

MASTER STAPS

ENTRAINEMENT ET OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE SPORTIVE

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2022-2023

TITRE : LES SENSATIONS AU SERVICE DE LA
PERFORMANCE : UN ENTRAINEMENT À LA
PERCEPTION EST-IL PLUS EFFICACE QU'UN
ENTRAÎNEMENT CLASSIQUE EN DEMI-FOND ?

PRÉSENTE PAR : DYLAN CHAMPENOIS

SOUS LA DIRECTION DE : YOHAN ROUSSEL

SOUTENU LE 29 / 06 / 2023

DEVANT LE JURY :

« La Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les mémoires; celles-ci sont propres à leurs auteurs. »

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui ont su m'accompagner dans la mise en place de ce mémoire et de mon stage, elles m'ont permis d'évoluer, de m'améliorer, d'affiner mon expertise dans le milieu de l'athlétisme en m'éloignant des concepts de base des années 1990, pour me diriger vers un entraînement plus individualisé et basé sur l'écoute de soi.

Je remercie en premier lieu, **Didier BAUDOUIN**, directeur sportif du Lille Métropole Athlétisme, qui a su m'accueillir et m'intégrer dans le club en tant qu'entraîneur de demi-fond. Je serai toujours reconnaissant pour son aide et son honnêteté envers moi.

Je remercie **Yohan ROUSSEL**, mon tuteur pédagogique, qui a su me diriger vers ce thème novateur qu'est la perception de l'effort. Je le remercie pour son investissement et sa franchise concernant mon travail.

Je remercie **mes athlètes** du Lille Métropole Athlétisme qui ont accepté mon projet et de s'investir dans celui-ci. Je les remercie pour leur confiance envers les méthodologies que j'ai pu mettre en place, toujours dans le but de promouvoir leur bien-être et leur performance.

Je remercie enfin **Jade BERTRAND**, ma compagne, qui a su être un pilier et un soutien moral au cours de ces années de master en m'accompagnant dans la ville de Lille pour la poursuite de mes études et de mon projet professionnel et également de m'avoir soutenu en ce début d'année compliqué où j'étais au plus bas moralement. Je suis fier de moi dorénavant.

Sommaire

Glossaire :	6
Introduction :	7
I. Revue de littérature	9
1. Athlétisme	9
1.1 Demi-fond : une première approche de l'entraînement aux sensations.....	9
1.2 Déterminants de la performance	10
1.2.1 Force - vitesse	11
1.2.2 VO2max (débit de la consommation maximale d'oxygène)	12
1.2.2 Les 4 facteurs limitants au plan énergétique	12
2. Méthodologie d'entraînement	13
2.1 Intensité définie par le pourcentage de VMA / VO2max.	14
2.3 Intensité définie par le pourcentage de Fréquence Cardiaque Maximale	15
2.4 Limites de l'entraînement	15
2.5 Méthode Billatraining : l'intensité définie par la perception de l'effort	16
3. La perception de l'effort : approche interne de l'entraînement	18
3.1 Perception de l'effort : une interprétation sensorielle.....	19
3.2 Échelles de mesure de la perception d'effort	19
3.3 Perception d'effort dans le domaine sportif	21
3.4 Intéroception	21
3.5 Cerveau et perception d'effort : la tolérance à la douleur.....	22
II. Problématique, objectifs, hypothèses :	24
III. Stage	25
1. Structure d'accueil	25
2. Sujets	26
3. Matériel et techniques de mesure	27
4. Protocole	27
5. Analyse Statistique	31
IV. Résultats :	31
V. Discussion :	33
VI. Conclusion :	36

VII. Références bibliographiques :	38
VIII. Annexe :.....	41
IX. Résumé	48
X. Compétences	50

Glossaire :

ATP = Adénosine Triphosphate

FC = Fréquence Cardiaque

FCM = Fréquence Cardiaque Maximale

LMA = Lille Métropole Athlétisme

RPE = Rating of Perceived Exertion

VMA = Vitesse Maximale Aérobie

VO₂max = consommation maximale d'oxygène

Introduction :

Chaque début de saison de nouveaux athlètes viennent, parfois avec un passé sportif, parfois sans aucune connaissance spécifique de l'athlétisme, c'est donc à nous, entraîneur, de les accueillir dans les meilleures dispositions pour réaliser leur projet personnel et unique. « Le métier d'entraîneur est un métier d'inventeur car il doit coller au mieux à l'énigme du sujet qu'est l'athlète dans sa singularité et à sa façon originale d'entrevoir sa pratique. » (Bigrel, 2015). Par cette citation, on voit l'importance majeure de la problématique de l'individualisation de l'entraînement, l'entraînement étant un monde d'incertitudes que cela soit sur le plan physique ou /et sur le plan moral : chaque athlète, je dirai même être humain, est différent.

Ils arrivent dans un monde inconnu, une piste espacée de huit couloirs composée de tartan.

Parfois certains reviennent de blessure, ayant donc perdu leurs repères, leurs capacités physiques. Parfois, les conditions environnementales viennent impacter la performance comme l'humidité, la chaleur, le froid, le vent ou tout simplement la surface du terrain. (Vihma, 2009).

Mais alors comment peut-on prescrire des intensités, des distances et des temps à respecter à des athlètes novices où nous n'avons aucune donnée les concernant ?

Comment peut-on adapter une séance selon les conditions internes ET externes qui englobent et entourent l'athlète ?

Comment peut-on entraîner de manière individualisée un athlète en prenant en compte tous les paramètres-données instables (GPS ; état de forme ; état psychologique ; fréquence cardiaque) de l'entraînement et de l'individu ?

L'entraînement à la perception d'effort, à la sensation peut potentiellement répondre à ces questions. Apprendre à l'athlète à se connaître, à se (re)connecter avec soi-même et ses sensations corporelles. Apprendre à se détacher des autres, de sa montre, des allures, de sa fréquence cardiaque car « les datas et les données c'est bien mais ça peut rendre dingue, à un moment tu ne te fies qu'aux données et tu oublies ton cerveau. Alors que ton cerveau c'est lui qui te fait avancer jusqu'au bout, c'est lui qui peut te transcender » (Diniz, 2022). Par cette citation, Yohan Diniz fait entendre que de nombreux coureurs, en particulier sur route, mais également sur piste dorénavant, vont regarder leur montre à chaque kilomètre pour jauger leur effort en fonction du chronomètre affiché et donc ne plus se fier à ce qu'ils ressentent mais plutôt fournir une accélération si les temps de passages sont trop faibles, voire même parfois abandonner à cause de ceux-ci. Les applications de running comme Strava (plus grand réseau social pour les athlètes où les performances quotidiennes sont affichées)

vont pousser également cette communauté à « *courir pour les réseaux* » en courant plus et en courant plus vite (Franken, Bekhuis, Tolsma, 2023) influencée par cette comparaison constante avec autrui (Schmid-Kraepelin et al, 2019).

Cette observation s'étend non pas seulement au niveau amateur, mais également au plus haut niveau : le 14 août 2020 à Monaco lors du record du monde du 5000m piste, l'ougandais Joshua Cheptegei a pris le temps de déclencher sa montre lors du départ, de la regarder pendant la course, et d'arrêter le chrono lors de l'arrivée (tout cela à plus de 23km/h) pour ensuite publier son activité sur Strava. Les réseaux sociaux, le partage à une communauté, le regard des autres va donc amener certains athlètes à délaissé leurs corps pour un outil électronique : la montre GPS.

Mon alternance s'est déroulée au Lille Métropole Athlétisme (section U.S Tourcoing), club que j'ai rejoints au cours de ma première année de master et sur lequel j'ai poursuivi cette année en tant qu'entraîneur principal du groupe demi-fond. Une discipline complexe, tant sur le plan physique que sur le plan psychologique, émotionnel. L'entraînement étant déjà difficile, il est pour moi primordial de proposer des entraînements variés, novateurs, en m'éloignant de la monotonie des 20 tours de pistes à allure V.M.A (vitesse maximale aérobie) parfois, voire trop souvent, proposés.

Nous nous attacherons à explorer les facteurs limitants la performance en athlétisme ainsi que les méthodes d'entraînement classiques et les intensités qui y sont liées, pour ensuite découvrir les connaissances et les concepts liés à la perception de l'effort pour ainsi mieux comprendre comment nos sensations et notre cerveau peuvent influencer la performance dans le milieu sportif et plus particulièrement en demi-fond.

I. Revue de littérature

Nous travaillerons dans ce mémoire sur le rôle que peut avoir la perception de l'effort dans l'entraînement, pour conduire à une optimisation de la performance sportive en athlétisme.

Depuis 1970, avec l'échelle Rating of Perceived Exertion (RPE) proposée par Borg (annexe 1), les modèles de l'entraînement sportif ont su intégrer la perception de l'effort, dans l'évaluation de la charge d'entraînement notamment, mais majoritairement pour prescrire une intensité d'exercice.

Nous verrons donc dans cette revue de littérature l'athlétisme et plus particulièrement les qualités requises pour exceller dans le demi-fond, les méthodes d'entraînement qui ont été et qui sont encore proposées par différents entraîneurs, puis nous nous attacherons sur l'intérêt de la perception de l'effort dans le sport et de son utilisation au sein d'une planification.

1. Athlétisme

1.1 Demi-fond : une première approche de l'entraînement aux sensations

L'athlétisme est sûrement la discipline sportive la plus multidisciplinaire avec plusieurs familles d'épreuves : le sprint (60m au 400m), les épreuves à obstacles (haies, steeple), les sauts (perche, triple saut, saut en longueur, saut en hauteur), les lancers (poids, marteau, disque, javelot), la marche athlétique, ainsi que le demi-fond (800m au 5000m).

Le demi-fond émerge dans les années 1860 dans les pays anglophones qui se disputaient les records sur des distances mesurées en yards. Ce n'est qu'en 1896 lors des premiers jeux Olympiques modernes que l'on retrouvera les distances officielles de nos jours (mesurées donc en mètres). Une épreuve, comme le 800m, était alors considérée comme un sprint long, permettant ainsi l'accès tardif aux femmes d'y participer en 1928.

De son émergence jusqu'aux années 1980, les podiums internationaux du demi-fond et du fond sont trustés par les européens du 800 au marathon. On peut retrouver les pays nordiques en tête, avec les finlandais, les suédois... des pays qui ont été précurseurs du fartleck. Le fartleck, amené par Holmer dans les années 1930, correspond à un jeu de liberté, à une course aux sensations finalement. Car

effectivement à cette époque, il était compliqué d'évaluer son allure sans montre connectée, sans repère. Nous tenions déjà une première approche de l'importance de travailler aux sensation et aux changements de rythmes.

Cette méthode de flexibilité fut alors remplacée par une codification des allures précises à respecter, donc la notion de sensation disparaît avec le fartleck « américain ». (Sordello, 2022)

Ensuite nous avons assistés à l'émergence et à l'hégémonie des pays africains (en particulier kenyane) : tous les records mondiaux actuels sont détenus par des africains du 800m au 10000m sur piste et du 5km au marathon sur route. En seulement 20ans, le pourcentage d'africains dans le top 100 mondial sur marathon est passé de 16 à 94%. (annexe 2) (Marc, 2014).

De nombreux facteurs ont été évoqués pour expliquer la domination de ces athlètes tels que la génétique, leur mode de vie, la spécialisation précoce... (Wirz, 2006).

Mais finalement, le secret des kenyans pourrait être leur réelle compréhension corporelle à travers l'entraînement. Ils ont su conserver la méthodologie première du fartleck « non codifié » sur des sentiers vallonnés, en écartant les séances pistes (parfois pour faute d'accès). D'ailleurs Bob Tahri évoque le fait d'avoir réalisé ses meilleures performances en revenant du Kenya et en ayant fait uniquement des fartleck et très peu d'allure spécifique sur piste (car l'altitude va également freiner les allures, donc pour les occidentaux l'écoute de ses sensations ressenties deviennent essentielles pour s'entraîner qualitativement sur les hauts plateaux et éviter une contre productivité). (Sordello, Tahri, 2017).

1.2 Déterminants de la performance

En 1991, Véronique Billat propose un modèle de la performance sportive conçu pour le milieu de l'athlétisme et plus particulièrement en course de fond (Figure 1). Nous retrouvons différents facteurs englobant la performance et donc la progression de l'athlète comme le mode de vie et l'infrastructure qui l'entoure, les qualités physiologiques (VO₂max), les aspects psychologiques et des qualités biomécaniques en lien avec le développement des qualités motrices de l'athlète. L'aspect cognitif est également mentionné, faisant référence à la connaissance de son potentiel physique et psychique, ce qui signifie que l'athlète doit avoir la capacité à situer à quel niveau d'intensité il se situe, à telle vitesse, à un instant donné, sur un parcours aléatoire.

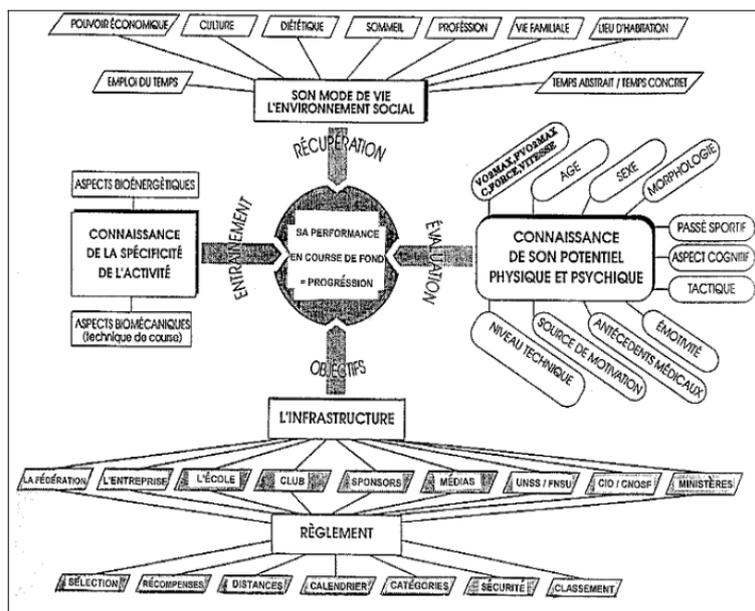


Figure 1 : Modèle de la performance sportive. Billat (1991)

1.2.1 Force - vitesse

Au cours de l'effort, le phénomène de la fatigue musculaire va apparaître, le muscle va perdre sa capacité contractile et ses propriétés élastiques en raison du nombre de pas (le marathonien peut atteindre jusqu'à 35 000 pas). D'où l'importance de la diminution du coût énergétique chez l'athlète pour être le plus économe possible.

La force va donc être un élément majeur dans la performance, en particulier pour l'appareil locomoteur au niveau du rendement énergétique par la restitution de l'énergie élastique à la pose du pied au sol et donc permettre à l'athlète de ne pas s'enfoncer dans le sol lors de la phase d'appui et conserver l'impulsion la plus économe, c'est à dire maintenir cette impulsion sans augmenter le temps de contact au sol conduisant à éviter une utilisation excessive du glycogène et du coût énergétique de sa foulée. La force génère donc plus d'endurance en nous permettant de solliciter VO₂max et nous donnant accès à une réserve de puissance. (Billat, 2015).

Mais sans vitesse, cette réserve de puissance ne peut être exploitée. Effectivement, le fait de travailler toujours à la même vitesse va conduire à une incapacité de changer de rythme.

L'athlète doit élargir son panel de vitesse pour créer cette grande réserve de puissance.

Quelque soit la discipline exercée, en 2001 Billat et al. ont démontré que le facteur limitant entre deux marathonien (l'un en 2h06 et l'autre en 2h11) ayant les mêmes caractéristiques physiologiques, était le record sur 1000m.

Il faut donc augmenter sa puissance maximale (produit de la force par la vitesse) grâce à une réserve de vitesse élevée entre sa vitesse de confort (allure facile / allure 2 à 3 sur 10) et sa vitesse maximale (sprint).

Sans cette production de puissance, nous ne pouvons pas solliciter VO₂max. (Billat, 2018)

1.2.2 VO₂max (débit de la consommation maximale d'oxygène)

Le VO₂max est la capacité fonctionnelle du système de transport de l'oxygène (assimilation - transport - utilisation).

Il détermine la puissance du système aérobie... (Sordello, 2022) mais il est le socle énergétique de tous les exercices courts et longs du sprint au marathon. Effectivement la capacité pour un sprinter à tenir 100m sans perte de vitesse peut être liée à VO₂max, l'oxygène étant le catalyseur de la respiration mitochondriale dans la resynthèse de l'ATP par la navette créatine kinase, et l'oxydant du lactate. (Billat, 2021).

Or, Lacour (1990) a démontré que la corrélation entre le VO₂ et la performance est non significative entre deux coureurs ayant une VO₂max similaire. Il n'est donc pas le facteur majeur limitant la performance sportive.

1.2.2 Les 4 facteurs limitants au plan énergétique

Dans son ouvrage Révolution Marathon (2018), Véronique Billat recense 4 facteurs principaux limitants la performance :

- La perception de la charge physiologique : apprendre à bien gérer ses ressources énergétiques, physiques et psychologiques (car le cerveau va contribuer au degré d'épuisement physique en évaluant les capacités du moment selon la distance à effectuer) grâce à une acuité des sensations ressenties lors des entraînements, compétitions.
- La puissance : avoir une signature de vitesse pour utiliser tous ses métabolismes énergétiques et éviter, en variant la vitesse et la longueur de raccourcissement de la fibre musculaire, une fatigue précoce. Donc un développement de la force et de la vitesse pour courir à un plus faible pourcentage de sa réserve de puissance maximale pour une même vitesse de course.
- L'efficacité cardio vasculaire : le muscle cardiaque doit être performant et donc être capable d'éjecter un grand volume de sang en un temps très court. Le myocarde est un consommateur d'acide lactique pour sa propre concentration donc on va permettre le recyclage de celui-ci. Il est aussi consommateur d'oxygène à haut débit cardiaque, d'où l'importance d'avoir un gros volume

d'éjection systolique et une haute fréquence cardiaque maximale. Donc chaque battement supplémentaire va coûter au myocarde une consommation d'oxygène en croissance exponentielle.

- La tolérance à l'acidose : elle correspond au stockage d'énergie à haute puissance. C'est la capacité à stocker l'énergie (sous forme d'acide lactique : stockage et recyclage ions H+) et à le réutiliser pour la production d'énergie à VO₂max et contribuer donc à la recharge musculaire en créatine phosphate.

Ces facteurs vont alors être un pilier pour la construction de l'entraînement dans la méthode Billatraining que nous évoquerons plus tard, méthode d'entraînement utilisée dans ce protocole.

2. Méthodologie d'entraînement

D'après Sordello (2022), la méthodologie de l'entraînement repose sur quelques facteurs fondamentaux :

- le niveau de spécificité des stimuli (durée d'exercice, vitesse exécution, type de contraction)
- La durée des stimuli
- Le volume (en kilomètre)
- La fréquence d'entraînement
- La densité (rapport entre temps d'effort et temps de récupération)
- La nature et la durée des phases de récupération
- Et le facteur qui va nous intéresser le plus : l'intensité définie par la vitesse / la fréquence cardiaque / le pourcentage de VO₂max et VMA / et je rajouterai donc une intensité définie par un niveau de perception ressenti.

Beaucoup d'entraîneurs préconisent les allures de course et les intensités d'entraînement en fonction du pourcentage de VMA et/ou FCM (fréquence cardiaque maximale), que cela soit pour des allures d'échauffement-récupération souvent définie par 60-65% de VMA ou 65-70% de FCM, jusqu'à des allures visant le développement du VO₂max et donc de la VMA à 95-120% de VMA ou 95-100% de FCM.

2.1 Intensité définie par le pourcentage de VMA / VO2max.

C'est la méthode d'entraînement que l'on retrouve le plus fréquemment, que cela soit dans le milieu scolaire ou dans le milieu sportif (des sports collectifs jusqu'au demi-fond en club).

Elle est souvent caractérisée par des notions de durée : VMA courte, qui inclus donc des répétitions courtes de 100 à 400m, et VMA longue, qui inclus des intervalles longs de 800 à 2000m permettant ainsi théoriquement d'améliorer sa VMA et donc son VO2max.

Elle va également définir des allures de compétition, telles que sur un 10km qui pourrait se courir entre 85 à 90% de sa VMA pour un athlète entraîné.

Sur les tests de VO2max on attend d'observer un certain plateau de consommation maximale d'oxygène correspondant au fait que le sportif ne peut plus capter d'oxygène supplémentaire. Or certains sportifs ne peuvent pas poursuivre leur effort sans atteindre le plateau. De plus, Rice et al en 1999 ont démontré que seulement 47% des sujets (cyclistes professionnels) ont pu atteindre ce plateau, donc que chez certains il y a une absence de plateau lors de ce test. La limitation des performances pourrait alors ne pas dépendre de l'oxygène et donc que la VO2max ne serait pas le facteur limitant leur performance.

Dans une autre étude proposée par Jones (1998), on s'intéresse à l'évolution du VO2max d'un athlète de niveau national pendant 5 ans. Et là aussi on remarque que le VO2max n'est pas un bon prédicateur de la performance car le sujet a amélioré son temps sur 3000m de 46 secondes tout en voyant son VO2max diminué (de 72,8 à 66,7 ml/kg/min) (annexes 3 et 4).

Et ce constat peut se faire également chez les internationaux avec l'évolution de la VO2max de Paula Radcliffe, en 2003 son VO2max a baissé de 5ml/min/kg en 2ans, et pourtant c'est à cette période qu'elle effectue tous ses records du 3000m au marathon (ancien record mondial). Cela s'expliquait en grande partie par l'amélioration de son économie de course pour une même vitesse, elle dépensait moins d'oxygène pour la même vitesse au fil du temps. (annexe 5).

Une autre limite constatée est que le VO2max semble très peu évolué dans le temps surtout chez des athlètes entraînés et même parfois chez les débutants (Arrese et al, 2005). Les études montrant l'inverse s'attachent sur une efficacité de courte durée, donc uniquement sur de l'entraînement à court terme.

2.3 Intensité définie par le pourcentage de Fréquence Cardiaque Maximale

La deuxième méthode adoptée pour s'affranchir des tours de piste va être la Fréquence Cardiaque. Sa mesure correspond aux contractions cardiaques qui sont sensées diminuer au repos et à l'effort (pour une même vitesse) grâce à l'entraînement qui permet un volume d'éjection systolique plus important.

Les athlètes vont souvent chercher à tendre vers la FC de repos la plus faible possible, et si celle-ci augmente alors l'interprétation va se résumer souvent à une récupération incomplète... or l'inverse est vrai aussi, une baisse trop importante de la FC peut être en lien avec du surentrainement.

L'intensité d'effort est prescrite de la même manière que la VMA : à des pourcentage de FCM, qui elle aussi, n'est basée que des formules théoriques qui contient une fourchette d'erreur de plus ou moins 10 battements / minute. Et de la même manière, des allures compétitions sont proposées par ce pourcentage de FCM : donc cela revient à l'athlète de courir un 10km à 190 battements par minute... or la FC suit des fluctuations au cours de l'effort surtout si la stratégie de course conduit à des changements de rythme.

Cette méthode fait donc face à des facteurs qui vont venir remettre en cause sa fiabilité : les fractions d'effort trop courts ne vont pas permettre la stabilisation de la fréquence cardiaque, la température extérieure, l'humidité, la pression atmosphérique, l'altitude, l'alimentation, le stress, le type et surface de parcours va induire des erreurs dans l'analyse de la fréquence cardiaque et donc celle-ci ne peut être considérée comme un indicateur fiable de l'intensité d'effort. (Sordello, 2022)

2.4 Limites de l'entraînement

Or aujourd'hui les records semblent ne plus évoluer, malgré l'apport technologique qui est non-négligeable (nouveaux matériaux utilisées dans les chaussures améliorant ainsi le coût énergétique), nous sommes arrivés à un certain point de rupture en matière d'entraînement classique.

Le record du monde du 800m masculin n'a évolué que de 0,1% en 24 ans, celui du 1500m est quant à lui toujours d'actualité depuis 1998. Même constat chez les femmes, avec un record mondial âgé de 40ans sur le 800m. (annexe 6)

On a alors tenté d'autres moyens d'entraînement depuis 20 ans : l'entraînement en hypoxie (exemple : au Kenya ou à Font Romeu en altitude) ; l'entraînement « *stakhanoviste* » qui privilégie le volume (exemple récent avec le marathonien français Medhi Frère qui a atteint les 300 km en une semaine en préparation marathon...). Mais malgré ces essais de renouveau, le contenu, lui, ne varie pas, limitant ainsi les capacités d'amélioration de la performance sportive. (Billat, 2021).

« Les bases de l'ancienne méthode d'entraînement ou méthode dite classique ont été élaborée en laboratoire à partir d'un modèle de l'exercice à vitesse constante et / ou à vitesse incrémentée. Cette méthode est une impasse qui à terme conduit à la lassitude et à ses signes (blessures, diminution de l'envie de courir) » (Billat, 2021). Nous allons donc nous attacher à la méthode innovante proposée par Billat permettant le développement physique mais aussi psychologique de l'athlète à travers l'entraînement.

2.5 Méthode Billatraining : l'intensité définie par la perception de l'effort

La méthode Billatraining s'affranchit des méthodes citées précédemment pour proposer un entraînement minimaliste (donc loin des nombreuses répétitions intermittentes) basé sur les sensations de l'athlète, prenant en compte sa physiologie (ses qualités et ses faiblesses) et tout le contexte qui peut l'entourer (mode de vie, climat, environnement, budget...).

Cette méthode suit 4 grandes lignes directrices et principes de course selon Révolution Marathon :

- La variation de vitesse :

Partir à une vitesse constante, puis tenir, tenir le plus longtemps possible en s'accrochant parfois à des meneurs d'allures, c'est souvent ce qu'il se produit en compétition.

Or, pour être performant il faut être régulièrement irrégulier. Il faut éviter que le muscle sature, en le faisant travailler au même point de sa courbe tension-longueur et force vitesse. L'athlète aura le temps de régénérer sa créatine phosphate et donc recycler l'acide lactique en acide pyruvique.

D'une part du point de vue psychologique, grâce aux variations de vitesse nous allons éviter le mécanisme de feed forward : la sensation de douleur imaginée tolérée pendant l'effort, donc une certaine tolérance acceptée, à l'atteinte de celle-ci l'athlète va ralentir par modération des signaux physiologiques intégrés au niveau hypothalamique.

Cette atteinte de seuil d'acceptation de douleur va induire des changements biomécaniques néfastes comme un temps de contact au sol plus long. (Billat, 2018).

D'autre part, d'un point de vue physiologique maintenant, on va tendre à la synchronisation des métabolismes aérobie et anaérobie, car ces deux systèmes fonctionnent en synergie pour répondre aux variations de puissance. Il ne faut donc pas courir au même régime de vitesse pour éviter une fatigue énergétique et mécanique.

D'après Billat, attention à ne pas prescrire les entraînements classiques de 30''30'' ou intervalles longs car ils sont traumatisants puisque les coureurs augmentent leurs vitesses brutalement, ces

accélérations brutales vont conduire à l'épuisement sans permettre des adaptations physiologiques. L'entraînement en accélération - décélération a le double avantage de l'entraînement continu (endurance fondamentale) et de l'entraînement fractionné (VMA) : il stimule l'organisme sans l'épuiser, épargne du temps de travail, et prévient les blessures.

Une étude a été menée pour comparer les effets de l'entraînement en endurance et l'entraînement en accélération. Avec seulement 2 séances de 20 minutes pendant 2 semaines, contre 5 séances de 60 minutes pendant 8 semaines, l'entraînement en accélération a montré des gains de puissance supérieur, des gains en VO₂max, une meilleure résistance à l'acidose musculaire, une amélioration de la performance au test VAMEVAL.

L'entraînement en accélération a l'avantage également de ne pas devoir connaître sa fameuse VMA car il fonctionne sur le principe de la sensation, Billat a fait le choix de prescrire les intensités « facile » « moyenne » « difficile », englobant ainsi toutes les intensités d'exercice pour permettre la stimulation de toutes les voies du métabolisme énergétique.

- L'augmentation de sa réserve de vitesse :

Si on s'entraîne toujours de façon monotone avec des séances VMA ou au seuil (seuils ventilatoires), on va rester dans l'incapacité de supporter ces variations de vitesse.

Pour progresser dans la durée il faut miser sur une stratégie qui consiste à repousser notre plafond de vitesse, qui lui est le facteur limitant du VO₂max.

Il faut donc courir plus rapidement sur des courtes durées (10 et 30 secondes) et permettre une marge de sécurité pour partir vite. Vulgairement, il faut que le demi-fondeur soit un bon sprinter pour être endurant et performant. Mais l'inverse est vrai aussi ! Car VO₂max (métabolisme oxydatif) est un facteur limitant de la performance en sprint, les sprinters internationaux parviennent à 100% de VO₂max dès trois secondes d'effort et y reste.

Le développement du métabolisme anaérobie est la condition du développement aérobie et réciproquement. Ils sont interdépendants, on ne pourra pas mobiliser 100% de notre VO₂max que si nous produisons une puissance suffisante dépendante du métabolisme anaérobie. C'est le concept de continuum énergétique.

- Entraînement qualitatif et minimaliste :

L'entraînement qualitatif à base d'accélération / décélération permet de freiner la diminution de force, ainsi que de la masse musculaire pendant le vieillissement. Il faut donc travailler de manière intelligente et minimiser le risque de blessure physique mais aussi psychologique (amotivation, déplaisir, surentraînement).

- Entraînement à l'écoute de ses sensations :

Le cerveau est l'outil majeur de la régulation d'allure, sans pollution du contrôle cognitif par la montre GPS. Attention, il faut quand même utiliser ses outils (montre ; cardio) comme biofeedback (rétro contrôle biologique) pour pouvoir valider ce que l'on a ressenti mais également se rassurer.

De nombreux champions ont su faire confiance à cette perception subjective pour avancer, parmi eux on retrouve les kenyans : Kipchoge lors du marathon de Londres en 2016 qui parvient à le finir en 2h03 (deuxième meilleure performance mondiale de tous les temps à cette époque), ils écoutent tout particulièrement leur corps sur les périodes chargées « s'entraîner aux sensations plutôt que de se forcer... écoute ce que te dit ton corps, comme il se sent » (Wilson Kwambai Chebet, 2017) mais aussi ceux qui sont venus s'entraîner avec eux : Bob Tahri (2017) « quand tu te concentres trop sur le superflu, c'est que tu en a oublié l'essentiel. Là bas l'essentiel c'est courir. » courir, en se focalisant sur la gestion de l'effort, la gestion de sa souffrance.

3. La perception de l'effort : approche interne de l'entraînement

L'utilisation du système sensoriel humain comme outil de prescription de l'intensité est dorénavant commun, particulièrement chez des sujets en réhabilitation ou chez des sujets peu entraînés.

Mais très peu d'entraîneurs dans le haut niveau se sont tentés à s'imprégner totalement de cette méthode dans une optique de performer au plus haut.

Pourtant une étude menée sur des cyclistes a démontré que les cyclistes de haut niveau étaient plus à même de prédire leur performance à temps limite, et avaient donc une conscientisation corporelle plus élevée que des cyclistes de bas niveau. (Garcin et al. 2011).

3.1 Perception de l'effort : une interprétation sensorielle

La perception de l'effort est définie en 1992, par Borg et Neely, comme l'intensité subjective d'effort, d'inconfort, de pénibilité qu'a le sujet en réponse à des stimuli lors de l'exercice physique et correspond à un niveau de pénibilité ressenti au cours de celui-ci. Borg définit alors cette perception par le Rating of Perception of Exhaustion (RPE), pouvant être traduite comme le « taux de perception de l'épuisement ».

Borg (1977) s'est donc intéressé aux dimensions qui entourent la performance, il crée alors le concept de « The Three Effort Continua », les 3 continuum de l'effort : continuum physiologique (FC, VO₂, acidose) ; continuum performance (la distance que l'on peut parcourir en 6 minutes) ; continuum perceptif où la perception de l'effort va jouer un rôle majeur dans notre comportement et dans la façon dont nous nous adaptons à une situation (ralentir, accélérer, abandonner...).

La perception va être affectée par différents processus biologiques, physiologiques et psychologiques comme les douleurs musculaires, l'augmentation de la fréquence respiratoire, l'augmentation de la fréquence cardiaque, le processus de sudation, la motivation, ou encore la tolérance à l'effort.

C'est l'interprétation individualisée de tous ces paramètres qui va conduire à un niveau de perception. (Gros Lambert et Ferréol, 2014).

Le vécu sportif va avoir une influence sur la perception de l'effort grâce à des sensations emmagasinées au fil du temps. (Delorme, 1982).

3.2 Échelles de mesure de la perception d'effort

De nombreuses échelles ont émergé depuis la première proposée par Borg en 1970, une notation allant de 6 à 20 selon des expressions verbales d'effort « nul » à effort « maximal ». (Une notation allant de 1 à 20 a été proposée dans les années 1960 mais non exploitée).

Le sujet doit être initié à l'utilisation de l'échelle pour assurer la fiabilité de compréhension de la notation pendant l'effort.

À la fin de celui-ci, lorsque par exemple le sujet s'arrête, on lui pose la question « À quel niveau de pénibilité perçois-tu cet effort - cette séance ? » .

Depuis, les échelles ont été parfois individualisées selon les activités sportives ou selon le domaine physiologique étudié - prescrits.

Garcin et al. en 1999 élaborent une échelle d'Estimation du Temps Limite, la notation allant de 1 à 20 ici selon la durée d'estimation du temps limite. Ce qui signifie que si le sujet estime qu'il peut tenir 2 minutes la vitesse imposée, alors il sera dans une côte d'effort de 19 / 20. (voire annexe 7)

Borg propose également une autre échelle, plus courte : l'échelle Cr-10. Une notation allant de 1 à 10 qui a été construite pour améliorer l'échelonnement des intensités les plus extrêmes donc elle a l'avantage de pouvoir distinguer les intensités les plus élevées (difficile à maximale) et à faciliter la communication et compréhension chez les sujets. (Borg, 1998).

Borg et Ottoson (1986) ont également proposé une comparaison de notation entre les deux échelles (RPE et Cr-10). (annexe 8)

Foster et al. (1996) adaptent l'échelle Cr-10 de Borg selon une description verbale plus spécifique au domaine sportif, où le 10 est caractérisé par un effort similaire à la compétition la plus dure vécue par le sportif. (Figure 2).

Figure 2 : Échelle de perception de l'effort RPE modifiée. Foster et al. (1996). Traduite par Garcin (2002).

Cotation	Description verbale
0	RIEN DU TOUT (REPOS)
1	TRÈS LÉGER
2	LÉGER
3	MODÉRÉ
4	LÉGÈREMENT DUR
5	DUR
6	
7	TRÈS DUR
8	
9	TRÈS TRÈS DUR
10	SIMILAIRE À MA COMPÉTITION LA PLUS PÉNIBLE

3.3 Perception d'effort dans le domaine sportif

Deux aspects vont intervenir lors de l'effort : l'aspect productif, qui fait référence à l'effort et à la fatigue que la personne tente intuitivement d'appliquer au cours de la séance (l'athlète est donc actif). Et l'aspect réceptif qui correspond à l'évaluation de la pénibilité de la séance à la fin de l'effort (l'athlète est donc passif).

Ces deux aspects sont combinés dans de nombreux sports : les sportifs courent avec l'objectif d'atteindre une certaine côte d'effort (RPE cible), donc un niveau d'intensité, et ils perçoivent ensuite la difficulté réelle de l'effort.

Les échelles de RPE sont utilisées dans différentes catégories d'activité :

- Dans les efforts maximaux de courte durée, où les estimations perceptives sont très utiles pour identifier les niveaux inter maximaux appropriés (exemple : courir à 95% de sa vitesse maximale)
- Dans les efforts maximaux de longue durée, où une performance maximale est exigée sur une durée de plusieurs minutes ou heures. L'athlète doit donc adapter son rythme selon la durée car les distances sont trop longues pour fournir un effort maximal dès le début. Borg (1998) a mené une étude sur la capacité des coureurs à définir leur rythme en fonction d'une certaine intensité perçue, les athlètes entraînés avaient la capacité de maintenir le rythme imposé par la côte d'effort contrairement aux sujets non entraînés en particulier sur le test de Cooper (test de 12 minutes).

3.4 Intéroception

L'intéroception correspond à la capacité de ressentir son corps et à évaluer de manière exacte son activité physiologique (telle que sa FC). Elle regroupe trois dimensions qui définissent l'habileté de ressentir ses états internes, dont la conscience intéroceptive qui va être la capacité à ressentir ses signaux internes. Le développement de cette dimension chez un athlète va permettre à celui-ci de se dépasser, tout en gérant au mieux son effort grâce à une perception fine de sa tolérance à la douleur. Un haut niveau d'intéroception va également affecter positivement la confiance en soi et en ses capacités à performer. (voire annexe 9) (Billat, 2021). Cette confiance va être un paramètre majeur de régulation de la vitesse de course (accélération - décélération), car la confiance en ses sensations résulte d'une synergie entre le plan prévisionnel des allures et le ré ajustement permanent. (Billat et al. 2018). Foster et al. (2003) ont démontré que cette capacité d'auto régulation va être un facteur de performance en course à pied.

3.5 Cerveau et perception d'effort : la tolérance à la douleur

« Le cerveau collecte l'échantillon de nos sensations et lance le pari sur notre état de fraîcheur pour réguler notre allure » (Billat, 2021).

C'est notre cerveau qui va autoriser l'accès à un niveau de souffrance en faisant le calcul du rapport bénéfice / risque. Plus particulièrement le cerveau émotionnel (groupe de structures de l'encéphale) qui va régler notre niveau de perception de l'effort.

Avant la course, l'athlète va s'imaginer une dose de souffrance tolérée (feed forward). Si celle-ci est dépassée, l'athlète va produire un ralentissement « non volontaire » caractérisé par une modération des signaux physiologiques intégrés au niveau hypothalamique mais également par son vécu sportif au cours des entraînements et de ses précédentes compétitions (mémorisation des sensations de pénibilité).

Cette acceptation de la douleur et de niveau de RPE va dépendre également de la distance courue. L'athlète va savoir ajuster son niveau de RPE selon la distance qu'il va courir en ajustant son niveau de tonicité de sa dopamine striatale et de son activation musculaire (grâce à une inhibition des neurotransmetteurs). (annexe 10)

Le cortex pré frontal lui aussi va jouer un rôle fondamental dans la tolérance à l'effort. Son rôle se situe à l'interface entre les sensations et la cognition. Le cortex pré frontal va faire le lien le plus efficient, de ce rapport bénéfice / risque, pour poursuivre l'effort « dur » en restant dans les limites de notre état stable physiologique dynamique. (Billat, 2021).

D'autres paramètres psychologiques vont intervenir dans ce processus de régulation de l'allure tels que les ressources émotionnelles (plaisir - déplaisir à courir : charge affective) qui vont influencer le processus décisionnel à courir à une intensité plus élevée à un moment donné de la course. (annexe 11) (Baron et al. 2011)

Il est possible donc de bloquer, d'entraîner et d'aller au delà de sa fatigue mentale, cet état de pulsion qui oblige à l'action (arrêt, abandon, dépassement...).

La façon dont nous allons nous entraîner va influencer la tolérance à la fatigue et la gestion de l'effort perçu qui est généré par notre cerveau (la fatigue n'étant donc pas un processus physiologique). (Lanthier, 2022).

La fatigue ou l'échec sont des actes d'auto protection, le cerveau doit travailler davantage afin de commander des muscles qui s'épuisent.

On parlera alors du phénomène d'élasticité mentale qui se caractérise par le dépassement de ses limites (imposées à soi-même).

En 2018, Samuele développe le modèle biopsychosocial de la fatigue à l'entraînement et en compétition : dans ce modèle la fatigue commencerait premièrement dans l'activité cérébrale et non pas dans nos muscles. (annexe 12)

C'est donc les sensations plutôt que la douleur physiologique qui va impacter notre allure et l'arrêt de l'activité lors d'un test d'effort maximal volontaire. (Marcora, 2010).

Une étude sur les contractions isométriques maximales a démontré que la fatigue émergerait de la zone du cerveau responsable de la perception consciente de l'effort et qu'un point final physiologique de l'exercice peut ne pas être possible : nous avons toujours une réserve pour aller au delà de nous-mêmes mais un mécanisme inhibiteur central protecteur existe dans le cerveau et limite la production de forces maximales : nos efforts sont donc toujours inférieurs à notre capacité maximale (Noakes)... un exercice simple serait de se demander « suis-je réellement à 10/10 en RPE lors de ma compétition? »

L'intégration de signaux afférents et des informations de notre environnement va permettre une production d'intensité d'exercice durable et acceptable pour préserver l'homéostasie et nos sensations. L'homéostasie se définit comme l'état d'équilibre des constantes pour conduire au fonctionnement optimal de notre organisme, c'est un mécanisme de survie.

Noakes, dans son modèle de Gouverneur Central de la fatigue (2012) , met en évidence que le cerveau régule notre performance en modifiant continuellement le nombre d'unités motrices qui sont recrutées dans les muscles qui s'exercent. (annexe 13).

Le but de ce mécanisme de contrôle subconscient est d'éviter la perturbation de notre homéostasie par une distraction cérébrale limitant notre potentiel.

Ce mécanisme est en lien avec le processus biologique de téléanticipation : la réflexion permanente que l'on peut avoir durant l'effort sur la capacité à adapter notre rythme. Notre cerveau est en permanence en train de calculer, d'évaluer.

Heureusement pour nous, le cerveau humain est en perpétuelle évolution grâce à sa plasticité cérébrale, lui permettant une très grande malléabilité. Les nouvelles expériences d'entraînement, de compétitions réussies ou ratées vont alimenter nos connaissances.

Si le cerveau est stimulé d'expériences nouvelles, alors la création de connexions neuronales vont s'établir. Mais si nous ne tentons rien, les connexions régressent.

En début de saison, l'effort perçu pour un 10km couru en 33 minutes ne sera pas le même qu'en fin de saison lors de notre pic de forme. L'expérience aura fait émerger de nouvelles connexions

neuronales à X intensité. Le cerveau de l'athlète d'endurance se forme par interactions avec l'environnement, par expérience et par variation d'allures. Il faut « stresser » le corps ET le cerveau pour dominer l'effort perçu.

Il existe donc des individus plus à même de supporter la douleur : selon nos deux « cerveaux » :

- Système limbique : Il possède un pouvoir de persuasion. Il est doté d'un pouvoir biochimique qui lui permet d'intimider notre cortex pré frontal et qu'il se soumette. Il soumet donc un plan d'action et nous manipule par le biais de messages chimiques, neuro transmetteurs mais le choix final (abandon) nous appartient toujours. Mais ce cerveau est primordial car il active le mode survie si nous sommes en danger.
- Cortex Pré Frontal : il établit les décisions rationnelles, il produit nos pensées, et oriente notre vie. C'est le « vrai » nous... mais il est plus lent.

L'individu qui aura un cortex pré frontal plus développé et donc la force de contrôler ses pensées sera plus à même d'endurer l'inconfort et faire face à la douleur. L'athlète par son vécu va configurer le cerveau à la sensation d'inconfort.

Le cerveau est donc l'organe qui a la capacité de libérer notre plein potentiel. (Lanthier, 2022).

II. Problématique, objectifs, hypothèses :

1. Problématique :

Mon mémoire s'inscrit dans une réflexion concernant les liens entre les méthodologies d'entraînement basées sur la perception et l'amélioration de la performance chronométrée dans le demi-fond. Pour cela, je tenterai dans ce travail de deuxième année de Master de répondre à la problématique spécifique :

Un athlète à l'écoute de ses sensations lors des entraînements, basés sur la perception de l'effort, aura-t-il une amélioration de sa performance en demi-fond ?

2. Objectifs :

Les objectifs de ce travail sont de déterminer si un entraînement basé sur la perception de l'effort (niveau de pénibilité) permet une amélioration de la performance en demi-fond. Et d'observer si cet entraînement, à l'écoute de ses sensations, est plus efficace qu'un entraînement classique fondé sur des intensités d'allures codifiées à respecter.

3. Hypothèses :

Je pose donc les hypothèses suivantes :

H1 - La performance sportive en demi-fond pourrait être améliorée grâce à un entraînement fondé sur la perception de l'effort.

H2 - Les athlètes ayant suivi un protocole d'entraînement sur les sensations corporelles ont obtenu une amélioration supérieure que les athlètes ayant suivi un entraînement classique.

H0 - Il n'existe pas de lien entre un entraînement aux sensations et la performance sportive en athlétisme.

III. Stage

1. Structure d'accueil

J'ai réalisé mon stage au sein du Lille Métropole Athlétisme dans la section U.S Tourcoing. J'occupe la place d'entraîneur demi-fond, entraînant des athlètes pratiquant la distance du 800m au 3000m steeple.

Le club évolue au plus haut niveau, il se situe à la deuxième place au classement des clubs fédéraux. Beaucoup de néo arrivants débutent à Tourcoing, n'ayant donc pas de référence chronométrique sur demi-fond, il est d'autant plus important d'ajuster un entraînement individualisé grâce et avec la perception de l'effort.

2. Sujets

Le groupe expérimental est composé de 5 athlètes de niveau régional à interrégional, âgés de 14 à 23ans, tous licenciés au sein du club. Ils partagent tous leur quatre séances hebdomadaires sous l’oeil de leur coach. Tous ont rejoint le groupe au cours de l’année 2022 mais n’ont pas le même vécu sportif, ce qui peut influencer la tolérance à la douleur et la gestion de l’intensité d’effort prescrite par le RPE. (Inoue et al, 2022). Mais il faut notifier que le sujet 1 et 2 ont connu une période d’arrêt assez longue avant de reprendre en septembre 2022.

Tableau n°1 : Caractéristiques des sujets expérimentaux						
N° Sujet	Âge (années)	Année de pratique	Année de pratique dans le groupe	Spécialité	Sexe (M/F)	Niveau
Sujet 1	23	9	1	800m	M	IR
Sujet 2	22	10	1	800m	M	IR
Sujet 3	18	4	1	800m	F	IR
Sujet 4	17	1	1	1500-2000m steeple	F	R
Sujet 5	14	7	1	1000m	F	R
Moyenne	18,8	6,2	1			
Écart type	3,70	3,7	0			

Le groupe témoin est également composé de 5 athlètes, de niveau départemental à interrégional, âgés de 15 à 29ans. Ils partagent également leur séance avec le groupe expérimental, mais suivent des intensités différentes lors de celles-ci. Ici, deux athlètes sont déjà entraînés par le coach depuis quelques années.

Tableau n°2 : Caractéristiques des sujets témoins						
N° Sujet	Âge (années)	Année de pratique	Année de pratique dans le groupe	Spécialité	Sexe (M/F)	Niveau
Sujet 1	23	3	3	10km-Semi	M	IR
Sujet 2	29	2	1	800m	F	D
Sujet 3	15	4	1	400m	M	R
Sujet 4	22	1	1	3000m	M	D
Sujet 5	24	11	4	5000m	M	IR
Moyenne	22,6	4,2	1			
Écart type	5,03	4,0	1,4			

3. Matériel et techniques de mesure

Pour évaluer la performance sportive sur 6 minutes (choix du test détaillé ci-dessous dans le Protocole), je m'appuie sur l'entraînement du mardi soir, en début de micro cycle ce qui permet d'optimiser la fraîcheur physique et psychologique des athlètes. Le détail de la performance se fait par chronométrage manuel (montres Garmin 245 - 255). Le pré test se déroulera une semaine après la reprise de la saison estivale, qui est précédée d'une coupure d'une semaine.

Le test 1/2 Cooper (6 minutes) se court sur une piste de 400m en tartan, individuellement, permettant ainsi de limiter les facteurs externes pouvant faire varier la performance (adversité), mais il y aura des facteurs pouvant limiter la performance comme les conditions météorologiques (température extérieure, vent, pluie, froid, chaleur, humidité...), une étude de Mantzios et al. en 2022 a démontré les effets positifs des températures de l'air comprises entre 10 et 17,5° sur la performance en endurance, en dehors de ces conditions optimales la performance pourrait diminuer de 0,3 à 0,4%. J'ai également briefé les athlètes sur le test leur rappelant que c'est un test d'effort à intensité maximale, ils doivent donc exprimer le meilleur d'eux-mêmes physiquement et mentalement.

4. Protocole

Étape 1 : Pré test : Déterminer la V.M.A des deux groupes via un test normé.

Pour déterminer la V.M.A des athlètes, j'utiliserai le test 1/2 Cooper : 6 minutes d'effort où l'objectif est de parcourir la plus grande distance possible dans ce temps imparti. Un test s'effectuant sur une piste normée de 400m à Tourcoing en début de semaine (mardi à 18h30).

Un échauffement de 15 minutes de footing à allure facile (2/10), des étirements balistiques, des gammes athlétiques et trois accélérations progressives sur 50 mètres précéderont le test (voire annexe 12 : détail complet de l'échauffement). Le test s'effectue seul pour limiter la variable « adversaire ». J'ai choisi le test 1/2 Cooper (6') pour plusieurs raisons : sa reproductibilité, ce test est simple à mettre en place et facile à reproduire pendant la saison ; sa compréhension, les athlètes comprennent facilement la logique interne de ce test qui est de fournir un effort maximal pendant 6 minutes pour parcourir le plus de mètres possible dans ce temps imparti. Contrairement au test VAMEVAL où beaucoup d'athlètes ont parfois des difficultés à comprendre la gestion de l'effort, et

surtout à se situer par rapport à des plots et un signal sonore conduisant l'allure à suivre... Et donc en lien avec cette difficulté, je ne souhaite pas que les athlètes ajustent leur allures en fonction d'une contrainte (signal sonore), car c'est contraire à ma logique d'entraînement : un entraînement aux sensations, se faire confiance pendant 6 minutes, pour peut-être réajuster son allure car départ trop rapide ou trop lent, ce qui n'est pas possible sur d'autres tests triangulaires. Ici, l'athlète est libre d'imprimer son propre test. Selon le modèle proposé par Gros Lambert et al. (2014) inspiré du modèle Gouverneur Central de Noakes, le cerveau de l'athlète va lui permettre donc de gérer et surtout réguler / ajuster son effort selon plusieurs facteurs (son expérience personnelle, la connaissance de la durée d'effort restante, l'analyse du système nerveux central, variations physiologiques induites) et d'une gestion sous un modèle de régulation en feedback (Figure 3). Son lien avec la logique interne de la compétition en demi-fond : le test VAMEVAL qui est un test triangulaire, demande au sportif de partir à une vitesse très lente puis d'accélérer progressivement chaque minute jusqu'à épuisement. Or le schéma de compétition ne ressemble pas à ce schéma de vitesse progressive, le sportif en compétition doit généralement appliquer un départ rapide puis varier ses allures pour finir très vite sur la fin. Cela me servira donc de pré-test dans la détermination de la performance de chaque athlète.

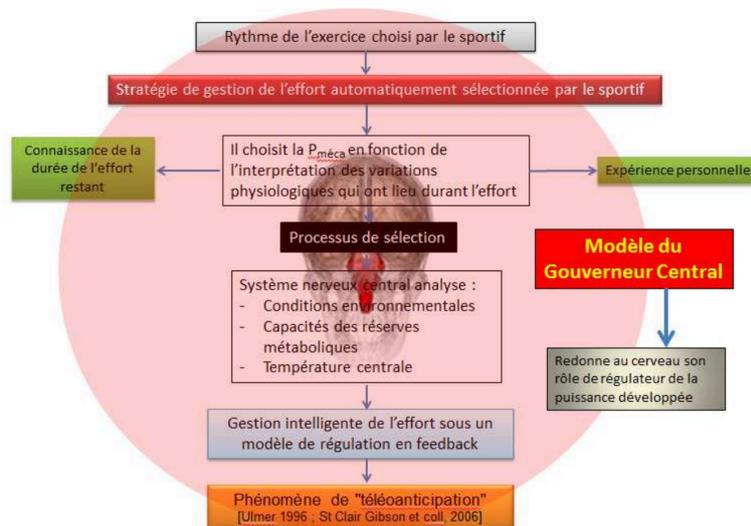


Figure 3 : Mécanisme de contrôle et de régulation de la puissance durant l'effort à partir du gouverneur central (2014, Gros Lambert et al.)

Étape 2 : Réaliser un méso cycle de six semaines axé sur le développement des 4 facteurs limitants au plan énergétique

Le groupe expérimental et le groupe témoin vont suivre un méso cycle de six semaines (durée d'un mésocycle pour développer la capacité aérobie donc la performance : Guimenez, 1982) composées de quatre séances (volume de 24 séances au total). Le contenu de la séance (volume et récupération) seront exactement les mêmes. La seule différence sera sur **l'intention des allures** : le groupe expérimental se verra avoir des allures basées sur l'échelle Cr-10 de Borg (reprise par Foster : Figure 2) : un effort devant être maintenu à un **niveau de pénibilité ressenti** (1 étant très léger, 10 étant maximal) pendant l'effort.

Une étape de familiarisation sera nécessaire, l'échelle sera présentée aux athlètes avant de commencer l'entraînement pour assurer la compréhension de la notation d'effort perçu, mais également la fiabilité des données de l'entraînement.

Un panel de questions va être posé pour s'assurer que l'athlète sait évaluer des intensités, et qu'il ne sous estime ou surestime pas celles-ci :

- *Comment percevez vous le record du monde de Usain Bolt sur 100m (9"58) ?*
- *Comment percevez vous l'acidité d'un pamplemousse ?*
- *Comment percevez vous la perte d'un proche ?*
- *Comment percevez vous l'effort d'un 100km dans le désert sahararien ?*

Le groupe témoin auront eux des allures précises à respecter en fonction du pré test réalisé selon leur % de V.M.A.

Le contrôle de la pénibilité de l'effort durant l'entraînement suivra le même protocole pour chaque séance : l'entraîneur demandera trente secondes après la fin de la séance le RPE de manière individualisée, car la présence et la réponse d'autrui va influencer la côte d'effort ressenti du sportif. (Borg, 1998).

Exemple semaine 1 : 1 séance efficacité cardiaque (C) + 1 séance de force-vitesse (F) + 1 séance de tolérance à l'acidose (TL)

Groupe témoin :

1. C : 20' footing à 60% VMA + éducatifs + étirements actifs + accélérations progressives + 15 minutes à 80% VMA avec une accélération à 100% VMA toutes les minutes sur une durée de 5 secondes + 5 minute de récupération à 60% VMA
2. F : 15' footing à 60% VMA + bloc de 21 minutes à allure 78% VMA avec sprints de 30m toutes les 3 minutes (donc 7 sprints)
3. TL : 15' footing à 60% VMA + éducatifs + étirements actifs + accélérations progressives + 6x(400m en progressif de 100 à 120% VMA) récupération active 4 minutes à 60% VMA.

Groupe expérimental :

1. C : 20' footing à intensité 2/10 + éducatifs + étirements actifs + accélérations progressives + 15 minutes à intensité 6/10 avec une accélération à intensité 8/10 toutes les minutes sur une durée de 5 secondes + 5 minute de récupération
2. F : 15' footing à intensité 2/10 + bloc de 21 minutes à allure 5/10 VMA avec accélérations maximales de 5'' toutes les 3 minutes (donc 7 accélérations maximales)
3. TL : 15' footing à intensité 2/10 + éducatifs + étirements actifs + accélérations progressives + 6x(400m en progressif d'intensité 7 à 9/10) récupération active 4 minutes à 1/10 VMA.

Étape 3 : Post Test : Déterminer la performance sur un test V.MA des deux groupes après entraînement

À la suite des six semaines d'entraînement : Réalisation du post test 1/2 Cooper 6 minutes dans les mêmes conditions qu'au pré test : même jour, même heure, même piste, test réalisé seul, même échauffement et même chaussure. L'objectif sera de déterminer l'amélioration, ou non, de la performance sportive sur ce test à intensité maximale, où la distance parcourue doit être supérieure à celle de pré test. Pour ensuite comparer les données des deux groupes et observer lequel a le plus amélioré sa performance. Mais également s'intéresser aux résultats individuels de chacun.

5. Analyse Statistique

Pour étudier la corrélation entre l'entraînement à la perception d'effort et la performance en demi-fond, nous comparons donc une population expérimentale (5 athlètes) et une population témoin (5 athlètes), deux échantillons appariés. Je vérifie ensuite la normalité (Shapiro Wilk) et l'homogénéité des variances (test Levene) pour déterminer si j'utilise un test paramétrique, dans ce cas-là le test Anova pour échantillons appariés. Puis pour valider l'hypothèse 2 et observer quelle méthode est la plus efficace, j'utiliserai un Student Test.

IV. Résultats :

Sujets	Test 1/2 Cooper : VMA sur 6 minutes			
	Groupe Sensation		Groupe Classique	
	Avant	Après	Avant	Après
1	19,01	19,91	19,90	20,06
2	18,55	18,97	14,40	14,86
3	17,00	17,50	16,10	16,40
4	16,36	17,10	15,80	16,32
5	15,15	16,15	20,60	21,00
moyenne	17,21	17,93	17,36	17,73
écart ty	1,58	1,50	2,73	2,65
% amélioration moyenne	4,213		2,219	
Normalité	0,76	0,82	0,30	0,32
homo vari	0,70			

Les résultats démontrent que les dix sujets, des deux groupes, ont obtenu une amélioration de leur performance sur le test de 6 minutes, parcourant ainsi plus de distance qu'au pré test.

Le groupe Sensation a vu sa moyenne passée de 17,21 à 17,93 km/h, avec une amélioration moyenne du groupe à 4,21%.

Le groupe Classique a vu sa moyenne passée de 17,36 à 17,73 km/h, avec une amélioration moyenne du groupe à 2,22%.

Grâce au test de Shapiro Wilk nous avons pu admettre la normalité des données. Le test de Levene a démontré l'homogénéité des variances. Nous permettant ainsi d'effectuer le test ANOVA à deux facteurs (facteur entrainement et facteur temps) à mesure répétées.

Sujets	Test 1/2 Cooper : VMA sur 6 minutes			
	Groupe Sensation		Groupe Classique	
	Avant	Après	Avant	Après
1	19,01	19,91	19,90	20,06
2	18,55	18,97	14,40	14,86
3	17,00	17,50	16,10	16,40
4	16,36	17,10	15,80	16,32
5	15,15	16,15	20,60	21,00
moyenne	17,21	17,93	17,36	17,73
écart ty	1,58	1,50	2,73	2,65
% amélioration moyenne	4,213		2,219	
Normalité	0,76	0,82	0,30	0,32
homo vari	0,70			
ANOVA facteur entraînement				0,98549
ANOVA facteur temps				0,00003
ANOVA interaction entre les deux				0,02797

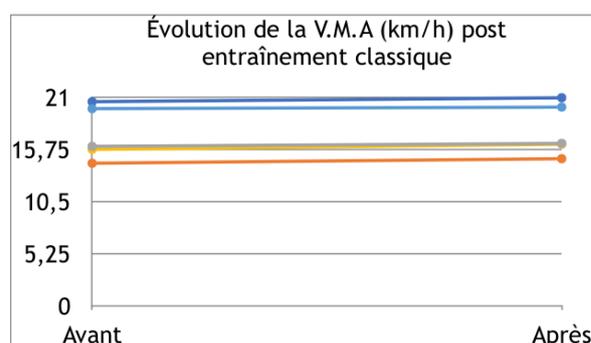
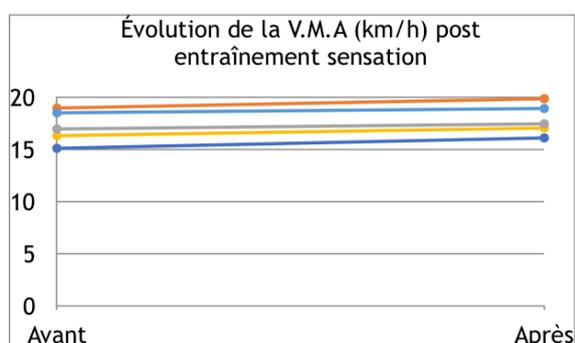
On observe une différence significative pour le facteur temps et pour l'interaction entre les deux facteurs, avec une P value inférieure au seuil de significativité fixé à 0,05.

Pour le facteur entraînement, nous n'observons pas de différence significative.

Test Student intra groupe	0,00310108873411021	0,00439131169001307
	Différence significative	Différence significative
Test Student inter groupe	0,920094017	0,888099392

Au vu des résultats significatifs avec le test Anova, j'ai poursuivi sur un test Student pour valider ou non l'hypothèse H2, qui est de savoir si le groupe sensation a obtenu une amélioration significativement supérieure au groupe classique sur le test après entraînement.

Or, les résultats démontrent que les deux groupes ont ici aussi une amélioration significative post entraînement avec un $p < 0,05$, mais qu'il n'y a pas de différence entre le groupe classique et le groupe sensation.



Nous pouvons donc observer que :

- L'entraînement basé sur les sensations semble améliorer significativement la performance sportive sur 6 minutes.
- L'entraînement basé sur le pourcentage de V.M.A et sur des allures à respecter semble améliorer significativement la performance sportive sur 6 minutes.
- Il n'y a pas de différence significative entre l'entraînement classique et l'entraînement aux sensations pour l'amélioration de la performance sur le test 6 minutes.

V. Discussion :

Rappelons les hypothèses :

H1 - La performance sportive en demi-fond pourrait être améliorée grâce à un entraînement fondé sur la perception de l'effort.

H2 - Les athlètes ayant suivi un protocole d'entraînement sur les sensations corporelles ont obtenu une amélioration supérieure que les athlètes ayant suivi un entraînement classique.

H0 - Il n'existe pas de lien entre un entraînement aux sensations et la performance sportive en athlétisme.

Grâce à l'analyse statistique et aux résultats obtenus nous pouvons en déduire que :

H0 est rejetée, **H1** est validée. Les résultats ont démontré des valeurs améliorées significativement, on peut donc en déduire que l'entraînement basé sur les sensations semble être une méthode efficace pour améliorer la performance sportive en demi-fond.

H2 est rejetée. Effectivement, l'objectif de ce mémoire était également de démontrer que la méthode basée sur les sensations est plus efficace qu'une méthode traditionnelle avec des allures à respecter. Or, l'analyse statistique démontre premièrement que la méthode classique semble être également une méthode appropriée pour améliorer ses performances, mais aussi qu'il n'y pas une méthode plus efficace que l'autre du point de vue de cette analyse statistique.

Sujets	Test 1/2 Cooper : VMA sur 6 minutes	
	Groupe Sensation	Groupe Classique
	% amélioration	
1	4,73	0,80
2	2,26	3,19
3	2,94	1,86
4	4,52	3,29
5	6,60	1,94
MOYENNE %	4,21	2,22

Or, si l'on s'intéresse d'un point de vue plus individuel, car l'individualisation de l'entraînement reste un élément majeur, on voit que le groupe sensation a obtenu les plus hauts pourcentage d'amélioration de leur distance sur 6 minutes et que la moyenne du groupe sensation est 1,99% supérieure à celle du groupe classique.

D'après la méta analyse de Inoue et al, (2022) il existe quelques limites dans la prescription de l'entraînement basé sur le RPE entre ce que prescrit/observe l'entraîneur dans les séances à catégorie d'effort « facile », où celle-ci est sous-estimée par l'entraîneur. Il n'y a donc pas de concordance entre ce qu'effectue athlète et ce que prescrit l'entraîneur pour les efforts à intensité facile, ce qui peut rendre la capacité de récupération plus difficile chez l'athlète.

Un paramètre qui aurait également pu changer les résultats du test 6 minutes est le facteur adversité, qui peut devenir un facteur motivationnel, or l'effort fourni va dépendre de la motivation potentielle qui va pousser l'athlète à tenir son effort perçu maximal le plus longtemps possible. (Lanthier, 2022). L'objectif motivationnel de performer débute dans le cortex pré frontal, ce même cortex qui gère la tolérance à l'effort et la poursuite ou non de l'effort dans une zone inconfortable pour notre état physiologique dynamique. (Billat, 2021).

La tolérance des sensations physiologiques peut être modulée par des facteurs psychologiques comme la motivation et la présence d'adversaire. Ce qui nous laisse supposer qu'avec de l'adversité, et donc plus de motivation, certains athlètes auraient pu aller plus vite sur le pré et le post test.

Un autre facteur limitant du test va être la stratégie de course adoptée, il a été démontré que réduire la vitesse pour l'augmenter de nouveau permet soit d'augmenter encore VO2 soit d'augmenter la durée du plateau à VO2max (Petot, 2012).

Le test de Cooper est unique, contrairement aux autres tests VMA, il réside dans le fait que le coureur va laisser libre cours à ses sensations, il peut gérer la distance et le temps. Certains tentent encore de contrôler les dernières secondes, alors que d'autres vont aller au bout d'eux même pour

finir dans la zone d'effort située à 10/10. Il aurait été donc intéressant d'analyser les stratégies individuelles de chacun et voir quelle stratégie aurait été la plus efficace (plateau constant - plateau en U...). Une tendance a été effectuée mais uniquement sur le groupe expérimental, j'ai observé que lors du pré test les athlètes avaient plutôt opté pour un plateau constant, ralentissant de plus en plus parfois. Alors que lors du post test, cette tendance s'inversait, on observait un départ rapide, puis un ralentissement, pour ensuite accélérer sur la dernière minute. Ils s'étaient donc adaptés à la méthodologie d'entraînement en accélération-décélération sans aucun feedback.

D'autres facteurs comme la fatigue mentale sont à prendre en compte, d'après l'étude de Marcora en 2009, qui démontre que lorsque le cerveau est fatigué, par une tâche épuisante mentalement, les performances se voyaient diminuer jusqu'à 15,1% sur un test de contre la montre en vélo stationnaire, cela s'expliquait tout simplement par le fait que lorsque le cerveau est fatigué, exécuter un effort physique devient plus difficile dès le début de celui-ci, l'effort perçu se voyait augmenter. Les différences de variable physiologique n'étaient pas notables (FC, pression sanguine, taux de lactatémie, consommation oxygène...), les niveaux de motivation étaient également les mêmes. La fatigue mentale est difficilement mesurable mais elle constitue un facteur limitant la performance d'endurance, en particulier si les athlètes sont en période d'examen. L'entraînabilité de l'endurance du cerveau reste possible, le cerveau deviendrait plus adaptable à une fatigue mentale, tout comme le corps qui s'adapte à l'entraînement et devient résistant à une fatigue physique.

Il a d'ailleurs été démontré avec la tâche de Stroop (épuiement de la réponse à l'inhibition via une tâche mentale) que les coureurs professionnels, contrairement à des cyclistes amateurs entraînés, avaient développé la capacité à résister aux effets de la fatigue mentale, leurs esprits s'étaient donc adaptés. (Martin et al, 2016). Le niveau de l'athlète va donc impacter la faculté à être moins affecté par une fatigue mentale, mais ici dans le protocole le groupe n'incluait pas d'athlètes professionnels. Il y aurait donc un intérêt à renforcer l'endurance du cerveau en s'appuyant sur les deux systèmes de Kahneman : un système intuitif qui offre des réponses rapides, automatiques (Gouverneur Central de Noakes : inconscience pour nous protéger) et un système plus analytique qui requiert de l'engagement mais qui nous donne la possibilité de surpasser la réponse instinctive du système intuitif (ralentir : Modèle Marcora : conscience).

La perception de l'épuiement est le meilleur indicateur du degré d'effort physique, car il intègre l'information des muscles, articulations, du système respiratoire, du système cardiovasculaire, et du système nerveux central. (Hutchinson, 2019).

Pour aller plus loin, il aurait été intéressant d'évaluer les activités cérébrales et d'observer les évolutions post entraînement. Car d'après une étude de Nybo et Nielsen en 2001, l'augmentation de la perception de l'effort n'est pas reliée à l'activité musculaire, mais plutôt aux activités cérébrales. On pourrait observer la différence de capacité à tolérer la douleur, la capacité à manipuler son cerveau pour aller au delà de ses propres limites, capacités physiques grâce à ses capacités neuronales. Le niveau de l'athlète, d'amateur à entraînés à élite, peut affecter également cette tolérance à la douleur, l'étude du test du Tourniquet de Gijssbers en 1981, a démontré que le seuil de douleur était le même pour tous les athlètes (nageurs élités VS nageurs club VS non sportifs) mais on observait des différences dans la tolérance à la douleur surtout chez les élités qui sont prêts à tolérer plus de douleur. Ces tests furent réitérés à différents moments de l'année chez les nageurs élités, on observa que leur tolérance croît et décroît en fonction des cycles d'entraînement, le score le plus haut sur la tolérance était en juin, période où le pic de performance était produit. Laissant supposer que si le test de 6' avait été mené plus tard dans la saison, les résultats auraient été améliorés surtout chez les athlètes qui ont un meilleur niveau.

Il aurait été également intéressant de proposer plusieurs prescriptions d'effort :

- le RPE avec l'échelle CR10, initialement choisie dans ce protocole expérimental
- mais également via la méthode BillaTraining qui prescrit des intensités d'effort de « très facile » à « très difficile », Billat (2018) a d'ailleurs fait le choix de ne pas prescrire ses intensités via une échelle de RPE car jugée « très fine et difficilement utilisable sur le terrain ». Elle utilise donc 5 niveaux de perception qui sont distinguables aussi bien chez l'enfant de 10ans que chez les adultes. La transcription de ces allures équivalent à : facile = 65% très difficile ; moyen = 80% très difficile ; difficile = 90% très difficile ; sprint = 120% très difficile... avec une variation intra allure de 16, 13 et 12% dans les courses à consigne facile, moyen et difficile. (Feret, 2018).
- ou encore via des intentions d'effort comme « très lent » à « très rapide ». Car le cerveau de chaque individu pourrait réagir de manière négative à l'intention « *difficile* », l'acceptation d'aller dans une zone « difficile » pourrait freiner l'athlète à effectuer cet effort.

VI. Conclusion :

La problématique était :

Un athlète à l'écoute de ses sensations lors des entraînements, basés sur la perception de l'effort, aura-t-il une amélioration de sa performance en demi-fond ?

Nous pouvons donc répondre qu'un athlète ayant suivi un entraînement de 6 semaines basé sur l'échelle CR-10 de Borg, à l'écoute de ses sensations, sans retour de ses allures ou de sa fréquence cardiaque, semble obtenir une amélioration de sa performance en demi-fond sur le test d'épuisement maximal d'une durée de 6 minutes.

Cependant, nous pouvons également dire que le groupe ayant suivi un entraînement classique avec des allures précises à respecter selon un pourcentage de Vitesse Maximale Aérobie, ont également obtenu des résultats similaires. Malgré cela, lorsqu'on s'intéresse plus individuellement à la performance, on voit que les athlètes du groupe sensation ont obtenu des meilleurs pourcentages d'amélioration de leur performance.

Mon étude m'a servi à opter pour une nouvelle méthodologie d'entraînement qui semble aussi efficace sur le plan physique qu'une méthode classique. Or, du point de vue de la monotonie, de l'innovation mais également aussi sur le long terme, cette méthode me semble plus adaptée pour l'athlète sur le plan mental et éviter un surentraînement (caractérisé par la monotonie également des 20x400m à 100% de VMA par exemple). Comme mentionné dans mon introduction, les améliorations technologiques comme la montre GPS vont desservir le lien entre la perception et l'action. Or, la perception de l'effort représente la centralité de l'effort, elle va dicter le temps pendant lequel on peut soutenir telle intensité, plus que n'importe quelle autre variable physiologique. Donc si un athlète regarde sa montre, sa FC avant d'accélérer ou ralentir, alors il va insérer une étape extra cognitive qui relève d'une estimation imparfaite de la façon dont il se sent réellement plutôt que de la sensation elle-même. (Hutchinson, 2019).

De plus, cette méthode me permet de me distinguer des autres entraîneurs, en lien avec mon projet professionnel qui est de devenir entraîneur de haut niveau, il faut être différent et proposer quelque chose d'innovant, créatif pour surprendre en permanence l'athlète et sa façon de voir son corps et son esprit.

Ayant toujours testé les méthodes sur moi avant de les appliquer sur mes athlètes, cette méthode m'a permis de mieux me connaître, de ne plus aller au delà de mes limites à l'entraînement, d'après Jakob Ingebrigtsen en 2023 après son record du monde sur le 2 miles « *s'entraîner trop dur est la plus grande erreur commise par les autres athlètes, je ne cours jamais plus vite à l'entraînement qu'en compétition* », mais j'essaye d'aller au delà de mes limites en compétition, en me posant tout simplement cette question « Suis-je vraiment à 10/10 ? », le plus souvent la réponse est non, on peut toujours repousser notre tolérance à cette douleur émise par le cerveau.

VII. Références bibliographiques :

Arrese, A. L., Ostáriz, E. S., Mallen, J. C., & Izquierdo, D. M. (2005). The changes in running performance and maximal oxygen uptake after long-term training in elite athletes. *Journal of sports medicine and physical fitness*, **45**(4), 435. <https://www.proquest.com/openview/d8f609b5d681034c08fc858065e3a203/1?pq-origsite=gscholar&cbl=4718>

Baron, B., Moullan, F., Deruelle, F., & Noakes, T. D. (2011). The role of emotions on pacing strategies and performance in middle and long duration sport events. *British Journal of Sports Medicine*, **45**(6), 511-517. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2009.059964>

Billat, V. (1991). *Course de fond et performance*. Editions Chiron. Paris.

Billat, V. L., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., & Koralsztein, J. P. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine and science in sports and exercise*, **33**(12), 2089-2097. https://publications.billattraining.com/publications/2001/Billat_physical_training_characteristics_top_class_marathon_runners.pdf

Billat, V. (2015). *Entraînement pratique et scientifique à la course à pied: la méthode Billat-Training*. De Boeck Supérieur.

Billat, V., Brunel, N. J., Carbillet, T., Labbé, S., & Samson, A. (2018). Humans are able to self-paced constant running accelerations until exhaustion. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **506**, 290-304. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.04.058>

Billat, V. (2018). *Révolution marathon*. De Boeck Supérieur.

Billat, V. (2021). *Physiologie de l'entraînement et de la performance sportive: De la pratique à la théorie*. De Boeck Supérieur.

Billat, V., & Bazin, S. (2021). *Révolution trail*. De Boeck Supérieur.

Bigrel, F. (2015). *La performance humaine: Trois univers de compréhension*. Direction de la jeunesse et des sports de la Nouvelle-Calédonie. http://erfan-grenoble.fr/sites/default/files/docmb_la_perf_humaine_f_bigrel_2015.pdf

Borg, G. (1977). General Introduction: Psychophysiological studies of the three effort continua. In *Physical work and effort* (pp. 1-10). Pergamon.

Borg, G., & Neely, G. (1992). On the perception of exertion and some psychophysiological relations. *Fechner Day*, **92**, 47-52.

Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human kinetics.

Delorme, A. (1982), *Psychologie de la Perception*, Montréal, Éd. Études vivantes.

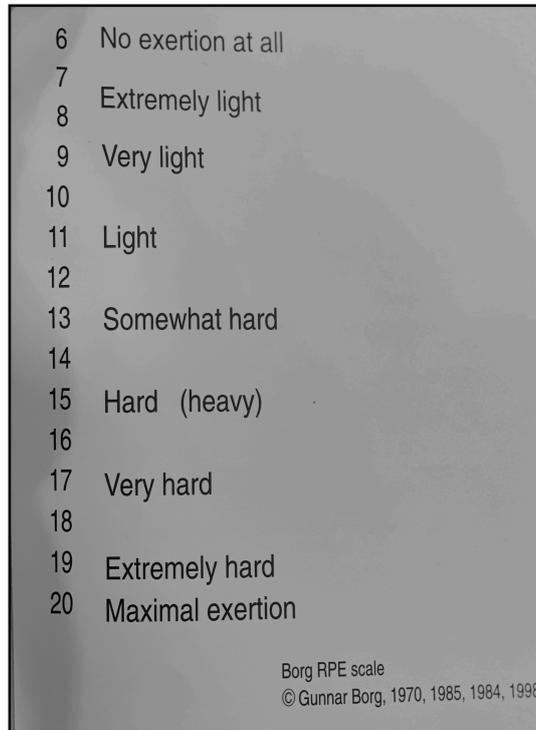
Diniz, Y. (2022). *Conférence Le Vestiaire*. Sport Unlimitech Lille.

- Foster, C., Daines, E., Hector, L., Snyder, A. C., & Welsh, R. (1996). Athletic performance in relation to training load. *Wisconsin medical journal*, 95(6), 370-374. <https://europepmc.org/article/med/8693756>
- Foster, C., De Koning, J. J., Hettinga, F., Lampen, J., La Clair, K. L., Dodge, C., ... & Porcari, J. P. (2003). Pattern of energy expenditure during simulated competition. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(5), 826-831. [10.1249/01.MSS.0000065001.17658.68](https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000065001.17658.68)
- Franken, R., Bekhuis, H., & Tolsma, J. (2023). Kudos make you run! How runners influence each other on the online social network Strava. *Social Networks*, 72, 151-164. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378873322000909>
- Garcin M., Vandewalle, H., & Monod, H. (1999), « A new rating scale of perceived exertion based on subjective estimation of exhaustion time », *International Journal of Sports Medicine*, vol. 20, n° 1, janvier, pp. 40-43. [10.1055/s-2007-971089](https://doi.org/10.1055/s-2007-971089)
- Garcin, M. (2002). Utilisation des échelles de perception dans le contrôle de la charge d'entraînement. *Cahiers de l'INSEP*, 33(1), 267-274.
- Garcin, M., Coquart, J. B., Robin, S., & Matran, R. (2011). Prediction of time to exhaustion in competitive cyclists from a perceptually based scale. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(5), 1393-1399. [10.1519/JSC.0b013e3181d67fd6](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d67fd6)
- Gros Lambert, A., & Ferréol, G. (2014). Perception de l'effort: Application dans les domaines de l'Éducation physique, du sport et de la santé. *laboratoire C3S (Culture, Sport, Santé, Société) rattachée à l'Université de Franche-Comté*, 14.
- Gimenez, M., Cereceda, V., Teculescu, D., Aug, F., & Laxenaire, M. C. (1982). Square-wave endurance exercise test (SWEET) for training and assessment in trained and untrained subjects. III. Effect on VO₂ max and maximal ventilation. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 49(3), 379-387. [10.1007/BF00441299](https://doi.org/10.1007/BF00441299)
- Hutchinson A., Pauly O., Gladwell M. (2019). Endurance: l'esprit, le corps et les curieuses limites élastiques de la performance humaine. Amphora.
- Inoue, A., dos Santos Bunn, P., do Carmo, E. C., Lattari, E., & da Silva, E. B. (2022). Internal Training Load Perceived by Athletes and Planned by Coaches: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine-Open*, 8(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00420-3>
- Jones, A. M. (1998). A five year physiological case study of an Olympic runner. *British journal of sports medicine*, 32(1), 39-43. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.32.1.39>
- Lacour, J. R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthelemy, J. C., & Dormois, D. (1990). The energetics of middle-distance running. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 60(1), 38-43. [10.1007/BF00572183](https://doi.org/10.1007/BF00572183)
- Lanthier. (2022). Sans limites: comprendre le cerveau de l'athlète d'endurance pour mieux performer. Guérin - Éditions Paulsen.

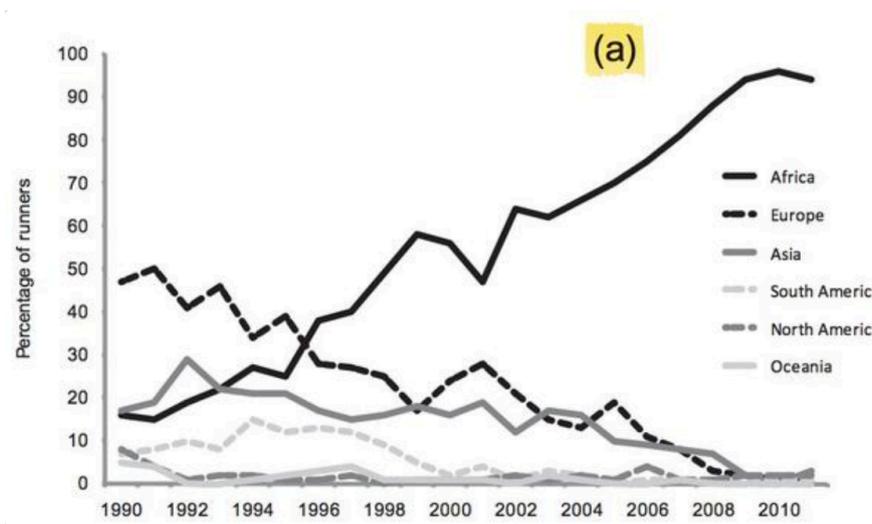
- Mantzios, K., Ioannou, L. G., Panagiotaki, Z., Ziaka, S., Périard, J. D., Racinais, S., ... & Flouris, A. D. (2022). Effects of weather parameters on endurance running performance: Discipline-specific analysis of 1258 races. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *54*(1), 153. [10.1249/MSS.0000000000002769](https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002769)
- Marc, A., Sedeaud, A., Guillaume, M., Rizk, M., Schipman, J., Antero-Jacquemin, J., ... & Toussaint, J. F. (2014). Marathon progress: demography, morphology and environment. *Journal of sports sciences*, *32*(6), 524-532.
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of applied physiology*. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
- Marcora, S. M., & Staiano, W. (2010). The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle?. *European journal of applied physiology*, *109*, 763-770. [10.1007/s00421-010-1418-6](https://doi.org/10.1007/s00421-010-1418-6)
- Martin, K., Staiano, W., Menaspà, P., Hennessey, T., Marcora, S., Keegan, R., ... & Rattray, B. (2016). Superior inhibitory control and resistance to mental fatigue in professional road cyclists. *PloS one*, *11*(7), e0159907. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159907>
- Noakes, T. D. (2012). Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behavior to ensure the protection of whole body homeostasis. *Frontiers in physiology*, *3*, 82. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00082>
- Rice, A. J., Thornton, A. T., Gore, C. J., Scroop, G. C., Greville, H. W., Wagner, H., ... & Hopkins, S. R. (1999). Pulmonary gas exchange during exercise in highly trained cyclists with arterial hypoxemia. *Journal of Applied Physiology*, *87*(5), 1802-1812. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.5.1802>
- Sarkar, M., & Marcora, S. (2018). *Sport and the Brain: The Science of Preparing, Enduring and Winning, Part C*. Academic Press.
- Schmidt-Kraepelin, M., Thiebes, S., Stepanovic, S., Mettler, T., & Sunyaev, A. (2019, February). Gamification in health behavior change support systems-A synthesis of unintended side effects. In *Proceedings of the 14th International Conference on Wirtschaftsinformatik* (pp. 1032-1046). https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_4B8751E9C432.P001/REF.pdf
- Scott, V., & Gijssbers, K. (1981). Pain perception in competitive swimmers. *Br Med J (Clin Res Ed)*, *283*(6284), 91-93. <https://doi.org/10.1136/bmj.283.6284.91>
- Sordello, J., & Tahri, B. (2017). *Running—Les Secrets de l'Entraînement Kenyan: Voyage au cœur de la réussite kenyane*. Amphora.
- Sordello, J. (2022). *La Bible du running: Le guide scientifique et pratique pour tous*. Amphora.
- Vihma, T. (2010). Effects of weather on the performance of marathon runners. *International journal of biometeorology*, *54*(3), 297-306. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00484-009-0280-x.pdf>
- Wirz, J. (2006). *Run to win: the training secrets of the Kenyan runners*. Meyer & Meyer Verlag.

VIII. Annexe :

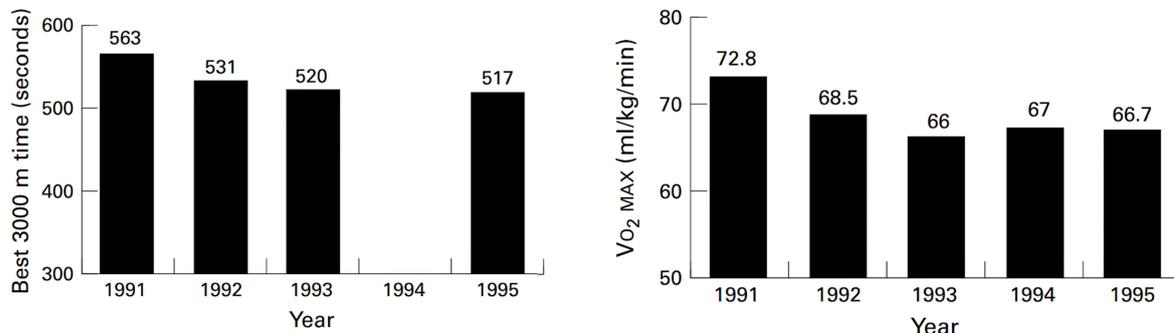
Annexe 1 : Borg RPE scale. Borg (1970).



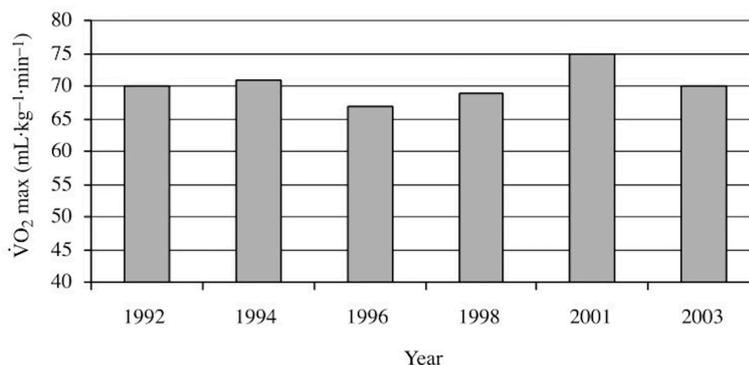
Annexe 2 : Rise of Kenya. Marc et al (2014).



Annexe 3 et 4 : Évolution de la performance sur 3000m et du VO2max d'un athlète de haut niveau pendant 5 années d'entraînement. Jones (1998).



Annexe 5 : Évolution du VO2max de Paula Radcliffe pendant 11 années d'entraînement (2003).



Annexe 6 : Vitesses record de l'espèce humaine (sexe masculin en fonction de la distance et de la durée en course à pied. Billat (2021).

Distance	Temps en 1997 (h, min, s)	Temps en 2021 (h, min, s)	vitesse (km/h) 1997	vitesse (km/h) 2021	vitesse (m/s) 2021	date du record actuel	Evolution depuis 24 ans
100 m	9,85	9,58	36,55	37,58	10,4	2009	2,8 %
200 m	19,32	19,19	37,27	37,52	10,4	2009	0,7 %
400 m	43,29	43,03	33,26	33,47	9,3	2016	0,6 %
800 m	1min41,11	1min40,91	28,48	28,54	7,9	2012	0,2 %
1000 m	2min12,18s	2min11,96s	27,24	27,27	7,6	1999	0,1 %
1 500 m	3min27,37s	3min26,00s	26,04	26,21	7,3	1998	0,7 %
2 000 m	4min50,81s	4min44,79s	24,76	25,28	7,0	1999	2,1 %
3 000 m	7min25,11s	7min20,67s	24,26	24,51	6,8	1996	1,0 %
5 000 m	12min39,74s	12min35,36s	23,69	23,82	6,6	2020	1,0 %
10 000 m	26min27,85s	26min11,00s	22,67	22,92	6,4	2020	1 %
20 km route	56 min 55 s	55 min 21 s	21,08	21,68	6,0	2010	2,8 %
21,100 km route	59 min 24 s	57 min 32 s	21,31	22,00	6,1	2020	3 %
25 km route	1h13min55,8s	1 h 11 min 18 s	20,29	21,04	5,8	2012	3,7 %
30 km	1h29min18,1s	1 h 27 min 13 s	20,16	20,84	5,7	2016	2,4 %
42,195 km	2 h 06 min 50 s	2 h 01 min 39 s	19,96	20,81	5,8	2018	4 %
100 km	6 h 13 min 33 s	6 h 09 min 14 s	16,06	16,24	4,5	2018	1 %
200 km	16 h 32 min 20 s	15 h 57 min	12,09	12,54	3,5	1999	3,7 %
408,77 km	48 h	48 h	8,52	8,52	2,4	1997	0,0 %
1 023,2 km	144 h (6 jours)		7,11	7,11	2,0	1997	
1 028,4 km		144 h (6 jours)		7,14	2,0	1999	5,0 %
1 609 km (1 000 Miles)		278 h (11,5 Jours)		5,79	1,6	2000	

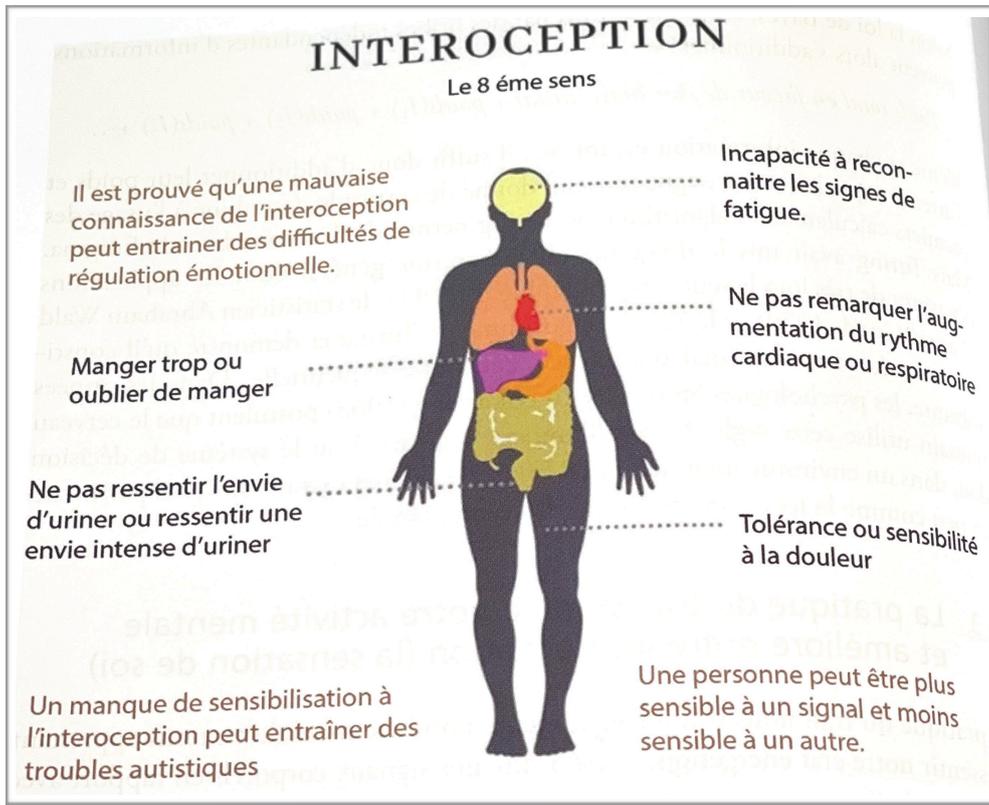
20	
19	2 minutes
18	
17	4 minutes
16	
15	8 minutes
14	
13	15 minutes
12	
11	30 minutes
10	
9	1 heure
8	
7	2 heures
6	
5	4 heures
4	
3	8 heures
2	
1	plus de 16 heures

Annexe 7 : Échelle d'Estimation du Temps Limite en relation avec côte d'effort. Garcin et al. (1999).

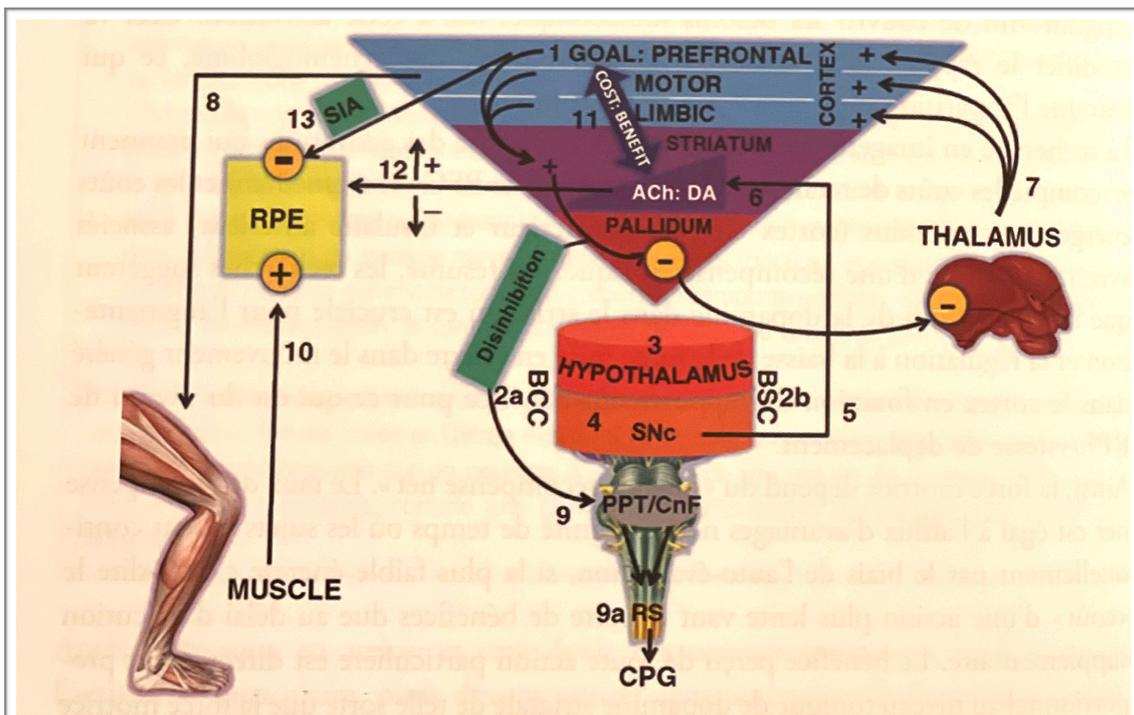
Annexe 8 : RPE Scale comparaison. Borg & Ottoson (1986)

RPE scale	CR10 scale
6	0
7	0
8	0,5
9	1
10	1,5
11	2
12	3
13	3,5
14	4,5
15	5,5
16	6,5
17	7,5
18	9
19	10
20	12

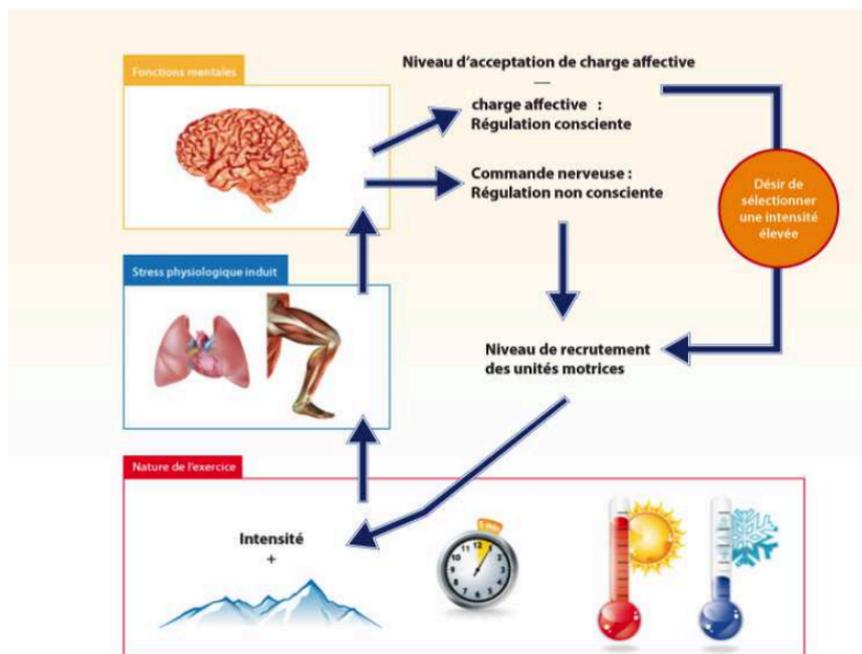
Annexe 9 : Intéroception : la capacité de ressentir notre corps. Billat. (2021).



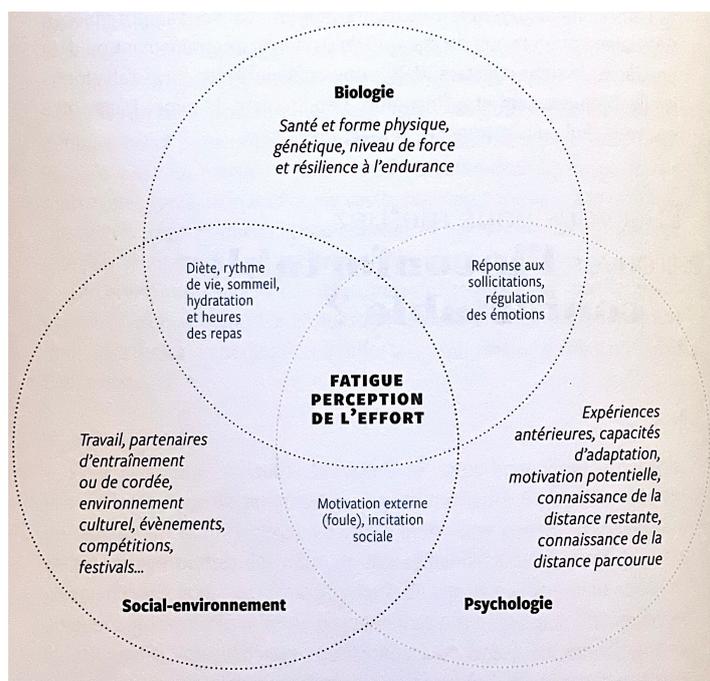
Annexe 10 : Les effets comportementaux de la dopamine dans le striatum. Billat. (2021).



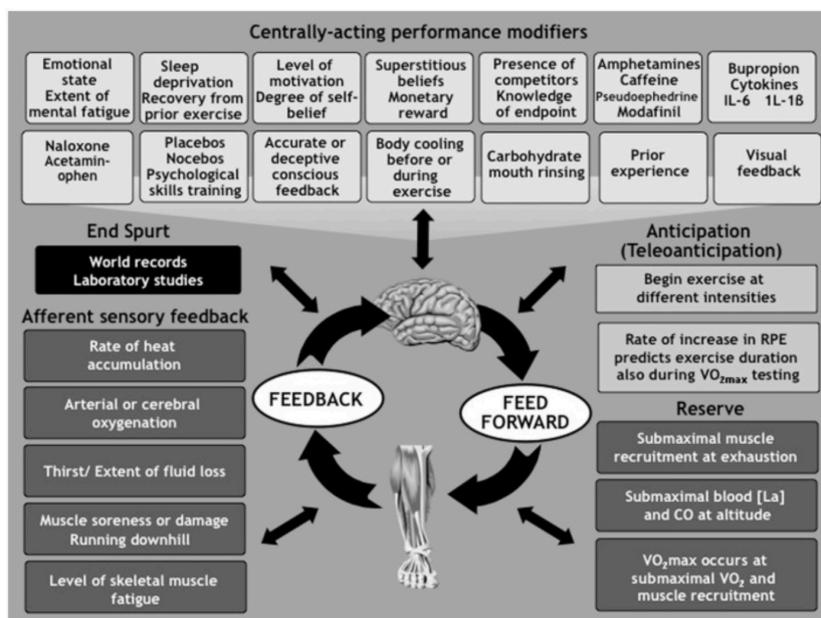
Annexe 11 : Les mécanismes d'interrelation entre la nature de l'exercice, les réponses physiologiques, le gouverneur central et les fonctions mentales supérieures dans le processus complexe de régulation de l'allure. Baron. (2011).



Annexe 12 : Modèle biopsychosocial de la fatigue à l'entraînement et en compétition. Marcora. (2018).



Annexe 13 : Gouverneur Central : modèle de la fatigue en endurance. Noakes. (2012).



Annexe 14 : Échauffement détaillé pré compétition et pré entraînement : gammes athlétiques & étirements-mobilisation dynamiques .

	ADDUCTEURS	ISCHIOS JAMBIERS / TRICEPS SURAUX	FESSIERS / TS	PSOAS / TS	ISCHIOS JAMBIERS
MUSCLES ÉTIRÉS - MOBILISÉ					
ILLUSTRATIONS MOUVEMENT					
CONSIGNES (sans douleurs !)	Mobilisation fente latérale, en revenant à chaque fois au centre, puis alterner le côté. Alignement tronc.	De manière unilatérale, venir « balayer » son pied qui est en dorsiflexion + jambe tendue. Puis s'auto grandir.	2 points d'appui sous genou + au dessus malléole : venir exercer pression verticale en s'autograndissant sur pointe de pied.	Exercer un point d'appui sur le genou puis s'autograndir sur pointe de pied en tirant le genou vers soi	Mobilisation dynamique en essayant de conserver les alignements segmentaires. Légère flexion jambe en orientant genou vers buste.
DURÉE / RÉPÉTITIONS	3 étirement par côté (6 répétitions)	6 répétitions au total. 3 par côté, de + en + vite	6 répétitions au total. 3 par côté, de + en + vite	6 répétitions (3 / côté)	8 répétitions (4 / côté) + en + vite.

EXERCICE	RÉPÉTITIONS	CONSIGNES - POINTS CLÉS	ILLUSTRATION ÉDUCATIF	POURQUOI FAIRE ?
Déroulé pied jambe tendue	2x10m	Venir déroulé complètement l'appui : talon - médio - pointe de pied et pousser sur cet appui vers l'avant. Pose de pied sous le CDG		<p>Le complexe pied-cheville est le pivot de la locomotion humaine. Lorsque l'avant pied est en contact avec le sol, le système agit comme un ressort qui se déforme, de l'énergie est apporté qui est transmise à l'arrière, au niveau du tendon d'achille. On peut entrainer le tendon d'achille. De même que les muscles sous l'avant du pied qui ont un potentiel élevé de renfort par la musculation. (Arte, 2022)</p>
Déroulé pied avec cycle course	2x10m	Même consignes pour l'appui au sol. Mais ici la trajectoire du pied est semblable à un cycle de course en revenant sous la fesse + genoux hauts	Lien vidéo à venir	
Mobilisation dynamique cheville dorsiflexion - flexion plantaire	12 répétitions par côté	Ne pas s'écraser au niveau du bassin, conserver alignements (jambe est active en minimisant la flexion de genou). Mobiliser le tibia antérieur en orientant la pointe de pied vers le ciel.	Lien vidéo à venir	
Jambes tendues aériennes	24 bonds	Chercher la sensation de rebond et non pas de vitesse, ni d'amplitude. On recherche un pied actif avec une minimisation du temps de contact au sol + un pied armé (pointe de pied relevée).	Lien vidéo à venir	
Montées genoux 1 temps	6 dans un plan horizontal / 6 dans un plan latéral / 6 dans un plan postérieur (en arrière)	Fixation genou à hauteur de hanche avec pied armé. Rôle équilibrateur des bras : ils enclenchent le switch de genou. Mains à hauteur de visage. Épaule relâchée.		
Montées genoux 3 temps	18 répétitions	Même chose mais en dynamique. Attention au relâchement du haut du corps.	Lien vidéo à venir	
Fréquence	3x10m	Recherche de fréquence gestuelle bras - pied.	Lien vidéo à venir	
Montées genoux - fréquence	(5 montées genoux - 5 fréquence) x 3	Assimilation du travail précédent	Lien vidéo à venir	
Griffé au sol	12 répétitions	Venir, par l'avant du pied, griffer le sol (se frotter les pieds) pour permettre l'activation des ischio jambiers. Retour du pied sous la fesse	Lien vidéo à venir	
Talon sous fesse	24 répétitions	Sensation de rebond recherché. Avec un pied qui griffe le sol. Ne pas chercher à venir mettre son pied sur la fesse (contraire au cycle de course) mais bien sous la fesse.		

IX. Résumé

Objectifs : L'objectif de ce travail est de déterminer si l'entraînement basé sur la perception de l'effort est une méthode efficace en demi-fond, permettant ainsi aux athlètes de s'affranchir de leur montre et d'écouter leur cerveau et leurs sensations.

Méthode : 10 demi-fondeurs/ses, âgé(e)s de 14 à 24 ans, de niveau départemental à interregional, ont effectué un test individuel de vitesse maximale aérobie (1/2 Cooper Test) pour déterminer leur performance. Ils ont ensuite réalisé un mésocycle de 6 semaines axé sur le développement des facteurs limitants la performance. Le groupe expérimental (5 sujets) a ensuite suivi 24 séances, chaque séance favorisant le développement d'un facteur limitant via une intensité prescrite avec le Rating Perceived of Exhaustion (RPE) avec l'échelle CR-10 de Borg. Le groupe témoin (5 sujets) a suivi les mêmes séances mais l'intensité prescrite était définie avec un pourcentage de vitesse maximale aérobie (VMA).

Résultats : Les résultats montrent que la performance semble être significativement améliorée ($p < 0.05$) par un entraînement basé sur la perception d'effort (RPE), mais également par un entraînement classique basé sur la VMA. Il n'y a pas de méthode plus efficace qu'une autre d'après analyse statistique. D'un point de vue des pourcentage, le groupe RPE a obtenu des améliorations supérieures au groupe classique.

Conclusion : L'entraînement aux sensations, basé sur la perception de l'effort semble être une méthode efficace pour améliorer sa performance. Permettant de s'éloigner des méthodes traditionnelles, et de diminuer la monotonie chez les athlètes. Elle peut permettre également aux athlètes de mieux gérer leurs limites, d'avoir une réelle compréhension physique et psychologique en écoutant leurs corps et leur cerveau permettant d'éviter le sous ou surentraînement. Cette gestion des limites va également promouvoir l'atteinte maximale de son potentiel en compétitions.

Mots clefs : Perception d'effort - athlétisme - performance - cerveau - sensation

Abstract

Objectives : The aim of this work is to determine whether training based on the perception of effort is an effective method in middle-distance running, enabling athletes to free themselves from their watches and listen to their brain and their sensations.

Method : 10 middle-distance runners aged between 14 and 24, from departmental to interregional level, carried out an individual maximum aerobic speed test (1/2 Cooper Test) to determine their performance. They then completed a 6-week mesocycle focusing on the development of performance-limiting factors. The experimental group (5 subjects) then underwent 24 sessions, each session promoting the development of a limiting factor via a prescribed intensity using the Perceived Rating of Exhaustion (RPE) with Borg's CR-10 scale. The control group (5 subjects) followed the same sessions but the prescribed intensity was defined as a percentage of maximum aerobic speed (MAS).

Results : The results show that performance seems to be significantly improved ($p < 0.05$) by training based on perception of exertion (RPE), but also by conventional training based on MAS. According to the statistical analysis, no method was more effective than another. From a percentage point of view, the RPE group achieved greater improvements than the classic group.

Conclusion : Sensation training, based on the perception of exertion, seems to be an effective method for improving performance. It allows us to move away from traditional methods and reduce monotony in athletes. It can also enable athletes to better manage their limits, to have a real physical and psychological understanding by listening to their body and brain, and to avoid under- or over-training. Managing limits in this way will also help athletes reach their full potential in competition.

Key words : Perception of exertion - track and field - performance - brain - sensation

X. Compétences

Persuader les sportifs de l'intérêt et l'importance de l'entraînement aux sensations dans leur préparation.

Concevoir des séances conduisant à développer chaque facteur limitant la performance.

Interpréter et **écouter** chaque sensation ressentie par les athlètes lors des séances et des compétitions pour leur permettre d'atteindre leurs limites et repousser leur tolérance à l'effort pour leur permettre d'avoir une réelle compréhension corporelle et de pouvoir repousser ses limites en compétition.

Expérimenter et **tenter & innover** une méthode innovante me permettant de me distinguer des autres entraîneurs et des méthodes traditionnelles proposées en athlétisme.

Développer l'oeil expert d'entraîneur sous d'autres compétences, en s'intéressant au sportif dans sa globalité et pouvoir jauger si le sportif s'entraîne réellement dans les intensités exigées.

Augmenter mes compétences en tant qu'entraîneur en proposant une méthode moins monotone pour moi, mais également pour les athlètes.