



HAL
open science

Les bénéfices de l'utilisation de l'indicateur physiologique fréquence respiratoire (FR), en comparaison à l'utilisation de la fréquence cardiaque (FC) dans la régulation de l'effort perçu des élèves en EPS

Igor Chavagnat, Paul Spagnol

► To cite this version:

Igor Chavagnat, Paul Spagnol. Les bénéfices de l'utilisation de l'indicateur physiologique fréquence respiratoire (FR), en comparaison à l'utilisation de la fréquence cardiaque (FC) dans la régulation de l'effort perçu des élèves en EPS. Education. 2021. dumas-03264575

HAL Id: dumas-03264575

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03264575>

Submitted on 18 Jun 2021

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

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

Mémoire de fin d'études

Les bénéfices de l'utilisation de l'indicateur physiologique fréquence respiratoire (FR), en comparaison à l'utilisation de la fréquence cardiaque (FC) dans la régulation de l'effort perçu des élèves en EPS.

Université de Nantes - INSPE - Master 2 MEEF EPS 2nd degré.

Etudiant : CHAVAGNAT Igor et SPAGNOL Paul

Sous la direction de : Yann Le Mansec

Soutenu en Juin 2021

Sommaire

Introduction.	3
1. Question de départ.	3
1.1. Contexte de la recherche.	3
1.2. Questions empiriques à l'origine de la recherche.	3
Cadre théorique.	4
1. Respiration et fréquence respiratoire.	5
2. Système cardio-vasculaire et fréquence cardiaque.	5
3. Effort perçu et exercice physique.	6
Revue de littérature.	6
1. La fréquence respiratoire comme marqueur de l'effort physique.	6
1.1. Une variable négligée ?	6
1.2. Son intérêt prouvé.	7
1.3. La suprématie discutable de la fréquence cardiaque ?	9
2. Comment mesurer la fréquence respiratoire sur le terrain ?	10
Objet de recherche.	11
Méthodes.	11
1. Participants.	11
2. Protocole expérimental.	12
3. Organisation des sessions.	13
4. Variables mesurées.	13
4.1. L'effort perçu.	13
4.2. Fréquence respiratoire.	14
4.3. Fréquence cardiaque.	14
5. Analyse statistique.	14
Résultats.	15
1. Répétabilité des résultats.	15
2. Effets de l'intensité de l'exercice sur les différentes mesures.	16
2.1. Variable RPE et intensité des courses.	16
2.2. Variable FC et intensité des courses.	17
2.3. Variable FR et intensité des courses.	17
2.4. Corrélation entre les variables RPE et FR.	19
2.5. Corrélation entre les variables RPE et FC.	19
Discussion.	20
1. FR : un outil sensible et reproductible ?	20

2. FR : un outil plus fiable pour rendre compte de l'effort perçu ?	21
3. Limites de l'étude.	24
4. Applications pratiques.	26
Conclusion	27
Annexes.	29
Bibliographie	34

Introduction.

1. Question de départ.

1.1. Contexte de la recherche.

Cette étude a lieu dans le cadre de notre Master 2 métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation, en lien avec l'INSPE de Nantes. Nos interrogations professionnelles dans le champ de la discipline EPS, au cours de nos nombreux stages en établissement scolaire, se sont dirigées vers la problématique du temps moteur des élèves et de l'impact que peut avoir la leçon hebdomadaire d'EPS sur leur santé à court, moyen et long terme. C'est donc vers le champ scientifique de la physiologie de l'exercice que nous nous sommes tournés pour trouver des pistes, des remédiations pédagogiques et didactiques permettant de contribuer à la santé physique de nos élèves et à leur connaissance d'eux même.

Ainsi, cette étude s'ancre dans ce contexte d'optimisation de la santé de nos élèves lycéens, arrivant au terme de leur parcours scolaire obligatoire, où la nécessité de construire des connaissances, des repères et des habitudes de travail sur les exercices physiques et les mouvements du corps dans l'espace, est primordiale.

1.2. Questions empiriques à l'origine de la recherche.

De nombreux questionnements ont émergé en réfléchissant à cette problématique de l'impact de nos actions sur la santé de nos élèves en EPS.

Tout d'abord, la question relative au temps d'activité motrice des élèves lors des leçons fut la première à être évoquée puisqu'il s'agit de la variable la plus facilement modifiable. En effet, il suffit pour l'enseignant d'EPS d'un point de vue didactique, de réduire le nombre de situations différentes au sein d'une leçon, de cibler un objet d'enseignement précis comme le maintien d'une allure de course et d'augmenter le nombre de répétitions des exercices. D'un point de vue pédagogique, il optimisera le temps des consignes, les rotations des différents rôles sociaux et les échanges entre élèves pour leur permettre une activité motrice plus importante. Cet impact à court terme non négligeable de l'enseignant d'EPS est à relativiser quant au temps horaire consacré à la discipline dans l'année scolaire, notamment sur le cycle lycée.

Ensuite, la question de l'inactivité de certains élèves en dehors des heures d'EPS, notamment renforcée à cause du contexte sanitaire, fut prégnante à nos yeux, pour leur santé physique de tous les jours et leur réussite à l'examen du baccalauréat. L'enseignant d'EPS peut

prolonger ses actions, en incitant les élèves à poursuivre les exercices à la maison, à l'image de ce que peuvent proposer les autres disciplines d'enseignement. De plus, il invite les élèves à participer aux activités physiques qui ont lieu dans le cadre de l'Association Sportive de l'établissement. Cependant, l'enseignant peut difficilement forcer les élèves à effectuer tel ou tel exercice sur des créneaux horaires non obligatoires, ce qui a peu d'impact au final sur les élèves inactifs. Cette question de la santé à moyen terme des élèves est délicate à traiter et à analyser tant elle est dépendante de leurs envies, de leur motivation et de leur passé.

Enfin, la question d'une éducation à la santé des élèves sur le long terme, en leur donnant les ressources, connaissances et des mises en œuvre pour une activité motrice efficiente, nous a intéressés. Effectivement, l'enseignant d'EPS, sur le temps qui lui est consacré, peut transmettre aux élèves des modes de fonctionnement pour une activité motrice sécuritaire, adaptée à chacun, omniprésente et variée dans leur futur mode de vie actif. La mise en place d'échauffements routiniers, l'étude des différents mouvements et des critères de réalisation pour pratiquer en sécurité, l'apprentissage de ses ressources et de ses capacités pour une connaissance approfondie de soi, sont des éléments que l'enseignant d'EPS proposera aux élèves, pour en espérer une continuité plus tard dans leur future vie personnelle et professionnelle. Pour cela, nous nous sommes demandés comment l'enseignant d'EPS et par quelles actions, peut-il développer une meilleure connaissance de soi des élèves lors d'une activité physique ? En cela, l'importance des valeurs physiologiques et des échelles de ressenti ne sont plus à démontrer, mais la fonction respiratoire n'est que peu utilisée par les enseignants d'EPS pour travailler sur la connaissance de soi des élèves. Ainsi, nous avons voulu investir ce terrain inconnu qu'est l'utilisation de la fréquence respiratoire dans l'analyse et la gestion des ressources des élèves dans une activité motrice de course.

Cadre théorique.

Au cours de ce mémoire un certain nombre de concepts et de notions théoriques vont être exploités. Nous allons tenter de les présenter et de les définir en s'appuyant sur un cadre théorique de référence.

1. Respiration et fréquence respiratoire.

La respiration, indépendante de notre volonté, est un phénomène dont il est possible de prendre temporairement le contrôle. Le muscle du diaphragme est le principal acteur de ce processus. La fonction première du système respiratoire est de prendre l'oxygène et d'éliminer le dioxyde de carbone. La ventilation alvéolaire représente le débit d'air inspiré qui pénètre dans les alvéoles et participe aux échanges gazeux. La ventilation alvéolaire se calcule suivant la formule suivante : VA (Ventilation Alvéolaire) = VC (Volume Courant) - VM (Volume mort) * FR . L'amplitude de la respiration est représentée par le volume courant (il est parfois appelé volume tidal : VT). Le volume mort est le volume de gaz (environ 150 ml) qui est toujours présent dans les alvéoles et qui ne participe pas aux échanges alvéolo-capillaires. La fréquence respiratoire est le nombre de cycles respiratoires comprenant l'inspiration et l'expiration, exprimée sur une minute. Au cours d'un exercice progressivement croissant en intensité, on observe que la ventilation évolue d'abord de manière linéaire puis à partir d'une certaine intensité (plus ou moins variable selon les individus en fonction de l'âge, du sexe et de la forme physique), la ventilation augmente significativement jusqu'à atteindre son maximum. Lors de l'effort, le corps agit sur les deux paramètres que sont l'amplitude de respiration agissant sur le volume courant et la fréquence respiratoire pour augmenter la ventilation alvéolaire. Néanmoins, il est préférable d'adopter une respiration lente et ample pour avoir un apport d'oxygène plus important que si l'on respire rapidement, de manière superficielle.

2. Système cardio-vasculaire et fréquence cardiaque.

Afin de faire circuler le sang dans le corps, le cœur se contracte et se dilate. Le point de départ du circuit est situé au niveau de la partie du cœur la plus musclée : le ventricule gauche. Lors de la contraction de ce dernier, le sang est éjecté vers le réseau artériel puis gagne successivement le réseau capillaire et le réseau veineux. Le réseau veineux est relié à l'oreillette. Le sang qui arrive alors dans l'oreillette est ensuite propulsé vers la deuxième cavité droite, le ventricule. Lors de sa contraction, le ventricule droit expulse le sang vers les poumons où le sang se libère du gaz carbonique qu'il a emmagasiné et se recharge en oxygène. Ce sang réoxygéné est redirigé vers l'oreillette gauche où il est par la suite propulsé dans le ventricule gauche. Ce cycle est répété à chaque battement du cœur. Le débit cardiaque est le volume de sang expulsé par unité de temps et il peut se calculer selon la formule suivante $Q = VES * FC$ où Q représente le débit cardiaque, VES le volume sanguin éjecté par chaque ventricule à chaque

contraction. La fréquence cardiaque est le nombre de battements, c'est-à-dire de contractions, que le cœur réalise en une minute. Au cours de l'exercice musculaire, le débit cardiaque augmente. Cette augmentation est linéaire avec l'intensité de l'effort. Il peut passer de 5 L/min au repos à 25 ou 30 L/min lors d'un effort maximal. La fréquence cardiaque dépend essentiellement du système nerveux autonome (SNA), du système endocrinien (les hormones) ainsi que d'autres facteurs. Lors d'un effort physique, le volume d'éjection systolique étant constant, c'est la fréquence cardiaque qui va influencer sur l'augmentation du débit cardiaque.

3. Effort perçu et exercice physique.

À présent, on parle de "difficulté perçue" (Delignières, 1990), lorsque l'évaluation de l'effort perçu accompagne ou suit l'exécution. Quand on parle de perception de la difficulté, on suppose l'existence d'une réalité objective dont le sujet se forge une représentation. La mise au point d'échelles de catégories vise à permettre une évaluation individuelle de la perception de l'effort. La plus connue est l'échelle de Borg (1970) pour la perception de l'effort (RPE : Rating of Perceived Exertion). Il s'agit d'une échelle en 15 points, notés de 6 à 20. L'échelle est en outre ponctuée d'expressions verbales qui visent à faciliter l'évaluation. L'échelle est conçue pour prendre en compte l'ensemble du continuum subjectif : la cotation 6 correspond à un effort nul et la cotation 20 à l'effort maximal. Enfin, cette échelle est construite pour varier linéairement avec l'intensité objective de la tâche et de la fréquence cardiaque. De nombreuses expériences ont confirmé la linéarité de ces relations (Borg et al., 1970). Plus précisément, le score attribué par les sujets sur la "RPE scale" est approximativement égal à la fréquence cardiaque divisée par 10.

Revue de littérature.

1. La fréquence respiratoire comme marqueur de l'effort physique.

1.1. Une variable négligée ?

La mesure de la fréquence respiratoire (FR) lors d'un entraînement physique ou encore en EPS n'est que rarement effectuée. Celle-ci s'utilise plus couramment dans les bilans secouristes pour attester des signes ventilatoires vitaux d'une personne en détresse. Néanmoins,

cette mesure peut s'avérer très utile lors d'un effort physique pour réguler son projet d'entraînement et construire des repères sur soi. En effet, pour les scientifiques et les praticiens du sport appliqué (Marcora, 2010), la fréquence respiratoire (FR), corrélée à l'effort physique des élèves, reflète à quel point une tâche physique est difficile, lourde et pénible tandis que la perception de l'effort est la sensation consciente de cette tâche physique. Ainsi, la variable FR semblerait être un indicateur possible et pertinent dans la régulation de l'effort physique des élèves en EPS, en leur permettant de faire un lien direct entre l'exercice effectué objectivable et leur effort perçu de celui-ci. C'est ce que souligne une équipe de chercheurs (James et al., 1989) en proposant d'utiliser FR comme variable pour surveiller et réguler les exercices physiques. L'utilisation de cet indicateur paraît donc intéressante pour permettre la création de liens chez les élèves entre des ressentis (effort perçu), des effets (variation de la fréquence respiratoire) et des paramètres de la charge d'entraînement (variation de la charge de travail). De plus, il est facilement utilisable par les élèves, lors de certaines activités supports et séances d'EPS.

1.2. Son intérêt prouvé.

La fréquence respiratoire joue un rôle important pendant l'exercice en tant que marqueur puissant de l'effort physique, plus encore que d'autres variables physiologiques traditionnellement surveillées (Nicolò et al., 2017). Des avantages physiologiques pourraient expliquer plus en détail l'intérêt d'utiliser FR en tant que variable de contrôle de l'effort physique en cours d'EPS. En effet, l'un de ses avantages est le contrôle de la ventilation par la commande centrale pendant l'exercice (Forster et al., 2012). Or, la commande centrale est également le signal sensoriel de l'effort perçu (Marcora, 2009). Ainsi, lors d'un exercice physique, la commande centrale présente dans le cortex moteur, à l'arrière du lobe frontal, régule la ventilation tout comme l'envoie des signaux sensoriels, sources de la perception de l'effort chez l'humain. Le contrôle de cette fonction ventilatoire avant, pendant ou après l'effort permettrait de renseigner les sensations corporelles vécues par l'athlète en exercice. Celles-ci sont liées à la fatigue musculaire, l'épuisement du glycogène, l'exposition à la chaleur et aussi et surtout à l'hypoxie lors de l'effort physique. Cela fournit donc une explication neurophysiologique de l'association observée entre l'effort perçu et FR.

De plus, il a été montré que FR (contrairement aux autres variables physiologiques) dispose d'une réponse très rapide dès le début de l'exercice (Nicolò et al., 2015). Par exemple, lors d'un exercice complet et soutenu, FR augmente rapidement au début de l'exercice et atteint

rapidement des valeurs maximales qui sont maintenues tout au long de l'essai (Nicolò et al., 2015). Son inertie faible, aux variations d'effort, a également été mise en exergue lors des exercices à haute intensité en intermittence (HIIT par cycle de 60 secondes de travail puis de récupération ; FR varie d'environ 20 à 30 mouvements respiratoires entre les phases, soit une augmentation ou une diminution de plus de 50% ; cf. *annexe 1*). Cette dernière s'étend d'environ 12 à 16 cycles au repos, jusqu'à plus de 60 par minute lors d'un exercice intense pour un sujet sain non entraîné de 20 ans. En guise de comparaison, le spectre de FC s'étend de 60 à 200 battements par minute pour un même sujet. Son inertie est forte aux variations d'un effort physique. En effet, FC croît très rapidement lors d'un effort mais décroît plus lentement lors de la récupération (sur une même durée, FC diminue de 25%, ne retrouvant donc pas sa valeur de départ).

Cela fait de FR une variable utile pour décrire les changements rapides d'effort, très présents dans certaines APSA en EPS telles que le 3 X 500m. Cependant, il est important de souligner que la plupart des preuves suggérant que FR est un marqueur d'effort valide proviennent d'études qui ont utilisé le cyclisme comme modalité d'exercice. En revanche, moins de données sont disponibles relatives à d'autres modalités d'exercice, i.e. course à pied.

Pour finir, la première tentative d'interprétation des données de FR normalisées en FR_{max} a été réalisée par Nicolò et al. (2014). Les auteurs ont trouvé une forte corrélation entre le pourcentage de FR_{max} (% FR_{max}) et l'effort ressenti (RPE), que ce soit au cours d'un exercice continu ou d'un exercice intermittent de haute intensité (HIIT). Ainsi, les auteurs ont montré que 80% de FR_{max} correspondait à un effort perçu comme difficile alors que 88%... à un effort perçu comme très difficile. Une corrélation significative a été mise en évidence par ces auteurs entre la perception de l'effort (évaluée avec l'échelle 6 - 20 RPE) et la FR pour des intensités d'efforts comprises entre 65% et 100% de FR_{max} .

Toutefois, certains auteurs tels que Vai et al (1988) ont mené des recherches sur la relation entre FR et l'intensité d'un effort physique, par l'utilisation de cycloergomètres lors de tâches de 30 secondes et avec des intensités croissantes (50, 100, 150 et 200 W). Ils ont observé et constaté une corrélation négative ($-0,54 \pm 0,38$). Ils concluent sur le fait que ces observations ont confirmé leur idée selon laquelle FR n'est pas un indicateur pertinent, notamment au début d'un exercice de faible intensité. Cette étude est toutefois à relativiser du fait du nombre réduit de participants (4).

1.3. La suprématie discutable de la fréquence cardiaque ?

L'indicateur physiologique FR, non exploité en EPS, peut être logiquement comparée à l'indicateur fréquence cardiaque. Effectivement, ce dernier est massivement utilisé par les enseignants en établissement scolaire, dès qu'il est question de construire une connaissance de soi, de développer ses ressources et de s'entretenir en fonction des effets recherchés. La FC est parfois utilisée en valeur absolue mais, le plus souvent, cette valeur est normalisée selon la FCmax hypothétique de chaque élève ($FC_{max} = 207 - 0,7 \times \text{âge}$ ou encore $FC_{max} = 220 - \text{âge}$, plus rapide mais moins fiable). Cet indicateur est alors utile pour réguler des projets d'effort physique.

Premièrement, d'un point de vue du lien existant entre la variable mesurée et l'effort perçu (RPE), il a été montré que FR était plus fortement corrélée à l'effort perçu que FC (Noble et al., 1973). En effet, on remarque que l'évolution de la fréquence respiratoire tout comme la fréquence cardiaque augmente progressivement lors d'un exercice d'intensité croissante, mais que cette première croît de manière identique à l'effort perçu des élèves. Qui plus est, nous savons que la fréquence cardiaque n'est pas forcément représentative des sensations et perceptions de l'effort physique (Nicolò et al., 2014). En effet, lors d'un effort prolongé (25-30 minutes), le RPE tend à croître de manière monotone, même lorsque la fréquence cardiaque atteint le plateau correspondant à la vitesse imposée (Feltz et al., 1988). On ne peut donc conclure que la fréquence cardiaque est le déterminant de la perception de l'effort ni surtout qu'elle en constitue le seul. Outre la fréquence cardiaque, diverses variables physiologiques ont été mises en relation avec l'effort perçu. Certains auteurs ont ainsi montré que l'effort perçu pouvait être corrélé avec la lactatémie (Borg et al., 1987), la consommation d'oxygène (Hetzler et al., 1991), le débit ventilatoire (Seip et al., 1991), ou la viscosité sanguine (Brun et al., 1990).

Deuxièmement, la réactivité de la variable physiologique FC est moindre, face aux changements de la charge de travail (Nicolò et al., 2014, 2017), à contrario de FR. Nous pouvons ainsi conjecturer que la prise de FR au cours d'exercices intermittents, est plus adaptée du fait qu'elle présente une cinétique plus rapide (Faude et al., 2016), notamment lors de la phase "post-effort" (récupération). Cela fait donc de FR, une variable plus fiable que FC quant aux régulations homéostatiques du corps à l'exercice physique.

Enfin, d'un point de vue plus pratique, la prise de mesure des variables physiologiques peut parfois s'avérer compliquée avec des élèves, et notamment lors de séances en extérieur. Effectivement, lors d'une prise de mesure manuelle de la fréquence cardiaque, que celle-ci soit carotidienne ou radiale, les élèves ont souvent du mal à compter précisément les battements, se

perdent, voire inventent une valeur. En outre, la recherche du pouls par les élèves en EPS peut être complexe, provoquant du temps d'attente et donc une inexactitude des résultats. A contrario, FR lorsqu'elle est prise à l'abdomen, est facilement mesurable par les élèves puisque celle-ci est clairement identifiable (lorsque l'inspiration est maximale, les élèves comptent 1 mouvement) et que les valeurs sont plus faibles, ne dépassant pas les 60 mouvements respiratoires par minutes.

Toutefois, l'utilisation de la fréquence cardiaque comme variable de contrôle de l'effort a été scientifiquement relevée. En effet, certains auteurs tels que Basset et Chouinard ont trouvé que "la fréquence cardiaque est un indicateur ponctuel de l'état d'entraînement relativement valide jusqu'à 85-90% du VO₂ max." (2002)

2. Comment mesurer la fréquence respiratoire sur le terrain ?

L'indicateur physiologique FR peut être directement mesuré par des appareils portables enregistrant le débit à la bouche (par exemple, des capteurs de débit), mais nécessitant l'utilisation d'un masque facial. Ces appareils (par exemple, K5 ou Cosmed) sont précis mais relativement intrusifs et ne sont pas adaptés en EPS. La fréquence respiratoire peut également être mesurée par électrocardiogramme (ECG), par photopléthysmographie (technologie utilisée dans les montres et bracelets connectés) ou encore par des capteurs surveillant le dioxyde de carbone exhalé, la température de l'air ou l'humidité. Enfin, FR peut être mesurée simplement en utilisant les mouvements de la poitrine et de l'abdomen induits par la ventilation (Nicolo et al., 2017). C'est cette dernière méthode de mesure que nous utiliserons dans notre protocole en raison des limites qui nous incombent lors d'une séance d'EPS. En effet, le nombre d'élèves importants, les moyens financiers limités ou encore le temps moteur restreint d'une leçon d'EPS imposent cette modalité de prise de mesure de la fréquence respiratoire. En outre, celle-ci tout comme l'est la prise de la FC, peut être un contenu d'enseignement à part entière, permettant ainsi à l'élève de se situer.

Cependant, comme nous l'avons vu précédemment, FR dispose d'une faible inertie, suggérant que toute modification de l'intensité de l'exercice entraîne une évolution rapide de FR. C'est pourquoi, la mesure de FR doit être immédiatement prise après l'exercice physique et ce sur une durée maximum de 30 secondes pour avoir une mesure la plus juste et fiable possible.

Objet de recherche.

Est-il possible que la FR remplace avantageusement la FC en milieu scolaire ? Pour répondre à cette question, nous allons vérifier que la FR respecte bien les critères d'un outil utilisable, à savoir une répétabilité satisfaisante et une bonne capacité à discriminer les efforts, i.e. sensibilité. De plus, même si cela a été montré chez des cyclistes professionnels (Nicolò et al, 2014), nous chercherons à montrer que la corrélation entre FR et RPE est supérieure à celle observée entre FC et RPE chez des scolaires, en course à pied.

Ainsi, au cours de ce travail de recherche, nous faisons l'hypothèse que la fréquence respiratoire est un outil pertinent et qu'en ce sens, il respecte les deux critères de répétabilité et de sensibilité. Cela signifie qu'un sujet réalisant à plusieurs reprises un exercice à une intensité donnée observera des valeurs de FR proches, i.e. répétabilité, et que, parallèlement, cet outil est apte à discriminer des exercices réalisés à des intensités différentes, i.e. sensibilité.

Nous faisons également l'hypothèse que, pour un public scolaire, cet indicateur (FR) est davantage prédictif de la perception de l'effort que la FC, cette dernière étant pourtant largement utilisée par les enseignants d'EPS.

Méthodes.

1. Participants.

Pour cette étude, deux classes de 28 élèves de seconde, d'un lycée général et technologique semi-rural, ont participé à l'expérimentation (n=56 ; 33 filles, 23 garçons). Les élèves étaient âgés de 15 ans à 17 ans.

Tableau 1. Caractéristiques des sujets

	Âge (n=56)	Poids (n=56)	Taille (n=56)
Moyenne (\pm SD)	16,1 (\pm 0,4)	57,5 (\pm 11,5)	168,2 (\pm 9,3)

Les sujets ont été informés des différents tests à réaliser et ont fait signer à leurs parents une fiche de consentement de participation. De plus, nous avons demandé aux élèves en amont de l'expérimentation leurs habitudes motrices en dehors des heures d'EPS obligatoires. Pour

sonder les élèves, nous avons fait remplir une fiche de renseignements à tous les participants (*Annexe 9*).

Tableau 2. Données descriptives de l'activité physique des participants

	HSASS	HSDSS	LC	LAS
Moyenne (\pm SD)	4,14 (\pm 2,6)	2,21 (\pm 1,8)		
Pourcentage			53%	7%

HSASS = heures de sport hebdomadaire avant situation sanitaire ; HSDSS = heures de sport hebdomadaire depuis le début de la situation sanitaire ; LC = licencié en club ; LAS = licencié à l'AS.

2. Protocole expérimental.

Le protocole expérimental consistait à mesurer, durant une leçon d'EPS, dans l'activité "course de durée" avec des lycéens, la fréquence respiratoire (FR), la fréquence cardiaque (FC) et l'effort perçu (RPE) de chaque élève et cela à plusieurs reprises au cours d'un test incrémental discontinu. La population lycéenne est intéressante puisque nous pensons que l'utilisation de la variable physiologique FR peut être un indicateur pertinent pour permettre aux élèves d'atteindre l'objectif "savoir se préparer et s'entraîner" (*BO du 22 janvier 2019*), en donnant du sens aux effets, paramètres et ressentis lors de l'exercice physique. Ce test s'est déroulé en deux temps.

Dans un premier temps, les élèves réalisaient un test de Cooper (course continue de 12 minutes) à deux reprises, sur deux leçons distinctes, afin d'estimer leur VMA (le meilleur des 2 essais a été pris en compte pour la suite de l'expérimentation). De plus, les élèves ont été familiarisés avec les techniques de prises de mesures de FC, de FR et de RPE tout comme à l'utilisation de la fiche de recueil des données (*Annexe 7*).

Dans un second temps, les élèves réalisaient des courses de 72 secondes (2 tours de 36 secondes pour permettre une hausse significative des valeurs physiologiques mesurées) à différentes intensités (en % VMA) autour d'un parcours en gigogne (*Annexes 6 et 8*). Ce parcours permet une différenciation des allures de courses de tous les élèves quel que soit leur potentiel. Il est constitué d'un premier carré de 40 mètres (4 km/h), matérialisé par 4 plots espacés de 10 mètres. Ce dispositif s'appuie sur le fait qu'en 36 secondes à la vitesse d'1 km/heure, 10 mètres sont parcourus. D'autres carrés sont donc formés à partir de celui-ci, en ajoutant 2,5 mètres de distance à chaque plot. De cette façon, nous ajoutons 10 mètres de plus

à chaque carré jusqu'à obtenir un parcours légèrement supérieur à l'élève dont la VMA était la plus élevée (dans notre classe c'est Kevin avec une VMA de 17, donc 190 mètres pour qu'il puisse courir à 19 km/h, soit 110% de sa VMA). Chaque élève devait effectuer 1 essai par intensité de course pour les 6 proposées (60%, 70%, 80%, 90%, 100% et 110% de sa VMA). Celles-ci étaient effectuées aléatoirement, par un tirage au sort au début du protocole, et cela à chaque session pour ne pas influencer les élèves. Pour faciliter le choix du parcours en fonction des intensités, les élèves avaient à leur disposition un tableau de conversion (*Annexe 5*) permettant d'obtenir en fonction du pourcentage de VMA, la vitesse de course à adopter. D'un point de vue organisationnel, nous avons associé les élèves à un de leur camarade de VMA proche. Lorsque l'un courait, l'autre observait si l'allure de son camarade était respectée (le coureur se retrouvait au départ après chaque "bip" de l'enseignant). À la fin d'une course (72 secondes), l'élève coureur rejoignait rapidement son partenaire. Puis, au "top" de l'enseignant, l'élève observateur prenait la fréquence respiratoire de son camarade tandis que celui qui avait couru, devait prendre sa propre fréquence cardiaque sur 30 secondes. Ces mesures se réalisaient debout. Enfin, l'élève qui venait de courir devait multiplier les valeurs obtenues par deux (résultats normalisés sur une minute), noter les résultats sur la fiche de recueil (*Annexe 7*) et indiquer l'effort perçu lors de cette course. Lorsqu'un élève courait, son binôme était en récupération active (balisée par deux plots, l'élève effectuait des aller-retours à allure modérée). Les élèves alternaient ensuite les rôles et une nouvelle course était lancée par l'enseignant.

3. Organisation des sessions.

Le test expérimental fut organisé de la façon suivante, un premier temps d'échauffement de 20 minutes en autonomie où il était demandé aux élèves par binôme, d'effectuer une phase cardio-respiratoire, une phase articulaire et une phase musculaire et de renforcement spécifique à l'activité course de durée. Un deuxième temps de 50 minutes, organisé autour de notre test incrémental discontinu avec les prises de mesures correspondantes.

4. Variables mesurées.

4.1. L'effort perçu.

L'effort perçu a été mesuré à travers une échelle de Borg, modifiée pour être adaptée aux enfants et adolescents. Pour cela nous nous sommes appuyés sur l'échelle CERT ("Children's effort rating table scale", Williams et al., 1994) qui présente des cotations de 1 à

10 et une sélection d'images, de mots ou d'expressions utilisés par les enfants (*annexe 4*). L'effort perçu a été mesuré immédiatement à chaque fin de course d'1 min et 12 sec.

4.2. Fréquence respiratoire.

La fréquence respiratoire a été mesurée à chaque fin de course d'1 min 12 par le binôme du coureur qui venait placer sa main au niveau de l'abdomen de ce dernier. Au signal de l'enseignant, le binôme comptait les mouvements de l'abdomen induits par la ventilation du coureur. L'enseignant indiquait le signal d'arrêt 30 secondes plus tard. L'observateur indiquait ensuite la valeur mesurée (multipliée par deux pour avoir un résultat sur 1 minute) dans la fiche de recueil des données du coureur (*annexe 7*).

4.3. Fréquence cardiaque.

La fréquence cardiaque a été mesurée à la fin de chaque course d'1 min 12 par le coureur lui-même au niveau du cou, en plaçant la pulpe de l'index et du majeur sur ses artères carotides au niveau du creux situé entre la trachée et le grand muscle du cou. Il comptait le nombre de pulsations cardiaques durant 30 secondes (les mêmes 30 secondes pendant lesquelles son binôme mesurait sa fréquence respiratoire) et inscrivait ensuite le résultat (multiplié par deux) dans la fiche de recueil des données (*annexe 7*). Au préalable, les élèves ont été familiarisés avec ces techniques de mesure de FC et de FR, en amont du protocole, pour obtenir des résultats les plus fiables possibles.

5. Analyse statistique.

Tous les calculs ont été réalisés via les logiciels Excel (Microsoft® Excel®, 2019, MSO) et Statistica V6 Software (Statsoft, OK, USA). La normalité des séries a été vérifiée grâce au test de Kolmogorov-Smirnov. Les valeurs sont présentées sous la forme de moyenne \pm écart type. Pour tous les tests statistiques, le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$.

5.1. Répétabilité des mesures.

Pour mesurer la répétabilité inter-session, les essais (1 par intensité et par élève) de la session 1 et de la session 2 ont été analysés pour chaque intensité de course (60%, 70%, 80%, 90%, 100% et 110% de VMA). Ainsi, pour chaque intensité étudiée, le coefficient de variation

(CV, écart type/moyenne x 100) devait être calculé mais n'a pu être effectué du fait de l'annulation de la session 2.

5.2. Sensibilité des variables FR, RPE et FC

Afin d'évaluer la sensibilité de FR, RPE et FC, des analyses de variance (ANOVA), pour un groupe à mesures répétées (facteur intensité, 6 intensités : 60%, 70%, 80%, 90%, 100% et 110% de VMA) ont été réalisées. En cas de significativité, un test post-hoc (HSD Tukey) a été appliqué afin de distinguer les différences entre les différentes courses. La valeur du partial eta square (η^2) a été utilisée afin de mesurer la taille de l'effet avec des valeurs de $\eta^2 > 0.01$, $\eta^2 > 0.07$, $\eta^2 > 0.14$ pour respectivement, un effet faible, moyen ou fort (Cohen, 1988).

5.3. Corrélations entre la FR, la FC et l'effort perçu.

Pour établir une corrélation entre FR et l'effort perçu ainsi qu'entre FC et l'effort perçu, le coefficient de corrélation linéaire de Bravais-Pearson (r) a été calculé avec le logiciel Excel. Par la suite, la table du r de Bravais-Pearson nous a indiqué la probabilité pour que le coefficient de corrélation égale ou dépasse, en valeur absolue, une valeur donnée en fonction du nombre de degrés de liberté (ici DDL = 50 puisque $n-2 = 54$ sujets).

Résultats.

1. Répétabilité des résultats.

Le protocole d'expérimentation n'a eu lieu qu'une seule fois et en raison de la situation sanitaire en vigueur, n'a pas pu être reproduit par la suite. Ainsi, nous ne pouvons pas proposer les tests statistiques, c'est-à-dire le calcul des coefficients de variation, pour chaque intensité de course effectuée. Nous ne pouvons donc conclure sur la répétabilité de nos résultats, ce qui fera l'objet de discussions dans la partie concernée de notre mémoire.

2. Effets de l'intensité de l'exercice sur les différentes mesures.

Les trois graphiques présentés ci-dessous relatent les résultats de notre expérimentation auprès de la population étudiée. Ils montrent l'évolution de nos variables d'étude que sont la RPE, FC et FR en fonction des différentes courses effectuées par les élèves à des allures différentes (%VMA).

2.1. Variable RPE et intensité des courses.

L'ANOVA a montré un effet significatif de l'intensité de l'exercice sur l'effort perçu ($\eta^2 = 0,735$; $p < 0,001$). La RPE a augmenté régulièrement entre l'intensité la plus faible (60% VMA, $1,63 \pm 0,78$) et la plus élevée (110% VMA, $5,07 \pm 1,80$). Les tests post-hoc ont montré des différences significatives ($p < 0,001$) pour chaque intensité d'exercice lorsque celle-ci était comparée à l'intensité immédiatement supérieure, à partir de 70% VMA. Aucune différence n'a été observée entre 60 et 70% VMA (Figure 1).

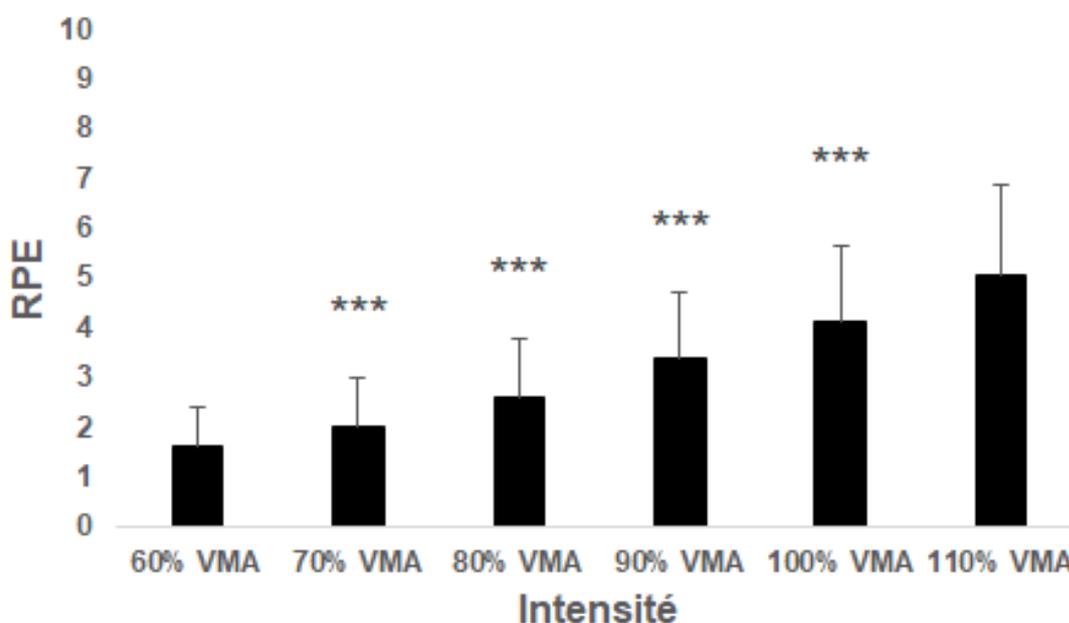


Figure. 1. Évolution de la RPE en fonction du pourcentage de VMA. ***, différence significative ($p < 0,001$) avec l'intensité suivante. Les résultats sont présentés sous la forme Moyenne \pm Écart type.

2.2. Variable FC et intensité des courses.

L'ANOVA a montré un effet significatif de l'intensité de l'exercice sur la fréquence cardiaque ($\eta^2 = 0,552$; $p < 0,001$). La FC a augmenté régulièrement entre l'intensité la plus faible (60% VMA, $110,29 \pm 22,30$) et la plus élevée (110% VMA, $146,07 \pm 23,72$). Les tests post-hoc ont montré des différences significatives ($p < 0,001$) pour chaque intensité d'exercice lorsque celle-ci était comparée à l'intensité immédiatement supérieure, à partir de 60% VMA et ce jusqu'à 80% VMA. Aucune différence significative n'a été observée au-delà (Figure 2).

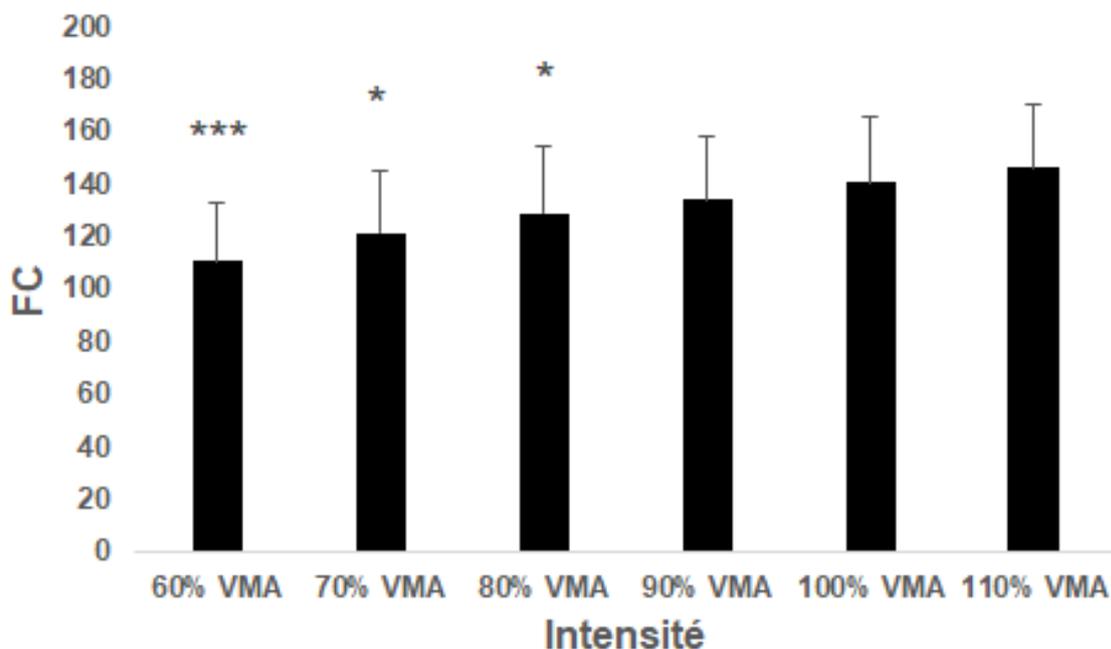


Figure. 2. Évolution de la fréquence cardiaque en fonction du pourcentage de VMA. *, différence significative ($p < 0,05$) avec l'intensité suivante ; ***, différence significative ($p < 0,001$). Les résultats sont présentés sous la forme Moyenne \pm Écart type.

2.3. Variable FR et intensité des courses.

L'ANOVA a montré un effet significatif de l'intensité de l'exercice sur la fréquence respiratoire ($\eta^2 = 0,553$; $p < 0,001$). La FR a augmenté régulièrement entre l'intensité la plus faible (60% VMA, $29,67 \pm 5,71$) et la plus élevée (110% VMA, $38,85 \pm 8,57$). Les tests post-hoc ont montré des différences significatives ($p < 0,001$) pour chaque intensité d'exercice lorsque celle-ci était comparée à l'intensité immédiatement supérieure, à partir de 90% VMA,

ainsi que celle à 60% VMA. Aucune différence significative n'a été observée pour les intensités 70% et 80% VMA (Figure 3).

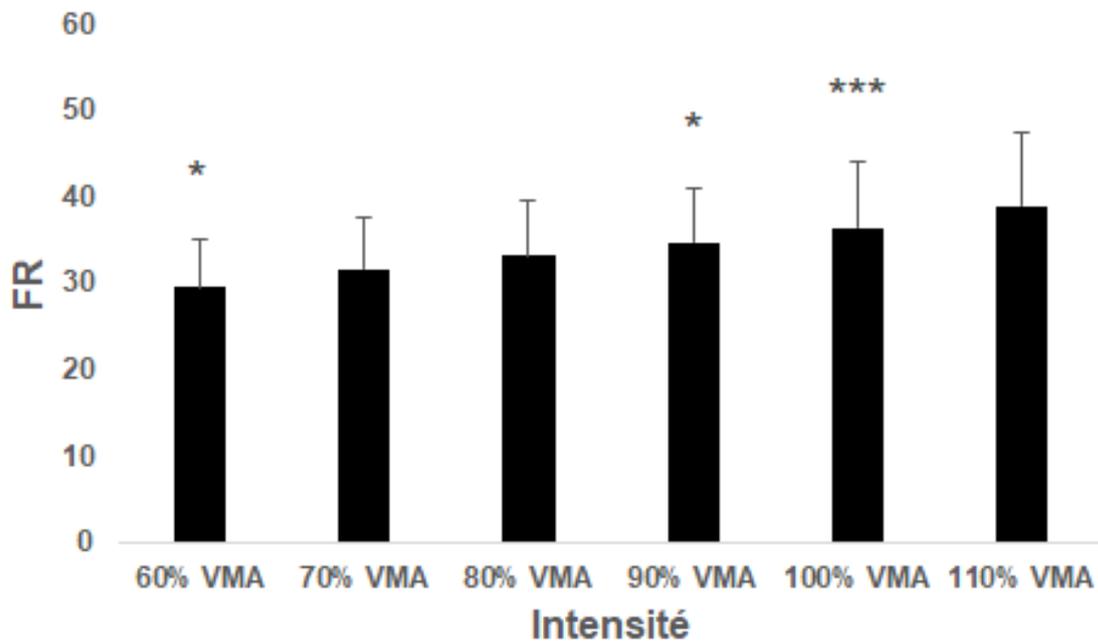


Figure. 3. Évolution de la fréquence respiratoire en fonction du pourcentage de VMA. *, différence significative ($p < 0,05$) avec l'intensité suivante ; ***, différence significative ($p < 0,001$). Les résultats sont présentés sous la forme Moyenne \pm Écart type.

2.4. Corrélation entre les variables RPE et FR.

Une corrélation significative ($r = 0,28$; $p < 0,05$) a été observée entre la RPE et la fréquence respiratoire pour l'intensité 110% VMA.

La Figure 4 montre la corrélation entre la fréquence respiratoire normalisée (%FR max) et la RPE pour les 6 intensités d'exercice réalisées.

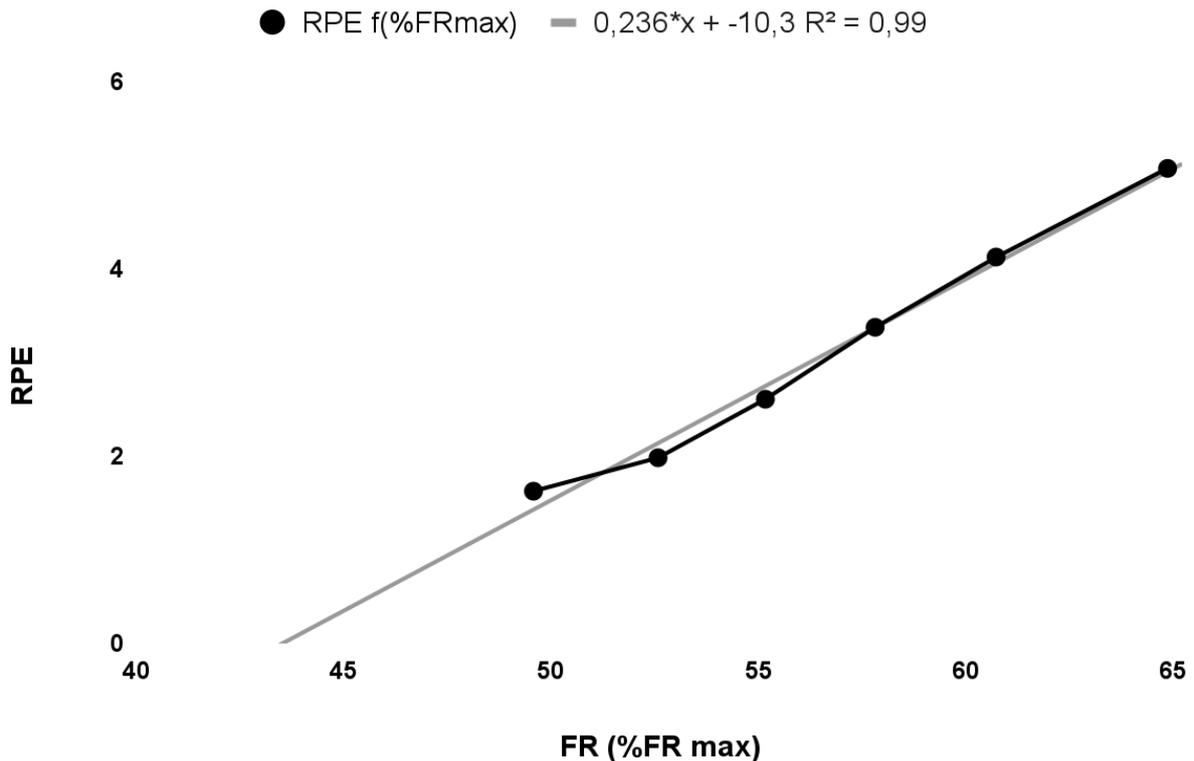


Figure. 4. Corrélation entre RPE et FR normalisée à FR max (%FRmax). Note : significativité à $p < 0,05$.

2.5. Corrélation entre les variables RPE et FC.

Aucune corrélation n'a été observée entre la RPE et la fréquence cardiaque, et ce pour chacune des 6 intensités d'exercice.

La Figure 5 montre la corrélation entre la fréquence cardiaque normalisée (%FC max) et la RPE pour les 6 intensités d'exercice réalisées.

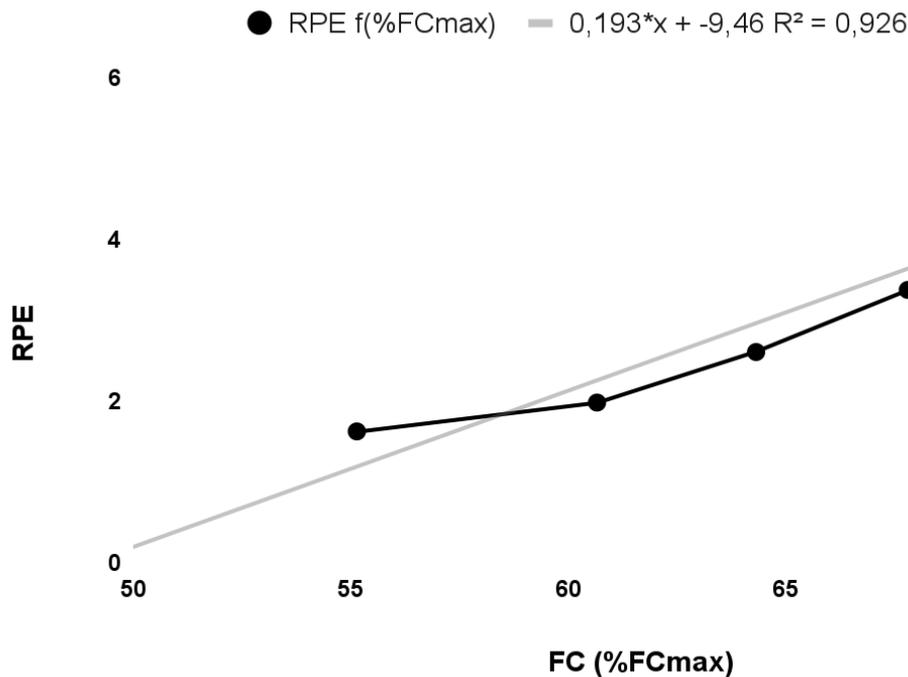


Figure. 5. Corrélation entre RPE et FC normalisée à FC max (%FCmax). Note : significativité à $p < 0,05$.

Discussion.

Notre étude s'appuie et s'inscrit dans le champ de recherche de la physiologie appliquée à l'exercice et au mouvement humain. Elle s'ancre dans le cadre d'un contexte spécifique, celui de l'EPS en milieu scolaire.

1. FR : un outil sensible et reproductible ?

Pour rappeler de façon succincte, l'hypothèse première de notre étude consistait à montrer que la fréquence respiratoire était un indicateur physiologique pertinent à utiliser car reproductible et sensible. Le contexte sanitaire ne nous a pas permis de confirmer totalement notre première hypothèse, la répétabilité des mesures de la fréquence respiratoire n'ayant pu être mesurée.

Au sein du champ scientifique, il n'existe pas ou très peu d'études sur l'utilisation de la fréquence respiratoire en milieu scolaire. Or nos résultats ont montré une significativité

importante entre la fréquence respiratoire et l'intensité de l'exercice sur les intensités basses et hautes (*Figure 3.*). En effet, entre 60 et 70%, la fréquence respiratoire augmente de 5 battements, de même qu'entre 100 et 110%. Nous ne pouvons pas nous appuyer sur des auteurs pour justifier l'absence de significativité pour les intensités modérées. Toutefois, nous émettons l'hypothèse que les élèves ont mis quelques secondes de plus à prendre la mesure de la fréquence respiratoire après leur course à 70 et 80% de VMA. Ce temps plus long s'explique par une ré-explication de la prise de la fréquence cardiaque aux participants. Or, nous savons que la fréquence respiratoire a une inertie faible aux variations d'efforts (Nicolo et al., 2017) (*Annexe I.*). C'est pourquoi, nous supposons que sur ce petit laps de temps, la fréquence respiratoire a diminué et a induit ce résultat (i.e. sensibilité) sur ces deux intensités de course.

Ainsi, la variable fréquence respiratoire serait un indicateur physiologique pertinent en milieu scolaire pour discriminer des exercices réalisés à des intensités différentes, i.e. sensibilité.

Cependant Vai et al (1988) ont mené des recherches sur la relation entre la fréquence respiratoire et l'intensité d'un effort et ont conclu sur le fait que la fréquence respiratoire n'est pas un indicateur pertinent, notamment au début d'un exercice de faible intensité ($r = -0,54 \pm 0,38$). Les résultats de notre expérimentation entrent en divergence avec ceux trouvés par ces auteurs. En effet, à faible intensité (60% et 70% de la VMA), nous avons montré que la variable FR était sensible, indiquant de ce fait son évolution en fonction du facteur intensité. Sa pertinence à faible intensité est donc envisageable et à vérifier par de nouvelles expérimentations.

2. FR : un outil plus fiable pour rendre compte de l'effort perçu ?

Notre deuxième hypothèse consistait à montrer que la fréquence respiratoire était davantage prédictive de la perception de l'effort que la fréquence cardiaque lors d'exercices de course à intensités variables. Celle-ci peut être confirmée pour les courses à intensité élevée (110%VMA) puisque nous avons montré que la fréquence respiratoire était corrélée à l'effort perçu sur cette dernière. Néanmoins, nous n'avons pas pu le démontrer sur les autres intensités étudiées.

Pour répondre à cette hypothèse, nous pouvons comparer les coefficients de détermination R^2 des courbes de régression (*figure 4. et 5.*) relatifs aux relations entre la fréquence respiratoire et la perception de l'effort, ainsi qu'entre la fréquence cardiaque et la perception de l'effort. On observe que le R^2 de la fréquence respiratoire est supérieur à celui de la fréquence cardiaque ($0,99 > 0,92$), ce qui va dans le sens d'une validation de notre hypothèse, en conjecturant que la fréquence respiratoire est plus fortement corrélée à l'effort perçu qu'à la fréquence cardiaque. C'est ce que Nicolo et al. (2014) ont déterminé en exprimant une corrélation en pourcentage de la fréquence respiratoire maximale, en exploitant une courbe de tendance à partir d'un coefficient de détermination R^2 de 0,97 (*annexe 2*). Nous avons reproduit un graphique similaire avec nos résultats et nous obtenons un coefficient de détermination R^2 de 0,99 (*Figure 4.*). Nous pouvons en conclure que nos résultats sont en accord avec les travaux de ces auteurs sur ce point.

En outre, nous pouvons observer que le η^2 du test ANOVA est quasiment identique pour les deux variables. Ce qui signifie que la puissance de l'effet entre ces deux variables et l'intensité est à peu près équivalente. Cependant, Basset et Chouinard (2002) ont montré que "la fréquence cardiaque était un indicateur ponctuel de l'état d'entraînement relativement valide jusqu'à 85-90% du VO_2 max". Nos résultats se placent en convergence avec cette idée. En effet, ils stipulent que jusqu'à 100% de la VMA, la fréquence cardiaque est sensible à l'intensité (*Figure 2.*) mais que passé ce seuil, la fréquence cardiaque n'est plus sensible. Cela confirmerait donc l'hypothèse selon laquelle, la fréquence cardiaque serait invalide passée un certain seuil d'intensité.

Dans le même sens, à l'aide du test de corrélation de Bravais-Pearson, on note que quelle que soit l'intensité de course en % de VMA, le r de la fréquence respiratoire est supérieur au r de la variable fréquence cardiaque.

Ainsi, au vu de nos résultats et des tests statistiques, la variable fréquence respiratoire paraît plus pertinente à utiliser par les élèves en EPS lors d'activités de course à intensité variable que la fréquence cardiaque, même si l'écart semble relatif.

En revanche, pour qu'il y ait une corrélation forte entre ces deux variables, la valeur du R^2 n'est pas suffisante. Il faut aussi s'intéresser à l'écart type de la série pour déterminer le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson entre les deux variables étudiées et ainsi pouvoir comparer les valeurs de r obtenues avec celui de la table dudit auteur. Or ici, nous n'avons pas toutes les données de l'étude (Nicolo et al., 2014) pour affirmer cette convergence de résultats, à savoir une corrélation entre l'effort perçu et la fréquence respiratoire à forte intensité (110%

VMA) et peu d'autres études se sont intéressées à ces questions. Nous ne sommes donc pas en mesure d'affirmer avec certitude un lien de corrélation entre d'un côté la fréquence respiratoire et de l'autre l'effort perçu.

De plus, nous défendons l'idée selon laquelle les sensations perçues par les élèves au cours d'un exercice physique ne sont pas directement représentatives de leur fréquence cardiaque. Celle-ci est soutenue par Nicolò et al. (2014) en affirmant que "la fréquence cardiaque n'est pas forcément représentative des sensations et perceptions de l'effort physique". Nos résultats accréditent cette hypothèse puisque le coefficient de corrélation de Pearson (RPE-FC) a montré que leur relation était faible voire inexistante et ce, quelle que soit l'intensité, résultats à pondérer par les nombreuses limites de l'expérimentation.

Néanmoins, plusieurs autres études ont montré une corrélation positive entre la fréquence cardiaque et l'effort perçu en fonction de l'intensité d'un exercice physique. En effet, de multiples travaux (Borg, 1970, Borg et al., 1987), ont prouvé que l'échelle de Borg était "linéairement liée à la charge objective de travail, ainsi qu'à la fréquence cardiaque. L'échelle est par ailleurs étalonnée de façon à ce que $RPE=FC/10$." (Delignières et al., 1991). Nos résultats sont relativement en accord avec cette idée. En effet, on observe une sensibilité de la fréquence cardiaque en fonction de l'intensité jusqu'à 90% de la VMA (Figure 2.). Nous pouvons émettre deux hypothèses pour expliquer cette absence de significativité à haute intensité. Premièrement, selon de nouveau Basset et Chouinard (2002), "la fréquence cardiaque est un indicateur ponctuel de l'état d'entraînement relativement valide jusqu'à 85-90% du VO₂ max". Cette hypothèse est à relativiser du fait que peu d'élèves aient dépassé les 85% de VO₂ max même lors des courses à 110% de VMA. La seconde hypothèse serait liée à la prise des résultats. En effet, en augmentant les valeurs de la fréquence cardiaque, les élèves auraient eu du mal à compter, ce qui aurait engendré des valeurs erronées.

C'est pourquoi, il est difficile d'affirmer la corrélation respective entre l'effort perçu et les deux variables d'étude, si ce n'est qu'en milieu scolaire, nombreuses sont les difficultés méthodologiques qui viennent limiter leur utilisation.

En conclusion sur notre apport dans le champ scientifique, de façon prudente, nous pouvons avancer que la fréquence respiratoire semble être une variable sensible à l'intensité et que celle-ci pourrait être corrélée à l'effort perçu, notamment sur des hautes intensités. Nos résultats permettent également de se questionner sur le choix de la fréquence cardiaque comme variable physiologique de suivi de l'effort physique chez une population scolaire.

3. Limites de l'étude.

L'expérimentation de l'étude a présenté plusieurs limites liées aux paramètres du dispositif utilisé ainsi qu'à la prise de mesures des variables physiologiques par les élèves.

À la suite de la réalisation du protocole expérimental, nous pouvons soulever quelques critiques et questionnements qui permettent d'expliquer certains résultats de l'étude.

Tout d'abord, en ce qui concerne la durée des courses. En effet, si l'on regarde les valeurs de la fréquence cardiaque à l'intensité maximale (110%VMA), on s'aperçoit que les élèves montent à 150 battements par minute, soit environ 75% de leur fréquence maximale. On peut donc faire le postulat qu'une période de course d'une minute et douze secondes était insuffisante pour faire monter suffisamment les variables physiologiques. Doubler la durée de course, soit 2 min 24 s, aurait certainement été plus intéressant pour obtenir de meilleurs résultats, notamment sur les corrélations entre la fréquence cardiaque et l'effort perçu et entre la fréquence respiratoire et l'effort perçu. En effet, lors de notre expérimentation, les intervalles pour fréquence cardiaque maximale ($55\% < \%FC_{max} > 75\%$) et la fréquence respiratoire maximale ($50\% < \%FR_{max} > 65\%$) sont relativement faibles, ce qui peut expliquer les corrélations non significatives entre la fréquence cardiaque et l'effort perçu ainsi qu'entre la fréquence respiratoire et l'effort perçu.

De plus, nous aurions pu mettre en place une récupération active plus ludique afin de motiver les élèves à s'y adonner puisqu'ils ont eu des difficultés à se placer en autonomie lors de cette phase de récupération et devenaient passifs lorsque nous avions le dos tourné. Les valeurs physiologiques avaient de ce fait le temps de redescendre et pas assez le temps de remonter au maximum pour la course suivante et notamment au cours des courses à intensité élevée.

La prise des mesures lors du dispositif a présenté quelques difficultés faisant varier les valeurs obtenues par les élèves. Ceci expliquant les importants écarts-types des trois variables d'étude.

Nous avons prévu de familiariser les élèves aux techniques de prises de mesures au cours des semaines précédant l'expérimentation. Cependant, avec le contexte sanitaire en vigueur et la fermeture des lycées, nous avons dû réaliser la familiarisation et l'expérimentation le même jour. Ceci a eu pour conséquence d'avoir un public relativement peu formé à la prise

de la fréquence cardiaque et surtout de la fréquence respiratoire, qui leur était jusque-là inconnue.

Lors de l'expérimentation, nous avons pu observer certains biais lors de la prise de mesures de la fréquence cardiaque chez nos participants.

En effet, au fur et à mesure de l'augmentation de l'intensité de l'effort et par conséquent de la fréquence cardiaque, les élèves ont eu des difficultés à suivre le rythme et à ne pas se perdre dans le comptage. Biais que nous n'avons pas retrouvés sur la prise de fréquence respiratoire du fait de valeurs plus basses.

De plus, avec des températures avoisinant les 0°C lors de l'expérimentation, les élèves ont perdu des sensations au niveau de leurs récepteurs corpuscules tactiles, ce qui a rendu la prise de la fréquence cardiaque carotidienne plus compliquée. De la même façon, les conditions météorologiques n'ont pas ou peu impacté la prise de la fréquence respiratoire.

Nous avons toutefois remarqué quelques soucis avec la prise de la fréquence respiratoire.

Premièrement, le fait que la fréquence respiratoire soit contrôlable a pu influencer directement les résultats malgré que des anticipations aient été effectuées concernant cet aspect. En effet, nous avons rappelé plusieurs fois aux élèves de se concentrer uniquement sur leur prise de fréquence cardiaque sans se soucier de leur respiration lors de la prise des mesures.

Deuxièmement, un obstacle affectif que nous n'avons pas eu avec nos participants, mais qu'on pourrait aisément retrouver chez un public de collégiens lors de la prise de mesure de FR sur la partie ventrale du corps d'un camarade. En effet, le contact entre adolescents peut être compliqué à cette âge-ci et certaines jeunes souffrant d'haptophobie peuvent rendre complexe la prise de la fréquence respiratoire.

L'utilisation d'outils de mesures électroniques et numériques pour la fréquence respiratoire et la fréquence cardiaque aurait pu permettre de réduire la plupart des difficultés méthodologiques citées ci-dessus. Néanmoins, nous avons fait le choix de rester sur des techniques de prises de mesures manuelles car nous voulions rester dans le champ des possibles d'un cours d'EPS (temps disponible, nombre d'élèves, budget alloué, etc).

Pour conclure, lors de cette expérimentation, les participants ont eu plus de facilité à prendre les mesures de la fréquence respiratoire comparativement à ceux de la fréquence cardiaque. Cependant, quelques biais sur la prise de fréquence respiratoire manuelle sont à connaître et à anticiper en fonction du public visé. La prise de mesure qu'elle soit basée sur la

fréquence respiratoire ou la fréquence cardiaque doit absolument être l'objet d'apprentissages spécifiques auprès des élèves pour obtenir des valeurs cohérentes et utilisables pour la suite de la séquence.

4. Applications pratiques.

Cette étude, menée auprès d'une population lycéenne, peut avoir une portée pratique pour les enseignants d'EPS. En effet, il s'agit ici de se questionner sur l'utilisation d'un indicateur physiologique plutôt qu'un autre pour orienter les choix et les actions des élèves dans des activités de course en durée, dans lesquelles la place du ressenti et de l'effort perçu est importante.

La fréquence cardiaque est majoritairement choisie par les enseignants d'EPS lorsqu'il s'agit de travailler sur les effets objectivables et subjectivables de l'effort physique. On peut comprendre aisément ce choix en reprenant nos résultats (*Figure 2.*), où la fréquence cardiaque augmente de manière croissante lorsque l'intensité des courses augmente, tout comme la RPE. Les élèves associent donc une intensité (% VMA) à une valeur de FC qui leur est propre pour réguler et ajuster leur projet de course avec un effort perçu cible.

En revanche, d'après nos résultats, on peut conclure que le lien entre l'effort perçu et la fréquence cardiaque n'est pas évident, d'après les tests statistiques appliqués aux résultats de notre étude, d'autant plus que celle-ci présente certaines limites à son utilisation par les élèves (cf 3.2.1.).

La fréquence respiratoire est un indicateur physiologique ignorée des leçons d'EPS. Les hypothèses de cette ignorance à son égard peuvent être nombreuses. Les enseignants d'EPS ne l'utilisent pas par manque de connaissance à son sujet, du fait de l'impact de leur formation ou encore de la littérature scientifique qui ne les oriente pas vers celle-ci.

Néanmoins, au regard des résultats de notre étude, la fréquence respiratoire semble autant pertinente voire davantage en ce qui concerne sa relation avec l'effort perçu lors de courses à intensité variable, notamment sur les courses à intensité élevée. Cet indicateur n'est cependant pas exempté de limites (cf 3.2.2.).

Ainsi, les enseignants d'EPS, pour lesquels se destine cette étude, pourront choisir d'utiliser la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire ou les deux en fonction des besoins de leurs élèves. Néanmoins, on ne peut que suggérer l'utilisation de la fréquence respiratoire

comme variable physiologique par les élèves lors d'un exercice physique à intensité variable, en lien avec l'effort perçu, puisque celle-ci dispose de multiples avantages.

Effectivement, cet indicateur évolue en fonction de l'intensité de l'exercice et peut permettre aux élèves d'associer une valeur de la fréquence respiratoire à une intensité de course pour réguler leur projet.

De plus, sa prise de mesure ne nécessite pas de matériel numérique (cardiofréquencemètre) et, est plus simplifiée que la fréquence cardiaque puisqu'elle est facilement identifiable (on compte un à chaque fin d'inspiration) et comptable (intervalle de valeurs plus faible, 12 - 60/min), ce qui est positif pour l'activité des élèves en EPS.

Enfin, elle est sensiblement corrélée à l'effort perçu, ce qui peut servir de point d'appui pour faire du lien entre les paramètres objectivables et subjectivables, afin de créer des échelles personnelles de ressenti pour chaque élève (intensité - FR - RPE), dans les activités de course du champ d'apprentissage numéro cinq.

Conclusion

Cette recherche en physiologie de l'exercice apporte un regard plus précis sur l'utilisation de la variable fréquence respiratoire auprès d'élèves du secondaire en EPS. Elle permet un éclairage différent sur la prise en compte des variables physiologiques dans le cadre de leçons d'EPS mais aussi questionne sur la suprématie de la variable FC dans ces dernières. Effectivement, pourquoi en utiliser une plutôt qu'une autre ? Il convient donc à l'enseignant selon ces objectifs d'apprentissage de s'orienter vers la variable qui permet à l'élève de réguler au mieux ses actions.

Nous avons montré, dans le cadre de notre expérimentation, que la fréquence respiratoire était plus fortement corrélée à la variable RPE que peut l'être la variable FC sur les intensités de course élevées (110%VMA). L'utilisation de ces deux variables par les élèves présente des biais et des limites, notamment sur la prise des mesures et le dispositif à mettre en place (durée des courses, choix des intensités, temps de récupération). Néanmoins, lorsque l'intention éducative de l'enseignant d'EPS est de faire du lien entre l'effort perçu des élèves et les intensités de course choisies, l'utilisation de la variable fréquence respiratoire semble plus avantageuse d'après nos résultats (i.e. sensibilité, corrélation).

Nous recommandons donc de privilégier son usage dans le cadre d'activités foncières du champ d'apprentissage cinq, si l'enseignant d'EPS souhaite contribuer à l'apprentissage de la connaissance de soi et de la régulation des choix de course chez les élèves.

En revanche, pour consolider nos résultats et les affirmer, nous pouvons évoquer des perspectives de prolongements de notre travail comme l'étude de la répétabilité de notre expérimentation ou encore le fait de confirmer si l'augmentation de la durée de course permet d'augmenter la sensibilité des variables fréquence respiratoire et FC et leur corrélation avec RPE.

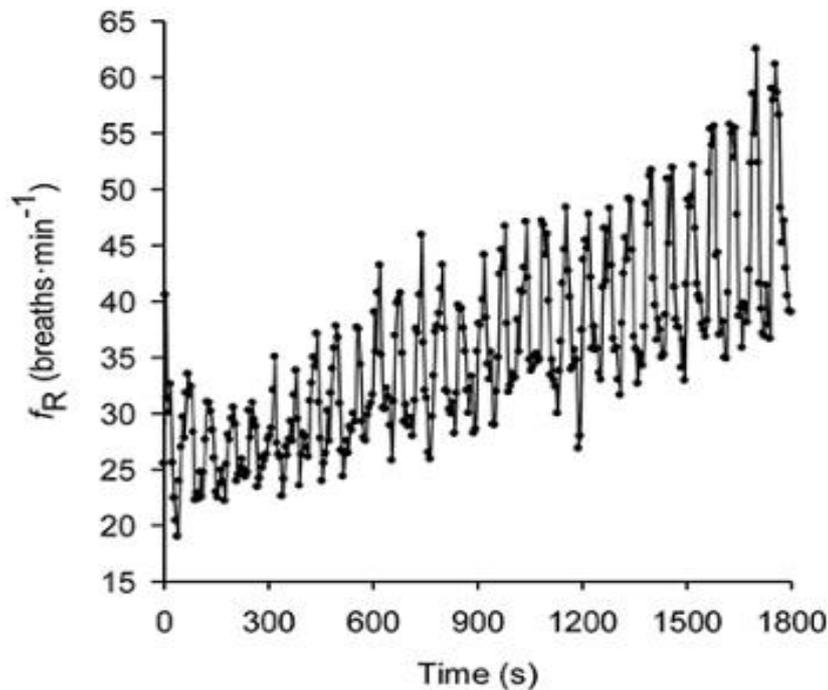
En outre, il serait intéressant d'étudier la fréquence respiratoire dans d'autres activités du champ d'apprentissage cinq tel que le step, où la FC est encore plus utilisée, pour permettre d'élargir ou non son emploi.

Enfin, nous pensons qu'étudier fréquence respiratoire sur une plus large population (pas seulement scolaire) pourrait permettre d'établir des données précises (étendue des valeurs, du repos à l'effort maximal) pour une population sédentaire et sportive, afin d'en tirer des conclusions universelles (inertie, répétabilité, sensibilité, corrélation).

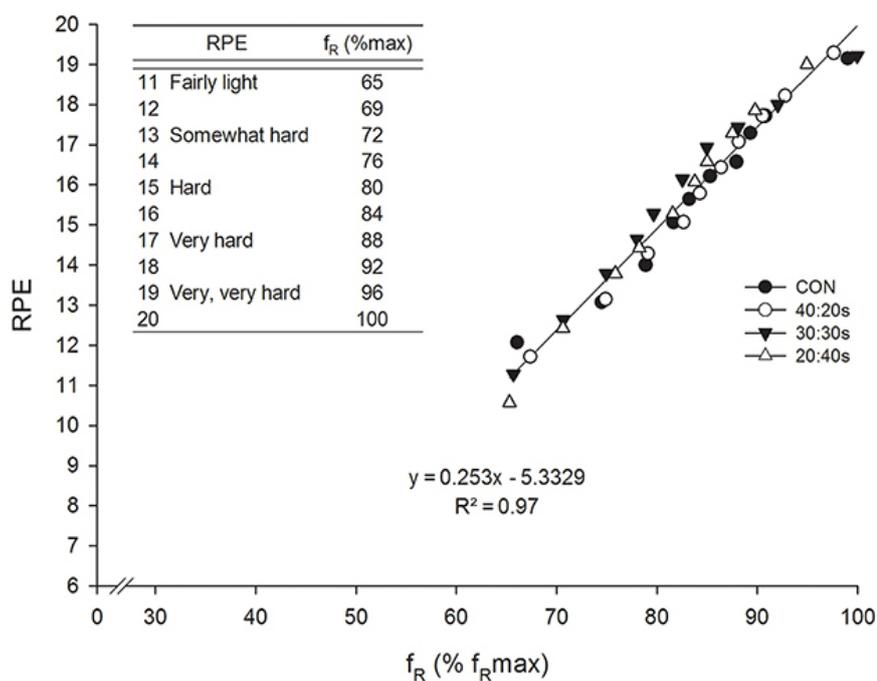
Ces résultats, à consolider par de nouvelles expérimentations, permettent d'envisager de nouvelles perspectives didactiques et pédagogiques pour l'enseignement de l'EPS auprès d'une population lycéenne. En effet, la construction d'échelle personnelle basée sur l'intensité, la fréquence respiratoire et l'effort perçu pour une durée de course identique peut permettre un guidage pour les élèves lors de ces dernières. Chaque élève prend donc sa fréquence respiratoire dès la fin de sa course et se reporte à son échelle pour vérifier s'il a bien respecté son projet (valeur identique ou proche). De plus, l'enseignant d'EPS fait vivre les différents motifs d'entraînements à ses élèves et détermine avec eux des intervalles de valeurs de la fréquence respiratoire maximale à respecter pour chaque motif. Ainsi, la fréquence respiratoire devient une variable de régulation de l'activité motrice des élèves pour leur indiquer, si oui ou non, ils sont dans leur projet qui a été défini en amont ou en début de leçon.

Annexes.

Annexe 1: “The rapid change in fR according to variations in workload can be better observed by showing the time course of fR within the 60-s work-recovery cycle.” (Nicolo, Massaroni et Passfield., 2017).



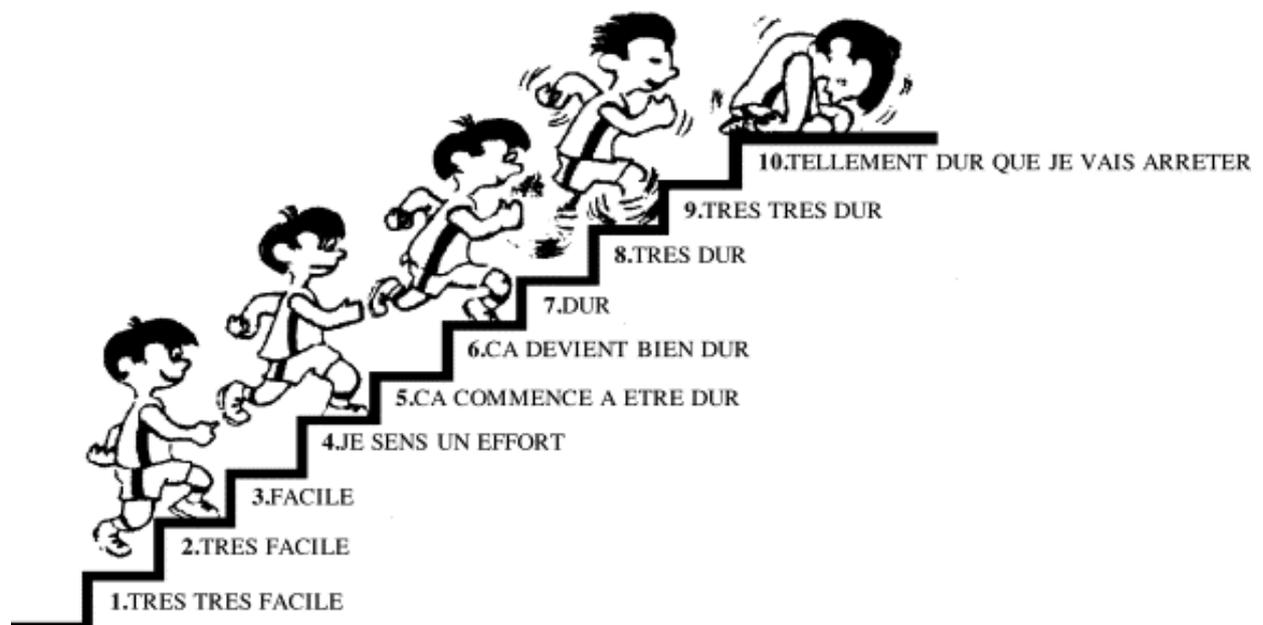
Annexe 2: “Correlation between RPE and FR normalized to FRmax during a continuous (CON) and three different HIIT trials.” (Nicolo et Al, 2014).



Annexe 3 : Echelle de Borg graduant la perception de l'intensité d'un effort physique (*Borg, 1982*).

Echelle de Borg	Perception de l'intensité de l'effort
6	Aucun effort
7	Extrêmement facile
8	
9	Très facile
10	
11	Facile
12	Zone d'entraînement optimale
13	Moyennement difficile
14	
15	Difficile
16	
17	Très difficile
18	
19	Extrêmement difficile
20	Exténuant

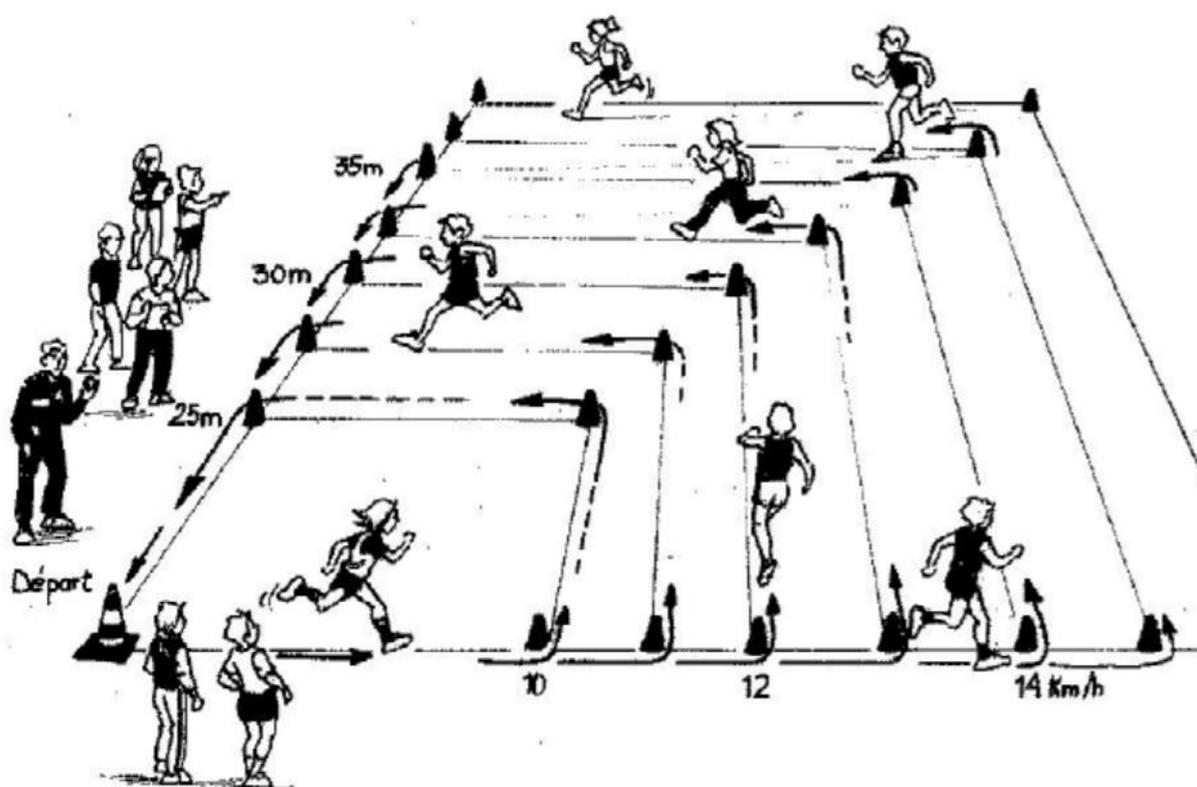
Annexe 4 : Echelle CERT (*Coquard et al., 2009*)



Annexe 5 : Tableau de conversion utilisé pour notre test expérimental permettant de passer rapidement d'un pourcentage de VMA cible et d'une VMA à une vitesse en km/h (les données ont été arrondis à l'unité la plus proche).

VMA %	9	10	11	12	13	14	15	16	17
60%	5	6	7	7	8	8	9	10	10
70%	6	7	8	8	9	10	10	11	12
80%	7	8	9	10	10	11	12	13	14
90%	8	9	10	11	12	13	14	14	15
100%	9	10	11	12	13	14	15	16	17
110%	10	11	12	13	14	15	16	18	19

Annexe 6 : un exemple de parcours gigognes sur quoi se base notre test expérimental.



Annexe 7 : Fiche de recueil des données utilisée par les élèves lors de l'expérimentation.

Fiche de recueil des données

Nom et prénom du coureur 1 :

Date :

	60% VMA	70% VMA	80% VMA	90% VMA	100% VMA	110% VMA
Effort perçu (de 1 à 10)						
Fréquence cardiaque en battement sur 1 minute						
Fréquence respiratoire en mouvement sur 1 minute						

Nom et prénom du coureur 2 :

	60% VMA	70% VMA	80% VMA	90% VMA	100% VMA	110% VMA
Effort perçu (de 1 à 10)						
Fréquence cardiaque en battement sur 1 minute						
Fréquence respiratoire en mouvement sur 1 minute						

Annexe 8 : Photo prise lors de l'expérimentation.



Annexe 9 : Questionnaire visant à sonder le public de l'expérimentation.



**Questionnaire visant l'élaboration d'un mémoire de recherche en
Physiologie - Master 2.**

Âge :

Sexe : Masculin / Féminin

Poids :

Taille :

Estimation de la quantité de pratique sportive hebdomadaire avant
la situation sanitaire actuelle (en heure) :

.....

Estimation de la quantité de pratique sportive hebdomadaire depuis
la situation sanitaire (en heure) :

.....

Licencié dans un club sportif : OUI / NON

Licencié dans l'association sportive du lycée : OUI / NON

Bibliographie.

Basset, F., & Chouinard, R. (2002). Intégration de l'échelle de perception de l'effort dans le processus de contrôle de la charge d'entraînement : Le cas de la course de demi-fond / fond. Cahiers de l'INSEP, 33(1), 255-266.

<https://doi.org/10.3406/insep.2002.1704>

Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. Medicine & Science in Sports & Exercise, 14(5), 377-381.

<https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>

Delignières, D., Legros, P., & Famose, J.P. (1991). Science et Motricité, 13, 14-18.

Faude, O., Hecksteden, A., Hammes, D., Schumacher, F., Besenius, E., Sperlich, B., & Meyer, T. (2016). Reliability of time-to-exhaustion and selected psycho-physiological variables during constant-load cycling at the maximal lactate steady-state. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 42(2), 142-147.

<https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0375>

Forster, H. V., Haouzi, P., and Dempsey, J. A. (2012). Control of breathing during exercise. Comprehens. Physiol. disponible sur :

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cphy.c100045>

Gamberale F. - Perceived exertion, Heart Rate, Oxygen Uptake and Blood Lactate in Different Work Operations. Ergonomics, 1972, 15, 5: 545-554.

James, N. W., Adams, G. M., and Wilson, A. F. (1989). Determination of anaerobic threshold by ventilatory frequency. disponible sur:

<https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-2007-1024899>

Kift, J., & Williams, E. M. (2007). The respiratory time and flow profile at volitional exercise termination. Journal of Sports Sciences, 25(14), 1599-1606.

<https://doi.org/10.1080/02640410701275201>

Kilbom (A.), Gamberale (F.), Persson (J.), Annwall (G.) . - Physiological and Psychological Indices of Fatigue during Static Contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 1983, 50: 179-183.

Marcora, S. (2009). Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs.

<https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappphysiol.90378.2008>

Marcora, S. (2010). Counterpoint: afferent feedback from fatigued locomotor muscles is not an important determinant of endurance exercise performance. *J. Appl. Physiol.* 108, 454–456.

<https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappphysiol.00976.2009a>

Nicolo, Massaroni et Passfield (2017). Respiratory Frequency during Exercise: The Neglected Physiological Measure. Disponible sur :

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2017.00922/full>

Nicolò, A., Bazzucchi, I., Felici, F., Patrizio, F., & Sacchetti, M. (2015). Mechanical and electromyographic responses during the 3-min all-out test in competitive cyclists. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25(6), 907-913.

<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2015.08.006>

Nicolò, A., Bazzucchi, I., Lenti, M., Haxhi, J., Palumbo, A. S. di, & Sacchetti, M. (2014). Neuromuscular and Metabolic Responses to High-Intensity Intermittent Cycling Protocols With Different Work-to-Rest Ratios. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(1), 151-160.

<https://doi.org/10.1123/ijsp.2012-0289>

Noble, B. J., Metz, K. F., Pandolf, K. B., and Cafarelli, E. (1973). Perceptual responses to exercise: a multiple regression study. Disponible sur : <https://insights.ovid.com/medicine-science-sports/masis/1973/00/520/perceptual-responses-exercise/20/00005756>

Sève, C., Terré, N. (2016). “L’EPS du dedans, pour un enseignement inclusif, citoyen et ouvert vers le futur”. Dossier EP&S n°84.

Vai, F., Bonnet, J-L., Ritter, PH and Pioger, R. (1988). Relationship Between Heart Rate and Minute Ventilation, Tidal Volume and Respiratory Rate During Brief and Low Level Exercise.

Williams, J. G., Eston, R., & Furlong, B. (1994). CERT : A perceived exertion scale for young children. *Perceptual and Motor Skills*, 79(3 Pt 2), 1451-1458.

<https://doi.org/10.2466/pms.1994.79.3f.1451>

Résumé :

Nous nous sommes intéressés à l'utilisation de la fréquence respiratoire (FR) dans le cadre de la discipline EPS, qui peut fournir un meilleur indicateur de l'effort physique par rapport aux variables physiologiques traditionnellement surveillées, tel que la fréquence cardiaque (FC), en ce qui concerne l'effort perçu (RPE) des élèves.

Nous faisons l'hypothèse que, pour un public scolaire, dans le cadre du champ d'apprentissage n°5 et plus précisément de la course de durée, cet indicateur (FR) est davantage prédictif de la perception de l'effort que la FC, cette dernière étant pourtant largement utilisée par les enseignants d'EPS. Pour cela, un test incrémental discontinu a été effectué par une population de plus de cinquante lycéens.

Dès lors, nos résultats montrent une corrélation entre FR et RPE pour les intensités élevées (110% VMA), ce qui rend cette variable physiologique pertinente à utiliser malgré quelques limites d'ordre scolaire. FC n'est pas corrélée à RPE d'après nos résultats.

Ainsi, notre hypothèse est confirmée pour les hautes intensités et à approfondir pour le reste tout comme la validation du caractère de répétabilité de notre expérimentation.

Abstract:

We are interested here in the use of breath frequency in PE, that can give a better marker of physical effort objective but also subjective, compared to physical variable usually controlled, such as heart rate.

We hypothesize that, for a school public, within the framework of the field of learning n ° 5 and more precisely of the duration race, this indicator (FR) is more predictive of the perception of the effort than the HR, the latter being still used by PE teachers. For this, a discontinuous incremental test was carried out by a population of more than fifty high school students.

Therefore, our results result from a correlation between FR and RPE for high intensities (110% VMA), which makes this physiological variable relevant to use despite some academic limitations. FC is not correlated with RPE based on our results.

Thus, our hypothesis is confirmed for high intensities and to be deepened for the rest as well as the validation of the repeatability character of our experiment.