (TC) influences the cognitive and aiming task performances of young international fencers. The participants performed the tasks in TC and an air-conditioned room. In each session, they completed questionnaires evaluating affective states, fatigue, and comfort and thermal sensations. They also carried out cognitive tasks (simple and choice reaction time, attention, and vigilance tasks) and a motor task testing aiming accuracy with a sword while wearing protective clothing and a mask. TC, which was observed to decrease thermal discomfort, was revealed to decrease aiming accuracy and positive affective states. There was no deleterious effect on cognitive task performance, nor on negative affective states, or fatigue and increased thermal discomfort. These results showed that TC can negatively influence motor performance.



Figures. Main effects of the absolute errors (A) and the variable errors (B) for the amplitude of the aiming performance as a function of the climate condition. Main effect of the variable error for the direction of the aiming task performance as a function of the blocks (C). Significant interaction between the climate condition, TC (black squares) vs. AC (white squares), and the blocks for the movement time execution (D). AC, air conditioning; TC, tropical climate. $p < 0.05$. I-beams indicate the 95% confidence intervals for the mean values.

En ce qui concerne les facteurs psychologiques, les résultats de cette expérience montrent que le CT a entraîné une augmentation de l'inconfort thermique et de la sensation de chaleur des athlètes. Ces résultats confirment ceux que nous avons obtenu dans les expériences décrites précédemment ainsi que les travaux de la littérature (Coudeville et al., 2018 ; Gaoua et al., 2012 ; Lan et al., 2001). Bien que les participants soient considérés comme « acclimatés » (Wijayanto et al., 2017) et donc plus tolérants aux conditions climatiques auxquels ils sont habitués car vivant à l'année en CT, les résultats indiquent que

les participants ont tout de même éprouvé de l'inconfort thermique en condition de stress environnemental probablement dû à la tenue d'escrime comportant le casque et des protections (e.g., plastrons, coquilles). Alors qu'un stress thermique peut favoriser la sensation de fatigue (Qian et al., 2015), les résultats de cette étude montrent une absence de différence significative entre les conditions CN et CT, probablement due à l'« acclimatisation » des participants, à leur degré d'entraînement et à la durée de la tâche qui bien qu'étant intense ne dépassait pas 9 minutes, les efforts de plus longues durées étant généralement impactés par ce facteur (Hue, 2011). En ce qui concerne les affects, les résultats obtenus par les athlètes étaient similaires à ceux que nous avons rapportés dans nos travaux, c'est à dire une baisse uniquement de leurs affects positifs et un maintien de leur calme et sérénité montrant une bonne tolérance au CT (Coudevylle et al., 2019). Nous allons à présent évoquer les performances obtenues dans les tâches cognitives qui n'étaient pas significativement différentes en CT comparé au CN. Nous ne pouvons malheureusement pas savoir si cette absence de détérioration, en condition de stress environnemental, est liée au degré d'expertise des participants (absence de comparaison experts vs. novices) ou au fait que les tâches cognitives réalisées dans cette étude n'étaient pas assez complexes pour être susceptibles d'être négativement impactées par le CT. Par contre, les résultats concernant la performance motrice montrent que le CT a entraîné une baisse de la précision des pointages réalisés par les athlètes. Ces résultats semblent indiquer que le stress environnemental lié au CT, imposant des contraintes supplémentaires au niveau des ressources attentionnelles disponibles (Hancock & Vastmazidis, 2003), a engendré une baisse de performance dans la tâche de précision (qui elle aussi nécessitait une grande « quantité d'attention »), l'ensemble ayant dépassé les capacités totales du « pool » de ressources attentionnelles (Baars, 1997). Ces résultats sont importants car selon Coudevylle et al. (2019), de nombreuses épreuves sportives ont lieu en climat tropical ou en condition de stress thermique et il semble important de trouver, utiliser, ou développer des stratégies de lutte contre les effets négatifs d'un CT.

2.5. Stratégies de lutte contre les effets négatifs d'un climat tropical

Le stress environnemental engendré par un climat humide et/ou chaud a pour conséquence de favoriser l'apparition d'une fatigue précoce (Schmit et al., 2015), d'amplifier l'effort perçu (Périard,

Cramer, Chapman, Caillaud, & Thompson, 2011), d'augmenter l'inconfort thermique (Gonzales, 2012 ; Willmott et al., 2017), de diminuer la durée des exercices (Altareki, Drust, Atkinson, Cable, & Gregson, 2009), mais aussi d'allonger la durée de réalisation d'une course et d'augmenter le nombre d'abandons dans des épreuves de longues durées (Chabert, Hermand, & Hue, 2019). Selon Tyler, Reeve, Hodges, et Cheung (2016) différentes stratégies préventives de lutte contre les effets négatifs d'un stress thermique ont été étudiées comme l'acclimatation, l'ingestion de fluide pour limiter la déshydratation (Tattersson, Hahn, Martini, & Febbraio, 2000), les tenues des sportifs (Gonzales, Hagin, Guillot, Placet, & Gros Lambert, 2011) et les techniques de refroidissement (Bongers, Hopman, & Eijsvogels, 2017 ; Gonzales et al., 2014) afin notamment d'améliorer la performance et d'atténuer le risque d'hyperthermie. Plus récemment des auteurs ont testé ou suggéré l'usage de stratégies mentales afin de favoriser la gestion des conséquences d'un environnement chaud (e.g., dialogue interne, pleine conscience), d'inhiber ou limiter celles-ci (e.g., la musique) voir même d'avoir recours à des techniques de « refroidissement mental » (e.g., suggestion au froid ou imagerie mentale).

Suite à la sollicitation de notre directeur de Laboratoire pour un appel à projet de la revue *Frontiers in Psychology*, en lien avec les Jeux Olympiques de Tokyo 2020, nous avons collaboré dans l'écriture d'une mini-revue de littérature (voir encadré 24) qui porte sur les stratégies communément utilisées par les athlètes et entraîneurs, mais aussi d'autres stratégies alternatives voire innovantes, pour lutter contre les effets négatifs d'un CT.

Encadré 24. Coudeville, G., Sinnapah, S., **Robin, N.**, Collado, A., & Hue, O. (2019). Conventional and alternative strategies to cope with the tropical climate of Tokyo 2020: Impacts on psychological factors of performance. *Frontiers in Psychology*, 10, 1279. Doi : 10.3389/fpsyg.2019.01279

The thermal discomfort caused by a hot or hot-wet climate can have negative effects on human performance. The 2020 Summer Olympic and Paralympic Games will take place in Tokyo's hot and humid summer period, possibly exposing athletes to severe environmental stressors. In addition to technical, tactical, physical and nutritional preparation, Olympians and Paralympians need an optimal psychological state to turn in their best performances, especially in terms of emotional control, concentration and motivation. Yet, the tropical climate can have many negative effects on these factors. Better understanding of the negative effects of this climate and the strategies to manage them might be crucial for competitors, coaches and their teams in Japan. At the psychological level, cooling interventions before, during and/or immediately after exercise were mainly studied on perceptual responses. However, the effects of these interventions on other psychological components such as cognitive abilities or psychological states and the use of psychological techniques like cooling intervention strategies have been little explored, especially in hot-wet climate. Thus, this article proposes to take stock of the knowledge on the conventional and alternative strategies that help athletes to psychologically cope with the subtropical climate of Tokyo.

Nous allons donc, dans les parties suivantes, dissocier les stratégies physiques des stratégies mentales évoquées dans cet article et dans la littérature. Cette distinction est liée au fait qu'à notre connaissance, peu ou pas de travaux de recherche ont tenté de combiner à la fois des stratégies mentales et physiques. Cette piste de recherche ne devrait pas, à mon humble avis, être négligée et pourrait faire l'objet d'études exploratoires. En effet, il est par exemple possible que l'usage de menthol et de langage (motivationnel positif) interne au cours d'une épreuve de longue durée réalisée en CT, permettrait d'augmenter la performance de façon significativement supérieure à celle obtenue au moyen d'une stratégie physique ou d'une technique mentale (e.g., Hermand, Collado, & Hue, 2020 ; Hue, Chabert, Collado, & Hermand, 2019 ; Trong, Riera, Rinaldi, Briki, & Hue, 2015 ; Wallace et al., 2017) utilisée seule. Nous allons à présent développer les stratégies ou techniques physiques utilisées dans le but de lutter contre les effets négatifs d'un stress environnemental.

2.5.1. Stratégies physiques

Parmi les stratégies permettant de lutter contre les effets d'un stress thermique (e.g., CT) on retrouve l'acclimatation passive ou active en environnement chaud (Racinais, Sawka, Daanen, & Périard, 2019 ; encadré 25). L'acclimatation à un environnement chaud entraîne des adaptations physiologiques telles qu'une réduction de la consommation d'oxygène à une puissance donnée, une économie du glycogène musculaire, une réduction de lactate sanguin à une puissance donnée, une augmentation de la force produite, une augmentation de la sudation, une diminution de la concentration en sel de cette dernière, une augmentation du volume plasmatique et une amélioration de l'efficacité du myocarde (Lorenzo, Halliwill, Sawka, & Minson, 2010 ; Pryor et al., 2019 ; Racinais, Périard, Karlsen, & Nybo, 2015), tout en limitant les risques d'abandons (Hermand, Chabert, & Hue, 2019). Racinais et al. (2019) ont ajouté que la répétition d'exercices favorisait l'acclimatation active des athlètes à la chaleur, via une série d'adaptations physiologiques (e.g., diminution de la fréquence cardiaque) améliorant la thermorégulation et réduisant les contraintes physiologiques (i.e., diminution de la température centrale) pour des exercices réalisés à une intensité donnée. La plupart des adaptations physiologiques sont obtenues au bout de quelques jours, cependant la capacité à réaliser un exercice physique semble

s'améliorer de façon optimale après une à deux semaines incluant une pratique physique régulière. L'acclimatation est aussi susceptible d'impacter des facteurs psychologiques en améliorant notamment la sensation et le confort thermiques (Tyler et al., 2016) ou en baissant l'effort perçu (Malgoyre et al., 2018), mais également les performances cognitives dans des tâches d'attention (Radakovic et al., 2007), de planification (Racinais, Wilson, Gaoua, & Périard, 2017) ou psychomotrice (Walker, Dawson, & Ackland, 2001).

Encadré 25. Robin, N., Coudevylle, G. R., Parrat, M., Hatchi, V., & Hue, O. (under review). *Stratégies de Gestion de la Chaleur et Performances Sportives de Haut Niveau : Techniques Usuelles et Innovantes. Movement & Sport Sciences.*

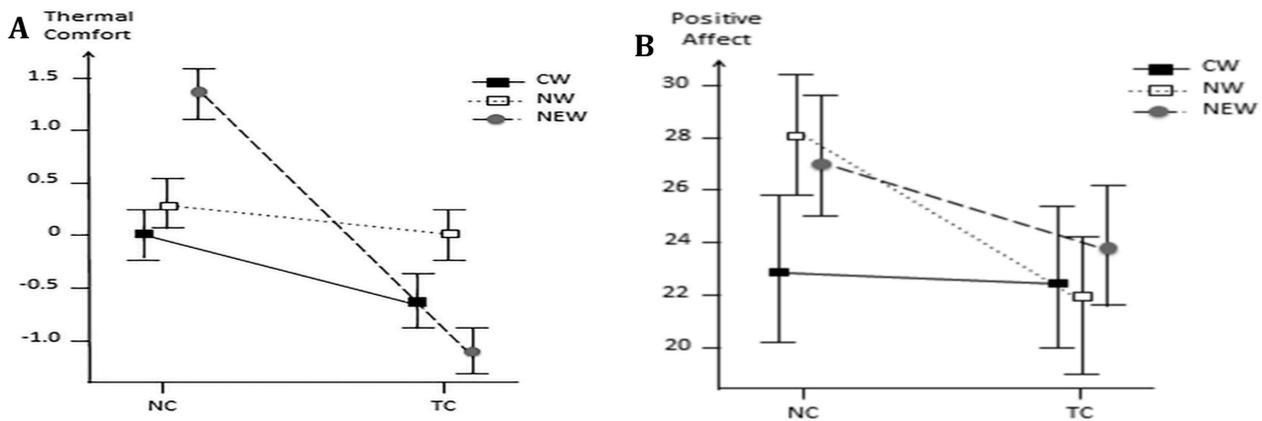
The Paris summer Olympics Games in 2024 will take place from July 26th to September 8th with a significant risk of athletes performing at high temperatures. The scientific literature covers several theoretical and empirical studies on techniques for adapting to hot and/or humid environments. However, the differences between laboratory-controlled protocols and the complexity of a performance performed in ecological conditions, especially when it comes to major sporting events, require a critical look before giving recommendations to athletes. Indeed, it can be counterproductive, even risky, to propose a strategy of heat management that has not been scientifically tested beforehand. The purpose of this article is to list heat management strategies, from the most common to the most innovative, in order to analyze those that would be most suitable and effective for athletes who will participate in the 2024 Olympic and Paralympic Games. For each strategies, scientific background and practical recommendations are brought to the attention of athletes, coaches and mental trainers in order to allow them to anticipate the potential effects of high temperature and to prepare themselves as best as possible to these conditions, from a physiological and psychological point of view.

La seconde stratégie que nous allons évoquer est celle du refroidissement physique qui vise à atténuer les effets négatifs de la chaleur en réduisant à la fois l'accumulation de chaleur endogène et la température centrale et en limitant les baisses de performances cognitives (Bongers, Thijssen, Veltmeijer, Hopman, & Eijsvogels, 2015 ; Schmit et al., 2017) et motrices (e.g., Gonzales et al., 2014). Des auteurs comme Ross, Abbiss, Laursen, Martin, et Burke (2013) ont proposé de classer les techniques de refroidissement en deux catégories : les stratégies internes et les stratégies externes. Parmi les stratégies internes, on retrouve l'ingestion d'eau froide (entre 0 et 10°C) et de glace pilée, combinées ou non avec du menthol qui permet notamment, via la stimulation des thermorécepteurs au froid (i.e., TRPM8), de déclencher une sensation de froid, de modifier les perceptions thermiques et de favoriser le confort thermique en CT (voir Coudevylle et al., 2019, encadré 26). Selon Siegel, Mate, Watson, Nosaka, et Laursen (2012), les stratégies de refroidissement internes, par ingestion de liquide ou de glace pilée, ont l'avantage de pouvoir être utilisées en compétition : elles limitent l'augmentation des températures

centrales et corticales et la baisse des performances aérobies en condition de stress thermique (Riera, Trong, Sinnaph, & Hue, 2014 ; Saldaris, Landers, & Lay, 2020), tout en hydratant les athlètes.

Encadré 26. Coudeville, G., Sinnaph, S., Hue, O., Poparoch, M., & **Robin, N.** (2020). Impact of Cold Water Intake on Environmental Perceptions, Affect, and Attention as a Function of Climate Condition. *American Journal of Psychology*, 133(2), 205-219. doi: 10.5406/amerjpsyc.133.2.0205

The use of cooling techniques in a tropical climate can limit the increase in core body temperature and therefore improve physical exercise performance. However, little is known about the impact of cooling on psychological functioning. The aim of this study was to determine whether cold water intake influences environmental perceptions, affects, and attention depending on the climate condition (tropical climate vs. neutral climate). The study followed a mixed 2 × 3 crossover design (climate as the within factor, tropical climate vs. neutral climate; water intake as the between factor, cold water vs. neutral water vs. no water). Participants reported lower thermal comfort, had positive affect scores, had lower attention performance scores, and had higher thermal sensation and negative affect in tropical climate compared with neutral climate. It was shown that drinking water at room temperature in a neutral climate causes the best thermal comfort scores, and drinking water at room temperature in tropical climate causes the worst scores. Cold water intake, which had no notable influence on positive affect scores in a tropical climate, had a deleterious effect in a neutral climate. Drinking cold water as a technique to limit the deleterious effects of tropical climate on environmental perceptions, affect, and attention is discussed.



Figures. Effects of climate (tropical climate [TC] vs. neutral client [NC]) and water intake (cold water [CW] vs. no water [NW] vs. neutral water [NEW]) on thermal comfort scores (A). Effects of climate (TC vs. NC) and water intake (CWvs. no water vs. NEW) on positive affect scores (B). $p < .05$. I-beams indicate 95% confidence intervals for mean values

Tableau : Means (SDs) for Attention Scores as a Function of Climate and Cold Water Condition

Task	Water intake condition	N	Climate condition	
			Tropical M (SD)	Neutral M (SD)
Processing speed	No water	32	187.63 (42.87)*	200.84 (46.15)*
	Cold water	29	196.72 (41.91)	206.17 (50.54)
	Neutral water	30	194.63 (34.85)	209.80 (38.07)
Inattention	No water	32	110.71 (45.79)*	96.23 (46.54)*
	Cold water	29	99.74 (45.20)	92.00 (54.09)
	Neutral water	30	105.27 (33.02)	91.50 (36.79)
Impulsivity	No water	32	2.66 (6.32)*	1.83 (2.32)*
	Cold water	29	3.29 (3.90)	3.58 (4.82)
	Neutral water	30	2.90 (2.32)	2.70 (2.78)
Concentration	No water	32	76.03 (90.85)*	104.29 (91.56)*
	Cold water	29	95.23 (89.70)	111.26 (106.86)
	Neutral water	30	85.73 (61.08)	118.93 (67.97)

*Main effect for climate, $p < .05$.

Cependant, dans une expérience dans laquelle nous avons testé l'influence de l'ingestion de boissons (fraîche vs. température neutre vs. pas de boisson) sur la performance dans une tâche cognitive, nous n'avons pas mis en évidence d'effet positif de l'ingestion d'eau froide sur les processus attentionnels notamment en CT (Coudeville et al., 2020). De même, mal utilisées, les stratégies de refroidissement internes peuvent être contreproductives et générer de l'inconfort, des troubles gastriques, des allergies ou des céphalées (Stevens, Dascombe, Boyko, Sculley, & Callister, 2013), d'où l'intérêt d'avoir recours aux stratégies externes.

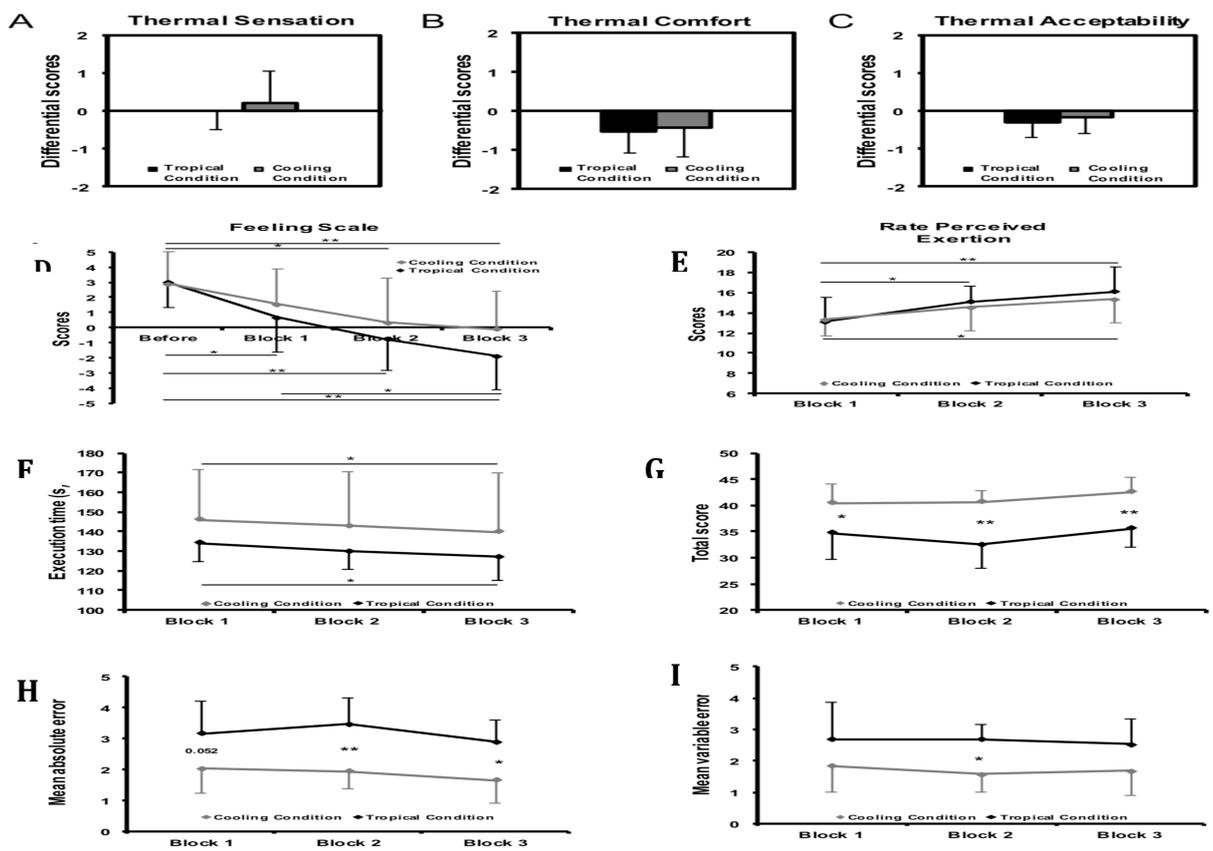
Les stratégies de refroidissement externes (e.g., bains, douches, vêtements réfrigérés ou pack de glace) sont généralement utilisées avant les compétitions comme stratégies de pré-refroidissement (ou pre-cooling) permettant de lutter contre le stress thermique (Douzi et al., 2019 ; Gonzales et al., 2014). Ce sont des stratégies efficaces qui permettent de diminuer la température centrale avant l'exercice et d'augmenter la capacité de stockage de la chaleur corporelle. De plus, en réduisant la température cutanée, le refroidissement externe favorise la réduction du flux sanguin cutané et les tensions cardiaques et cérébrales associées à la perfusion de la peau. Utilisée pendant l'effort (i.e., per-cooling), ces stratégies permettent de notamment diminuer la température cutanée, réduire les informations afférentes issues des thermo, chimio et barorécepteurs endogènes, et de diminuer les réponses thermorégulatrices comme la transpiration ce qui freine la déshydratation (Schmit et al., 2017) et permet de préserver un niveau de performance dans de nombreuses activités sportives (Bongers et al., 2017). Au cours d'un exercice physique, les stratégies externes sont plus difficilement utilisables, soit à cause de durées limitées d'utilisations possibles (e.g., serviettes humides ou poches de glace lors des temps-morts, des changements de côtés ou d'adversaires), soit à cause des règlements des compétitions qui interdisent l'usage de certaines techniques comme les cagoules réfrigérantes et limitent ainsi les possibilités d'obtenir un refroidissement externe efficace (Hermand et al., 2019 ; Ruddock, Robbins, Tew, Bourke, & Purvis, 2017) ou uniquement sur des surfaces limitées (e.g., bandeau frontal réfrigéré, bandanas) comme évoqué par Coudeville et al. (2019). Alors qu'un effet ergogène des techniques de refroidissement interne sur les performances d'endurance en condition de stress thermique est généralement rapporté (Bongers et al., 2015 ; 2017), les preuves de l'efficacité de ces stratégies sur les performances cognitives et psycho-

motrices restent limitées. C'est pourquoi, dans le cadre du PO-FEDER (ACTES APLI, 2014-2018), nous avons testé les effets de l'utilisation ou non de stratégies refroidissements externes (i.e., gilet et bandanas réfrigérés) sur des facteurs psychologiques ainsi que les performances dans des tâches cognitives et de pointage, réalisées en CT, avec des escrimeurs du pôle France Antilles-Guyane (voir encadré 27). Alors qu'aucune différence de score ou de performance n'a été mise en évidence en ce qui concerne les facteurs psychologiques (i.e., affects positifs et négatifs, confort et sensation thermiques, sensation de fatigue) ou les tâches cognitives (i.e., temps de réaction simples et de choix, d'attention et de vigilance), les principaux résultats de cette étude ont montré une performance supérieure de la précision des escrimeurs dans la tâche motrice réalisée en condition de refroidissement en comparaison avec la condition contrôle. Les résultats de cette étude montrent l'intérêt d'avoir recours à des stratégies de refroidissement pour lutter contre les effets négatifs d'un CT dans des activités motrices de précision. Chase et al. (2003) ont montré l'implication de davantage de ressources cognitives en condition de stress thermique, « pour rester concentré », dans des tâches d'attention. Or selon la théorie de l'espace global de travail de Baars (1993) on dispose de ressources cognitives limitées (Gaoua, 2010). Il a ainsi été envisagé que la réduction de la contrainte thermique augmenterait la disponibilité des ressources attentionnelles qui pourraient ensuite être utilisées pour faire face aux demandes cognitives liées à l'exercice et imposées par le CT (Robin, Coudevylle, Hue, & Sinnapah, 2017 ; Robin et al., 2019). De même, alors qu'un stress thermique induit généralement une augmentation de la température cutanée qui peut causer de l'inconfort, du déplaisir et détériorer l'activité corticale (Gaoua et al., 2012), la limitation de la hausse de cette température au moyen de gilet réfrigéré et de bandanas pourrait notamment permettre le refroidissement de la peau et ainsi favoriser les performances des athlètes dans des tâches motrices (Gonzales et al., 2014) et/ou exigeantes sur le plan cognitif comme nous l'avons observé en escrime (Collado et al., under review). Quel que soit le choix d'avoir recours à une ou plusieurs stratégie(s) physique(s) de refroidissement, il sera nécessaire de veiller à ce que les techniques utilisées aient des effets positifs sur des facteurs physiologiques (e.g., températures centrales et/ou cutanées) sans occasionner d'effets négatifs sur des facteurs psychologiques (e.g., inconfort et sensation thermique augmentée, inconfort vis à vis des équipements de refroidissement, baisse des affects positifs, augmentation des affects négatifs,

déconcentration) afin de favoriser la performance en condition de stress thermique (Coudeville et al., 2019).

Encadré 27. Collado, A., Robin, N., Sinnapah, S., Rosnet, E., Hue, O., Coudeville, G. R. (under review). The combination of cooling techniques in tropical environment improves precision performance in young international fencers.

Performing intense exercise in tropical climate is associated with a limitation of exercise capacity due to thermal strains. These are exacerbated in sport requiring full protective equipment. As evidence from studies suggests disturbances in cognitive function due to thermal discomfort and/or protective equipment (e.g., helmet), some sports practices involving skills such as decision making, reaction time, precision and/or inhibition can be greatly affected. The objective of this study was to investigate the effects of countermeasures on psychological and physiological responses in young international fencers in full protective equipment during an ecological fencing task. Nine young international fencers performed an aiming fencing task in tropical condition (1) without cooling interventions, and (2) with cumulative cooling interventions (i.e., pre+percooling and head+torso). Participants were asked to complete a battery with cognitive (i.e., simple and choice reaction time, Stroop test), affective (i.e., PANAS) and perception (i.e., thermal environment, Feeling Scale, Rate Perceived Exertion) measures in each session, while their heart rate, skin temperature and fencing performances (i.e., execution time and total score) were checked at different time points. If the results did not show any differences neither in perception of the thermal environment nor in cognitive and affective tests, the cooling interventions seemed to improve the precision of the movement during the fencing task and limit the decrease of the pleasurable feelings related to the physical task requested. This study suggests a better availability of attentional resources with cumulative cooling interventions leading to a better performance during an ecological fencing task in tropical condition.



Figures. Comparison of the differential scores of Thermal Sensation (A), Thermal Comfort (B), Thermal Acceptability (C), Feeling Scale (D) and Rate Perceived Exertion (E) between the Tropical Condition and the Cooling Condition. Comparison of Execution Time (F), Total Score (G), Mean Absolute Error (H) and Mean Variable Error (I) between the Tropical Condition and the Cooling Condition during the aiming task. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ and *** $p < 0.001$.

Selon ces derniers, il est également possible d'avoir recours à d'autres types de stratégies, dites mentales, que nous allons à présent évoquer.

2.5.2. Stratégies mentales

En condition de chaleur, les facteurs psychologiques comme la motivation, la volonté de poursuivre un effort et les perceptions thermiques peuvent être négativement impactés avant tout changement physiologique mesurable (Kobrick & Johnson, 1991) ce qui peut influencer les performances cognitives et physiques. C'est pourquoi, Wallace (2015) a proposé qu'une performance sportive devant être réalisée dans un environnement chaud pourrait être améliorée au moyen de l'entraînement d'une ou de plusieurs habiletés psychologiques, et ce en amont de la pratique physique. En effet, Barwood, Thelwell, et Tipton (2008) ont testé si l'entraînement d'un ensemble de quatre habiletés psychologiques (i.e., la fixation d'objectifs, le contrôle du niveau d'éveil, l'imagerie mentale et le dialogue interne positif) pouvait augmenter la distance parcourue dans trois courses « contre la montre » de 90 minutes réalisées en condition de stress thermique. Les auteurs ont observé que cette combinaison de techniques mentales avait permis d'augmenter la distance parcourue de 8%, ce qui correspond à une amélioration de 1.15 kilomètre, notamment en limitant la tentation de réduire l'intensité de l'exercice pendant la course. Bien qu'intéressant, les résultats de cette étude ne permettent pas de déterminer si l'entraînement d'une seule de ces habiletés n'aurait pas permis d'obtenir des résultats similaires. C'est pourquoi, Wallace et al. (2017) ont notamment voulu tester les effets d'une seule de ces stratégies, le dialogue interne positif, sur une performance pour un effort de type aérobie réalisé en condition de stress thermique, sachant qu'un effet positif de cette technique mentale avait préalablement été mis en évidence en condition thermique neutre (Barwood, Corbett, Wagstaff, McVeigh, & Thelwell, 2015 ; Blanchfield, Hardy, De Morree, Staiano, & Marcora, 2014). Les auteurs ont montré que le dialogue interne positif a permis d'améliorer de façon significative la durée maximale de pédalage des participants mais également la vitesse et la précision dans des tâches cognitives, impliquant les fonctions exécutives (e.g., mémoire spatiale), qui était réalisées avant et après les exercices physiques. Il serait intéressant de tester si ces résultats, obtenus

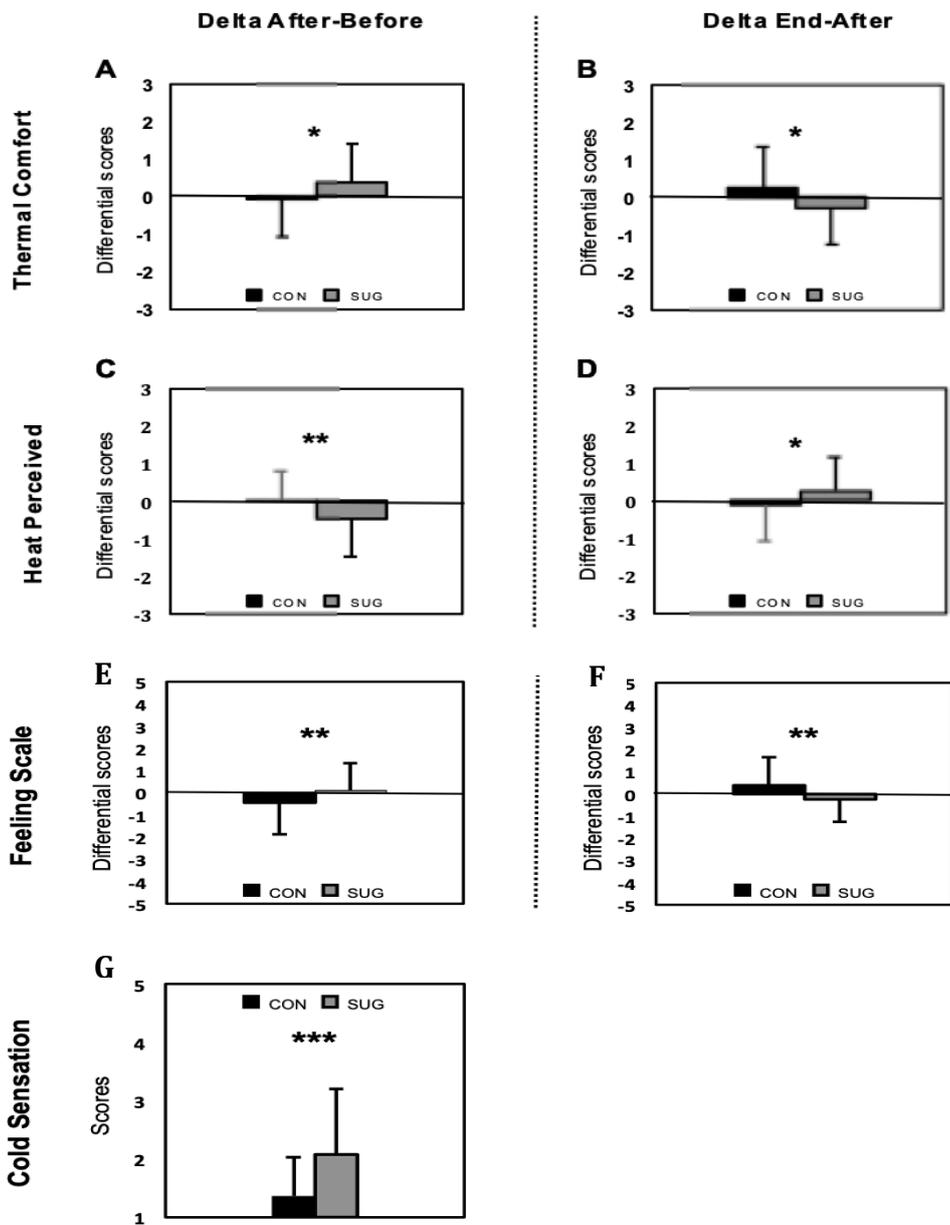
en environnement chaud et sec, pourraient être répliqués en CT combinant un stress thermique et une humidité relative élevés.

D'autres travaux de recherche ont montré que des stimulations externes comme le soutien social ou l'écoute musicale, pouvaient permettre de diminuer l'effort perçu et/ou les douleurs physiques ressenties au cours de l'exercice (Edworthy & Waring, 2006 ; McKinney, Tims, Kumar, & Kumar, 1997 ; Netherly, 2002). En effet, écouter de la musique peut faciliter et favoriser la réalisation d'un effort physique, en réduisant notamment la sensation de fatigue, en augmentant le niveau d'éveil, en encourageant la coordination et/ou la synchronisation motrice ou en augmentant la relaxation de certaines parties du corps (Copeland & Franks, 1991 ; Karageorghis & Terry, 1997). Lorsque l'on réalise un exercice en musique, la réduction de la sensation de fatigue peut d'une part être liée au fait que l'attention des participants est sélectivement dirigée vers l'écoute musicale et d'autre part que l'on dispose d'une capacité limitée de traitement des informations (Hernandez-Peon, Brust-Carmona, Penaloza-Rojas, & Bach-Rita, 1961 ; Kahneman, 1973). En servant de distracteur et en détournant l'attention des utilisateurs en direction de stimuli externes (Dorney, Goh, & Lee, 1992 ; Szmedra & Bacharach, 1998 ; Thornby, Haas, & Axen, 1995 ; Uppal & Datta, 1990), la musique va limiter le traitement de signaux internes tels que la douleur, la fatigue et/ou l'inconfort thermique (Karageorghis & Terry, 1997 ; Rejeski, 1985). Or, il a été montré qu'un stress thermique pouvait affecter les sensations internes en provoquant notamment un inconfort thermique et en augmentant l'effort perçu (e.g., Tucker, Rauch, Harley, & Noakes, 2004) ce qui peut avoir comme conséquence d'entraîner une réduction anticipée de l'intensité de l'exercice en comparaison avec le même type d'effort qui serait réalisé en climat neutre (Tucker, Marle, Lambert, & Noakes, 2006). Peu de travaux de recherche ont étudié l'effet de la musique sur un effort réalisé en CT. Récemment, Nikol, Kuan, Ong, Chang et Terry (2018) ont examiné si l'écoute de musique synchrone affectait notamment le maintien de la performance de course, le confort thermique et le niveau d'effort perçu chez 12 coureurs réalisant un exercice, avec ou sans musique, en condition chaude et humide (31°C et 70% d'humidité relative). Les résultats de cette étude ont notamment montré que le temps de course jusqu'à épuisement était 66,59 % plus long en condition de musique synchrone qu'en absence de musique. De plus, les scores concernant le niveau d'effort perçu (i.e., RPE) étaient significativement plus

faibles en condition musicale qu'en l'absence de musique. Ces résultats semblent indiquer que l'écoute de musique peut être considérée comme une stratégie mentale qui pourrait être utilisée pour lutter contre les effets négatifs d'un stress environnemental, notamment en ce qui concerne des efforts de types aérobie que ce soit à l'entraînement voire même au cours des compétitions (sous réserves de compatibilité avec les règlements). Ces données de la littérature nous ont amené, dans le cadre de l'encadrement du mémoire de Master 2 recherche de Mme Hatchi Vanessa, à proposer un protocole de recherche portant sur l'influence du tempo musical sur une performance sous-maximale de pédalage qui serait réalisée en CT. En effet, la musique est souvent utilisée par des athlètes pendant des exercices maximaux (Caria, Tangianu, Concu, Crisafulli & Mameli, 2007) et sous-maximaux (Karageorghis, Jones & Low, 2006) pour améliorer leurs performances et/ou comme outil de distraction. Chanda et Levitin (2013) ont observé que la musique provoque la libération de dopamine, « hormone du plaisir » notamment, et active les systèmes neuronaux de la récompense et des émotions. De plus, il a été montré que l'écoute de musique permettait d'augmenter la résistance à une douleur physique (Roy, Peretz, & Rainville, 2008). Ainsi, la musique peut être utilisée afin de diminuer la douleur et augmenter le plaisir ce qui nous amène à penser qu'elle pourrait permettre à un exercice physique d'être perçu comme moins difficile et plus agréable notamment dans un environnement chaud comme suggéré par English, Jay, et Mavros (2019). En effet, ces derniers ont montré, dans une tâche de 15 minutes de course sur cyclo-ergomètre réalisée en environnements chaud (36°C ; 50%) ou neutre (21°C ; 50%), que bien qu'une baisse de performance soit observée en condition de stress thermique (en comparaison avec le CN), l'écoute musicale a permis d'augmenter la performance des participants de 10% en environnement chaud. Compte tenu des différents types de musique existants, des auteurs se sont intéressés à l'effet du tempo de la musique sur les performances sportives en CN en ayant comme hypothèse que l'écoute d'une musique à tempo rapide pourrait entraîner une meilleure performance que l'écoute d'une musique à tempo lent (Almeida et al., 2015 ; Brown, 2005 ; Karageorghis & al., 2009 ; Karageorghis & al., 2011 ; Thakare, Mehrothra & Singh, 2017 ; Waterhouse, Edwards, & Hudson, 2010). Cette hypothèse a ainsi été validée dans des tâches de contre-la-montre sur cyclo-ergomètre (Karageorghis & al., 2011 ; Waterhouse & al. 2010), de marche sur tapis roulant (Almeida & al., 2015) et de course (Brown, 2005 ; Thakare, & al., 2017) réalisées en

environnement neutre. Comme les performances sportives mesurées en CT sont généralement inférieures à celles mesurées en CN notamment pour les efforts de type aérobie (Hue, 2011) et que la musique semble permettre d'améliorer la performance, la motivation, le plaisir et de limiter le traitement de signaux internes et facteurs psychologique limitant (e.g., fatigue, effort perçu, douleur), nous avons émis les hypothèses qu'en CT écouter de la musique devrait permettre d'obtenir une meilleure performance pour un effort sous-maximal qu'en l'absence de musique. Nous avons également supposé que l'écoute d'une musique à tempo rapide devrait amener les participants à parcourir une distance plus importante, dans une épreuve de 25 minutes de course sur cyclo-ergomètre, que l'écoute de musique à tempo normal. A cause de la pandémie et du confinement, nous n'avons pas encore été en mesure de réaliser la phase expérimentale de cette expérience et de donc de tester les effets potentiellement positifs d'une stratégie d'écoute musicale à tempo rapide. Par contre, nous avons débuté l'investigation d'une stratégie mentale et innovante de refroidissement : la suggestion au froid (voir encadré 28). Dans une expérience, nous avons testé si une intervention axée sur la suggestion au froid au moyen de l'écoute d'une bande sonore de dix minutes suggérant une baignade dans une eau très froide comme celle d'une rivière avait des effets spécifiques sur des marqueurs psychologiques (confort thermique, sensations thermiques, affects) en comparaison avec une absence d'intervention en CT. Les résultats de cette étude ont montré que la suggestion au froid a permis d'améliorer le confort thermique, de trouver l'environnement (i.e., salle de classe) moins chaud et d'augmenter la motivation des participants en comparaison avec une absence de suggestion en CT. Cependant, bien que prometteuse, l'efficacité de cette stratégie était limitée à une dizaine de minutes, ce qui nous a amené à suggérer d'avoir recours à d'autres techniques comme la méditation de pleine conscience qui pourrait être adaptée au CT même si à notre connaissance aucune étude n'a montré son efficacité.

Negative effects on human performance induced by thermal discomfort are linked to the tropical environment (i.e., hot and humid climate). The use of cooling techniques before, during and/or immediately after exercise is extensively presented in the physiological literature but the use of psychological techniques as cooling subjective techniques has rarely been explored. The purpose of this experiment was to evaluate whether cold suggestion had specific effects on environmental perceptions and affects in tropical climate (TC). Fifty participants were placed in two randomized experimental sessions in similar hot and humid conditions: A suggestion focused on cold (SUG) and a control (CON) session with a one-week interval (30°C ±1.2; 87% rH ±2). The main results indicated that SUG significantly decreased thermal discomfort and heat perceived, and reduced the degradation of the feeling scale. The use of cold suggestion as a per-cooling technique to cope with the negative impact of tropical climate is discussed.



Figures. Delta of the thermal comfort (A, B) and heat (C, D) perceived between after and before intervention and between end and after intervention according to the Control Condition (i.e., CON) and the Suggestion Cold Condition (i.e., SUG). Feeling scale (E, F). Cold sensation (G). * p < .05, ** p < .01

La méditation de pleine conscience comporte trois étapes : 1) la lucidité avec prise de conscience des pensées, des émotions et des sensations corporelles du moment présent ; 2) l'acceptation de par une attitude non critique vis-à-vis des pensées, des émotions et des sensations corporelles actuelles, et 3) la re-concentration sur les objectifs, décisions à prendre ou sur l'effort (Gardner & Moore, 2017). Bien qu'elle ne se soit pas déroulée dans des conditions environnementales particulières, l'étude de Haase et al. (2015) a montré qu'une intervention de pleine conscience de sept semaines modifiait la façon dont les athlètes de haut niveau traitaient les informations intéroceptives et augmentaient leurs capacités à réguler l'anxiété liée aux sensations désagréables. Des expérimentations seront prochainement réalisées dans notre laboratoire afin de tester l'effet potentiellement bénéfique de cette stratégie sur les performances sportives, notamment de type aérobie, réalisées en condition de CT.

Conclusion du chapitre 2

Lorsque l'on souhaite réaliser une performance qu'elle soit cognitive (notamment lors de la réalisation de tâches complexes et/ou de longues durées), cognitivo-motrice ou motrice, en condition de stress thermique et notamment en CT, il est fortement recommandé d'avoir recours à des stratégies de refroidissement physique (interne ou externe) qui peuvent être administrées avant, pendant, entre voir même après les épreuves sportives. Ces stratégies pourront avoir des effets bénéfiques sur des facteurs physiologiques (e.g., température centrale, cutanée) mais également psychologiques (e.g., confort thermique, affects positifs et négatifs, sensation de fatigue, motivation de poursuivre un effort). Ces stratégies peuvent être utilisées seules mais il est également envisageable de les combiner avec, ou en cas d'impossibilité de règlement de les remplacer par, des stratégies mentales de refroidissement comme la suggestion au froid ou des techniques mentales de lutte contre les conséquences du CT comme le dialogue interne positif, la musique ou la méditation de pleine conscience dont l'efficacité doit être scientifiquement confirmée. Par exemple, il serait intéressant de combiner des techniques de pré-cooling (e.g., vestes et bandeaux réfrigérées) avec des techniques mentales (e.g., dialogue interne positif, focus attentionnel ou musique) dans une tâche de contre la montre de 20 minutes sur cyclo-ergomètre réalisée en CT. De plus, étant donné que les bénéfices d'une ou d'une combinaison de plusieurs stratégies de lutte

contre la chaleur, ou la préférence dans l'utilisation de celle(s)-ci soit spécifique à chaque individu, il semble nécessaire de les tester à l'entraînement avec chaque athlète en condition écologique (i.e., acclimatation naturelle) et de façon active (i.e., avec la réalisation d'exercices physiques) avant d'y avoir recours en compétition (Coudevylle et al., 2019). Le choix d'avoir recours à une ou plusieurs stratégies ne doit pas uniquement être basé sur les bénéfices physiologiques (e.g., baisse des températures centrales et cutanées), mais qu'un contrôle au niveau des conséquences et/ou bénéfices psychologiques de celle(s)-ci semble nécessaire, et vice versa. La poursuite des investigations est donc nécessaire afin d'apporter des recommandations aussi bien en contexte scolaire, de travail que de performance sportive avec des athlètes souhaitant s'entraîner et/ou performer en climat tropical.

Autres perspectives

En complément des perspectives de recherches évoquées dans ce second chapitre, en lien avec les travaux que nous avons menés ou qui seront prochainement réalisés, nous pourrions évoquer l'intérêt d'avoir recours à une préparation spécifique en CT afin de soit améliorer les performances cognitives par un entraînement adapté aux contraintes environnementales, ou soit bénéficier des conséquences physiologiques et psychologiques d'un séjour en CT afin de « mieux performer » dans un climat moins « contraignants » (e.g., neutre ou chaud et sec).

Tout comme pour les entraînements physiques, les entraînements cognitifs spécifiques pourraient être bénéfiques aux athlètes (Romeas, Guldner, & Faubert, 2016) notamment lorsqu'il s'agit d'optimiser les performances en condition de stress thermique. En effet, de nombreux sports de longue durée nécessitent le maintien d'un fonctionnement cognitif optimal (e.g., prise de décision, attention soutenue, concentration) que ce soit pour l'atteinte de performance (Schmit et al., 2015) et/ou pour limiter les risques de blessures (Armstrong et al., 2007). Dans les sports dont les actions sont dirigées vers un objectif, la performance des athlètes repose sur leur capacité à réguler de manière répétée et précise leur comportement en fonction de cet objectif (Schmit et al., 2017). Ainsi, afin d'optimiser leur préparation et retarder la fatigue mentale, qui peut apparaître suite à des périodes prolongées d'activités cognitives

exigeantes (Lorist et al. 2005) et qui peut être exacerbée par l'exercice physique (Schmit et al., 2015) et/ou le stress thermique (Qian et al., 2015), nous faisons l'hypothèse que recourir à des entraînements des fonctions exécutives, attentionnelles ou perceptivo-motrices, notamment en CT, devrait limiter les détériorations de performances généralement occasionnées par ce climat. Par exemple, Walker et al. (2001) ont observé une amélioration des performances psychomotrices chez des pilotes de rallye qui s'étaient entraînés avec des simulateurs de course pendant quatre jours en environnement chaud. Il existe des outils cognitifs (e.g., logiciel de type neurotracker) qui permettent d'entraîner différents types d'attention (e.g., sélective, partagée, vigilance), c'est pourquoi il est possible que des entraînements cognitifs, réalisés en CT, puisse avoir des effets positifs sur la performance dans des activités sportives réalisées elles aussi en CT. Ces entraînements pourraient permettre aux athlètes de retarder l'apparition de la fatigue mentale et d'augmenter la durée et le maintien de leur concentration et de leur vigilance à un niveau optimum de fonctionnement limitant ainsi les « erreurs d'inattention » généralement observée en de fin de match.

De même, les récents travaux de Pryor et al. (2019) ont montré que les adaptations physiologiques, obtenues après une période d'acclimatation à un stress thermique, avaient permis d'améliorer à posteriori les performances aérobies aussi bien en climat tempéré (13°C) qu'en condition de chaleur (38°C). Les auteurs ont proposé que des protocoles d'acclimatation à la chaleur pourraient être utilisés pour compléter les routines d'entraînement des athlètes. De plus, Coudevylle et al. (2019) ont suggéré que des athlètes habitués à supporter des contraintes (e.g., intensité et durée d'exercice élevées) en condition de stress thermique percevraient la difficulté de l'exercice physique comme moins importante, en comparaison avec des athlètes moins habitués à de telles conditions ce qui permettrait notamment de réduire les abandons dans les épreuves de longues durées (e.g., marche, marathon, triathlon). C'est la raison pour laquelle une acclimatation au CT, combinant une température élevée et un haut degré d'hygrométrie (plus de 70% d'humidité relative), permettrait à la fois de bénéficier des adaptations physiologiques (Voltaire et al., 2002) mais favoriserait aussi une adaptation psychologique à ce climat « extrême » permettant de mieux supporter (e.g., moins d'inconfort, moindre baisses des affects positifs et de la motivation à poursuivre un effort) un environnement chaud et sec (Hue, 2011). Des

investigations devraient être prochainement menées au sein du laboratoire ACTES afin de tester ces hypothèses.

Limites

Comme nous l'avons souligné dans plusieurs de nos publications (e.g., Robin et al., 2017 ; Robin & Coudeville, 2018 ; Robin et al., 2019), le climat tropical induit à la fois un stress thermique lié à la chaleur, mais également un stress lié à l'humidité relative qui est très élevée (plus de 70%) en CT. Bien que Fine, Cohen, et Crist (1960) n'aient pas observé d'effet significatif de l'hygrométrie sur la performance dans des tâches simples de résolution d'anagrammes et de discrimination auditives, d'autres auteurs comme Delignières (1994) ont évoqué que l'hygrométrie, affectant directement les capacités de thermorégulation de l'organisme, est un facteur susceptible d'influencer les performances cognitives. En accord avec l'idée précédente, Pepler (1958) utilisant une tâche de poursuite réalisée dans des conditions d'hygrométrie élevée (80% rH) ou basse (20% rH), à différentes températures, a mis en évidence une baisse significative et précoce de performance au-delà de 22°C à 80% d'hygrométrie alors qu'une baisse similaire de performance n'était obtenue qu'à partir de 26°C à 20% d'hygrométrie. Un taux élevé d'hygrométrie semble donc être un facteur limitant de la performance dans des tâches cognitives (Robin et al., 2019). De même, Vasmatazidis et al. (2002) ont observé, avec un paradigme de double tâche (i.e., time-sharing), qu'à 34°C les performances étaient supérieures lorsque l'hygrométrie était faible (30% rH) que lorsqu'elle était plus élevée (70% rH). L'influence de l'hygrométrie, en CT spécifiquement, a cependant fait l'objet de peu d'études car ce facteur est difficilement manipulable hormis au moyen de chambres climatiques, outil dont nous ne disposons pas dans notre Laboratoire. Kosonen et Tan (2004) se sont intéressés à l'effet de ce facteur sur la productivité des personnels de bureaux. Les auteurs ont montré qu'une augmentation de l'hygrométrie (de 35% à 75% rH) avait entraîné une baisse significative de la productivité dans des tâches de réflexion et de dactylographie réalisées à 25°C (celle-ci passant respectivement de 0.7 à 4.8%) et que cette baisse était d'autant plus importante que la température augmentait. En effet, à 27°C et 35% rH la baisse de productivité était de 12,1% et a atteint 20% lorsque l'hygrométrie est passée à 75% rH. Il semble donc qu'une mesure de l'hygrométrie soit indispensable

dans toute expérimentation portant sur la performance dans des tâches cognitives. Des recherches supplémentaires et approfondies sont nécessaires afin d'évaluer précisément l'influence de l'hygrométrie sur les performances dans différentes tâches cognitives et/ou motrices réalisées en CT en comparaison avec les mêmes types de tâches réalisées en climat neutre ce qui correspond pour la Guadeloupe à un environnement climatisé.

Conclusion

La réalisation de performances motrices et/ou cognitives dépend de nombreux facteurs qu'ils soient environnementaux (e.g., stress thermique, hygrométrie), liés aux tâches utilisées (e.g., contraintes, natures, complexités, durées), ou intra-individuels (e.g., capacités d'imagerie, genre, représentations mentales, âge). Ce document avait pour objectif de mettre en lumière les travaux de recherches que nous avons menés afin de mieux comprendre l'influence de certaines stratégies d'apprentissage, dont principalement l'imagerie mentale, sur les processus d'intégrations sensorielles, la précision et les performances cognitives, motrices ou l'activité physique. Les résultats de ces expériences de laboratoire ou de terrain, notre curiosité ainsi que les travaux d'autres équipes de recherche nous ont également amené à tester l'influence de la combinaison de différentes stratégies ou modalités d'apprentissage (e.g., feedback, vidéo, pratique réelle, IM). Nos travaux tentent notamment de mieux comprendre comment optimiser l'apprentissage et/ou la performance en sollicitant de différentes façon les représentations mentales des actions à réaliser. Comme l'un des axes du Laboratoire ACTES portait sur l'influence du CT sur la performance, j'ai été amené à inclure « dans l'équation » la notion de stress environnemental afin de mieux en appréhender les effets et conséquences au niveau de certains facteurs psychologiques (e.g., confort thermique, sensation thermique, sensation de fatigue, affects) mais également de comprendre son impact sur les performances dans des tâches cognitives (e.g., temps de réaction, attention soutenue, vigilance, rotation mentale) ou motrices (e.g, pointage en direction d'une cible, locomotion). Après avoir constaté des effets négatifs sur les performances dans certaines tâches cognitives complexes ou de précision cognitivo-motrice, lorsque celles-ci étaient réalisées en CT en comparaison avec un environnement neutre, nous avons cherché à mieux comprendre puis tester les effets de certaines

techniques de refroidissement (e.g., gilet et bandeaux réfrigérés, eau fraîche, autosuggestion) à la fois au niveau des performances cognitives, des facteurs psychologiques et des performances motrices de précision. Nous avons de même suggéré le recours à des stratégies d'adaptation à la chaleur en compétitions sportives en proposant des recommandations aux athlètes dont les joueurs de tennis (voir figure 8, Robin, Domique, & Coudevylle, in press).

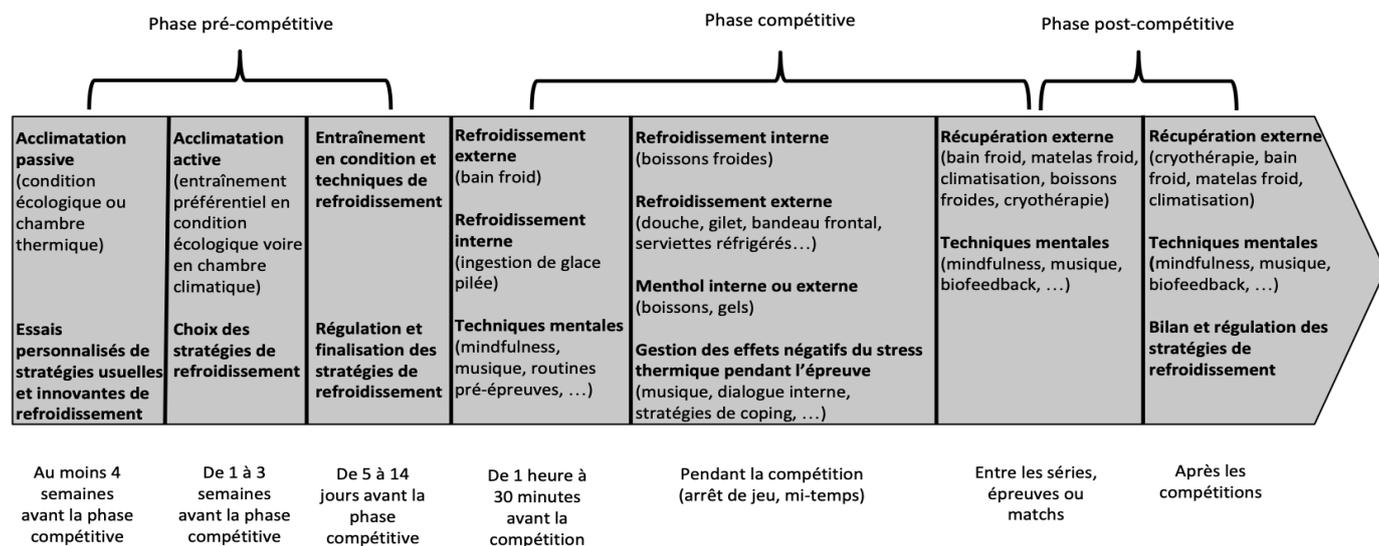


Figure 8. Stratégies d'adaptation à la chaleur en compétitions sportives

Comme évoqué dans les deux chapitres de ce document, les travaux que nous avons menés soulèvent de nombreuses interrogations que nous allons tenter d'investiguer afin de mieux comprendre le fonctionnement cognitif en CT mais aussi de trouver des stratégies ou des combinaisons de stratégies physiques et/ou psychologiques dans le but limiter les effets négatifs de ce climat. La poursuite de ces investigations devraient nous permettre de proposer des recommandations (e.g, emploi du temps, planification des saisons), de répondre à des demandes institutionnelles ou de terrain et éventuellement de disposer d'informations, techniques et/ou stratégies adaptées aux conséquences d'un potentiel réchauffement climatique généralisé.

Nous allons également poursuivre l'exploration de techniques récentes ou de stratégies ayant montré leur efficacité, dans d'autres conditions environnementales que le climat tropical, telles que l'IM (i.e., en demandant à des participants de s'imaginer réaliser une tâche donnée dans un environnement plus

frais ou à un autre moment de la journée ; de s’imaginer entendre une « play-list » prédéterminée lorsque le règlement ne permet pas d’avoir de lecteur de musique, ou de s’imaginer faire une course avec un adversaire virtuel), la pleine conscience (e.g., en demandant à un athlète de rester focalisé sur sa respiration, sa fréquence de déplacement, sa stratégie de course), le dialogue interne (e.g., en utilisant la langue maternelle comme le créole au cours d’une épreuve réalisée en CT) ou la musique (en jouant sur les variations de tempo des morceaux de musique). Ces techniques pourraient permettre de retarder voire inhiber l’influence de facteurs limitants de la performance (e.g., fatigue, baisse de motivation, inconfort, douleur, baisse de la volonté de poursuivre un effort, abandon) mais pourraient également permettre de disposer de stratégies adaptées aux règlements des fédérations sportives et compétitions qui peuvent limiter ou interdire l’usage de certains matériels ou technologies. Il est également très important de noter que la santé des participants est une de nos préoccupations majeures et que nous ne cherchons pas à développer des stratégies qui pourraient amener des athlètes à dépasser leurs limites et mettre leur vie en danger. Notre volonté est plutôt de mieux comprendre, mais aussi trouver des moyens peu invasifs, coûteux et/ou complexes à mettre en place pour lutter contre les « blocages » psychologiques qui arrivent généralement en amont des limites physiologiques (Kobrick & Jonhson, 1991) en CT. Enfin, étant donné le contexte sanitaire actuel lié à la COVID-19, nous avons décidé de mettre en place des protocoles expérimentaux permettant d’évaluer les conséquences du port d’un masque chirurgical sur les performances dans tâches cognitives (e.g., attention sélective, attention soutenue, mémoire) en fonction du climat (i.e., tropical vs. neutre). Les résultats de ces études devraient potentiellement nous permettre d’adapter les conditions de formation, d’évaluations et d’examens des étudiants de l’Université des Antilles et apporter des recommandations aux professionnels, administrations, universités et institutions situés en zones tropicales.

Références

- Albinet, C., Boucard, G., Bouquet, C., & Audiffren, M. (2010). Increased heart rate variability and executive performance after aerobic training in the elderly. *European Journal of Applied Physiology, 109*, 617–624.
- Almeida F., Alves R., Buzzachera C., Elsangedy H., Ferreira S., Krinski K., Nunes R., & Silva S. (2015). Effects of musical tempo on physiological, affective, and perceptual variables and performance of self-selected walking pace. *Journal of Physical Therapy Science, 27*, 1709–1712.
- Altareki, N., Drust, B., Atkinson, G., Cable, T., & Gregson, W. (2009). Effects of environmental heat stress (35 degrees C) with simulated air movement on the thermoregulatory responses during a 4-km cycling time-trial. *International Journal of Sports Medicine, 30*, 9–15.
- Anciaux, F., Alin, C., Le Her, M., & Mondor, R. (2002). L'influence de la langue sur la capacité d'imagerie du mouvement. *STAPS, Revue internationale des sciences du sport et de l'éducation physique, 23*, 81–94.
- Anciaux, F. (2003). *L'enfant, le créole et l'EPS aux Antilles françaises : Une approche pluridisciplinaire du bilinguisme dans les apprentissages moteurs*. Thèse de Doctorat non publiée. Guadeloupe : Université des Antilles et de la Guyane.
- Anciaux, F. Caliar, P., Alin, C., Le Her, M., & Fery, Y.-A. (2005). Imagerie visuelle et rappel moteur : Effet du bilinguisme français/créole. *Psychologie française, 50(4)*, 419–436.
- Anciaux, F. (2007). Langue de présentation des consignes et performances motrices chez des bilingues français/créole aux Antilles françaises. *Revue canadienne des sciences du comportement, 39(1)*, 2–12.
- Antoine Parker, C., & Ellis, R. (2016). Effect of electronic messaging on physical activity participation among older adults. *Journal of Aging Research, 2016*, 1–6.
- Anuar, N., Cumming, J., & Williams, S. E. (2016). Effects of applying the PETTLEP model on vividness and ease of imaging movement. *Journal of Applied Sport Psychology, 28*, 185–198.
- Ardila, A., & Ramos, E. (2010). Bilingualism and aging. *Perspectives on communication disorders and sciences in culturally and linguistically diverse populations, 74–81*.

- Argyriou, E. (2012). Consumer intentions to revisit online retailers: A mental imagery account. *Psychology and Marketing, 29*, 25–35.
- Armstrong, L. E., Casa, D. J., Millard-Stafford, M., Moran, D. S., Pyne, S. W., & Roberts, W. O. (2007). Exertional heat illness during training and competition. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 39*, 556–572.
- Atienza, F. L., Balaguer, I., & Garcia-Merita, M. L. (1998). Video modelling and imaging training on performance of tennis service of 9- to 12-year-old children. *Perceptual and Motor Skills, 78*, 1323–1328.
- Baars, B. (1993). How does a serial, integrated and very limited stream of consciousness emerge from a nervous system that is mostly unconscious, distributed, parallel and of enormous capacity? *Ciba Found Symposium, 174*, 282–290.
- Baars, B. J. (1997). In the theatre of consciousness. Global Workspace Theory. A rigorous scientific theory of consciousness. *Journal of Consciousness Studies, 4*, 292–309.
- Bakker, F. C., Boschker, M. S., & Chung, T. (1996). Changes in muscular activity while imaginig weight-lifting using stimulus or response propositions. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 18*, 313–324.
- Bandelow, S., Maughan, R., Shirreffs, S., Ozgünen, K., Kurdak, S., Ersöz, G., & Dvorak, J. (2010). The effects of exercise, heat, cooling and rehydration strategies on cognitive function in football players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 20*, 148–160.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The Exercise of Control*; Freeman: New York, NY, USA.
- Bandura, A. (1986). *Social Foundations of Thought and Action*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Barr, K., & Hall, C. R. (1992). The use of imagery by rowers. *International Journal of Sport Psychology, 23*, 243–261.
- Barthalais, A. (1998). Image mentale et parachutisme. Entraînement mental et sport de haute performance. *Cahiers de L'I.N.S.E.P., 22*, 195–213.

- Barwood, M. J., Corbett, J., Wagstaff, C. R., McVeigh, D., & Thelwell, R. C. (2015). Improvement of 10-km time-trial cycling with motivational self-talk compared with neutral self-talk. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(2), 166–171.
- Barwood, M. J., Thelwell, R. C., & Tipton, M. J. (2008). Psychological skills training improves exercise performance in the heat. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *40*(2), 387–96.
- Battaglia C., D'Artibale E., Fiorilli G., Piazza M., Tsopani D., & ... di Cagno A. (2014). Use of video observation and motor imagery on jumping performance in national rhythmic gymnastics athletes. *Human Movement Science*, *38*(2), 225–234.
- Blair, A., Hall, C., & Leyshon, G. (1993). Imagery effects on the performance of skilled and novice soccer players. *Journal of Sport Sciences*, *11*(2), 95–101.
- Blanchfield, A. W., Hardy, J., De Morree, H. M., Staiano, W., & Marcora, S. M. (2014). Talking yourself out of exhaustion: The effects of self-talk on endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *46*(5), 998–1007.
- Blandin, Y. (2002). L'apprentissage par observation d'habiletés motrices: un processus d'apprentissage spécifique ? *L'année psychologique*, *102*(3), 523–554.
- Bongers, C., Hopman, M., & Eijsvogels, T. (2017). Cooling interventions for athletes: An overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations. *Temperature (Austin)*, *4*, 60–78.
- Bongers, C., Thijssen, D., Veltmeijer, M., Hopman, M., & Eijsvogels, T. (2015). Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*, *49*, 377–384.
- Boschker, M. (2001). *Action-based imagery: On the nature of mentally imagined motor actions* (doctoral thesis). Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands: Ipskamp PrintPartners.
- Boutcher, S.H. (1992). Attention and athletic performance: an integrated approach. In Horn, T. (Ed.) *advances in sport psychology*, Champaign, Il, Human Kinetics, 251–265.
- Buekers, M. (1995). L'apprentissage et l'entraînement des habiletés motrices et sportives. In J. Bertsch & bC. Le Scanff (Eds.), *Apprentissages moteurs et conditions d'apprentissage* (pp. 27–47). Paris:

PUF.

- Butler, T., Imperato-McGinley, J., Pan, H., Voyer, D., Cordero, J., Zhu, Y. S., Stern, E., & Silbersweig, D. (2006). Sex differences in mental rotation: top-down versus bottom-up processing. *NeuroImage*, 32(1), 445–456.
- Brandyn, F. D., & Ostrow, A., C. (2007). The effects of utilizing a preshot routine and deep breathing on reducing performance anxiety and improving serving performance among youth tennis players. (Master thesis). *ProQuest Education Journals*, 1451900.
- Brawley, L. R., & Latimer, A. E. (2007). Physical activity guidelines for Canadians: strategies for dissemination of the message, expectations for change and evaluation. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 32, 189–205.
- Brickenkamp R., & Zillmer E. (1998). *The d2 Test of Attention*. Seattle (WA): Hogrefe and Huber.
- Brown J. (2005), *The effects of stressed tempo music on performance times of track athlete*. Thèse, Ecole de Musique, Université d'Etat de la Floride.
- Byalystok, E. (2017). The Bilingual Adaptation: How Minds Accommodate Experience. *Psychological Bulletin*, 143(3), 233–262.
- Cadopi, M. (1988). Rôle des processus cognitifs dans la reproduction sur des bases proprioceptives de configurations corporelles. *STAPS*, 9 (18), 19–32.
- Callow, N., & Hardy, L. (2004). The relationship between the use of kinaesthetic imagery and different visual imagery perspectives. *Journal of Sports Sciences*, 22(2), 167-177.
- Callow, N., Roberts, R., & Fawkes, J. Z. (2006). Effects of dynamic and static imagery on vividness of imagery, skiing performance, and confidence. *Journal of Imagery Research in Sport and Physical Activity*, 1, 1–15.
- Callow, N., Roberts, R., Hardy, L., Jiang, D., & Edwards, M. (2013). Performance improvements from imagery: Evidence that internal visual imagery is superior to external visual imagery for slalom performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(697), 1–10.
- Calmels, C., Holmes, P., Lopez, E., & Naman, V. (2006). Chronometric comparison of actual and imaged complex movement patterns. *Journal of Motor Behavior*, 38, 339–348.

- Caria M., Tangianu F., Concu A., Crisafulli A., Mameli O. (2007). Quantification of Spinning (R) bike performance during a standard 50-minute class. *Journal of Sport Sciences*, 25, 421–429.
- Cerritelli, B., Maruff, P., Wilson, P., & Currie, J. (2000). The effect of an external load on the force and timing components of mentally represented actions. *Behavioural Brain Research*, 108, 91–96.
- Chabert, C., Hermand, E., & Hue, O. (2019). Triathlon and Ultra-Endurance Events in Tropical Environments. In J. Périard and S. Racinais (Ed.), *Heat Stress in Sport and Exercise*. Springer, Cham.
- Chanda, M. L., & Levitin, D. (2013). The neurochemistry of music. *Trends in Cognitive Sciences*, 17, 179–193.
- Charansonney, O. L. (2011). Physical activity and aging: A life-long story. *Discovery Medicine*, 12(64), 177–185.
- Chase, B., Karwowski, W., Benedict, M., Quesade, P., & Irwin-Chase, H. (2003). A study of computer-based task performance under thermal stress. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 9, 5–15.
- Chen, X., Bin, G., Daly, I., & Gao, X. (2013). Event-related desynchronization in the alpha band during a hand mental rotation task. *Neuroscience Letter*, 541, 238–242.
- Cheung, S., & Sleivert, G. (2004). Multiple triggers for hyperthermic fatigue and exhaustion. *Exercise Sport Science Reviews*, 32, 100–106.
- Chevalier, N., & Renaud, J. (1990). L'évolution de l'image mentale du parcours chez des skieurs de fond de haut niveau. *Staps*, 11(22), 17–25.
- Cian, C., Koulmann, N., Barraud, P., Raphel, C., Jimenez, C., & Melin, B. (2000). Influence of variation in body hydration on cognitive function: Effect of hyperhydration, heat stress and exercise-induced dehydration. *Journal of Psychophysiology*, 14, 29–36.
- Clark, M., Lucett, S., & Kirkendall, D. (2010). *NASM's essentials of Sports Performance Training*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 172–173.
- Clark, S. E., & Ste-Marie, D. M. (2007). The impact of self-as-a-model interventions on children's self-regulation of learning and swimming performance. *Journal of Sport Science*, 25, 577–586.

- Cocude, M., Mellet, E., & Denis, M. (1999). Visual and mental exploration of visuo-spatial configurations: Behavioral and neuroimaging approaches. *Psychological Research*, *62*, 93–106.
- Cohn, P. J. (1990). Preperformance routines in sport: Theoretical support and practical applications. *The Sport Psychologist*, *4*, 301–12.
- Cohn, P. J., & Winters, R. K. (1995). *The mental art of putting*. South Bend, IN: Diamond Communications.
- Collado, A., Robin, N., Sinnapah, S., Rosnet, E., Hue, O., & Coudeville, G. (under review). The combination of cooling techniques in tropical environment improves precision performance in young international fencers.
- Collet, C., Dittmar, A., & Vernet-Maury, E. (1999). L'activité neurovégétative enregistrée en conditions réelles et en simulation par imagerie mentale chez les haltérophiles de haut-niveau [Neurovegetative activity recorded during actual execution and motor imagery in elite weightlifters]. In P. Lanteri, A. Midol, & I. Rogowski (Ed.), *Les sciences de la performance à l'aube du XXIème siècle* (pp. 263–269). Lyon, France: Centre Jacques Cartier.
- Collet, C., Guillot, A., Bolliet, O., Delhomme, G., & Dittmar, A. (2003). Neurophysiological correlates of mental processes through non invasive micro-sensors recording in the field. *Science and Sports*, *18*, 74–85.
- Copeland, B., & Franks, B. (1991). Effects of types and intensities of background music on treadmill endurance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *31*, 100–103.
- Coudeville, G. R., Sinnapah, S., Robin, N., Collado, A., & Hue, O. (2019). Conventional and alternative strategies to cope with the tropical climate of Tokyo 2020: Impacts on psychological factors of performance. *Frontiers in Psychology*, *10*, 1279.
- Coudeville, G. R., Popa-Roch, M., Sinnapah, S., Hue, O., & Robin, N. (2018). Impact of tropical climate on selective attention and affect. *Journal of Human Performance in Extreme Environments*, *14*, 7–25.
- Coudeville, G. R., Collado, A., Sinnapah, S., Hue, O., & Robin, N. (en revue). Cold suggestion to cope with the negative impact of tropical climate. *New Ideas in Psychology*.

- Coudeville, G., Sinnapah, S., Poparoch, M., Hue, O., & Robin, N. (2020). Impact of Cold Water Intake on Environmental Perceptions, Affect, and Attention as a Function of Climate Condition. *American Journal of Psychology*, 133(2), 205–219.
- Coull, J. T. (2004). fMRI studies of temporal attention: Allocating attention within, or towards, time. *Cognitive Brain Research*, 21(2), 216–226.
- Coull, J., Tremblay, L., & Elliott, D. (2001). Examining the specificity of practice hypothesis: Is learning modality specific? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72, 345–354.
- Courneya, K. S., & Friedenreich, C. M. (1997). Relationship between exercise during treatment and current quality of life among survivors of breast cancer. *Journal of Psychosocial Oncology*, 15, 35–57.
- Crossman, B. F. (1992). The effect of three practice techniques on the accuracy of a soccer penalty kick. Doctoral dissertation.
- Cumming, J., & Ste-Marie, D. M. (2001). The cognitive and motivational effects of imagery training: A matter of perspective. *The Sport Psychologist*, 15, 276–287.
- de Dear, R. J., & Brager, G. S. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions*, 104, 145–167.
- Debarnot, U., Sahraoui, D., Champely, S., Collet, C., & Guillot, A. (2012). Selective influence of circadian modulations and task characteristics on motor imagery times. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 83, 442–450.
- Decety, J. (1993). Analysis of actual and mental movement times in graphic tasks. *Acta Psychologica (Amst)*, 82(1-3), 367–72.
- Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M., & Pastene, J. (1991). Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. *Behavioural Brain Research*, 42, 1–5.
- Decety, J., Jeannerod, M., & Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behavioral Brain Research*, 34, 35–42.
- Decety, J., & Lindgren, M. (1991). Sensation of effort and duration of mentally executed actions. *Scandinavian Journal of Psychology*, 32, 97–104.

- Decety, J., & Michel, F. (1989). Comparative analysis of actual and mental movement times in two graphic tasks. *Brain and Cognition, 11*, 87–97.
- Delignières, D. (2017). *Psychologie du sport*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Delignières, D. (1994). Influence de la chaleur humide sur le traitement de l'information et la performance. *Etude technique de l'INSEP*, 1–26.
- Denis, M., & Cocude, M. (1989). Scanning visual images generated from verbal descriptions. *European Journal of Cognitive Psychology, 1*, 293–307.
- Denison, E., Vist, G. E., Underland, V., & Berg, R. C. (2014). Interventions aimed at increasing the level of physical activity by including organised follow-up: A systematic review of effect. *BMC Family Practice, 15*, 120. doi:10.1186/1471-2296-15-120
- Deschaumes-Molinario, C., Dittmar, A., & Vernet-Maury, E. (1992) Autonomic nervous system response patterns correlate with mental imagery. *Physiology and Behaviour, 51*, 1021-1027.
- Desliens, S., Guillot, A., & Rogowski, I. (2011). Motor imagery and serving precision: A case study. *ITF Coaching and Sport Science Review, 55*, 9–10.
- Desmond, P. A., & Hancock, P. A. (2001). Active and passive fatigue states. In: Desmond, P.A., Hancock, P.A. (Eds.), *Stress, Workload and Fatigue* (pp. 455–465). Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey.
- Deviterne, D. (2001). Placement du traitement cognitif de l'information dans l'apprentissage moteur. *Cahiers d'Alfred Binet, 66*, 49–57.
- Dhawale, A. K., Smith, M. A., & Ölveczky, B. P. (2017). The role of variability in motor learning. *Annual review of neuroscience, 40*, 479–498.
- Di Rienzo, F., Debarnot, U., Daligault, S., Saruco, E., Delpuech, C., Doyon, J., Collet, C., & Guillot, A. (2016). Online and Offline Performance Gains Following Motor Imagery Practice: A Comprehensive Review of Behavioral and Neuroimaging Studies. *Frontiers in human neuroscience, 10*, 315.
- Dominique, L., & Robin, N. (2021). Routine de preparation au service: effets benefiques d'une combinaison d'imagerie motrice, rebond de balle et de respiration sur la performance. *ITF*

- Dorney, L., Goh, E., & Lee, C. (1992). The impact of music and imagery on physical performance and arousal: Studies of coordination and endurance. *Journal of Sport Behavior, 15*, 21–33.
- Douzi, W., Dugué, B., Vinches, L., Al Sayed, C., Hallé, S., ...Dupuy, O. (2019). Cooling during exercise enhances performance, but the cooled body areas matter: A systematic review with meta-analyses. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 29*, 1660–1676.
- Driskell, J. E., Cooper, C., & Moran, A. (1994). Does mental practice enhance performance? *Journal of Applied Psychology, 79*, 481–492.
- Eaves, D., Riach, M., Holmes, P., & Wright, D. (2016). Motor imagery during action observation: A brief review of evidence, theory and future research opportunities. *Frontiers in Neurosciences, 10*, 514.
- Edworthy, J., & Waring, H. (2006). The effects of music tempo and loudness level on treadmill exercise. *Ergonomics, 49*, 1597–1610.
- Elsawy, B., & Higgins, K. E. (2010). Physical activity guidelines for older adults. *American Family Physician, 81*(1), 55–59.
- Emmen, H. H., Wesseling, L. G., Bootsma, R. J., Whiting, H. T. A., & Van Wieringen, P. C. W. (1985). The effect of video-modelling and video-feedback on the learning of the tennis service by novices. *Journal of Sports Sciences, 3*, 127–138.
- Engelkamp, J. (1988). Images and actions in verbal learning. In M. Denis et al., *Cognitive and Neuropsychological Approaches to Mental Imagery* (pp. 297–306). Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- English T., Jay O., Mavros Y. (2019). Listening to motivational music mitigates heat-related reductions in exercise performance. *Physiology & Behavior, 208*, 112567.
- Epstein, E., Norlyn, J. D., Rush, D. W., Kingsbury, R. W., Kelley, D. B., Cunningham, G. A., & Wrona, A. F. (1980). Saline culture of crops: A genetic approach. *Science, 210*, 399–404.
- Euzet, J. P., & Gahery, Y. (1995). Relationships between position sense and physical practice. *Journal of Human Movement study, 28*, 149–173.

- Euzet, J. P., & Gahery, Y. (1996). Kinesthésie et motricité : Influence de la pratique sur le sens de la position. *Science et Motricité*, 30–40.
- Farsi, A., Bahmanbegloo, Z., Abdolis, B., & Ghorbani, S. (2016). The effect of observational practice by a point-light model on learning a novel motor skill. *Perceptual and Motor Skills*, 123(2), 1–12.
- Fekih, S., Zguira, M. S., Koubaa, A., Masmoudi, L., Bragazzi, N. L., & Jarraya, M. (2020). Effects of motor mental Imagery training on tennis service performance during the ramadan fasting: A randomized, controlled trial. *Nutrients*, 12(4), E1035.
- Feltz, D. L., & Landers, D. M. (1983). The effects of mental practice on motor skill learning and performance : A meta-analysis. *Journal of Sports Psychology*, 5, 25–57.
- Féry, Y. A. (2003). Differentiating visual and kinesthetic imagery in mental practice. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 57, 1–10.
- Fine, B., Cohen, A., & Crist, B. (1960). Effect of exposure to high humidity at high and moderate ambient temperature on anagram solution and auditory discrimination. *Psychological Reports*, 7, 171–181.
- Frank, C., Land, W., Popp, C., & Schack, T. (2014). Mental representation and mental practice: Experimental investigation on the functional links between motor memory and motor imagery. *PLoS ONE*, 9(4), e95175.
- Frank, C., Linstromberg, G. L., Hennig, L., Heinen, T., & Schack, T. (2018). Team action imagery: Imagery of game situations and required team actions promotes a functional structure in players' representations of team-level tactics. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 40, 20–30.
- Fusco, A., Iosa, M., Gallotta, M. C., Paolucci, S., Baldari, C., & Guidetti, L. (2014). Different performances in static and dynamic imagery and real locomotion. An exploratory trial. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 760.
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, 22, 455–479.
- Gaoua, N. (2012). *Étude de l'effet de l'exposition à un environnement chaud sur les fonctions cognitives chez l'homme*. Thèse de doctorat. Vincennes Saint-Denis : Paris 8.

- Gaoua, N. (2010). Cognitive function in hot environments: A question of methodology. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(3), 60–70.
- Gaoua, N., Grantham, J., Racinais, S., & El Massioui, F. (2011). Alterations in cognitive performance during passive hyperthermia are task dependent. *International Journal of Hyperthermia*, 27(1), 1–9.
- Gaoua, N., Grantham, J., Racinais, S., & El Massioui, F. (2012). Sensory displeasure reduces complex cognitive performance in the heat. *Journal of Environmental Psychology*, 32(2), 158–163.
- Gaoua, N., Herrera, C. P., Périard, J. D., El Massioui, F., & Racinais, S. (2018). Effect of passive hyperthermia on working memory resources during simple and complex cognitive tasks. *Frontiers in Psychology*, 8, 2290.
- Gardner, F. L., & Moore, Z. E. (2017). Mindfulness-based and acceptance-based interventions in sport and performance contexts. *Current Opinion in Psychology*, 16, 180–184.
- Gavilán, B. D., Avello, I. M., & Abril, B. C. (2014). *The mediating role of mental imagery in mobile advertising*. *International Journal of Information Management*, 34, 457–464.
- George, T. R., Feltz, D. L., & Chase, M. A. (1992). Effects of model similarity on self-efficacy and muscular endurance: A second look. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 14, 237–248.
- Gerardin, E., Sirigu, A., Lehericy, S., Poline, J., Gaymard, B., Marsault, C., Agid, Y., & Le Bihan, D. (2000). Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cerebellar Cortex*, 10, 1093–1104.
- Giacobbi, P. R., Buman, M. P., Dzierzewski, J., Aiken-Morgan, A. T., Roberts, B., Marsiske, M., ... Smith-McCrae, C. (2014). Content and perceived utility of mental imagery by older adults in a peer-delivered physical activity intervention. *Journal of Applied Sport Psychology*, 26(2), 129–143. <http://doi.org/10.1080/10413200.2013.803502>
- Gonzales, B. (2012). Influence d'un environnement chaud et humide sur les réponses perceptives et physiologiques : applications dans le domaine du sport et de la santé. Physiologie [q-bio.TO]. Université de Franche-Comté, France.

- Gonzales, B. R., Hagin, V., Guillot, R., Placet, V., & Gros Lambert, A. (2011). Effects of polyester jerseys on psycho-physiological responses during exercise in a hot and moist environment. *Journal of strength and conditioning research*, 25(12), 3432–3438.
- Gonzales, B. R., Hagin, V., Guillot, R., Placet, V., Monnier-Benoit, P., & Gros Lambert, A. (2014). Self-paced cycling performance and recovery under a hot and highly humid environment after cooling. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 54(1), 43–52.
- Goss, S., Hall, C. R., Buckolz, E., & Fishburne, G. J. (1986). Imagery ability and the acquisition and retention of movements. *Memory and Cognition*, 14, 469–477.
- Gould, D., & Damarjian, N. (1996). Imagery training for peak performance. In J. L. Van Raalte & B. W. Brewer (Eds.), *Exploring sport and exercise psychology* (1st ed., pp. 25–50). Washington, DC: American Psychological Association.
- Gould, D., & Weiss, M. R. (1981). Effects of model similarity and model talk on self-efficacy and muscular endurance. *Journal of Sport Psychology*, 3, 17–29.
- Gueugneau, N., Mauvieux, B., & Papaxanthis, C. (2009). Circadian modulation of mentally simulated motor actions: Implications for the potential use of motor imagery in rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23, 237–245.
- Guillot, A., Champely, S., Batier, C., Thiriet, P., & Collet, C. (2007). Relationship between spatial abilities, mental rotation and functional anatomy learning. *Advances in Health Science Education*, 12, 491–507.
- Guillot, A., & Collet, C. (2008). Construction of the motor imagery integrative model in sport: A review and theoretical investigation of motor imagery use. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1, 31–44.
- Guillot, A., & Collet, C. (2005). Duration of mentally simulated movement: A review. *Journal of Motor Behavior*, 37, 10–20.
- Guillot, A., Collet, C., & Dittmar, A. (2005). Influence of environmental context on motor imagery quality. *Biology of sport*, 22, 215–226.
- Guillot, A., Collet, C., & Dittmar, A. (2004). Relationship between visual vs. kinesthetic imagery, field

- dependence-independence and complex motor skills. *Journal of Psychophysiology*, 18, 190–199.
- Guillot, A., Collet, C., Dittmar, A., Delhomme, G., Delemer, C. & Vernet-Maury, E. (2003). The effect of physiological activation on performance in shooting: evaluation through neurovegetative indices. *Journal of Psychophysiology*, 17, 214–223.
- Guillot, A., Collet, C., Nguyen, V., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2008). Functional neuroanatomical networks associated with expertise in motor imagery ability. *Neuroimage*, 41, 1471–1483.
- Guillot, A., Desliens, S., Rouyer, C., & Rogowski, I. (2013). Motor imagery and tennis serve performance: The external focus efficacy. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12(2), 332–338.
- Guillot, A., Genevois, C., Desliens, S., Saieb, S., & Rogowski, I. (2012). Motor imagery and ‘placebo-racket effects’ in tennis serve performance. *Psychology of Sport and Exercise* 13, 533–540.
- Guillot, A., Hoyek, N., Louis, M., & Collet C. (2012). Understanding the timing of motor imagery: recent findings and future directions. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 5(1), 3–22.
- Guillot, A., Louis, M., & Collet, C. (2009). Neural mechanisms for expertise in mental imagery. *Cognitive Sciences*, 4, 31–48.
- Guillot, A., Moschberger, K., & Collet, C. (2013). Coupling movement with imagery as a new perspective for motor imagery practice. *Behavioral and Brain Functions*, 9, 1–17.
- Guillot, A., Rienzo, F., & Collet, C. (2014). The Neurofunctional Architecture of Motor Imagery.
- Gray, S. W., & Fernandez, S. J. (1989). Effects of visuomotor behavior rehearsal with videotaped modeling on basketball shooting performance. *Psychology: A Journal of Human Behavior*, 26, 41–47.
- Greal, M. A., & Shearer, G. F. (2008). Timing processes in motor imagery. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20, 867–892.
- Gregg, M., Hall, C., & Butler, A. (2010). The MIQ-RS: a suitable option for examining movement imagery ability. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 7, 249–57.

- Grether, W. (1973). Human performance at elevated environmental temperatures. *Aerospace Medicine*, *44*, 747–755.
- Grèzes, J., & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: A meta-analysis. *Human Brain Mapping*, *12*, 1–19.
- Habacha, H., Molinaro, C., & Dosseville, F. (2014). Effects of gender, imagery ability and sports practice on the performance of a mental rotation task. *American Journal of Psychology*, *127*(3), 313–323.
- Haase, L., May, A. C., Falahpour, M., Isakovic, S., Simmons, A. N., ...Paulus, M. P. (2015). A pilot study investigating changes in neural processing after mindfulness training in elite athletes. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *9*, 229.
- Hall, C. R. (2001). Measurement Imagery Abilities and Imagery Use. *Advances in Sport and Exercise Psychology Measurement. Purdue University Editor*, *9*, 165–172.
- Hall, C. R., Mack, D., Paivio, A., & Hausenblas, H. (1998). Imagery use by athletes: Development of the sport imagery questionnaire. *International Journal of Sport Psychology*, *29*, 73–89.
- Hall, C., & Martin, K. (1997). Measuring movement imagery abilities: A revision of the movement imagery questionnaire. *Journal of Mental Imagery*, *21*, 143–154.
- Hall, C. R., & Pongrac, J. (1983). *Movement Imagery Questionnaire*. London, Ontario: University of Western Ontario.
- Hanakawa, T., Dimyan, M.A., & Hallett, M. (2008). Motor planning, imagery, and execution in the distributed motor network: a time-course study with functional MRI. *Cerebral Cortex*, *18*, 2775–2788.
- Hanakawa, T., Immisch, I., Toma, K., Dimyan, M. A., Van Gelderen, P., & Hallett, M. (2003). Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery. *Journal of Neurophysiology*, *89*(2), 989e1002.
- Hancock, P., & Vasmatazidis, I. (2003). Effects of heat stress on cognitive performance: The current state of knowledge. *International Journal of Hyperthermia*, *19*, 355–372.
- Hancock, P. A., & Vasmatazidis, I. (1998). Human occupational and performance limits under stress: the thermal environment as a prototypical example, *Ergonomics*, *41*, 1169–1191.

- Hancock, P. A., & Warm, J. S. (1989). A dynamic model of stress and sustained attention. *Human Factors, 31*, 519–37.
- Hardy, L. (1997). Three myths about applied consultancy work. *Journal of Applied Sport Psychology, 9*, 277–294.
- Hardy, L., & Callow, N. (1999) Efficacy of external and internal visual imagery perspectives for the enhancement of performance on tasks in which form is important. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 21*, 95–112.
- Heath, G. W., Parra, D. C., Sarmiento, O. L., Andersen, L. B., Owen, N., Goenka, S., ... Brownson, R. C. (2012). Evidence-based intervention in physical activity: lessons from around the world. *The Lancet, 380*(9838), 272–281.
- Hernandez-Peon, R., Brust-Carmona, H., Penaloza-Rojas, J., & Bach-Rita, G. (1961). The efferent control of afferent signals entering the central nervous system. *Annals of New York Academy of Sciences, 89*, 866–882.
- Hermand, E., Collado, A., & Hue, O. (2020). Skin application of 4% menthol enhances running performance in hot and humid climate. *International Journal of Sports and Medicine*.
- Hermand, E., Chabert, C., & Hue, O. (2019). Ultra-endurance events in tropical environments and countermeasures to optimize performances and health. *International Journal of Hyperthermia, 36*(1), 752–759.
- Héту, S., Grégoire, M., Saimpont, A., Coll, M. P., Eugene, F., Michon, P. E., et al. (2013). The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neurosciences and Biobehavioral Review, 37*, 930–949.
- Hockey, G. J. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: a cognitive–energetical framework. *Biological Psychology, 45*, 73–93.
- Hocking, C., Silberstein, R., Lau, W., Stough, C., & Roberts, W. (2001). Evaluation of cognitive performance in the heat by functional brain imaging and psychometric testing. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology, 128*, 719–734.

- Holmes, P., & Calmels, C. (2008). A neuroscientific review of imagery and observation use in sport. *Journal of Motor Behavior*, 40, 433–445.
- Holmes, P. S., & Collins, D. J. (2001). The PETTLEP approach to motor imagery: A functional equivalence model for sport psychologists. *Journal of Applied Sport psychology*, 13, 60–83.
- Hoyek, N., Collet, C., Rastello, O., Fargier, P., Thiriet, P., & Guillot, A. (2009). Enhancement of mental rotation abilities and its effect on learning. *Teaching and Learning in Medicine*, 21, 201–206.
- Hoyek, N., Collet, C., & Guillot, A. (2010). Représentation mentale et processus moteurs: le cas de la rotation mentale. *Science & Motricité*, 71, 29–39. doi: 10.1051/sm/2009013
- Hue, O. (2011). The challenge of performing aerobic exercise in tropical environments: Applied knowledge and perspectives. *International Journal Sports and Physiology Performance*, 6, 443–454.
- Hue, O., Chabert, C., Collado, A., & Hermand, E. (2019). Menthol as an adjuvant to help athletes cope with a tropical climate: tracks from heat experiments with special focus on Guadeloupe investigations. *Frontiers in Physiology*, 10:1360.
- Hwang, R., & Cheng, M. (2007). Field Survey on Human Thermal Comfort Reports in Air-Conditioned Offices in Taiwan. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 1, 8–13.
- Ingram, T. G., Kraeutner, S. N., Solomon, J. P., Westwood, D. A., & Boe, S. G. (2016). Skill acquisition via motor imagery relies on both motor and perceptual learning. *Behavior Neuroscience*, 130, 252.
- Isaac, A. (1992). Mental practice- does it work in the field? *The Sport Psychologist*, 6, 192–198.
- Jacobson, E. (1932). Electrophysiology of mental activities. *American Journal of Psychology*, 44, 677–694.
- Jackson, R. C., & Baker, J. S. (2001). *Routines, rituals, and rugby: Case study of a world class goal kicker*. Human Kinetics Publishers, Inc.
- Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2001). Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82, 1133–1141.
- Jackson, P. L., Meltzoff, A. L., & Decety, J. (2006). Neural circuits involved in imitation and perspective-

- taking. *NeuroImage*, 31, 429–439.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, 14, S103-S109.
- Jeannerod, M. (1999). Perspectives on the Representation of Actions. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52 A (1), 1–29.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain. Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 187–245.
- Jeannerod, M., & Frak, V. (1999). Mental imaging of motor activity in humans. *Current Opinion Neurobiology*, 9, 735–739.
- Jiang, D., Edwards, M. G., Mullins, P. & Callow, N. (2015). The neural substrates for the different modalities of movement imagery. *Brain Cognition*, 97, 22–31.
- John, E. R. (2000). A field theory of consciousness. *Consciousness and Cognition*, 10, 184–213.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*, Englewood Cliffs, N J: Prentice-Hall.
- Kanthack, T. F. D. (2018). Interdependent relationships between the mental representation and psychophysiological correlates of action. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard, Lyon, France.
- Kanthack, T. F. D., Bigliassi, M., Vieira, L. F., & Altimari, L. R. (2014). Acute effect of motor imagery on basketball players' free throw performance and self-efficacy. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 16(1), 47–57.
- Kanthack, T. F. D., Guillot, A., Altimari, R., Nagy, N. S., Collet, C., & Di Rienzo, F. (2016). Selective efficacy of static and dynamic imagery in different states of physical fatigue. *PLoS One*, 11(3), e0149654.
- Karageorghis C., Jones L., Low D. (2006). Relationship between exercise heart rate and music tempo preference. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 77, 240–250.
- Karageorghis C., Morrish D., Mouzourides D., Priest D-L., Sasso T., Wally C. (2009). Psychophysical and Ergogenic Effects of Synchronous Music During Treadmill Walking. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 31, 18–36.

- Karageorghis C., Akers R., Bishop D., Clarke A., Jones L., Lim H., Perry J., Priest D-L., Reddick B. (2011). Revisiting the Relationship Between Exercise Heart Rate and Music Tempo Preference. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2, 274–284.
- Karageorghis, C., & Terry, P. (1997). The psychophysical effects of music in sport and exercise: A review. *Journal of Sport Behavior*, 20, 54–68.
- Karjalainen S. (2007). Gender differences in thermal comfort and use of thermostats in everyday thermal environments. *Build Environment*, 42, 1594–1603.
- Kobrick, J., & Johnson, R. (1991). Effects of hot and cold environments on military performance. In R. Gal and A. D. Mangelsdorff (Ed.), *Handbook of Military Psychology*, (pp. 215–232). West Sussex, England: John Wiley & Sons.
- Kosonen, R., & Tan, F. (2004). Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index. *Energy Building*, 36, 987–993.
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and Mind*. Harvard University Press, Cambridge MA.
- Kosslyn S. M., Ball T. M., Reiser B. J. (1978). Visual images preserve metric spatial information: evidence from studies of image scanning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 47–60.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Wraga, M., & Alpert, N. M. (2001). Imagining rotation by endogenous versus exogenous forces: distinct neural mechanisms. *Neuroreport*, 12, 2519–2525.
- Kowialiewski, B., & Majerus, S. (2018). The non-strategic nature of linguistic long-term memory effects in verbal short-term memory. *Journal of Memory and Language*, 101, 64–83.
- Kwon, Y. H., & Nam, K. S. (2014). Circadian fluctuations in three types of sensory modules in healthy subjects. *Neural regeneration research*, 9(4), 436.
- Lan, L., Wargocki, P., & Lian, Z. (2011). Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. *Energy and Buildings*, 43, 1057–1062.
- Landin, D. (1996). The role of verbal cues in skill learning. *Quest*, 46, 299–313.
<http://dx.doi.org/10.1080/00336297.1994.10484128>
- Lawrence, G. P., Callow, N., & Roberts, R. (2013). Watch me if you can: Imagery ability moderates

- observational learning effectiveness. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7.
- Le Her, M. (1999). Etudes des routines de deux golfeurs de haut niveau. *Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives* 12, 19–36.
- Le Scanff, C. (2005). Les bases de l'entraînement mental. *Bulletin de psychologie*, 475(1), 101–105.
- Le Scanff, C. (1999). Les routines de performance, dans Le Scanff (C.), Famose (J.-P.), *Gestion du stress : entraînement et compétition*, Paris, EPS, p. 54–60.
- Li, G., Liu, K., Li, B., Jiang, Q., Li, L., & Sun, G. (2015). Environmental heat stress enhances mental fatigue during sustained attention task performing: Evidence from an ASL perfusion study. *Behavioral Brain Research*, 280, 6–15.
- Liu, K., Sun, G., Li, B., Jiang, Q., Yang, X., Li, M., . . . Liu, Y. (2013). The impact of passive hyperthermia on human attention networks: An fmri study. *Behavioural Brain Research*, 243, 220–30.
- Logie, R. H., Pernet, C. R., Buonocore, A., & Della Sala, S. (2011). Low and high imagers activate networks differentially in mental rotation. *Neuropsychologia*, 49, 3071–3077.
- Loison, B., Moussaddaq, S., Cormier, J., Richard, I., Ferrapie, A., Ramond, A., & Dinomais, M. (2013). Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire – Revised Second version (MIQ-RS). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56, 157–173.
- Lorenzo, S., Halliwill, J. R., Sawka, M. N., & Minson, C. T. (2010). Heat acclimation improves exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 109(4), 1140–1147.
- Lorey, B., Bischoff, M., Pilgramm, S., Stark, R., Munzert, J., & Zentgraf, K. (2009). The embodied nature of motor imagery: The influence of posture and perspective. *Experimental Brain Research*, 194, 233–243.
- Lorist, M. M., Boksem, M. A., & Ridderinkhof, K. R. (2005). Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 199–205.
- Lotze, L., Montoya, P., Erb, M., Hulsmann, E., Flor, H., Klause, U., et al. (1999). Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: An fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 491–501.

- Malgoyre, A., Tardo-Dino, P. E., Koulmann, N., Lepetit, B., Jousseau, L., & Charlot, K. (2018). Uncoupling psychological from physiological markers of heat acclimatization in a military context. *Journal of Thermal Biology*, *77*, 145–156.
- Malouin, F., & Richards, C. L. (2010). Mental practice for relearning locomotor skills. *Physical Therapy*, *90*, 240–251.
- Malouin, F., Richards, C. L., Jackson, P. L., & Doyon, J. (2010). Motor imagery for optimizing the reacquisition of locomotor skills after cerebral damage. In A. Guillot & C. Collet (Eds.), *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery* (pp. 161–176). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Martini, R., Rymal, A. M., & Ste-Marie, D. M. (2011). Investigating self-as-a-model techniques and underlying cognitive processes in adults learning the butterfly swim stroke. *International Journal of Sports Science Engineering*, *5*(4), 242–256.
- Maruff, P., & Velakoulis, D. (2000). The voluntary control of motor imagery. Imagined movements in individuals with feigned impairment and conversion disorder. *Neuropsychologia*, *38*, 1251–1260.
- Mateo, S., Di Rienzo, F., Bergeron, V., Guillot, A., & Collet, C. (2015). Motor imagery reinforces brain compensation of reach-to-grasp movement after cervical spinal cord injury. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *9*, 234.
- McAuley, E. (1993). Self-efficacy and the maintenance of exercise participation in older adults. *Journal of Behavioural Medicine*, *16*, 382–393.
- McCullagh, P., Law, B., & Ste-Marie, D. (2012). *Modeling and performance*. In S. M. Murphy (Ed.), *Oxford library of psychology. The Oxford handbook of sport and performance psychology* (p. 250–272). Oxford University Press.
- McCullagh, P., & Meyer, K. (1997). Learning versus correct models: Influence of model type on the learning of a free-weight squat lift. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, *68*, 56–61.
- McKinney, C. H., Tims, F. C., Kumar, A. M., & Kumar, M. (1997). The effect of selected classical music and spontaneous imagery on plasma beta-endorphin. *Journal of Behavioral Medicine*, *20*, 85–99.

- McPhee, J. S., French, D. P., Jackson, D., Nazroo, J., Pendleton, N., & Degens, H. (2016). Physical activity in older age: Perspectives for healthy ageing and frailty. *Biogerontology*, *17*(3), 567–580.
- Meijman, T. F. (2000). The theory of the stop-emotion: on the functionality of fatigue. In D., Pogorski & W., Karwowski (Eds.), *Ergonomics and safety for global business quality and production*. CIOP, Warschau, (pp. 45–50).
- Mellet, E., Petit, L., Mazoyer, B., Denis, M., & Tzourio, N. (1998). Reopening the mental imagery debate: lessons from functional anatomy. *NeuroImage*, *8*(2), 129–139.
- Michelot, I. (2000). La situation sociolinguistique de la Martinique: enquête. *Mofwaz*, *5*, 71–85.
- Mizuguchi, N., & Kanosue, K. (2017). Changes in brain activity during action observation and motor imagery: Their relationship with motor learning. *Progress in Brain Research*, *234*, 189–204.
- Mouthon, A., Ruffieux, J., Wälchli, M., Keller, M., & Taube, W. (2015). Task-dependent changes of corticospinal excitability during observation and motor imagery of balance tasks. *Neuroscience*, *303*, 535–543.
- Munroe, K.J., Giacobbi, P.R., Hall, C., & Weinberg, R. (2000). The four Ws of imagery use: Where, when, why and what. *The Sport Psychologist*, *14*, 119–137.
- Munzert, J., Lorey, B., and Zentgraf, K. (2009). Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Research Review*, *60*, 306–326.
- Nair, D. G., Purcott, K. L., Fuchs, A., Steinberg, F., & Kelso, J. A. (2003). Cortical and cerebellar activity of the human brain during imagined and executed unimanual and bimanual action sequences: a functional MRI study. *Brain research. Cognitive brain research*, *15*(3), 250–260.
- Netherly, V. M. (2002). Competition between internal and external sources of information during mental exercise: influence on RPE and the impact of the exercise load. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *17*, 172–178.
- Neuman, B., & Gray, R. (2013). A direct comparison of the effects of imagery and action observation on hitting performance, Abstract. *Movement & Sport Sciences*, *79*, 11–21.

- Nikol, L., Kuan, G., Ong, M., Chang, Y. K., & Terry, P. C. (2018). The heat is on: Effects of synchronous music on psychophysiological parameters and running performance in hot and humid conditions. *Frontiers in Psychology, 9*, 1114.
- Ohno, K., Higashi, T., Sugawara, K., Ogahara, K., Funase, K., & Kasai, T. (2011). Excitability changes in the human primary motor cortex during observation with motor imagery of chopstick use. *Journal of Physical Therapy Science, 23*, 703–706.
- Oishi, K., Kasai, T., & Maeshima, T. (2000). Autonomic response specificity during motor imagery. *Journal of physiological anthropology and applied human science, 19*, 255–261.
- Onate, J. A., Guskiewicz, K. M., Marshall, S. W., Giuliani, C., Yu, B., & Garrett, W. E. (2005). Instruction of jump-landing technique using videotape feedback altering lower extremity motion patterns. *American Journal of Sports Medicine, 33*(6), 831–842.
- Onestak, D. M. (1997). The effect of visuo-motor behaviour rehearsal (VMBR) and video-taped modelling (VM) on the free-throw performance of intercollegiate athletes. *Journal of Sport Behavior, 20*, 185–198.
- Ozel, S., Molinaro, C. & Larue, J. (2001). Influence of sport on gender differences in spatial imagery. *Homeostasis in Health & Disease, 41*, 169–175.
- Paivio, A. (1986). *Mental Representation*. Oxford University Press/Oxford : Clarendon Press, New York.
- Papaxanthis, C., Pozzo, T., Kasprinski, R., & Berthoz, A. (2003). Comparison of actual and imagined execution of whole-body movements after a long exposure to microgravity. *Neuroscience Letters, 339*, 41–44.
- Papaxanthis, C., Pozzo, T., Skoura, X., & Schieppati, M. (2002). Does order and timing performance of imagined and actual movements affect the motor imagery process? The duration of walking and writing tasks. *Behavioural Brain Research, 134*, 209–215.
- Pepler, R. D. (1958). Warmth and performance: An investigation in the tropics. *Ergonomics, 22*, 63–88.
- Perani, D., Dehaene, S., Grassi, F., Cohen, L., Cappa, S. F., Dupoux, E., Fazio, F., & Mehler, J. (1996). Brain processing of native and foreign languages, *NeuroReport, 7*, 2439–2444.

- Périard, J. D., Cramer, M. N., Chapman, P. G., Caillaud, C., & Thompson, M. W. (2011). Neuromuscular function following prolonged intense self-paced exercise in hot climatic conditions. *European Journal of Applied Physiology, 111*(8), 1561–1569.
- Personnier, P., Kubicki, A., Laroche, D., & Papaxanthis, C. (2010). Temporal features of imagined locomotion in normal aging. *Neuroscience Letters, 476*, 146–149.
- Pilcher, J., Nadler, E., & Busch, C. (2002). Effects of hot and cold temperature exposure on performance: A meta-analytic review. *Ergonomics, 45*, 682–698.
- Posner, M., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience, 13*, 25–42.
- Posner, M. I. (2012). Imaging attention networks. *NeuroImage, 61*(2), 450–456.
- Post, P. G., Wrisberg, C. A., & Mullins, S. (2010). A field test of the influence of pre-game imagery on basketball free throw shooting. *Journal of Imagery Research in Sport and Physical Activity, 5*, 1–15.
- Potdevin, F., Vors, O., Huchez, A., Lamour, M., Davids, K., & Schnitzle, C. (2018). How can video feedback be used in physical education to support novice learning in gymnastics? Effects on motor learning, self-assessment and motivation. *Physical Education and Sport Pedagogy, 23*(6), 559–574.
- Proteau, L., Martenuik, R. G., Girouard, Y., & Dugas, C. (1987). On the type of information used to control and learn an aiming movement after moderate and extensive training. *Human Movement Science, 6*, 181–199.
- Pryor, J., Pryor, R., Vandermark, L., Adams, L., VanScoy, R., Casa, D., ...Maresh, C. (2019). Intermittent exercise-heat exposures and intense physical activity sustain heat acclimation adaptations. *Journal of Science and Medicine in Sport, 22*, 117–122.
- Qian, S., Li, M., Li, G., Liu, K., Li, B., Jiang, Q., Li, L., Yang, Z., & Sun, G. (2015). Environmental heat stress enhances mental fatigue during sustained attention task performing: Evidence from an ASL perfusion study. *Behavioral Brain Research, 280*, 6–15.

- Racinais, S., Gaoua, N., & Grantham, J. (2008). Hyperthermia impairs short-term memory and peripheral motor drive transmission. *Journal of Physiology*, *586*(19), 4751–4762.
- Racinais, S., Périard, J. D., Karlsen, A., & Nybo, L. (2015). Effect of heat and heat acclimatization on cycling time trial performance and pacing. *Medicine and Science in Sports Exercise*, *47*, 601–606.
- Racinais, S., Sawka, M., Daanen, H., & Périard, J. D. (2019). Heat acclimation. In J. Périard and S. Racinais (Ed.), *Heat stress in sport and Exercise*, Springer, Cham.
- Racinais, S., Wilson, M. G., Gaoua, N., & Périard, J. D. (2017). Heat acclimation has a protective effect on the central but not peripheral nervous system. *Journal of Applied Physiology*, *123*(4), 816–824.
- Radakovic, S., Maric, J., Surbatovic, M., Radjen, S., Stefanova, E., ...Filipovic, N. (2007). Effects of acclimation on cognitive performance in soldiers during exertional heat stress. *Military Medicine*, *172*, 133–136.
- Ram, N., Riggs, S. M., Skaling, S., Landers, D. M., & McCullagh, P. (2007). A comparison of modeling and imagery in the acquisition and retention of motor skills. *Journal of Sports Sciences*, *25*, 587–597.
- Ramsey, J., & Kwon, Y. (1992). Recommended alert limits for perceptual motor loss in hot environments. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *9*, 245–257.
- Rasmussen, P., Dawson, E. A., Nybo, L., van Lieshout, J. J., Secher, N. H., & Gjedde, A. (2007). Capillary-oxygenation-level-dependent near-infrared spectrometry in frontal lobe of humans. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, *27*, 1082–1093.
- Reed, C. L. (2002). Chronometric comparisons of imagery to action: Visualizing versus physically performing springboard dives. *Memory and Cognition*, *30*, 1169–1178.
- Rejeski, W. (1985). Perceived exertion: an active or passive process. *Journal of Sport Psychology*, *7*, 371–378.
- Rey, A. (1941). L'examen psychologique dans les cas d'encéphalopathie traumatique. *Archives de Psychologie*, *28*, 286–340.
- Riera, F., Trong, T. T., Sinnapah, S., & Hue, O. (2014). Physical and perceptual cooling with beverages to increase cycle performance in a tropical climate. *PLoS ONE*, *9*, e103718.

- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2010). The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: Interpretations and misinterpretations. *Nature Review in Neuroscience*, *11*, 264–274.
- Roberts, R., Callow, N., Hardy, L., Markland, D., & Bringer, J. (2008). Movement imagery ability: Development and assessment of a revised version of the vividness of movement imagery questionnaire. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *30*, 200–221.
- Robin, N. (2018). Importance des modalités d'imagerie dans la reproduction de configurations angulaires simples sur un mannequin. *Revue STAPS*, *120(2)*, 83-97.
- Robin, N. (2005). *Imagerie mentale et performance motrice*. Thèse de doctorat, Université de Poitiers.
- Robin, N., Collado, A., Sinnapah, S., Rosnet, E., Hue, O., & Coudevylle, G. R. (2019). The influence of tropical climate on cognitive task performance and aiming accuracy in young international fencers. *Journal of Human Performance in Extreme Environments*, *15(1)*, 4.
- Robin, N., & Coudevylle, G.R. (2018). The Influences of tropical climate, imagery ability, distance and load on walking time. *International Journal of Sport Psychology*, *3*, 140-155.
- Robin, N., Coudevylle, G. R., & Anciaux, F. (2020). Effects of tropical climate and language format on imagery ability among french-creole bilinguals. *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*. doi:10.1080/13670050.2019.1709412
- Robin, N., Coudevylle, G.R. Guillot, A., & Toussaint, L. (2020). French translation and validation of the movement imagery questionnaire—third version (MIQ-3f). *Movement and Sport Science*.
- Robin, N., Coudevylle, G. R., Hue, O., & Sinnapah, S. (2017). Effects of tropical climate on mental rotation: The role of imagery ability. *American Journal of Psychology*, *130*, 455–465.
- Robin, N., Coudevylle, G. R., Hue, O., & Toussaint, L. (2018). The influences of tropical climate on imagined walking time. *Journal of Cognitive Psychology*, *30(1)*, 98–107.
- Robin, N., Coudevylle, G. R., Marmolejo-Ramos, F., & Anciaux, F. (2020). Influence du climat et de la langue dans des tâches de mémorisation chez des bilingues français-créole aux Antilles Françaises. *L'année Psychologique*, *120(3)*, 249–278.
- Robin, N., Coudevylle, G. R., Sinnapah, S., & Hue, O. (in press). The Influence of Tropical Climate on Affect, Fatigue and Environmental Perceptions. *Psychology*.

- Robin, N., Dominique, L., Toussaint, L., Blandin, Y., Guillot, A., & Le Her, M. (2007). Effects of motor imagery training on returning serve accuracy in tennis: the role of imagery ability. *International Journal of Sport & Exercise Psychology*, 2, 177–188.
- Robin, N., & Flochlay, C. (2017). Imagerie mentale en sport et applications en EPS. [Mental imagery in sports and physical education]. *Revue EPS*, 377, 16–19.
- Robin, N., Joblet, E., Roublot, E., & Coudevylle, G.R. (2020). The Beneficial Effect of Combining Feedback, Observational Learning and Motor Imagery on Football Pass Performance. *Motricidade*, 16(1), 55–65.
- Robin, N., Laurent, J., & Stuart, S. (2018). Influence des messages électroniques sur l'activité physique aérobie personnelle et les performances en éducation physique et sportive. *Revue eJRIEPS*, 43, 83–101.
- Robin, N., Toussaint, L., & Blandin, Y. (2006). Importance des modalités d'imagerie dans l'apprentissage de reproduction de configurations corporelles simples. *Science et Motricité*, 57, 67–78.
- Robin, N., Toussaint, L., Charles-Charlery, C., & Coudevylle, G.R. (2019). Free Throw Performance in Intermediate Basketball Players: The Effect of Dynamic Motor Imagery with and without a Video of a Model. *Learning and Motivation*, 68.
- Robin, N., Toussaint, L., Coudevylle, G.R., Stuart, S., Hue, O., & Sinnapah, S. (2018). Mental Imagery Promoted by Text Messaging Can Increase Self-Reported Physical Exercise in Elderly. *Journal of Aging and Physical Activity*, 26(3), 462–470.
- Robin, N., Toussaint, L., Joblet, E., Roublot, E., & Coudevylle, G.R. (2020). The Beneficial Influence of Combining Motor Imagery and Coach's Feedback on Soccer Pass Accuracy in Intermediate Players. *Journal of Motor Learning and Development*, 8(2), 262–279.
- Rodero, E. (2012). See it on a radio story. Sound effects and shots to evoked imagery and attention on audio fiction. *Communication Research*, 39, 458–479.
- Rodgers, W., & Gauvin, L. (1998). Heterogeneity of incentives for physical activity and self-efficacy in highly active and moderately active women exercisers. *Journal of Social Psychology*, 28, 1016–1029.

- Rodier, S., Euzet, J.P., Gahery, Y., & Paillard, J. (1991). Cross-modal versus intramodal evaluation of the knee joint angle. A normative study in a population of young adults. *Human Movement Science*, *10*, 689–712.
- Rogers, L., McAuley, E., Courneya, K., & Verhulst, S. (2008). Correlates of physical activity self-efficacy among breast cancer survivors. *American Journal of Health Behavior*, *32*(6), 594–603.
- Romano-Smith, S., Wood, G., Wright, D. J., & Wakefield, C. J. (2018). Simultaneous and alternate action observation and motor imagery combinations improve aiming performance. *Psychology of Sport and Exercise*, *38*, 236–252.
- Romeas, T., Guldner, A., & Faubert, J. (2016). 3D-Multiple Object Tracking training task improves passing decision-making accuracy in soccer players. *Psychology of Sport and Exercise*, *22*, 1–9.
- Ross, M., Abbiss, C., Laursen, P., Martin, D., & Burke, L. (2013). Precooling methods and their effects on athletic performance. *Sports and Medicine*, *43*(3), 207–225.
- Roure, R., Collet, C., Deschaumes-Molinario, C., Delhomme, G., Dittmar, A., & Vernet-Maury, E. (1999). Imagery quality estimated by autonomic response is correlated to sporting performance enhancement. *Physiology and Behavior*, *66*, 63–72.
- Roy M., Peretz, I., & Rainville P. (2008). Emotional valence contributes to music-induced analgesia. *Pain*, *134*, 140–147.
- Ruby, P., & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: A PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*, *4*, 546–550.
- Ruddock, A., Robbins, B., Tew, G., Bourke, L., & Purvis, A. (2017). Practical cooling strategies during continuous exercise in hot environments: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, *47*, 517–532.
- Ruffino, C., Papaxanthis, C., & Lebon, F. (2017). Neural plasticity during motor learning with motor imagery practice. *Neuroscience*, *341*, 61–78.
- Rulleau, T., Mauvieux, B., & Toussaint, L. (2015). Influence of circadian rhythms on the temporal features of motor imagery for older adult impatient. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *96*(7), 1229–1234.

- Rulleau, T., Robin, N., Abou-Dest, A., Chesnet, D., & Toussaint, L. (2018). The effect of time of-day on motor imagery practice in younger and older participants. *Experimental Aging Research, 44*(5), 443–454.
- Saimpont, A., Malouin, F., Tousignant, B., & Jackson, P. L. (2012). The influence of body configuration on motor imagery of walking in younger and older adults. *Neuroscience, 222*, 49–57.
- Salati, E., Lovejoy, T. E., & Vose, P. B. (1983). Precipitation and water recycling in tropical rain forests with special reference to the Amazon basin. *Environmentalist, 3*, 67–72.
- Saldaris, J. M., Landers, G. J., & Lay, B. (2020). Physical and perceptual cooling: Improving cognitive function, mood disturbance and time to fatigue in the heat. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 19*(3), 393–401.
- Salmoni, A. W., Schmidt, R. A., & Walter, C. B. (1984). Knowledge of results and motor learning: A review and critical reappraisal. *Psychological Bulletin, 95*, 355–386.
- Sanders, A. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica, 53*, 64–97.
- Sarasso, E., Gemma, M., Agosta, F., Filippi, M., & Gatti, R. (2015). Action observation training to improve motor function recovery: A systematic review. *Archives of Physiotherapy, 5*, 1.
- Schack, T., Essig, K., Frank, C., Koester, D. (2014). Mental representation and motor imagery training. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 1–10.
- Schmidt, R. A. (1991). Frequent augmented feedback can degrade learning: Evidence and interpretation. In G. E. Stelmach & J. Requin, M., Y., (Eds.), *Tutorials in motor neuroscience* (pp. 59–75). Dordrecht, The Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- Schmidt, R. A., Lange, C. A., & Young, D. E. (1990). Optimizing summary knowledge of results for skill learning. *Human Movement Science, 9*, 325–348.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (1999). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (3rd Eds), Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, C., Collette, F., Cajochen, C., & Peigneux, P. (2007). A time to think: circadian rhythms in human cognition. *Cognitive Neuropsychology, 24*, 755–789.

- Schmit, C., Davranche, K., Easthope, C. S., Colson, S. S., Briswalter, J., & Radel, R. (2015). Pushing to the limits: The dynamics of cognitive control during exhausting exercise. *Neuropsychologia*, *68*, 71–81.
- Schmit, C., Hausswirth, C., Le Meur, Y., & Duffield, R. (2017). Cognitive functioning and heat strain: Performance responses and protective strategies. *Sports Medicine*, *47*, 1289–1302.
- Seiler, B., Monsma, E., & Newman-Norlund, R. (2015). Biological evidence of imagery abilities: Intraindividual differences. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *37*, 421–35.
- Sirigu, A., & Duhamel, J.R. (2001). Motor and visual imagery as two complementary but neurally dissociable mental processes. *Journal of Cognitive Neurosciences*, *13*, 910–919.
- Sharma, N., Pomeroy, V. N., & Baron, J. C. (2006). Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke*, *37*, 1941–52.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, *171*, 01–703.
- Siegel, R., Mate, J., Watson, G., Nosaka, K., & Laursen, P. B. (2012). Pre-cooling with ice slurry ingestion leads to similar run times to exhaustion in the heat as cold water immersion. *Journal of Sports Sciences*, *30*, 155–165.
- Silbernagel, M. S., Short, S. E., & Ross-Stewart, L. C. (2007). Athletes' use of exercise imagery during weight training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *21*, 1077–1081.
- Simmons, S. E., Saxby, B. K., McGlone, F. P., & Jones, D. A. (2008). The effect of passive heating and head cooling on perception, cardiovascular function and cognitive performance in the heat. *European Journal of Applied Physiology*, *104*, 271–280.
- Simonsmeier, B., Andronie, M., Buecker, S., & Frank, C. (2020). The effects of imagery in sports: A meta-analysis. *International Review of Sport and Exercise Psychology*.
- Smith, D., & Holmes, P. S. (2004). The effect of imagery modality on golf putting performance. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *26*, 385–395.
- Smits, B. L., Pepping, G. J., & Hettinga, F. J. (2014). Pacing and decision making in sport and exercise: the roles of perception and action in the regulation of exercise intensity. *Sports Medicine*, *44*(6), 763–775.

- Soucy, M.C., & Proteau, L. (2001). Development of multiple movement representations with practice: specificity versus flexibility. *Journal of Motor Behavior*, *33*, 243–254.
- Ste-Marie, D. M., Law, B., Rymal, A. M., Jenny, O., Hall, C., & McCullagh, P. (2012). *Observation interventions for motor skill learning and performance: An applied model for the use of observation. International Review of Sport and Exercise Psychology*, *5*(2), 145-176.
- Stevens, C. J., Dascombe, B., Boyko, A., Sculley, D., & Callister, R. (2013). Ice slurry ingestion during cycling improves olympic distance triathlon performance in the heat. *Journal of Sports Sciences*, *31*, 1271–1279.
- Sun, F., Norman, I. J., & While, A. E. (2013). Physical activity in older people: A systematic review. *BMC Public Health*, *13*, 449.
- Swinnen, S., Schmidt, R. A., Nicholson, D. E., & Shapiro, D. C. (1990). Information feedback for skill acquisition: Instantaneous knowledge of results degrades learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*, 706–716.
- Szmedra, L., & Bacharach, D. W. (1998). Effect of music on perceived exertion, plasma lactate, norepinephrine and cardiovascular hemodynamics during treadmill running. *Physiology and Biochemistry*, *19*, 32–37.
- Tatterson, A. J., Hahn, A. G., Martini, D. T., & Febbraio, M. A. (2000). Effects of heat stress on physiological responses and exercise performance in elite cyclists. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *3*(2), 186–193.
- Taube, W., Lorch, M., Zeiter, S., & Keller, M. (2014). Non-physical practice improves task performance in an unstable, perturbed environment: motor imagery and observational balance training. *Frontiers in Human Neurosciences*, *8*, 972.
- Taube, W., Mouthon, M., Leukel, C., Hoogewood, H. M. Annoni, J. M., & Keller, M. (2015). Brain activity during observation and motor imagery of different balance tasks: An fMRI study. *Cortex*, *64*, 102–114.
- Taylor, D. (2014). Physical activity is medicine for older adults. *Postgraduate Medical Journal*, *90*(1059), 26–32.

- Thakare A., Mehrothra R., & Singh A. (2017). Effect of music tempo on exercise performance and heart rate among young adults. *International Journal Physiol Pathophysiology and Pharmacology*, *9*, 35–39.
- Thelwell, R. C., Greenlees, I. A., & Weston, N. J .V. (2010). Examining the use of psychological skills throughout soccer performance. *Journal of Sport Behavior*, *33(1)*, 109–127.
- Thornby, M., Haas, F., & Axen K. (1995). Effect of distractive auditory stimuli on exercise tolerance in patients with COPD. *Chest*, *107*, 1213–1217.
- Tomasino, B., & Gremese, M. (2016). Effects of Stimulus Type and Strategy on Mental Rotation Network: An Activation Likelihood Estimation Meta-Analysis. *Frontiers in Neuroscience*, *9*, 1–26.
- Toussaint, L., & Blandin, Y. (2013). Behavioral evidence for motor imagery ability on position sense improvement following motor imagery practice. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, *82*, 63–68.
- Toussaint, L., & Meugnot, A. (2013). Short-term limb immobilization affects cognitive motor processes. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *39(2)*, 623–632.
- Toussaint, L., Robin, N., Blandin, Y. (2010). On the content of sensorimotor representations after actual and motor imagery practice. *Motor Control*, *14*, 159-175.
- Tremblay, L., & Proteau, L. (1998). Specificity of practice: The case of powerlifting. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *69*, 284–289.
- Tremblay, L., Welsh, T. N., & Elliott, D. (2001). Specificity versus variability: Effects of practice conditions on the use of afferent information for manual aiming. *Motor Control*, *5*, 347–360.
- Trong, T., Riera, F., Rinaldi, K., Briki, W., & Hue, O. (2015). Ingestion of a cold temperature/menthol beverage increases outdoor exercise performance in a hot, humid environment. *PLoS ONE*, *10*, e0123815.
- Tucker, R., Marle, T., Lambert E. V., & Noakes, T. D. (2006). The rate of heat storage mediates an anticipatory reduction in exercise intensity during cycling at a fixed rating of perceived exertion. *Journal of Physiology*, *574*, 905–915.

- Tucker, R., Rauch, R. L., Harley, Y. X., & Noakes, T. D. (2004). Impaired exercise performance in the heat is associated with the anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. *Pflugers Arch: European Journal of Physiology*, *448*, 422–430.
- Tyler, C. J., Reeve, T., Hodges, G. J. & Cheung, S. S. (2016). The effects of heat adaptation on physiology, perception and exercise performance in the heat: A meta-analysis. *Sports Medicine*, *46*, 1699.
- Tyszka, J.M., Grafton, S.T., Chew, W., Woods, R.P. & Colletti, P.M. (1994). Parceling of mesial frontal motor areas during ideation and movement using functional magnetic resonance imaging at 1.5 tesla. *Annals of Neurology*, *35*, 746–749.
- Tzetzis, G., Votsis, E., & Kourtessis, T. (2008). The effect of different corrective feedback methods on the outcome and self-confidence of young athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*, *7*, 371–378.
- Uppal, A., & Datta, U. (1990). Cardio-respiratory response of junior high school girls to exercise performed with and without music. *Journal of Physical Education and Sport Science*, *2*, 52–56.
- Vandelanotte, C., Short, C., Plotnikoff, R. C., Hooker, C., Canoy, D., Rebar, A., . . . Duncan, M. J. (2015). TaylorActive--Examining the effectiveness of web-based personally-tailored videos to increase physical activity: a randomised controlled trial protocol. *BMC Public Health*, *15*, 1020.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three dimensional spatial visualization. *Perceptual & Motor Skills*, *47*, 599–604.
- Vasilyev, A., Liburkina, S., Yakovlev, L., Perepelkina, O., & Kaplan, A. (2017). Assessing motor imagery in brain-computer interface training: Psychological and neurophysiological correlates. *Neuropsychologia*, *97*, 56–65.
- Vasmatazidis, I., Schlegel, R., & Hancock, P. (2002). An investigation of heat stress effects on time-sharing performance. *Ergonomics*, *45*, 218–239.
- Velay, J. L. (1984). *Sens de la position. Les traitements sensori-moteurs des informations proprioceptives*. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille II : 177p.
- Veraksa, A., & Gorovaya, A. (2012). Imagery training efficacy among novice soccer players. *Procedia -*

- Villodas, F., Villodas, M. T., & Roesch, S. (2011). Examining the factor structure of the positive and negative affect schedule (PANAS) in a multiethnic sample of adolescents. *Measurement and Evaluation in Counseling and Development*, 44, 193–203.
- Vogt, S., Di Rienzo, F., Collet, C., Collins, A., & Guillot, A. (2013). Multiple roles of motor imagery during action observation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 807.
- Voltaire, B., Galy, O., Coste, O., Racinais, S., Callis, A., ... & Hue, O. (2002). Effect of fourteen days of acclimatization on athletic performance in tropical climate. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27(6), 551–562.
- Wakabayashi, H., Wijayanto, T., Lee, J. Y., Hashiguchi, N., Saat, M., & Tochihara, Y. (2014). A comparison of hydration effect on body fluid and temperature regulation between Malaysian and Japanese males exercising at mild dehydration in humid heat. *Journal of Physiological Anthropology*, 33(1), 5.
- Walker, S. M., Dawson, B., & Ackland, T. R. (2001). Performance enhancement in rally car drivers via heat acclimation and race simulation. *Comparative Biochemistry and Physiology part A Molecular and Integrative Physiology*, 128, 701–707.
- Wallace, P. (2015). The beneficial effects of motivational self-talk on endurance performance and cognitive function in the heat. Master of science in applied health sciences (kinesiology), Brock University, Ontario.
- Wallace, P., McKinlay, B., Coletta, N., Vlaar, J., Taber, M., Wilson, P., & Cheung, S. (2017). Effects of motivational self-talk on endurance and cognitive performance in the heat. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(1), 191–199.
- Warburton, D. (2009). The physical activity and exercise continuum. In C. Bouchard & P. T. Katzmarzyk (Eds.), *Advances in physical activity and obesity* (pp. 21-30). Champaign IL: Human Kinetics Publishing.
- Waterhouse J., Edwards B., & Hudson P. (2010). Effects of music tempo upon submaximal cycling performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Sciences in Sports*, 20, 662–669.

- Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, *54*, 1063–1070.
- Weir, P., & Leavitt, J. (1990). Effects of model's skill level and model's knowledge of results on the performance of a dart throwing task. *Human Movement Science*, *9*, 369–383.
- White, A., & Hardy, L. (1995). Use of different imagery perspectives on the learning and performance of different motor skills. *British Journal of Psychology*, *86*(2), 169–180.
- White, A., & Hardy, L. (1998). An in-depth analysis of the uses of imagery by high level slalom canoeists and artistic gymnasts. *The Sport Psychologist*, *12*, 387–403.
- Wijayanto, T., Toramoto, S., Maeda, Y., Sonomi, S., & Tochiara, Y. (2017). Cognitive performance during passive heat exposure in Japanese males and tropical Asian males from Southeast Asian living in Japan. *Journal of Physiological Anthropology*, *36*, 2– 11.
- Wijayanto, T., Toramoto, S., & Tochiara, Y. (2013). Passive heat exposure induced by hot water leg immersion increased oxyhemoglobin in pre-frontal cortex to preserve oxygenation and did not contribute to impaired cognitive functioning. *International Journal of Biometeorology*, *57*, 557–567.
- Wijayanto, T., Wakabayashi, H., Lee, J-Y., Hashiguchi, N., Saat, M., & Tochiara, Y. (2011). Comparison of thermoregulatory responses to heat between Malaysian and Japanese males during leg immersion. *International Journal of Biometeorology*, *55*, 491–500.
- Williams, S., Cumming, J., Ntoumanis, N., Nordin-Bates, S., Ramsey, R., & Hall, C. (2012). Further validation and development of the movement imagery questionnaire. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *34*, 621–646.
- Williams, S. E., Cooley, S. J., & Cumming, J. (2013). Layered stimulus response training improves motor imagery ability and movement execution. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *35*, 60–71.
- Willmott, A. G., Hayes, M., Waldoek, K. A., Relf, R. L., Watkins, E. R., ...Maxwall, N. S. (2017). Short-term heat acclimation prior to a multiday desert ultra-marathon improves physiological and

- psychological responses without compromising immune status. *Journal of Sports Sciences*, 35, 2249–2256.
- Winstein, C., & Schmidt, R. A. (1990). Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning. *Journal of Experimental Psychology*, 16, 677–691. doi:10.1037/0278-7393.16.4.677
- Wohlschläger, A., & Wohlschläger, A. (1998). Mental and manual rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 397–412.
- Wright, D. J., McCormick, S. A., Birks, S., Loporto, M., & Holmes, P. S. (2015). Action observation and imagery training improve the ease with which athletes can generate imagery. *Journal of Applied and Sport Psychology*, 27, 156–170.
- Wright, C. J., & Smith, D. K. (2009). The effect of PETTLEP imagery on strength performance. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 7, 18–31.
- Wright, D. J., Williams, J., & Holmes, P. S. (2014). Combined action observation and imagery facilitates corticospinal excitability. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 951.
- Xiong, J., Lian, Z., Zhou, X., You, J., & Lin, Y. (2015). Effects of temperature steps on human health and thermal comfort. *Building and Environment*, 94, 144–154.
- Zetou, E., Fragouli, M., & Tzetzis, G. (1999). The influence of star and self modeling on volleyball skill acquisition. *Journal of Human Movement Studies*, 37, 127–131.
- Zhang, Y., Chen, H., Wang, J., & Meng, Q. (2016). Thermal comfort of people in the hot and humid area of China-impacts of season, climate, and thermal history. *Indoor air*, 26(5), 820–830.

Annexes

Annexe 1 : Positive and Negative Affect Schedule (PANAS ; Watson, Clark, & Tellegen, 1988), version française (Lapierre, Gaudreau, & Blondin, 1999).

Lisez chaque mot et mettez une croix dans la case qui correspond le mieux à l'intensité de ce que vous ressentez **maintenant**.

"En ce moment, je me sens ..." (veuillez mettre une seule croix par ligne, s'il vous plaît)

	pas du tout	un peu	moyennement	beaucoup	extrêmement
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1. intéressé(e)	<input type="radio"/>				
2. en détresse, bouleversé(e)	<input type="radio"/>				
3. gai(e), amusé(e), exalté(e)	<input type="radio"/>				
4. agacé(e), énervé(e), perturbé(e)	<input type="radio"/>				
5. fort(e), d'attaque	<input type="radio"/>				
6. coupable	<input type="radio"/>				
7. effrayé(e)	<input type="radio"/>				
8. hostile, agressif(ve)	<input type="radio"/>				
9. enthousiaste	<input type="radio"/>				
10. fier(e)	<input type="radio"/>				
11. irritable, irascible	<input type="radio"/>				
12. alerte, vif(ve)	<input type="radio"/>				
13. honteux(se)	<input type="radio"/>				
14. inspiré(e), plein(e) d'inspiration	<input type="radio"/>				
15. nerveux(se)	<input type="radio"/>				
16. décidé(e), déterminé(e)	<input type="radio"/>				
17. attentif(ve), prévenant(e)	<input type="radio"/>				
18. agité(e)	<input type="radio"/>				
19. actif(ve)	<input type="radio"/>				
20. apeuré(e)	<input type="radio"/>				