

Réflexions Sport

Scientifique & technique

EXTRAIT

Les sensations
durant l'effort,
un processus
complexe



Les sensations durant l'effort, un processus complexe



Frédéric Grappe
Directeur de la Performance de l'équipe
cycliste Groupama-FDJ



Au plus haut niveau, le sportif met à rude épreuve un corps, qui ne cesse de lui communiquer diverses sensations bonnes ou mauvaises. Celles-ci sont un enjeu majeur pour comprendre la performance et la stimuler.

Les sportifs et les réponses à leur corps

« Je mesure la chance que j'ai de pouvoir si souvent exploiter à cent pour cent tout ce que j'ai en moi. » Dans *L'Équipe* du 7 mars 2016, le biathlète Martin Fourcade se félicite de sa capacité à mobiliser son corps quand la compétition l'exige. En filigrane, le Pyrénéen dessine aussi toute la complexité qu'il y a, pour un athlète, à exploiter ses propres qualités physiques à un moment donné. Bien que le sport de haut niveau tende à se rationaliser, cette activité n'en demeure pas moins humaine et donc incertaine. S'engager dans un exercice musculaire volontaire engendre des sensations subjectives qui sont directement reliées à cet effort. Or, la façon dont sont générées ces sensations reste encore très controversée car le processus est complexe. Les bases neuro-nales des sensations ont été étudiées et examinées depuis plusieurs décennies, la principale discussion étant focalisée sur la contribution respective des signaux périphériques et centraux. Ainsi lors des Mondiaux en 2016 à Oslo, Marie Dorin-Habert confiait

à *L'Équipe* son plaisir d'évoluer sur la neige. « C'était lié à la sensation d'avoir les jambes et de pouvoir accélérer quand je le voulais. C'est assez grisant et on accepte mieux la douleur dans ces conditions-là », appréciait-elle. Des sensations en complète opposition avec celles de Missy Franklin. « J'étais dans la meilleure forme de ma vie. À l'entraînement, j'avais des sensations incroyables, mais ça n'a servi à rien parce que mentalement, ça n'allait pas. Mon corps était inutile, il obéissait à ma tête et ma tête était incontrôlable », se désolait la quadruple championne olympique de Londres, victime non pas de son physique mais bien de son esprit qui ne suivait plus. Teddy Riner ne dit pas autre chose à Rio : « Ça faisait près de deux ans que j'étais en panne de sensations. L'an dernier, j'en avais d'ailleurs zéro. C'est dingue ! Je savais que ça reviendrait. »

Par la force des choses, le sportif professionnel est à l'écoute de son corps, son « *outil de travail* » comme le qualifie le quintuple champion olympique de biathlon. Une écoute qui donne des informations mais aucune vérité. Les sensations et leurs logiques sont tel un brouillard que l'on s'amuserait à attraper à mains nues. Quelque chose d'impalpable, échappant à la compréhension scientifique. Alors quelle clé employer pour déverrouiller cette porte sur la performance ? ▶



Autorégulation, auto-efficacité, motivation et régulation des émotions au centre de la stimulation du sportif

Briller au plus haut niveau exige que les sportifs s'engagent dans des processus psycho-physiologiques complexes durant l'effort et lors de la préparation des objectifs, allant de la manière dont ils sont prêts à s'investir à la façon de gérer la douleur et l'inconfort. Ces processus où les athlètes modifient leurs propres réponses ou états internes pour atteindre un but, convoquent le concept d'autorégulation (Carver et Scheier, 2009). L'autorégulation renvoie aux pensées autogénérées, aux sensations et actions planifiées et adaptées cycliquement à l'atteinte de buts personnels (McCormick *et al.* 2018).

Quand on se fixe un objectif, autorégulation et motivation se nourrissent pour l'atteindre. En tenant compte de la nature volontaire de l'autorégulation, on peut considérer que la motivation est indispensable pour sa mobilisation car elle permet au sportif de surveiller et d'ajuster ses activités vers un but dans différents contextes, par l'évaluation de son propre comportement en fonction de ses normes et de l'environnement. L'autorégulation demande au sportif de générer des actions requérant un

contrôle des pensées, des sensations et des comportements sur lesquels il a une influence, tout en tenant compte de l'environnement (McCormick *et al.* 2018). En d'autres termes, le sportif doit apprivoiser ses sensations et son environnement direct pour répondre de façon optimale aux différentes situations et progresser, le tout à partir d'une motivation tournée vers un objectif précis.

“ Mon corps était inutile, il obéissait à ma tête et ma tête était incontrôlable...”

Les croyances du sportif en ses propres capacités à mobiliser motivation, ressources cognitives et moyens d'action nécessaires pour répondre aux demandes situationnelles sont extrêmement importantes et réfèrent à l'auto-efficacité (Wood et Bandura, 1989). Celle-ci se rapporte à la quantité d'effort qu'il est disposé à fournir et à sa persévérance face à des difficultés. Son rôle n'est pas neutre dans l'autorégulation. En effet, les sportifs possédant un haut degré d'efficacité personnelle seraient plus susceptibles de répondre par un effort important et moins d'affects négatifs. Il semble ▶

que ceux ayant un faible sentiment d'efficacité personnelle attribueront probablement leurs faibles performances à des facteurs internes et stables (ex : manque de capacité), alors que les autres les justifieront davantage par des facteurs instables (ex : engagement) ou externes et incontrôlables (météo, adversaires, chance) [Gist et Mitchell, 1992 ; Weiner, 1986]. L'auto-efficacité aurait également une influence sur les sensations à l'effort (McAuley et Courneya, 1992), des niveaux élevés d'auto-efficacité étant susceptibles d'améliorer la tolérance à la douleur (Bandura, 1989).

Des émotions à double tranchant

Les sportifs rencontrent de nombreux facteurs de stress (météo, température, matériel...) avant et pendant les épreuves qui peuvent avoir des conséquences utiles ou néfastes. L'anxiété, la frustration et le découragement sont autant de réponses à certains de ces facteurs et s'avèrent avoir des conséquences préjudiciables sur la motivation et la concentration. Néanmoins, certaines réponses émotionnelles sont potentiellement utiles pour les athlètes, comme lorsque des émotions (colère, anxiété, joie...) favorisent la concentration, la motivation, la confiance, les états corporels (relaxation) et les comportements adaptatifs. Ce qui rend une stratégie de régulation des émotions particulièrement utile dépend donc de la situation, ainsi que des caractéristiques du sportif et des objectifs qu'il poursuit.

“ ... mieux comprendre comment un sportif peut et va s'engager dans l'effort en fonction d'un objectif fixé. ”

La motivation, un puissant stimulant du potentiel physique

La motivation est un puissant déterminant de la performance sportive. Or elle constitue un ensemble complexe, variant d'un sportif à l'autre, mais aussi selon le contexte et le moment (Sheehan *et al.* 2018).

Brehm et Self (1989) ont distingué le potentiel de motivation et l'intensité de la motivation. Le premier évoque la limite supérieure de ce qu'un sportif serait prêt à consentir pour satisfaire à un objectif fixé ; quand la seconde se réfère davantage à l'effort produit et varie avec la difficulté de la réponse comportementale, d'abord en augmentant puis en chutant précipitamment. La figure 1 illustre l'évolution de l'effort en fonction de différents niveaux de potentiel de motivation. On note que dès que ▶

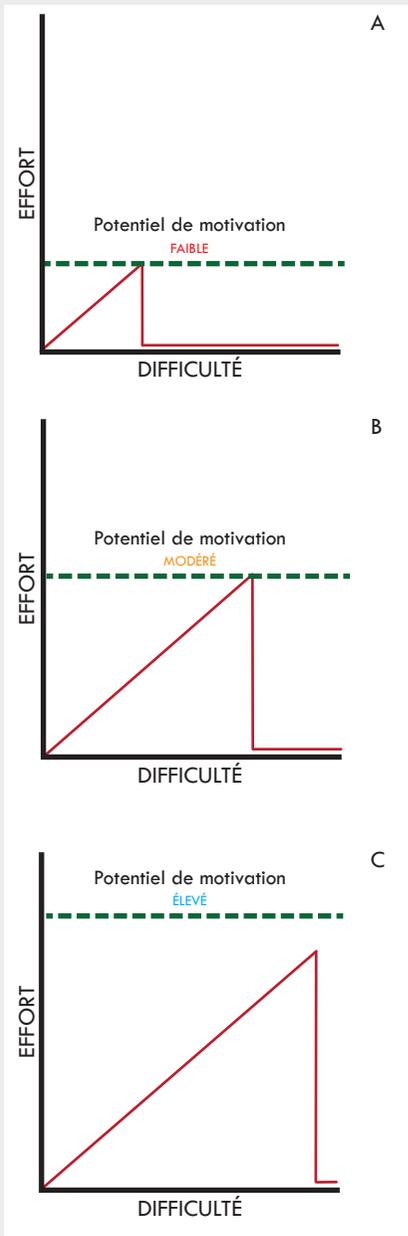


Figure 1 – Évolution de l'effort (intensité de la motivation) en fonction de la difficulté de l'objectif à des niveaux faibles, modérés et élevés de potentiel de motivation (Wright, 2008).

le potentiel de motivation est atteint, l'engagement s'effondre, le sportif n'ayant plus les ressources nécessaires pour maintenir son effort. À noter que plus ce potentiel est élevé, plus le sportif est en mesure de s'engager dans la difficulté. Ainsi tenir compte du potentiel de motivation et de l'intensité de la motivation, c'est mieux comprendre comment un sportif peut et va s'engager dans l'effort en fonction d'un objectif fixé.

La figure 2 montre que pour deux sportifs ayant des capacités physiques différentes, pour un niveau de difficulté d'objectif identique, l'intensité de la motivation sera supérieure chez celui possédant le plus faible niveau d'habileté physique. Cela signifie pour lui un engagement dans l'effort supérieur car la difficulté de la tâche à réaliser est beaucoup plus élevée. Prenons l'exemple d'une montée de col avec un équipier roulant en tête de course pour imprimer un rythme très soutenu afin de préparer l'attaque de son leader. Lorsque l'équipier est allé au bout de son travail (intensité de la motivation maximale) et a probablement atteint son potentiel maximum de motivation, il stoppe net son effort n'ayant plus une intensité de motivation suffisante pour le poursuivre. Du côté du leader, dans certaines situations de compétition, il lui arrive de se désengager brusquement de l'effort, même si ce dernier est faible, sans pour autant ►

atteindre son potentiel de motivation, lorsqu'il sent le succès impossible. En d'autres termes, le leader a cette capacité à exprimer son plein potentiel selon l'objectif fixé et sa faisabilité. Derrière cette analyse, on devine toute l'importance que peut avoir l'engagement des équipiers envers un leader et vice versa ainsi que la nature du coaching externe.

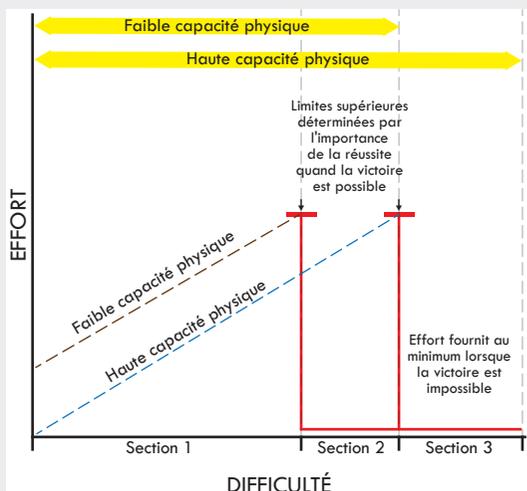


Figure 2—Évolution de l'intensité de la motivation (effort) en fonction de la difficulté de l'objectif pour des sportifs à faibles et hautes capacités physiques (Wright et Franklin, 2004).

La sensation de l'effort comme outil de mesure et de régulation

Toutes les actions volontaires sont provoquées par des processus cognitifs. Chaque fois qu'une action est décidée, elle génère un mouvement et engendre une réponse perceptive (sensations) ressentie par l'athlète. La perception de l'effort (PE) d'un sportif lors d'un exercice reflète sa conscience des commandes motrices centrales envoyées aux muscles locomoteurs et respiratoires (Marcora, 2009). Cette conscience de l'effort est un paramètre clé de la performance car une performance se veut la somme des facteurs négatifs (fatigue, douleurs musculaires) ressentis plus ou moins fortement et des facteurs positifs relatifs à la motivation et la volonté (Ikai et Steinhaus, 1961). Toutefois, aussi importante soit-elle, la PE est encore sujette à débat.

Le point de vue le plus grandement répandu parmi les physiologistes de l'exercice, les athlètes et les entraîneurs, veut que les informations périphériques afférentes (provenant des muscles et des organes périphériques) seraient un contributeur majeur de la PE (Tucker, 2009; Hampson *et al.* 2001). Cependant, il a été récemment suggéré qu'elles seraient plutôt générées centralement et indépendamment des rétroactions afférentes



(Marcora, 2009). Pourquoi une telle divergence d'analyse ? Une explication pourrait provenir de la confusion qui règne depuis quelques décennies à propos du concept derrière la PE mesurée par la célèbre échelle de Borg (Borg, 1970), *Ratings of Perceived Exertion* (échelle RPE), devenue très populaire dans le milieu sportif. En 1970, à l'époque où Borg a sorti son échelle, celle-ci renvoyait bien à la quantification de « *subjective feeling* », soit la sensation originaire de la somme de tous les systèmes fonctionnels étant en action durant l'effort (Borg, 1970, 1982). Avec les années, le concept original de Borg qui renvoie à la PE comme générée centralement, a été quelque peu oublié !

Aujourd'hui, la PE proviendrait d'un processus prédictif de la commande centrale fonctionnant *via* des décharges corolaires s'appliquant entre différentes zones du cerveau et qui induiraient une copie des informations envoyées aux muscles en action (modèle du *feedforward control*). La zone motrice supplémentaire serait étroitement reliée à la commande motrice alors que le cortex pariétal serait impliqué dans les prédictions sensorielles du mouvement (Desmurget *et al.* 2009). D'un autre côté, le contrôle homéostatique du milieu intérieur lors de l'effort requiert un *feedback* afférent afin d'autoriser les processus neuronaux à maintenir la balance physiologique. Smirmaul

(2010, 2012) supporte le concept selon lequel la caractéristique la plus remarquable du contrôle homéostatique serait notre capacité de conscience des multiples conditions corporelles, capable de produire des réponses appropriées.

“ ... le cortex pariétal serait impliqué dans les prédictions sensorielles du mouvement. ”

En 2002, Craig a défini le concept d'« intéroception » comme une nouvelle approche pour comprendre la perception humaine des sensations. Il a proposé une voie qui transmet des signaux provenant d'afférences primaires de petit diamètre, transmettant ainsi des informations sur l'état physiologique de tous les tissus du corps (température, douleur, sensations viscérales et musculaires, etc.) à des sites spécifiques situés dans le cerveau. Cette voie pourrait représenter une composante clé du contrôle homéostatique. De plus, les régions du cerveau impliquées dans la régulation des conditions corporelles internes semblent être liées aux processus émotionnels (Damasio *et al.* 2000), qui renforcent encore la capacité de maintenir l'homéostasie. ▶

“ *Le corps humain ne peut être considéré comme rigide.* ”

À la lumière des différentes études scientifiques, on peut solidement avancer que la conscience des différentes sensations (température, douleur, ressentis musculaires) participe à améliorer les réponses décisionnelles au cours de l'exercice. Toutefois, à ce jour, les travaux scientifiques manquent encore pour mieux comprendre l'importance des sensations durant l'effort sur la performance sachant que ce sont elles qui guident les prises de décision du sportif pour produire l'action.

Dans la pratique, selon le contexte, il est fort probable que la PE et d'autres sensations plus ou moins désagréables se dissocient, s'assemblent ou se complètent. Après une montée intense, par exemple, un coureur débute une descente et arrête de pédaler. Bien qu'il éprouve encore l'effort consenti pour l'ascension, il ressentira une PE faible. En effet, comme la PE est générée au niveau central par la commande motrice en lien avec un effort volontaire, le fait de ne plus fournir d'effort musculaire moteur dans la descente induit automatiquement une rapide diminution de la PE, sans empêcher la subsistance d'autres sensations

déplaisantes, comme la montée de lactate, la diminution du pH et l'augmentation du travail des muscles ventilatoires encore en action. Si on rentre dans le détail des sensations perçues par le sportif, on observe deux mécanismes neurologiques distincts : le sens de l'effort (relié à PE) et les autres sensations spécifiques (température, douleur et autres sensations musculaires). L'effort est aussi défini comme la quantité d'énergie mentale ou physique délivrée pour réaliser une tâche et doit être distingué des autres sensations qui ont une origine périphérique (Abbiss *et al.* 2015 ; Pageaux, 2016).

Ces facteurs pouvant altérer les sensations durant l'effort

Si la compréhension des sensations est essentielle, il apparaît que plusieurs paramètres peuvent interférer ▶



et modifier les réponses du sportif durant l'effort. Les vibrations en représentent un rarement évoqué. Le corps humain ne peut être considéré comme rigide. Il s'agit d'un « système » composé de différentes masses suspendues (tête, tronc, membres) reliées entre elles par des ressorts et des amortisseurs (muscles et tendons). Lorsqu'il se met à vibrer, le corps ou une de ses parties peut entrer en résonance si la fréquence d'excitation (des vibrations mécaniques) est proche de sa fréquence propre d'oscillation (la fréquence propre dépend de la raideur du système et de sa masse). Ce phénomène de résonance entraîne une sensation d'inconfort et augmente les contraintes mécaniques sur les tissus et organes. Du fait des variations permanentes de la vitesse et de l'accélération, ces oscillations génèrent des transferts d'énergie mécanique entre l'environnement et

le corps ou avec certaines de ses parties. Les potentiels effets délétères des vibrations dépendent essentiellement de leurs fréquences et de leurs amplitudes. Les vibrations de très basses fréquences (< 2 Hz) sont responsables du mal des transports tandis que celles comprises entre 2 et 20 Hz peuvent affecter la vision, la colonne vertébrale, les systèmes digestifs et urinaires. Bien que les vibrations à hautes fréquences (> 20 Hz) soient amorties par les muscles, elles peuvent causer des troubles ostéo-articulaires (20-50 Hz), vasculaires (50-300 Hz) et neurologiques (> 300 Hz) [Berthoz, 1992].

La fatigue qui augmente au cours de l'effort en endurance, joue également un rôle important. Elle est définie depuis assez longtemps comme une perte de force musculaire. Cette perte de force est multifactorielle et généralement divisée en deux types de fatigues, interdépendantes : centrale (au-dessus de la jonction neuromusculaire) et périphérique (musculaire). Dans ce contexte, la fatigue centrale est une capacité altérée du système nerveux central à recruter des unités motrices à un taux de décharge plus élevé que la fréquence de la fusion tétanique. En d'autres termes, une diminution de l'activation musculaire volontaire maximale (Gandevia, 2001) pourrait être due à un désengagement des unités motrices et/ou à une diminution de la fréquence de ►



“ Des niveaux élevés de cortisol peuvent impacter la mémoire et l'apprentissage, le système immunitaire, la densité osseuse, le poids, la pression artérielle et le cholestérol. ”

décharge au-delà de la fréquence de fusion tétanique (Millet, 2011). Ainsi, la fatigue centrale est impliquée de manière variable dans la fatigue totale. Elle a aussi été présentée comme des modifications neurobiologiques dans le cerveau (Meeusen *et al.* 2006), une modification du contrôle moteur (Forestier et Nougier, 1998) ou des altérations de la fonction cognitive (Brisswalter *et al.* 2002). La fatigue centrale seule ne peut expliquer toute la perte de force après des exercices de longue durée. Des altérations de la propagation neuromusculaire, une défaillance du couplage excitation-contraction et des modifications de la capacité intrinsèque de production de force peuvent également être impliquées. Les indices indirects des lésions musculaires suggèrent l'existence de certaines altérations périphériques.

Aussi, avec l'augmentation de la fatigue musculaire périphérique, le sportif, dans l'obligation de stimuler des muscles locomoteurs affaiblis, doit nécessairement mobiliser davantage la commande motrice centrale (Marcora *et al.* 2008), avec pour effet

d'augmenter la PE en excitant le sens de l'effort (Marcora, 2009). La fatigue peut aussi être générée par l'hyperventilation qui entraîne une baisse de la tension artérielle du dioxyde de carbone et atténue l'augmentation du débit sanguin cérébral, conduisant à un apport insuffisant d'oxygène au cerveau (Nybo et Rasmussen, 2007). Toutes ces modifications peuvent altérer les sensations du sportif pendant l'exercice.

Les sensations peuvent être également perturbées par le stress (aigu et chronique) en augmentant le taux du cortisol et la régulation du système hormonale. Les facteurs de stress peuvent ainsi susciter des réactions émotionnelles utiles ou nuisibles à la performance d'un athlète d'endurance. Des niveaux élevés de cortisol peuvent impacter la mémoire et l'apprentissage, le système immunitaire, la densité osseuse, le poids, la pression artérielle et le cholestérol. Au final, vivre dans un environnement stressant, associé à des niveaux d'anxiété élevés, peut entraîner des dysfonctionnements au niveau central et générer de mauvaises sensations lors ▶

de l'effort. D'autres facteurs peuvent contribuer à altérer les sensations lors d'exercices en endurance : l'hypoglycémie (Davis et Bailey, 1997), la diminution des concentrations cérébrales de catécholamines¹ (Hasegawa *et al.* 2008), l'augmentation de la température interne (Nybo et Nielsen, 2001), l'accumulation d'ammoniac cérébral (Nybo et Rasmussen, 2007), les concentrations en neurotransmetteurs cérébrales altérées (Meeusen *et al.* 2006), la fatigue mentale (Marcora *et al.* 2009), la privation de sommeil, la douleur, les analgésiques, les psychostimulants, les stratégies cognitives ou nutritionnelles.

1— Neurotransmetteurs présents sous 3 formes dans le corps : adrénaline, dopamine et noradrénaline.

L'importance des conditions environnementales

Les conditions environnementales telles que l'hypoxie et l'hyperthermie peuvent exacerber la fatigue centrale ou l'effort perçu (Millet *et al.* 2009 ; Nybo et Nielsen, 2001). Les saisons sembleraient également entrer en ligne de compte avec une influence directe sur le système chronobiologique via les rythmes circadiens (une machinerie génétique) auxquels le cerveau est réceptif (Meyer *et al.* 2016) [Cf. Figure 3]. Un certain nombre de facteurs qui pourraient affecter directement le fonctionnement du cerveau durant l'année peuvent être contrôlés : l'exposition à la lumière, le rythme veille/sommeil, la température ►

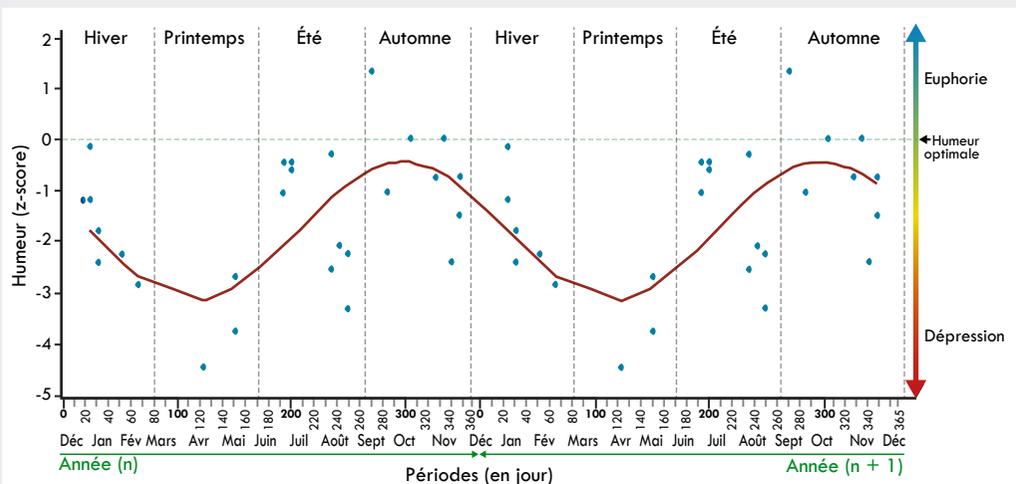


Figure 3—Évolution de l'humeur chez 28 sujets (habitant à Liège) au cours d'une année. Les points bleus représentent les données individuelles et la courbe représente l'évolution moyenne. La meilleure humeur a été observée le 31 octobre (Meyer *et al.* 2016).

externe, la prise de nourriture, la charge d'entraînement, les interactions sociales.

Alabdulgader *et al.* (2018) ont conduit une étude originale à long terme en examinant l'évolution dans le temps et les retards des réponses du système nerveux autonome (SNA) aux changements de l'activité solaire et géomagnétique. La variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) a été enregistrée pendant 72 heures consécutives chaque semaine sur une période de cinq mois chez 16 participants afin d'examiner les réponses du SNA pendant des périodes environnementales

normales. Les mesures de VFC étaient corrélées avec les variables solaires et géomagnétiques. Les résultats (Cf. Figure 4) indiquent que l'activité quotidienne du SNA répond aux changements de l'activité géomagnétique et solaire pendant les périodes d'activité normale non perturbée et qu'elle est initiée à différents moments après les changements dans les divers facteurs environnementaux, et persiste sur des périodes de temps variables. L'augmentation de l'intensité du vent solaire était corrélée avec l'augmentation de la fréquence cardiaque, ce qui peut être interprété comme ►

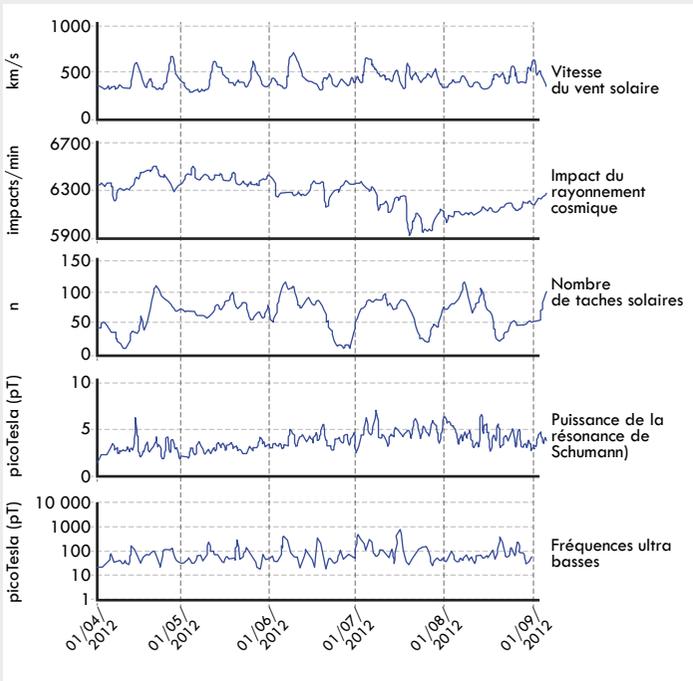


Figure 4—Activité des données environnementales sur 6 mois (ULF: fréquences ultra basses, SRP: puissance de la résonance de Schumann) [Alabdulgader *et al.* 2018].

une réponse au stress biologique. L'augmentation des rayons cosmiques, du flux radio solaire et de la puissance de résonance de Schumann² était tous associée à une augmentation de l'activité FVC et de l'activité parasympathique.

Un certain nombre d'études ont montré que les activités géomagnétiques et solaires affectent un large éventail de comportements humains et la santé, et peuvent agir comme des facteurs de stress altérant les processus régulateurs tels que l'équilibre mélatonine/sérotonine (Burch *et al.* 1999 ; Bergiannaki *et al.* 1996), la pression sanguine, la respiration, la reproduction, les processus des systèmes immunitaires, neurologiques et cardiaques (Cherry, 2002 ; Chernouss *et al.* 2001). Cependant, les spécificités des mécanismes biologiques chez les animaux et les humains ne sont pas encore complètement comprises (Babayev *et al.* 2012 ; McCraty *et al.* 2017). Ces éléments montrent que la période de la saison et l'environnement dans lequel évolue un sportif ne sont pas neutre sur sa capacité de performance. Cela peut en partie expliquer pourquoi certains sportifs sont meilleurs à certaines périodes de la saison, eu égard à de meilleures sensations en fonction des charges de travail imposées.

²— Ensemble de pics spectraux dans le domaine d'extrêmement basse fréquence (3-30 Hz) du champ électromagnétique terrestre, qui sont excitées par les éclairs.

“ ... expliquer pourquoi certains sportifs sont meilleurs à certaines périodes de la saison...” ”

Différentes façons de produire de la puissance

Maîtriser son environnement et ses sensations n'a qu'un seul but, permettre à l'athlète de produire la meilleure performance possible selon le contexte naturel et sportif, en maintenant un équilibre entre la puissance mécanique (PO) qu'il fournit et les différentes sensations qu'il ressent. La régulation de la PO semble être une réponse comportementale à la fois aux informations de rétroaction (*feedback*) des récepteurs périphériques et des mécanismes d'anticipation (*feedforward*) qui régulent l'intensité de l'exercice. En conséquence, les fluctuations de PO au cours de l'exercice peuvent être une caractéristique importante du processus de régulation, basé sur des informations de divers systèmes périphériques (muscles, respiratoires, récepteurs métaboliques) dans un système de contrôle métabolique assez complexe. ▶

“... l’effort autorégulé avec les sensations du sportif induisait un challenge métabolique plus réduit...”

À ce titre, nous suggérons qu’en cyclisme, il peut exister six modes différents de production de PO qui répondent à trois situations comportementales différentes (Cf. Figure 5). Le premier mode consiste à développer de la PO selon un mode de contrôle libre, le second selon un mode en réponse aux autres (adversaires) et le troisième, selon un mode clampé (forcé) qui consiste à faire un effort en maintenant constant une variable donnée (FC, PO, vitesse). Pour les deux premiers modes, l’effort peut être contrôlé, ce qui renvoie à une sensation de puissance (d’aisance), ou subi, renvoyant à une sensation de non puissance (contrainte) alors que pour le dernier, il ne peut être que subi. Les deux types d’efforts s’attachent à des émotions différentes, de plaisir lorsqu’il est contrôlé et de déplaisir lorsqu’il ne l’est pas. Cela revient à dire qu’il est possible de développer un même niveau de PO avec des réponses perceptives très différentes. Cet exemple qui s’applique au cyclisme

peut certainement être transposé dans d’autres disciplines. La question qu’il est intéressant de se poser est de savoir comment le cerveau « manage » ces six modes différents de production de PO lors de l’effort ?

L’étude de Lander *et al.* (2009) aide à répondre en partie à cette question. Elle montre que lors d’un exercice soutenu à une PE égale à 15 (sur l’échelle de Borg), pour un même niveau de PO, les variations de PO n’étaient les mêmes selon que les cyclistes maintenaient une PE constante à 15 ou devaient maintenir constant le niveau de PO identique correspondant à une PE à 15. Dans le premier cas, où l’effort était davantage régulé en fonction de PE sans connaître PO, les variations de PO étaient plus importantes que dans le second cas où les cyclistes devaient développer une PO donnée (PO forcée). Les résultats montrent que développer un même niveau d’intensité soutenue posait des challenges physiologiques et thermorégulateurs significativement plus importants à l’homéostasie lorsqu’il s’agissait de rouler à une PO donnée que d’autoréguler perceptivement le même niveau de PO à partir des sensations et cela, malgré l’absence de différence de performance. Plus précisément, la condition « PO clampée » entraînait des augmentations de la température moyenne du corps, du lactate et de l’activité iEMG (biceps brachial) ▶

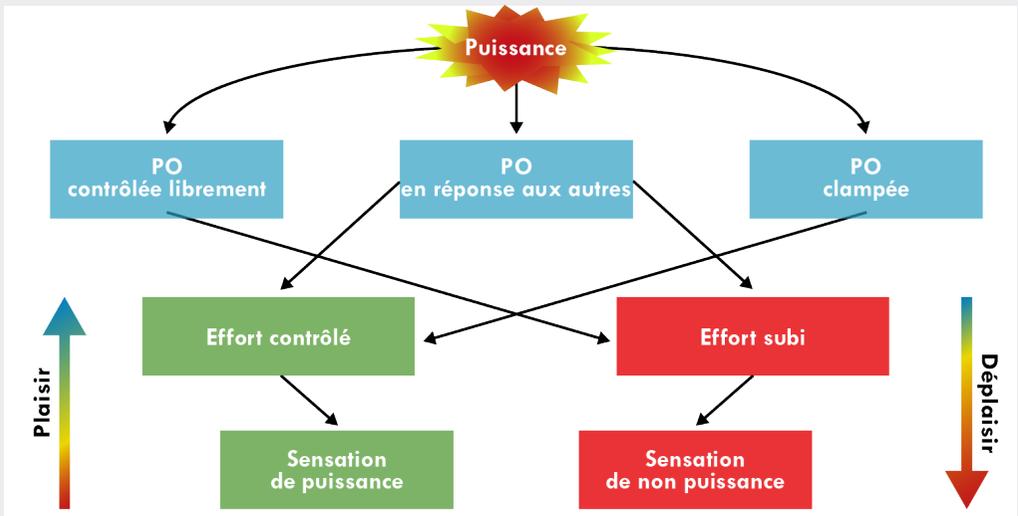


Figure 5 – Les différents modes de production de la puissance en cyclisme.

et vastus lateralis). L'explication la plus probable semble être que l'effort autorégulé via les sensations faciliterait la possibilité pour les sportifs de modifier continuellement leur effort par le biais de mécanismes de *feedback* et de *feedforward* en réponse aux fréquentes réponses homéostatiques. L'originalité de l'étude est d'avoir montré que l'effort autorégulé avec les sensations du sportif induisait un challenge métabolique plus réduit comparé à l'effort forcé (PO clampée) où le cycliste est obligé de maintenir un niveau de PO donné. On peut ici faire une transposition de ce qui peut se passer au niveau métabolique et central lors d'une montée de col, où certains coureurs exercent un effort forcé et d'autres autorégulé.

Comment mieux maîtriser les sensations ?

Le discours intérieur motivationnel et les programmes d'entraînement aux aptitudes psychologiques peuvent aider à réduire la PE. La douleur et l'inconfort musculaires induits par l'exercice contribuent également aux décisions prises pour contrôler l'effort. La valence affective (plaisir ou déplaisir) est une sensation supplémentaire liée à l'exercice qui influence les décisions et la performance lors des épreuves d'endurance. Des sensations désagréables pourraient influencer les prises de décisions (McCormick *et al.* 2018) et donc la nature même de la stimulation. L'étroite frontière ►

entre la volonté de continuer l'exercice et la décision d'arrêter est probablement influencée par une interaction à la fois du sens de l'effort et d'autres sensations désagréables. Cela renvoie au modèle de la charge affective développé par Baron *et al.* (2011) qui montre clairement la relation entre effort et plaisir lors d'un exercice en fonction du niveau de motivation. Selon leur modèle, le désir de sélectionner une intensité plus ou moins élevée à un moment de l'exercice dépend de la différence entre le niveau d'acceptation de charge affective pour une durée donnée et le niveau de cette charge à ce moment. En comparant le niveau de charge affective imposé avec la PO sélectionnée et la durée d'effort à effectuer, le sportif parvient ainsi à moduler la PO de la façon la plus adaptée à ses capacités.

Comment la sensation de l'effort et les autres sensations déplaisantes interagissent durant l'exercice ? Quelle est la plus importante pour prendre la décision de réduire l'intensité de l'effort choisi ou encore pour arrêter l'exercice ? C'est le sportif qui répond seul à ces questions lorsqu'il se trouve en plein effort. Il convient de noter que les psychostimulants (amphétamines, cocaïne, anti-inflammatoires) pourraient agir en fournissant une sensation de plaisir et venir modifier la valence affective de l'athlète.



Pour conclure, bien se sentir dans l'environnement dans lequel on performe procure de l'envie et du plaisir et par conséquent augmente le niveau de motivation, élève la stimulation du potentiel physique et permet l'atteinte d'un haut niveau de performance. C'est tout le travail du staff d'une équipe de s'assurer de mettre en place un environnement optimal et s'assurer d'équilibrer les principaux déterminants de la performance afin de rendre les athlètes confiants et leur donner les atouts pour performer. Ensuite, les clés de la régulation de la performance seront pour le sportif d'apprendre à bien se connaître pour être en capacité d'interpréter au plus juste ce qu'il ressent lors d'un effort et de produire de bonnes réponses en termes de PO. ■



©Icon sport

Bibliographie

ABBISSCR, PEIFFERJJ, MEEUSEN R, SKORSKI S, «Role of ratings of perceived exertion during self-paced exercise: what are we actually. Measuring?», *Sport Med*, 2015, 45 (9), p.1235-1243, doi:10.1007/s40279-015-0344-5.

ALABDULGADERA, MCCRATYR, ATKINSON M, DOBYNS Y, VAINORAS A, RAGULSKIS M et STOLC V, «Long-term study of heart rate variability responses to changes in the solar and geomagnetic environment», *Scientific Report*, 2018, 8, p. 2663, doi:10.1038/s41598-018-20932-x.

BABAYEVE, CROSBY N, OBRIDKO V, RYCROFT M, «Potential effects of solar and geomagnetic variability on terrestrial biological systems», dans *Advances in solar and solar terrestrial physics* (eds Georget Maris & Crisan Demetrescu), Research Signpost, Kerala, 2012, p. 329-376.

BANDURAA, «Human agency in social cognitive theory», *The American Psychologist*, 1989, 44(9), p.1175-1184, doi:10.1037/0003-066X.44.9.1175.

BARON B, MOULLAN F, DERUELLE F, NOAKES TD, «The role of emotions on pacing strategies and performance in middle and long duration sport

“... rendre les athlètes confiants et leur donner les atouts pour performer...”

events», *British Journal of Sports Medicine*, 2011, 45(6), p.511-517, doi:10.1136/bjism.2009.059964.

BERGIANNAKID, PAPARRIGOPOULOS TJ et STEFANIS CN, «Seasonal pattern of melatonin excretion in humans: relationship to day length variation rate and geomagnetic field fluctuations», *Experientia*, 1996, 52, p.253-258, doi:10.1007/BF01920718.

BERTHOZA, «Effets des vibrations sur l'homme», dans Scherrer J, *Précis de physiologie du travail*, Éditions Masson, Paris, 1992.

BORG G, «Psychophysical bases of perceived exertion», *Med Sci Sports Exerc*, 1982, 14(5), p.377-381, doi:10.1249/00005768-198205000-00012.

BORG G, «Perceived exertion as an indicator of somatic stress», *Scand J Rehabil Med*, 1970, 2(2), p.92-98.

BREHMJW et SELF EA, «The intensity of motivation», *Annual Review of Psychology*, 1989, 40, p.109-131, doi:10.1146/annurev.ps.40.020189.000545.

BRISWALTER J, COLLARDEAU M et RENE A, «Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance», *Sports Med*, 2002, 32(9), p.555-566, doi:10.2165/00007256-200232090-00002.

BURCHJB, REIFJS et YOSTMG, «Geomagnetic disturbances are associated with reduced nocturnal excretion of a melatonin metabolite in humans», *Neuroscience Letters*, 1999, 266(3), p.209-212, doi:10.1016/S0304-3940(99)00308-0.

CARVERCS et SCHEIERMF, «Action, affect, multitasking, and layers of control», in JP Forgas, RF Baumeister, DM Tice, *Psychology of*

self-regulation: Cognitive, affective, and motivational processes, Psychology Press, New York, 2009, p. 109-126.

CHERNOUSS, VINOGRADOVA et VLASSOVAE, « Geophysical hazard for human health in the circumpolar auroral belt: evidence of a relationship between heart rate variation and electromagnetic disturbances », *Natural hazards*, 2001, 23, p. 121-135.

CHERRY N, « Schumann resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of solar/geomagnetic activity », *Natural Hazards*, 2002, 26(3), p. 279-331.

CRAIG AD, « How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body », *Nat Rev Neurosci*, 2002, 3(8), p. 655-666, doi:10.1038/nrn894.

DAMASIO AR, GRABOWSKI TJ, BECHARA A, DAMASIO H, PONTOLL, PARVIZIJ et HICHWARD, « Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions », *Nat Neurosci*, 2000, 3(10), p. 1049-1056, doi:10.1038/79871.

DAVIS JM et BAILEY SP, « Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise », *Med Sci Sports Exerc*, 1997, 29(1), p. 45-57, doi:10.1097/00005768-199701000-00008.

DESMURGET M, REILLY KT, RICHARD N, SZATHMARI A, MOTTOLESE C et SIRIGUA, « Movement intention after parietal cortex stimulation in humans », *Science*, 2009, 324, p. 811-813, doi:10.1126/science.1169896.

FORESTIER N et NOUGIER V, « The effects of muscular fatigue on the coordination of a multijoint movement in human », *Neurosci Lett*, 1998, 252 (3), p. 187-190, doi:10.1016/S0304-3940(98)00584-9.

GANDEVIAS C, « Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue », *Physiol Rev*, 2001, 81 (4), p. 1725-1789, doi:10.1152/physrev.2001.81.4.1725.

GIST ME et MITCHELL TR, « Self-efficacy: A theoretical analysis of its determinants and malleability », *Academy of Management Review*, 1992, 17(2), p. 183-211, doi:10.2307/258770.

HAMPSON DB, ST CLAIR GIBSON A, LAMBERT MI et NOAKES TD, « The influence of sensory cues

on the perception of exertion during exercise and central regulation of exercise performance », *Sports Med*, 2001, 31(13), p. 935-952, doi:10.2165/00007256-200131130-00004.

HASEGAWAH, PIACENTINI MF, SARRE S, MICHOTTE Y, ISHIWATA T et MEEUSEN R, « Influence of brain catecholamines on the development of fatigue in exercising rats in the heat », *J Physiol*, 2008, 586(1), p. 141-149, doi:10.1113/jphysiol.2007.142190.

IKAIM et STEINHAUS AH, « Some factors modifying the expression of human strength », *J Appl Physiol*, 1961, 16, p. 157-163, doi:10.1152/jap.1961.16.1.157.

LANDER PJ, BUTTERLY RJ et EDWARDS AM, « Self-paced exercise is less physically challenging than enforced constant pace exercise of the same intensity: influence of complex central metabolic control », *Br J Sports Med*, 2009, 43(10), p. 789-795, doi:10.1136/bjism.2008.056085.

MARCORAS, « Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs », *J Appl Physiol*, 2009, 106(6), p. 2060-2062, doi:10.1152/jap.2009.106.6.2060.

MARCORAS, « Last word on viewpoint: perception of effort during exercise is independent of feedback from skeletal muscles, heart and lungs », *J Appl Physiol*, 2009, 106(6), p. 2067, doi:10.1152/jap.2009.106.6.2067.

MARCORAS M, STAIANO W et MANNING V, « Mental fatigue impairs physical performance in humans », *J Appl Physiol*, 2009, 106(3), p. 857-864, doi:10.1152/jap.2009.106.3.857.

MARCORAS M, BOSIO A et DE MORREE HM, « Locomotor muscle fatigue increases cardiorespiratory responses and reduces performance during intense cycling exercise independently from metabolic stress », *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2008, 294 (3), p. R874-883, doi:10.1152/ajpregu.00678.2007.

MCAULEY E et COURNEYAKS, « Self-efficacy relationships with affective and exertion responses to exercise », *Journal of Applied Social Psychology*, 1992, 22(4), p. 312-326, doi:10.1111/j.1559-1816.1992.tb01542.x.

MCCORMICK A, MEIJEN C, ANTISS PA et JONES HS, « Self-regulation in endurance sports: theory, research, and practice », *Int Rev Sport Exerc Psychol*, 2018, doi:10.1080/1750984X.2018.1469161.

MCCRATY R, ATKINSON M, STOLC V, ALABDULGADERA, VAINORAS A, et RAGULSKIS M, « Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects », *Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, 14(7), p. 1-18, doi:10.3390/ijerph14070770.

MEEUSEN R, WATSON P, HASEGAWA H, ROELANDS B et PIACENTINI MF, « Central fatigue: the serotonin hypothesis and beyond », *Sports Med*, 2006, 36(10), p. 881-909.

MEYER C, MUTO V, JASPAR M, KUSSÉ C, LAMBOT E, CHELLAPPA S L, DEQUELDRE C, BALTEAU E, LUXEN A, MIDDLETON B, ARCHER SN, COLLETTE F, DIJK DJ, PHILLIPS C, MAQUET P et VANDEWALLE G, « Seasonality in human cognitive brain responses », *Proc Natl Acad Sci USA*, 2016, 113(11), p. 3 066-3 071, doi:10.1073/pnas.1518129113.

MILLET GY, « Can neuromuscular fatigue explain running strategies and performance in ultra-marathons? The flush model », *Sports Med*, 2011, 41 (6), p. 489-506, doi:10.2165/11588760-000000000-00000.

MILLET GY, AUBERT D, FAVIER FB, BUSSOT et BENOÎT H, « Effect of acute hypoxia on central fatigue during repeated isometric leg contractions », *Scand J Med Sci Sports*, 2009, 19(5), p. 695-702, doi:10.1111/j.1600-0838.2008.00823.x.

NYBOL et RASMUSSEN P, « Inadequate cerebral oxygen delivery and central fatigue during strenuous exercise », *Exercise and sport sciences reviews*, 2007, 35(3), p. 110-118, doi:10.1097/jes.0b013e3180a031ec.

NYBOL et NIELSEN B, « Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans », *J Appl Physiol (1985)*, 2001, 91(3), p. 1055-1060, doi:10.1152/jappl.2001.91.3.1055.

PAGEAUX B, « Perception of effort in exercise science: definition, measurement and perspectives », *Eur J Sport Sci*, 2016, 16(8), p. 885-894, doi:10.1080/17461391.2016.1188992.

SHEEHAN RB, HERRING MP et CAMPBELL MJ, « Associations between motivation and mental health in sport: a test of the hierarchical model of intrinsic and extrinsic motivation », *Frontiers in Psychology*, 2018, 9:707, doi:10.3389/fpsyg.2018.00707.

SMIRMAULBDEP, « Sense of effort and other unpleasant sensations during exercise: clarifying concepts and mechanisms », *Br J Sports Med*, 2012, 46(3), p. 308-311, doi:10.1136/bjism.2010.071407.

SMIRMAULBDEP, FONTES EB et NOAKES TD, « Afferent feedback from fatigued locomotor muscles is important, but not limiting, for endurance exercise performance », *J Appl Physiol (1985)*, 2010, 108(2), p. 458, doi:10.1152/jappphysiol.00976.2009.

TUCKER R, « The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance », *Br J Sports Med*, 2009, 43(6), p. 392-400, doi:10.1136/bjism.2008.050799.

WEINER B, « Attribution, emotion, and action », dans RM SORRENTINO et ET HIGGINS, *Handbook of motivation and cognition: Foundations of social behaviour*, Guilford Press, New York, 1986, p. 281-312.

WOODR et BANDURAA, « Impact of conceptions of ability on self-regulatory mechanisms and complex decision making », *Journal of Personality and Social Psychology*, 1989, 56(3), p. 407-415, doi:10.1037/0022-3514.56.3.407.

WRIGHT RA, « Refining the prediction of effort: Brehm's distinction between potential motivation and motivation intensity », *Social and Personality Psychology Compass*, 2008, 2(2), p. 682-701, doi:10.1111/j.1751-9004.2008.00093.x.

WRIGHT RA et FRANKLIN J, « Ability perception determinants of effort-related cardiovascular response: Mood, optimism, and performance resources », in RA WRIGHT, J GREENBERG, SS BREHM, *Motivational Analyses of social behavior: Building on Jack Brehm's contributions to psychology*, 2004, p. 187-204.



**INSTITUT NATIONAL DU SPORT,
DE L'EXPERTISE ET DE LA PERFORMANCE**

11, avenue du Tremblay - 75012 Paris- France

Tél. 01 41 74 41 00

www.insep.fr

