

Effet de la respiration sur la performance en escalade

Travail de fin d'études en vue de l'obtention du titre de
Master of Science en sciences du sport
Option enseignement

déposé par

Chloé Stucki

à

l'Université de Fribourg, Suisse
Faculté des sciences
Département de médecine

en collaboration avec la
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent
Prof. Wolfgang Taube

Conseiller / Conseillère
Dr Xavier Chenevière

Fribourg, juin 2017

Table des matières

Résumé.....	4
Liste des figures	5
Liste des tableaux	7
Abréviations	8
1 Introduction	10
1.1 Escalade sportive	10
1.2 Physiologie	16
1.3 Escalade de difficulté	19
1.4 Escalade et respiration.....	23
1.5 But et hypothèse de l'étude	24
2 Méthode.....	25
2.1 Sujets	25
2.2 Protocole expérimental.....	25
2.3 Mesures et matériel	27
2.4 Analyse statistique.....	30
3 Résultats	31
3.1 Comparaison de la condition RESP et de la condition CONT	31
3.2 Comparaison de l'essai 1 et de l'essai 2	33
3.3 Comparaison entre grimpeurs avancés et grimpeurs experts	34
3.4 Comparaison entre grimpeurs qui ont augmenté leur fréquence de respiration et grimpeurs qui ont diminué leur fréquence de respiration	38
4 Discussion	43
5 Conclusion.....	49
Bibliographie	50
Annexe	54
Annexe 1	54
Annexe 2	58
Annexe 3	60
Annexe 4	61
Annexe 5	62
Remerciements	65

Résumé

En escalade de difficulté, la fatigue musculaire locale est une cause possible de la chute du grimpeur. La fatigue est provoquée par la répétition de contractions isométriques et intenses des muscles de l'avant-bras et par une forte mobilisation de la filière anaérobie lactique. Une ventilation adéquate apportant suffisamment d'oxygène aux cellules musculaires devrait favoriser l'utilisation de la filière aérobie et retarder celle du métabolisme anaérobie lactique. Or, en observant les grimpeurs, il n'est pas rare d'en voir qui oublient de respirer ou qui bloquent leur respiration lorsqu'ils réalisent des mouvements difficiles. Le but de cette étude était de déterminer si la performance en escalade, lors de l'ascension en-tête d'une voie de niveau maximal, pouvait être améliorée par le contrôle de la respiration. Vingt et un grimpeurs (18 hommes et 3 femmes) en bonne santé, âgés entre 20 et 40 ans, ont participé à cette étude. Avec un niveau allant du 6c au 8a selon l'échelle de cotation française, tous les grimpeurs étaient considérés comme avancés ou experts. Chaque sujet a complété 2 sessions de tests à une semaine d'intervalle et à la même heure. Une session de test était constituée d'un échauffement, d'un pré-test de force (force maximale et force endurance), d'une ascension en-tête dans le niveau maximal du grimpeur et d'un post-test de force identique au pré-test. Lors de l'ascension, le grimpeur recevait soit des instructions spécifiques à la respiration (RESP), soit des instructions neutres sous forme d'encouragements (CONT). Les conditions RESP et CONT étaient randomisées. Les paramètres de la charge externe (nombre de mouvements ; N.mvts, résultat ; TopN, durée ; D, fréquence de mouvement ; F.mvts) et interne (taux de lactate sanguin ; Lac, fréquence cardiaque ; FC, fréquence de respiration ; BF, représentation de l'effort d'après l'échelle de Borg ; RPE) ont été déterminés lors des deux sessions et comparés entre eux. Au vu des résultats, aucune différence significative n'a été découverte entre les deux conditions. L'instruction n'a pas influencé significativement la respiration. Par contre, la performance a été améliorée lors du 2^{ème} essai des participants, l'effet de la répétition sur le résultat surpasse l'effet des conditions. L'instruction n'a pas eu d'effet sur la performance car la perception des instructions a été perçue différemment entre les participants. De plus, la performance en escalade est un paramètre complexe influencé par de nombreux facteurs. Le protocole expérimental était standardisé et les participants étaient tous dans leur niveau maximal. De ce fait, les résultats n'ont pas permis de répondre à l'objectif de l'étude, mais ont permis de vérifier les changements physiologiques propres à l'escalade sportive lors de l'ascension d'une voie de niveau maximal et de prouver qu'il est difficile d'influencer le contrôle de la respiration uniquement à l'aide d'instructions.

Liste des figures

<i>Figure 1.</i> Adam Ondra, l'un des grimpeurs les plus forts au monde (Noble, 2016).....	10
<i>Figure 2.</i> Shauna Coxsey lors de la coupe du monde de Meiringen, 2017 (Zumr, 2017)	11
<i>Figure 3.</i> Deux athlètes en compétition lors de la coupe du monde à Nanjing, 2017 (IFSC, 2017).....	11
<i>Figure 4.</i> Janja Garnbret lors de la coupe du monde à Guangzhou, 2016 (Fowke, 2016).....	12
<i>Figure 5.</i> Les cotations en escalade sportive (Kazaden, 2017)	12
<i>Figure 6.</i> Les voies les plus difficiles aux Etats-Unis (Watts, 2004)	12
<i>Figure 7.</i> La contribution des caractéristiques expliquant la performance des grimpeurs (Magiera et al., 2013)	13
<i>Figure 8.</i> Modèle des éléments de la performance en escalade, Madlener 1987 (OFSPPO, 2010).....	13
<i>Figure 10.</i> Résultats du test "Arm jump" entre novices, avancés et experts (Laffaye, Collin, Levernier, & Padulo, 2014).....	14
<i>Figure 9.</i> La fatigue de la force des doigts entre novices, avancés et experts (Laffaye, Levernier, & Collin, 2016).....	14
<i>Figure 11.</i> Vue générale de la glycolyse. Adapté de (Verson, s.d.).....	16
<i>Figure 12.</i> Les capacités des trois filières énergétiques (Pallure, 2013)	17
<i>Figure 13.</i> Contribution relative des trois filières énergétiques lors d'un effort maximal. (Gastin, 2001).....	17
<i>Figure 14.</i> Cascade d'oxygène dans l'organisme. Adapté de (Plowman & Smith, 2013).....	19
<i>Figure 15.</i> Consommation d'oxygène et fréquence cardiaque durant une voie facile et une voie difficile. (Sheel, Seddon, Knight, Mckenzie, & Warburton, 2003)	19
<i>Figure 16.</i> Valeurs moyennes de lactate mesurées au repos et après l'escalade. (Sheel, Physiology of sport rock climbing, 2004)	20
<i>Figure 18.</i> Concentrations de lactate entre l'ascension "à vue" et "au 2 ^{ème} essai". (Draper, Jones, Fryer, Hodgson, & Blackwell, 2008)	20
<i>Figure 17.</i> Résumé des réponses du taux de lactate à l'escalade. (Watts, 2004).....	20
<i>Figure 19.</i> Concentrations de lactate de grimpeurs amateurs (Recreational) et experts (Elite) après trois voies de niveau différent. (Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss, 2007)	21
<i>Figure 20.</i> La contribution relative des systèmes énergétiques durant l'escalade sportive (Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss, 2007)	21
<i>Figure 21.</i> Alexey Rubstov à la coupe du monde de Meiringen 2017 (Zumr, 2017)	23

<i>Figure 22.</i> Pan d'échauffement.....	26
<i>Figure 23.</i> Dynamomètre pneumatique	28
<i>Figure 24.</i> Suspensions	29
<i>Figure 25.</i> Matériel nécessaire à la prise du taux de lactate sanguin	29
<i>Figure 26.</i> Relation entre le niveau et la différence de la fréquence de respiration entre la condition RESP et CONT.	41
<i>Figure 29.</i> Corrélation entre la différence du résultat et la différence de la fréquence de respiration entre la condition RESP et CONT.	41
<i>Figure 30.</i> Corrélation entre la différence du résultat et de la différence de la variation du taux de lactate sanguin entre la condition RESP et CONT	42
<i>Figure 31.</i> Corrélation entre la différence de la variation entre Res 1 et Res 2 et de la différence de la variation du taux de lactate sanguin entre la condition RESP et CONT.	42
<i>Figure 30.</i> Différences physiologiques entre la grimpe "à vue" et au " 2 ^{ème} essai". (Draper, 2008).....	45

Liste des tableaux

Tableau 1 Valeurs des paramètres de repos entre les conditions RESP et CONT.	31
Tableau 2 Valeurs des paramètres de la charge externe entre la condition RESP et CONT. .	32
Tableau 3 Valeurs des paramètres de la charge interne entre la condition RESP et CONT...	32
Tableau 4 Valeurs du pre-test et du post-test entre la condition RESP et CONT.....	33
Tableau 5 Valeurs des paramètres de la charge externe entre l'essai 1 et 2.	34
Tableau 6 Valeurs des paramètres de la charge interne entre l'essai 1 et 2.	34
Tableau 7 Valeurs des paramètres de la charge externe et interne entre la condition RESP et CONT pour les avancés et les experts.....	35
Tableau 8 Valeurs des différents deltas comparés entre la condition RESP et CONT des avancés et des experts.	36
Tableau 9 Valeurs des paramètres de la charge externe et interne entre l'essai 1 et l'essai 2 pour les avancés et les experts.	37
Tableau 10 Valeurs des différents deltas comparés entre l'essai 1 et 2 pour les avancés et les experts.	38
Tableau 11 Valeurs des paramètres de la charge externe et interne entre la condition RESP et CONT pour les groupes ABF et DBF.....	39
Tableau 12 Valeurs des différents deltas comparés entre la condition RESP et CONT pour les groupes ABF et DBF.	40

Abréviations

RESP	Condition durant laquelle le participant reçoit des instructions spécifiques à la respiration
CONT	Condition durant laquelle le participant reçoit des instructions sous forme d'encouragements
N.mvts	Nombre de mouvements
TopN	Résultat des participants dans la voie d'escalade
D	Durée totale de l'ascension
DA	Durée active de l'ascension ; lorsque le grimpeur est en mouvement
DP	Durée passive de l'ascension ; lorsque le grimpeur n'est pas en mouvement
F.mvts	Fréquence de mouvements ; durée / nombre de mouvements
Lac 0	Taux de lactate sanguin de base après l'échauffement
Lac 1	Taux de lactate sanguin avant l'ascension de la voie
Lac 2	Taux de lactate sanguin après l'ascension de la voie
Δ Lac	Différence entre Lac 2 et Lac 1
Fmax 1	Résultat du test de force maximale avant la voie (pre-test)
Fmax 2	Résultat du test de force maximale après la voie (post-test)
Δ Fmax	Différence entre Fmax 1 et Fmax 2
Res 1	Résultat du test de force endurance avant la voie (pre-test)
Res 2	Résultat du test de force endurance après la voie (post-test)
Δ Res	Différence entre Res 1 et Res 2
FCm	Fréquence cardiaque moyenne
FCp	Fréquence cardiaque maximale ; pic
BF	Fréquence de respiration
RPE	Ressenti subjectif de l'effort d'après l'échelle de Borg
ATP	Adénosine triphosphate

NAD	Nicotinamide adénine dinucléotide
H ⁺	Ion hydrogène
O ²	Oxygène
pH	Potentiel hydrogène
CO ²	Dioxyde de carbone
NIV	Niveau des participants
△TopN	Différence du résultat entre deux conditions
△D	Différence de la durée entre deux conditions
△N.mvts	Différence du nombre de mouvements entre deux conditions
△△Lac	Différence de la variation du taux de lactate après l'ascension et du taux de lactate avant l'ascension (Lac 2 – Lac 1) entre deux conditions
△BF [bpm]	Différence de la fréquence de respiration entre deux conditions, exprimée en battement par minute
△BFp [%]	Différence de la fréquence de respiration entre deux conditions, exprimée en pourcentage
△△Res	Différence de la variation entre Res 1 et Res 2 entre deux conditions
ABF	Groupe de grimpeurs ayant augmenté leur fréquence de respiration dans la condition RESP
DBF	Groupe de grimpeurs ayant diminué leur fréquence de respiration dans la condition RESP

1 Introduction

1.1 Escalade sportive

L'escalade sportive est un sport qui a connu d'incroyables évolutions lors des 100 dernières années à trois niveaux : l'accroissement du niveau des grimpeurs modernes, l'augmentation du nombre de murs artificiels indoor et les débuts de l'escalade en compétition (Chambre, 2015).

Les grimpeurs actuels sont plus forts physiquement, plus rapides et avancent avec une fluidité hors norme. Sans compter l'internationalisation de l'escalade et la densité du niveau actuel qui a apporté de nouveaux talents et de nouveaux styles de grimpe (Chambre, 2015).

C'est l'Angleterre victorienne, durant le 19^{ème} siècle, qui voit émerger un premier engouement pour le *rock climbing*. Puis, les premiers murs artificiels apparaissent en 1985 dans le but de permettre aux grimpeurs de s'entraîner toute l'année, mais nous étions très loin de la révolution actuelle avec les salles privées qui ont pratiquement créé un nouveau sport. La grimpe en salle est devenue une sorte de fitness vertical mais l'origine de ce sport se trouve à l'extérieur sur le rocher (Chambre, 2015).

Les compétitions d'escalade se sont développées ces dernières années et aujourd'hui, il y a un circuit officiel avec trois disciplines ; la difficulté, le bloc et la vitesse. Il est intéressant de constater que les stars mondiales de l'escalade sont rarement issues de la compétition, mais plutôt connues grâce à leurs performances en falaise (FFME, 2011).

Grimper, c'est progresser sur un terrain pentu, voire vertical, où l'aide des mains s'avère nécessaire (*Figure 1*).

C'est une activité probablement aussi ancienne que l'humanité (Chambre, 2015). L'objectif de l'escalade est d'atteindre le sommet de voie ou de bloc à mains nues et sans aide matérielle (FFME, 2011).



Figure 1. Adam Ondra, l'un des grimpeurs les plus forts au monde (Noble, 2016)

1.1.1 Les différentes disciplines en compétition



Figure 2. Shauna Coxsey lors de la coupe du monde de Meiringen, 2017 (Zumr, 2017)

Escalade de bloc. L'escalade de bloc se pratique sur des structures ne dépassant pas les 4 mètres de haut. Les compétiteurs y grimpent sans corde ni baudrier avec comme seule protection de gros matelas de réception (Figure 2). L'objectif est de réaliser les blocs proposés par les ouvreurs en moins de 5 minutes et de tenir la prise finale avec les deux mains au moins 3 secondes. Les essais sont comptabilisés jusqu'à la prise bonus (qui se trouve environ au milieu du bloc) puis jusqu'à la prise finale. L'athlète qui réussit le bloc jusqu'en haut au premier essai effectue un « flash » et gagne le maximum de point. Le bloc est un style d'escalade qui se concentre sur l'explosivité : le grimpeur recherche la difficulté d'un mouvement ou d'une séquence courte, contrairement à l'escalade en falaise, qui demande généralement plus d'endurance et se pratique sur de grandes

longueurs (FFME, 2011).

Escalade de vitesse. Les grimpeurs doivent réaliser le plus vite possible une voie tracée sur un mur vertical de 15 mètres, équipés d'un baudrier et attachés à une corde (Figure 3). Au sommet, une plaque de touche permet d'optimiser la précision et l'enregistrement des temps. La voie est officielle et homologuée, elle ne varie pas d'une compétition à l'autre, afin de permettre aux compétiteurs de développer des automatismes et d'établir des records (FFME, 2011). Le record du monde pour cette voie homologuée de 15m est de 5,48 secondes chez les hommes et de 7,38 secondes chez les femmes (IFSC, 2017).



Figure 3. Deux athlètes en compétition lors de la coupe du monde à Nanjing, 2017 (IFSC, 2017)

Escalade de difficulté. L'escalade de difficulté se pratique sur un mur d'environ 15 mètres. Les compétiteurs grimpent en tête, assurés par une corde (Figure 4). L'objectif de cette discipline est d'atteindre le sommet de la voie proposée ou d'aller le plus haut possible, sans se reposer dans la corde. Une voie est réussie lorsque la dernière dégaîne de la voie a été accrochée ; si elle n'est pas réussie, la dernière prise tenue par le grimpeur est comptabilisée (FFME, 2011).



Figure 4. Janja Garnbret lors de la coupe du monde à Guangzhou, 2016 (Fowke, 2016)

Cotations en escalade sportive				
FR	UIAA	USA	GB	
1				Sentier à plat
2				Sentier escarpé
3		5.3		Début d'usage des mains, voies enfants
4a		5.5		Initiation
4b				
4c	V	5.6	4b	
5a	V+	5.7	4c	Perfectionnement
5b		5.8		
5c	VI	5.9	5a	
6a	VI+	5.10a	5b	Escalade technique, adhérences, petites prises
6b	VII			
6c	VII+	5.11b	5c	
7a	VIII	5.11d	6a	Premiers dévers et surplombs
7b	VIII+			Escalade physique, parfois en dévers
7c	IX			
8a	X-	5.13b	7a	
8b	X			Haut Niveau
8c	XI-	5.14b	7b	
9a	XI			
9a+		5.15a	7c	Escalade extrême, Top niveau mondial
9b	XII-	5.15b		
9b+	XII	5.15c		
				Le plus dur réalisé

Figure 5. Les cotations en escalade sportive (Kazaden, 2017)

représente les voies les plus difficiles réussies aux Etats-Unis entre 1965 et 2005. Nous pouvons observer l'évolution du niveau des grimpeurs (Watts, 2004). Ce progrès a été rendu possible grâce à l'amélioration des points d'assurage, par conséquent la sécurité, et aux infrastructures indoor qui permettent de s'entraîner par tous les temps (Chambre, 2015).

1.1.2 Le système de cotation

Le niveau d'une voie est déterminé par une cotation, d'après une échelle de difficulté. Le système de cotation français débute à 1 et monte jusqu'à 9b+. Suivant les pays, différents systèmes de cotation sont mis en place (Figure 5). La personne qui ouvre une voie peut lui donner une cotation. Cette évaluation est subjective en raison des nombreuses différences entre les grimpeurs (FFME, 2011). Actuellement, les voies les plus dures au monde sont cotées 9b+. La première dans ce niveau a été réalisée par Adam Ondra en 2012 en Norvège (Kazaden, 2017). La Figure 6

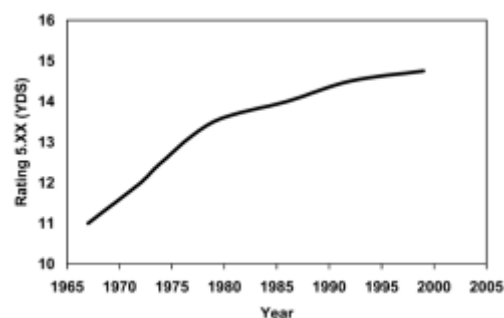


Figure 6. Les voies les plus difficiles aux Etats-Unis (Watts, 2004)

1.1.3 Les variables entraînables en escalade

Les caractéristiques qui expliquent la performance du grimpeur sont déterminées par les variables entraînables. La *Figure 7* est un résumé des variables selon Magiera et al. (2013). La performance des grimpeurs est déterminée par une bonne condition physique, des compétences techniques et tactiques et une préparation mentale. La personnalité, le tempérament, le contrôle, la tactique, les capacités de coordination et la technique sont les caractéristiques les plus importantes de la performance (Magiera et al., 2013).



Figure 7. La contribution des caractéristiques expliquant la performance des grimpeurs (Magiera et al., 2013)

Dans l'étude de Laffayae, Levernier et Collin (2016), les auteurs parlent de facteurs entraînables, tels que l'anthropométrie, la force générale et spécifique et la fatigue neuromusculaire. Dans cette étude, les auteurs relèvent le fait que grimper à haut niveau ne nécessite pas de facteurs anthropométriques particuliers, mais qu'il s'agit plutôt de la combinaison de ces facteurs avec la condition physique (par exemple la force des avant-bras et des doigts) qui aboutit à la performance. Par exemple, un faible pourcentage de graisse chez les grimpeurs ne prédit pas leurs compétences en escalade. (Laffaye, Levernier, & Collin, 2016).

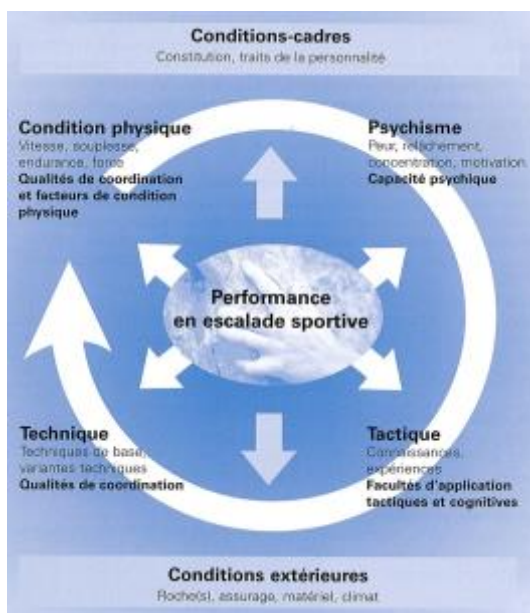


Figure 8. Modèle des éléments de la performance en escalade, Madlener 1987 (OFSPPO, 2010)

Divers modèles représentent les paramètres de la performance en escalade, la sécurité étant à la base de tous les concepts. Sur cette toile de fond, différents facteurs interagissent les uns avec les autres pour engendrer la performance. Le schéma de Madlener (OFSPPO, 2010) tient également compte des conditions-cadres ; les traits de notre personnalité et notre constitution (*Figure 8*). Ce sont des paramètres innés sur lesquels nous ne pouvons pas influencer. Les conditions extérieures sont des paramètres qui varient tout le temps et qui sont indépendants de notre volonté, nous ne pouvons également pas les modifier. Les facteurs

sur lesquels nous pouvons agir sont les éléments de la performance : condition physique, psychisme, technique et tactique. Ces facteurs interagissent entre eux et peuvent tous être entraînés.

La condition physique comprend la vitesse, la souplesse, l'endurance et la force (Birrer, Dannenberger, Grötzinger Strupler, Rüdissühli, & Weber, 2009). La force-vitesse est appelée explosivité ; il s'agit de recruter le plus vite possible le plus de fibres musculaires. L'endurance-vitesse est la capacité de maintenir une vitesse maximale sur la durée. La force endurance est la répétition d'efforts musculaires. La résistance en escalade est la répétition d'efforts musculaires proches de l'intensité maximale. C'est la capacité à supporter la fatigue musculaire le plus longtemps possible. En escalade, la fatigue des muscles de l'avant-bras contraint le grimpeur à lâcher les prises (Hörst, 2003).

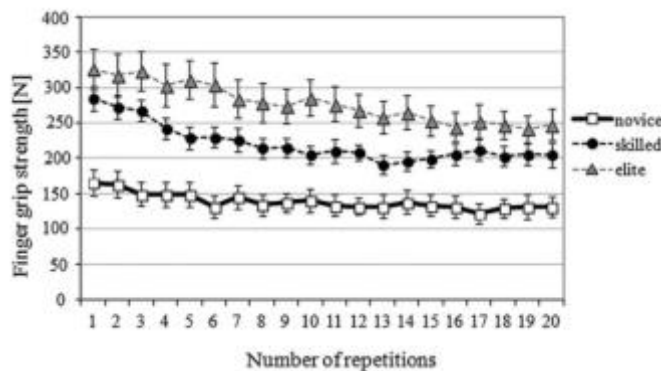


Figure 10. La fatigue de la force des doigts entre novices, avancés et experts (Laffaye, Levernier, & Collin, 2016).

d'habileté entre un grimpeur novice et expert. La Figure 9 représente l'évolution de la force des doigts entre un grimpeur novice, avancé et expert lors de vingt répétitions de contractions maximales de 5 secondes entrecoupées de 5 secondes de pause. La force des doigts est plus élevée avec le degré d'expertise, même après plusieurs répétitions (Laffaye, Levernier, & Collin, 2016). La puissance des membres supérieurs permet également de prédire le niveau d'expertise. Le test « Arm Jump » montre une meilleure puissance chez les grimpeurs experts (Figure 10). Nous observons une amélioration du résultat du test avec l'expertise (Laffaye, Collin, Levernier, & Padulo, 2014).

Les qualités physiques du grimpeur de haut niveau sont spécifiques aux avant-bras, aux mains et aux doigts. Le gainage et la propulsion des jambes sont également des groupes musculaires importants (Sheel, 2004). La force et l'endurance des doigts est la variable principale qui permet de prédire le niveau

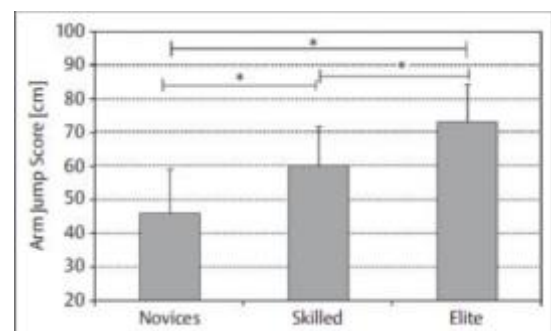


Figure 9. Résultats du test "Arm jump" entre novices, avancés et experts (Laffaye, Collin, Levernier, & Padulo, 2014).

Le psychisme joue également un grand rôle dans la performance du grimpeur. Les capacités psychiques sont définies par la concentration, la motivation, la confiance en soi, le relâchement et la gestion émotionnelle (Birrer, Dannenberger, Grötzinger Strupler, Rüdüsühli, & Weber, 2009). Il a été démontré qu'il existe un lien entre l'état psychologique des grimpeurs avant une compétition et la performance réalisée. Les grimpeurs qui ont réalisé la meilleure performance lors de l'ascension de la voie sont également ceux qui ont répondu positivement au questionnaire psychologique avant la compétition. Ils ont notamment grimpé la partie difficile de la voie plus lentement que les autres compétiteurs et sont arrivés plus haut. Le niveau d'anxiété somatique d'un athlète avant une compétition semble donc être un facteur important pour déterminer le succès (Sanchez, Boschker, & Llewellyn, 2010).

La technique représente les procédés développés par la pratique pour résoudre le plus économiquement un problème gestuel déterminé (Weineck, 1997). En escalade, il s'agit de la précision et de l'efficacité des placements de pied, de main et du corps. Le grimpeur doit progresser en utilisant le moins d'énergie possible (Hörst, 2003). Il n'est pas rare de voir des débutants utiliser davantage leurs bras que leurs jambes pour grimper. Une étude a démontré que les débutants mettent moins de force dans leurs pieds que des grimpeurs intermédiaires, ce qui engendre une plus haute consommation d'oxygène et fréquence cardiaque (Balas et al., 2014).

Le mouvement standard en escalade permet de grimper en réduisant le coût énergétique. Il est composé d'une phase de préparation, d'une phase principale et d'une phase finale. Il n'est pas applicable dans toutes les voies car elles ne sont pas standards mais permet d'avoir une base technique (OFSPPO, 2010).

La tactique est le comportement rationnel, réglé sur sa propre capacité de performance et sur les conditions extérieures. Elle regroupe la capacité d'adaptation, l'expérience, la stratégie et les connaissances (Weineck, 1997). La visualisation d'une voie avant de la grimper est un aspect important de la tactique, elle permet de grimper plus rapidement les séquences difficiles et de repérer les pauses. Elle n'améliore pas directement la performance mais optimise les mouvements du grimpeur (Sanchez, Lambert, Jones, & Llewellyn, 2012).

1.2 Physiologie

1.2.1 Les filières énergétiques et les types d'effort

La source d'énergie d'une contraction musculaire vient de l'hydrolyse de l'adénosine triphosphate, ATP. Comme l'ATP existe à de faibles doses dans la cellule musculaire, le corps a développé un mécanisme chimique pour la régénérer afin de permettre aux fibres musculaires de continuer à se contracter (Gastin, 2001). Trois filières énergétiques distinctes permettent de satisfaire les besoins du muscle en énergie : le système anaérobie alactique, le système anaérobie lactique et le système aérobie.

La filière anaérobie alactique intervient à l'état initial d'un exercice intense, sans oxygène et sans production d'acide lactique. La phosphocréatine et l'ATP stocké dans les muscles permettent un apport d'énergie rapide mais sur une durée limitée (Gastin, 2001).

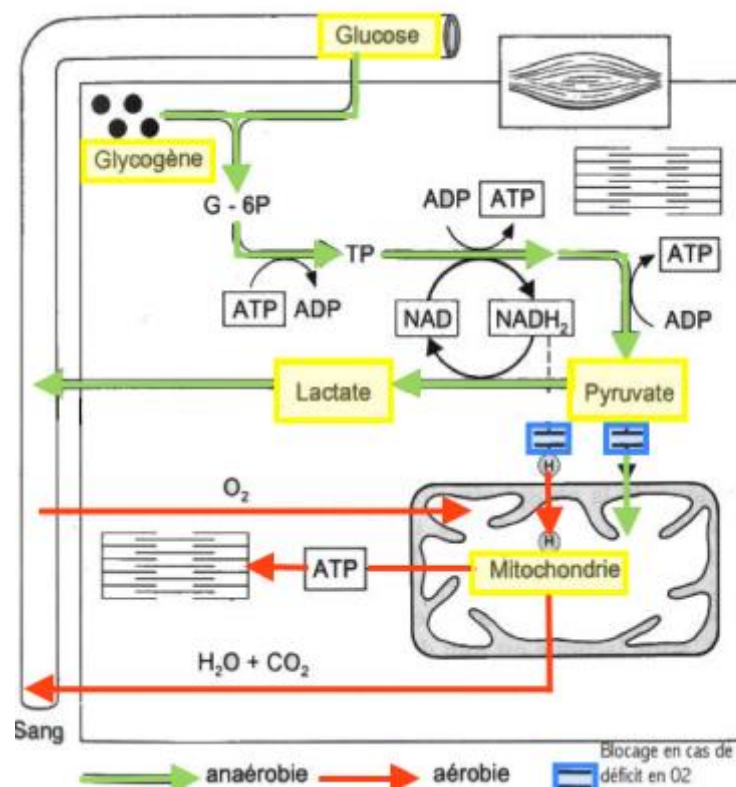


Figure 11. Vue générale de la glycolyse. Adapté de (Verson, s.d.).

La glycolyse (Figure 11) métabolise sans oxygène les hydrates de carbone, stockés notamment dans les muscles sous forme de glycogène, en pyruvate. Le nicotinamide adénine dinucléotide, NAD, est une coenzyme indispensable au maintien de la glycolyse. Il récupère les ions d'hydrogène, H⁺, libérés par oxydation et les amène vers les mitochondries par réduction. C'est grâce à l'oxydo-réduction du NAD que la glycolyse peut se poursuivre et métaboliser son produit final : le pyruvate. En fonction de l'intensité de l'effort, le pyruvate

peut avoir différents rôles. Lors d'un effort à faible ou moyenne intensité, le débit glycolytique ne dépasse pas la capacité oxydative du muscle, cela signifie que les NAD sont disponibles pour les H^+ . Le pyruvate pourra être transformé en acétyl-CoA en entrant dans les mitochondries et pourra rejoindre le cycle de Krebs, il s'agit de la filière aérobie. La filière aérobie est capable de produire de l'ATP sur une très longue durée mais à faible débit (*Figure 12*).

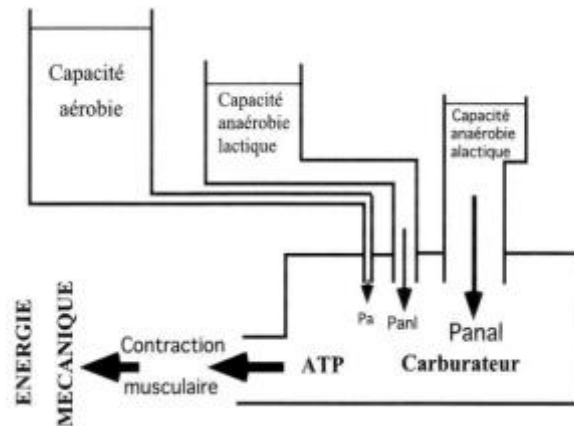


Figure 12. Les capacités des trois filières énergétiques (Pallure, 2013)

Lorsque l'intensité de l'exercice augmente, la glycolyse produit de plus en plus vite des pyruvates, les NAD apportent de plus en plus de ions H^+ aux mitochondries qui ne peuvent pas tous les absorber. Les NAD sont en nombre limité. S'ils sont tous occupés par un H^+ , la glycolyse risque de s'arrêter. Pour ne pas compromettre le processus de la glycolyse, les NAD vont céder leurs H^+ aux molécules de pyruvate, produisant ainsi du lactate. Il s'agit de la filière anaérobie lactique (Prévost & Reiss, 2013 ; Spriet, Howlett, & Heigenhauser, 2000).

Lors de la production du lactate à partir du pyruvate, des ions H^+ vont être libérés, acidifiant ainsi le milieu. Ces trois systèmes fonctionnent ensemble pour permettre au muscle de se contracter le plus longtemps possible à une intensité donnée. Les caractéristiques de l'effort ; son intensité, sa durée, son mode de contraction et sa modalité, vont réguler la contribution relative des filières dans l'apport total d'énergie. Lors d'un effort maximal de 75 secondes (*Figure 13*), l'énergie provient à part égale du système aérobie et du système anaérobie. Au-delà de 75 secondes, le système anaérobie lactique va alimenter la plus grande partie de l'énergie. L'énergie pour un effort long et de basse intensité sera, quant à lui, davantage alimenté par le système aérobie (Gastin, 2001).

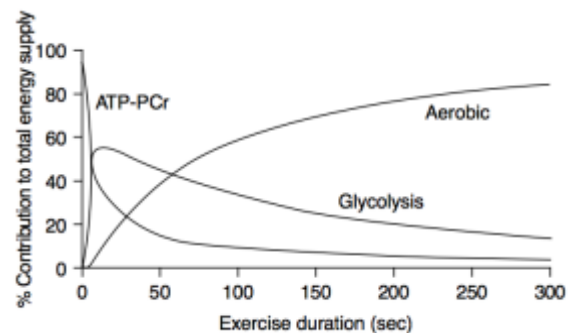


Figure 13. Contribution relative des trois filières énergétiques lors d'un effort maximal. (Gastin, 2001)

1.2.2 La fatigue musculaire

La fatigue musculaire est définie par l'incapacité de nos muscles à maintenir et développer de la force ou de la puissance sur la durée (Gastin, 2001). Les mécanismes responsables de la fatigue musculaire peuvent être classifiés comme centraux ou périphériques. La distinction entre ces deux types de fatigue se fait en fonction de l'origine de la perte de force par rapport à la jonction neuromusculaire. Avant la jonction, il s'agit de la fatigue centrale et après la jonction, de la fatigue périphérique ou musculaire (Edwards, 1983). Les facteurs de la fatigue dépendent directement de la nature et de l'intensité de l'exercice. Lors d'un effort de longue durée, les facteurs limitants peuvent notamment être la réserve de glycogène et le taux d'enzymes oxydatives (Sesboüé, 2006). Lors d'un exercice de très haute intensité et de durée limitée, l'accumulation d'acide lactique intramusculaire a longtemps été considérée comme la cause la plus importante de fatigue. L'acide lactique n'est pas présent dans le corps sous sa forme neutre, il est représenté par des ions de lactate et des ions H^+ . Afin d'évaluer correctement l'effet de l'acide lactique sur la fatigue, il est important de considérer ces deux formes ioniques séparément. Les ions lactate sont formés pour permettre à la glycolyse de continuer à fonctionner, le lactate peut ensuite être utilisé comme substrat énergétique. Les ions H^+ produits vont engendrer une baisse du potentiel hydrogène intramusculaire, pH, entraînant une acidose du milieu. On ne sait pas si les ions H^+ sont produits durant la production de lactate ou durant les réactions glycolytiques. Une hypothèse plausible expliquant la fatigue musculaire lors d'un effort intense peut être l'acidose dans les cellules musculaires qui inhibe les processus contractiles causant directement une diminution de la performance. Il y a trois coupables possibles : l'accumulation de lactate intramusculaire, l'acidose intramusculaire ou l'acidose plasmatique (Cairns, 2006). À notre connaissance, aucune étude n'a pu démontrer quel processus ou quelles interactions précises entraînent une diminution de la performance lors d'un effort à haute intensité.

1.2.3 L'importance du système cardio-respiratoire

Le système cardio-respiratoire, composé de l'appareil respiratoire et de l'appareil cardiovasculaire, permet d'assurer un apport efficace et suffisant d'oxygène, O_2 , dans tout l'organisme. Brièvement, l' O_2 passe de l'air ambiant jusqu'aux alvéoles pulmonaires (*Figure 14*), puis va diffuser dans les capillaires (respiration pulmonaire). Une fois dans la circulation sanguine, l' O_2 va être transporté par le système cardiovasculaire jusqu'aux différents tissus pour y être utilisé (respiration cellulaire). La respiration pulmonaire comprend notamment la

ventilation pulmonaire qui correspond aux échanges gazeux entre l'organisme et l'environnement extérieur. Lors d'un effort, celle-ci joue un rôle dans le maintien de l'homéostasie, en maintenant par exemple la pression partielle en O_2 ou en assurant l'élimination du dioxyde de carbone, CO_2 , produit par le métabolisme. La respiration joue également un rôle dans l'équilibre acido-basique. Une réduction de la ventilation entraîne une augmentation de la quantité de CO_2 présente dans le sang et une accumulation de ions H^+ , menant à une diminution du pH. Le milieu devient donc plus acide (Billat, 2012).

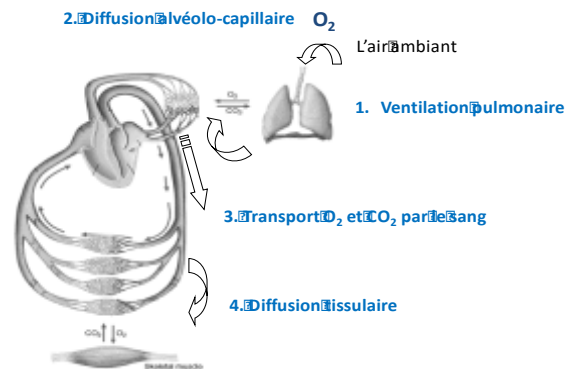


Figure 14. Cascade d'oxygène dans l'organisme. Adapté de (Plowman & Smith, 2013).

1.3 Escalade de difficulté

1.3.1 Caractéristiques physiques

L'escalade de difficulté est un sport qui consiste à se propulser vers le haut, contre la force de gravité. Ce sport est caractérisé par de courts instants d'exercice à haute intensité entrecoupés de périodes de repos (Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss, 2007). D'un point de vue physique, l'escalade sportive est caractérisée par des contractions musculaires isométriques soutenues et intermittentes de l'avant-bras. Les groupes musculaires mobilisés sont les avant-bras, les mains, les doigts, le gainage et les jambes. Les réponses physiologiques à l'ascension d'une voie difficile sont une augmentation de la consommation d'oxygène, de la fréquence cardiaque, de la pression sanguine, du taux de lactate sanguin et de la fatigue musculaire (Sheel, 2004).

La consommation d'oxygène et la

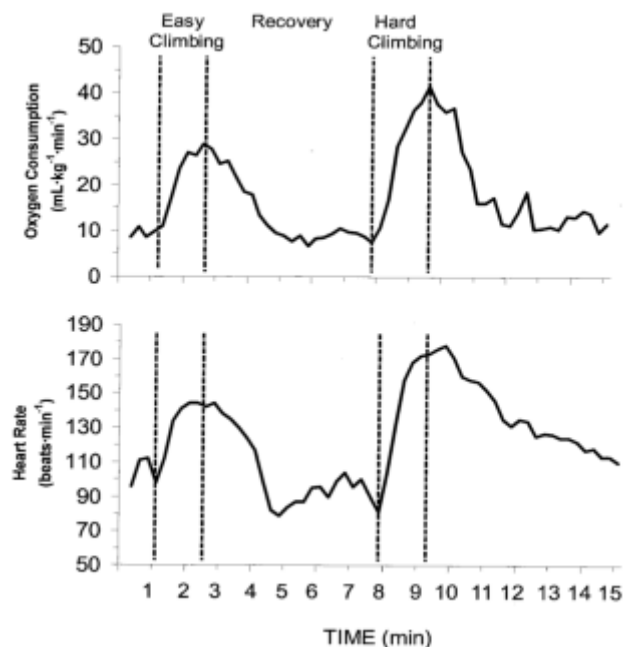


Figure 15. Consommation d'oxygène et fréquence cardiaque durant une voie facile et une voie difficile. (Sheel, Seddon, Knight, McKenzie, & Warburton, 2003)

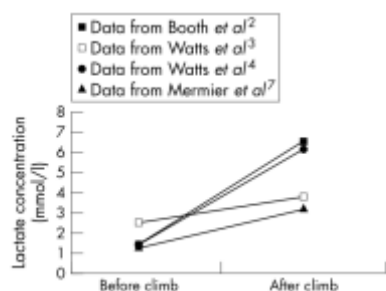


Figure 16. Valeurs moyennes de lactate mesurées au repos et après l'escalade. (Sheel, Physiology of sport rock climbing, 2004)

fréquence cardiaque augmentent progressivement avec la difficulté des voies d'escalade (Figure 15). La fréquence cardiaque augmente davantage que la consommation d'oxygène lors d'une voie difficile. Cela peut s'expliquer par le fait que l'escalade requiert des contractions isométriques intermittentes des muscles des bras qui nécessitent l'utilisation de la filière aérobie et anaérobie. (Sheel, Seddon, Knight, McKenzie, & Warburton, 2003).

Cette affirmation a été confirmée par l'étude de Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss (2007), qui affirme également que les grimpeurs peuvent atteindre jusqu'à 80% de leur fréquence cardiaque maximale.

Le taux de lactate sanguin augmente lors de l'ascension d'une voie, pouvant atteindre des valeurs entre 2.4 à 6.1 mmol.l⁻¹ selon le niveau de difficulté (Figure 16) (Sheel, 2004). Les valeurs sont moins élevées en escalade qu'en course à pied ou en vélo car la masse musculaire

Reference	Condition	Blood lactate (mmol.l ⁻¹)
Billat et al. 1995	3 min post route, 5.12a/7b	5.8 (1.0)
Watts et al. 1996	1 min post climbing to a fall, 5.12a/7b	6.1 (1.4)
Mermier et al. 1997	1-2 min post indoor route, 5.11 + /7a	3.2 (0.9)
Watts & Drobish 1998	1 min post 4-min bout at 102 degrees	5.9 (1.2)
Booth et al. 1999	Post outdoor route, 5.10d/6b	4.5 (0.5)
Watts et al. 2000	1 min post indoor route, 5.12b/7b	6.8 (1.9)
Werner & Gebert 2000	1 min post UIAA World Championship competition	3.8-8.9

Figure 18. Résumé des réponses du taux de lactate à l'escalade. (Watts, 2004)

impliquée est plus petite. La Figure 17 reporte les concentrations observées dans diverses études. Le taux de lactate sanguin est significativement corrélé avec la diminution de l'endurance des muscles des avant-bras, la diminution de la hauteur atteinte par le grimpeur

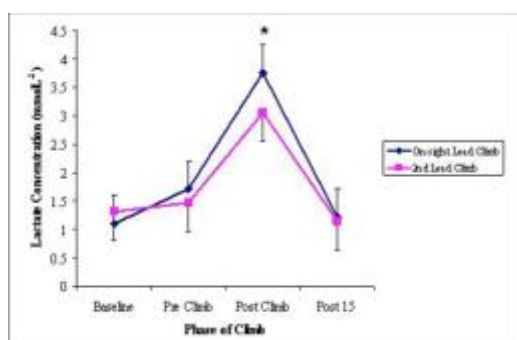


Figure 17. Concentrations de lactate entre l'ascension "à vue" et "au 2^{ème} essai". (Draper, Jones, Fryer, Hodgson, & Blackwell, 2008)

dans la voie et donc sa performance (Watts, 2004). Ce taux reste élevé jusqu'à 15 minutes après l'effort. Il est intéressant de noter que l'augmentation est plus marquée lorsque le grimpeur effectue une voie « à vue par rapport à un « 2^{ème} essai » dans cette même voie (Figure 18) (Draper, Jones, Fryer, Hodgson, & Blackwell, 2008).

L'augmentation du taux de lactate n'est pas identique chez tous les individus car c'est une mesure personnelle qui dépend de nombreux facteurs. Cependant, un grimpeur expert produira moins de lactate qu'un grimpeur amateur pour une même voie. Les experts sont capables de réduire la pression sanguine locale et l'acidose cellulaire car ils ont une meilleure

	Recreational group (n = 7)	Elite group (n = 6)		
	Easy	Easy	Moderate	Difficult
T_{TOTAL} (s)	83.9 (20.1)	73.8 (17.6)	80.8 (14.5)	82.3 (16.4)
$\dot{V}O_{2peak-climbing}$ ($ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$)	36.0 (5.5)	37.2 (7.6)	38.0 (6.3)	38.6 (5.4)
$HR_{peak-climbing}$ (beats min^{-1})	171 (6) ^b	162 (8)	175 (5) ^b	181 (7) ^b
$[La^-]_{peak}$ ($mmol\ l^{-1}$)	4.4 (1.6) ^b	2.4 (0.9)	3.7 (0.8)	3.9 (1.8)
$\% \dot{V}O_{2climbing-arm}$ (%)	104.3 (27.7)	102.2 (19.5)	106.4 (23.9)	108.1 (24.8)
$\dot{V}O_2$ ($ml\ kg^{-1}$)	30.3 (7.7)	23.0 (5.2)	30.1 (6.9)	31.3 (8.0)
$\dot{V}O_{2PCR}$ ($ml\ kg^{-1}$)	30.1 (6.9)	27.7 (4.5)	24.5 (5.5)	30.2 (7.8)
W_{AER} (kJ)	40.9 (12.4) ^a	29.7 (6.1) ^a	39.3 (10.4) ^a	40.4 (9.8) ^a
W_{PCR} (kJ)	40.3 (11.0) ^a	35.8 (5.1) ^a	31.8 (8.1) ^a	39.1 (10.5) ^a
$W_{[La^-]}$ (kJ)	15.9 (3.9) ^b	6.0 (3.4)	10.0 (3.8)	12.7 (4.8)
W_{TOTAL} (kJ)	97.1 (18.9) ^b	71.4 (9.7)	81.0 (12.9)	92.1 (15.4)

Figure 19. Concentrations de lactate de grimpeurs amateurs (Recreational) et experts (Elite) après trois voies de niveau différent. (Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss, 2007)

capacité à dilater les vaisseaux des muscles de l'avant-bras grâce à l'entraînement. Ils produisent moins de lactate car ils sont capables de rester plus longtemps dans la filière anaérobie alactique, notamment en grimpant de manière plus économe. (Figure 19) (Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss, 2007).

La contribution relative des trois systèmes énergétiques durant l'ascension d'une voie d'escalade entre des grimpeurs experts et des grimpeurs amateurs varie peu (Figure 20). Les barres hachurées représentent l'utilisation des systèmes chez des grimpeurs amateurs et les barres uniformes, chez des grimpeurs experts. Dans une voie facile, les grimpeurs experts utilisent davantage la filière anaérobie alactique au détriment de la filière anaérobie lactique, contrairement aux grimpeurs amateurs qui utilisent plus d'énergie pour effectuer les mouvements car ils n'ont pas encore un niveau technique élevé. Cependant, le niveau d'entraînement, la difficulté de la voie et la puissance des muscles du haut du corps n'influencent pas directement la contribution relative des systèmes. Il est toutefois intéressant de constater que les filières énergétiques les plus utilisées lors de l'ascension d'une voie difficile sont la filière aérobie et la filière anaérobie

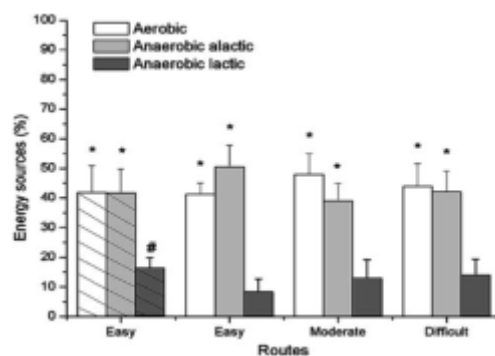


Figure 20. La contribution relative des systèmes énergétiques durant l'escalade sportive (Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss, 2007)

alactique (Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss, 2007). L'utilisation de la filière aérobie permet un apport adéquat en oxygène et semble être un facteur important pour la performance en escalade.

1.3.2 La résistance

La résistance en escalade est une notion clé pour les grimpeurs. Elle ne se situe pas tout à fait dans le domaine de la force car l'intensité est moins haute, ni dans celui de l'endurance du fait de sa brièveté. La perception de l'effort est vague lorsqu'un grimpeur entre en résistance. Les symptômes de ce type d'effort sont principalement localisés dans les avant-bras et se caractérisent par une perception brutale de ne plus pouvoir serrer les prises, comme si les doigts étaient engourdis, et une sensation de brûlure s'installant progressivement (Guyon & Broussouloux, 2004).

Sur le plan bioénergétique, la notion de résistance renvoie à la filière anaérobie lactique. Son rôle est de répondre rapidement à une forte demande énergétique des muscles mais en même temps, son fonctionnement induit la fabrication de sous-produits menant au blocage de réactions chimiques importantes. La phase critique durant laquelle se joue cette « compétition » peut correspondre au moment durant lequel se joue la réussite d'une voie. C'est pourquoi, il est intéressant pour un grimpeur d'entraîner son organisme à mieux « résister » à l'acidose cellulaire (Guyon & Broussouloux, 2004).

Il est possible de définir la résistance comme toute séquence gestuelle dont l'intensité est très haute, homogène, lors de laquelle les mouvements sont enchaînés sans possibilité de rester sur les prises de manière prolongée. On distingue la résistance courte ; de très haute intensité et entre 20-25 mouvements, de la résistance longue ; d'une intensité moins haute, entre 45-50 mouvements réguliers, durant 3 à 5 minutes (Guyon & Broussouloux, 2004).

1.3.3 Facteurs limitants la performance

La chute en escalade peut être due à de nombreux facteurs. Lorsque le grimpeur n'arrive pas à réaliser le mouvement demandé, il peut s'agir d'un manque de condition physique (par exemple pas assez de force), de technique (il n'a pas le bagage gestuel nécessaire), de capacités mentales (un manque de confiance en soi, de motivation) ou de fatigue musculaire locale. Une fatigue locale des muscles des avant-bras est la cause première de la chute du grimpeur (Sheel, 2004). Elle survient plus rapidement à la suite d'une erreur technique ou tactique, car le grimpeur perd de l'énergie. Elle est due à la répétition de contractions

isométriques et intenses des muscles et à une forte mobilisation de la filière anaérobie lactique (Guyon & Broussouloux, 2004). La particularité de l'escalade est la fatigue dans la musculature de l'avant-bras car le recrutement des unités motrices est constant. En effet, parmi les différents groupes musculaires mobilisés lors de l'escalade, les muscles fléchisseurs du coude et fléchisseurs des doigts semblent être les plus déterminants pour la performance lors de l'ascension d'une voie difficile et surplombante (Deyhle et al., 2015). Il est donc correct d'utiliser le terme de fatigue locale (Sheel, 2004).

1.4 Escalade et respiration

Une voie difficile pour un grimpeur peut être définie comme une voie dans son niveau maximal, en se référant aux cotations d'escalade (*Figure 5*). Elle demande des contractions intenses et répétées des muscles spécifiques de l'avant-bras. Les trois filières énergétiques sont utilisées par le grimpeur lors de l'ascension d'une voie (Bertuzzi et al., 2007). L'augmentation du taux de lactate sanguin reflète l'utilisation de la filière anaérobie lactique et confirme le fait que le grimpeur est dans un effort de type résistance.

L'augmentation de la consommation d'oxygène et de la fréquence cardiaque avec la difficulté de la voie illustre l'utilisation de la filière aérobie (Balas, 2014). Le but du grimpeur étant de



Figure 21. Alexey Rubstov à la coupe du monde de Meiringen 2017 (Zumr, 2017)

contracter le plus longtemps possible ses muscles afin d'aller le plus haut possible dans la voie, il doit être capable de résister à la fatigue, et donc de rester suffisamment longtemps dans la filière aérobie avant de se retrouver en résistance (i.e. filière anaérobie lactique). Il doit amener assez d'oxygène à ses cellules musculaires pour que le pyruvate puisse être oxydé dans les mitochondries (i.e. filière aérobie). Etant la première étape de la respiration (*Figure 14*), une ventilation adéquate devrait limiter l'augmentation des ions H^+ lors d'un effort intense en favorisant l'utilisation de la filière aérobie par un apport suffisant en O_2 (Billat, 2012). Or, en observant les grimpeurs en salle et en falaise, il n'est pas rare d'en voir qui oublient

de respirer ou qui bloquent leur respiration lorsqu'ils réalisent des mouvements difficiles. Ces courtes périodes d'apnée diminuent momentanément l'apport global en O₂, provoquant de brèves périodes d'hypoxie et stimulant de ce fait la glycolyse anaérobie (Voet & Voet, 2005). Des instructions spécifiques à la respiration, données lors de l'ascension, pourraient potentiellement limiter ces périodes d'apnée. En effet, certaines études ont montré qu'un focus interne sur la respiration lors de la course à pied (i.e. les participants devaient se concentrer sur leur respiration) pouvaient influencer les paramètres respiratoires tels que la fréquence de respiration ou le volume respiratoire (Schücker, 2009 ; Schücker, 2014). Le contrôle de la respiration est d'ailleurs utilisé par les entraîneurs de nombreuses disciplines sportives. L'entraîneur national de la relève en escalade sportive, Pirmin Scheuber, affirme : « *Die Atmung ist ein wichtiger Bestandteil der Leistung beim Klettern, welche auch bei der Ausbildung zum Trainer Spitzensport und im Studium behandelt habe. Sie ist Bestandteil der meisten Trainings.* » (Annexe 1). Or, à notre connaissance, l'effet du contrôle de la respiration sur la performance en escalade n'a encore fait le sujet d'aucune étude scientifique.

1.5 But et hypothèse de l'étude

Le but de cette étude est de déterminer si la performance en escalade, lors de l'ascension en tête d'une voie de niveau maximal, peut être améliorée par le contrôle de la respiration. La performance est quantifiée comme le nombre de prises que le grimpeur saisit lors de l'ascension de la voie. Le contrôle de la respiration est défini par une respiration continue (sans épisode d'apnée) et consciente.

Afin d'examiner scientifiquement cette question, nous avons formulé l'hypothèse suivante :

H0 : Le fait de contrôler sa respiration de manière consciente ne va pas éviter des épisodes d'apnée et augmenter ainsi la fréquence de respiration moyenne. La performance ne sera pas améliorée.

H1 : Le fait de contrôler sa respiration de manière consciente va éviter des épisodes d'apnée et augmenter ainsi la ventilation moyenne. Cette augmentation devrait amener plus d'O₂ aux muscles, augmentant ainsi la contribution relative de la filière aérobie à l'apport total d'énergie. Au final, la performance devrait ainsi être améliorée.

2 Méthode

L'expérimentation consistait en une voie d'escalade de niveau maximal que les participants devaient grimper en recevant des instructions. Chaque participant a réalisé deux fois le même protocole à une semaine d'intervalle, le jour et l'heure étant identiques, seules les instructions variaient.

2.1 Sujets

Vingt et un grimpeurs (18 hommes et 3 femmes) en bonne santé, âgés entre 20 et 40 ans, ont participé à cette étude. Deux sujets ont dû être écartés des résultats car leur forme physique n'était pas identique lors des deux visites. Tous les participants, qui avaient plus de 3 ans d'expérience en escalade, ont estimé leur niveau maximal en escalade de voie. Avec un niveau allant du 6c au 8a selon l'échelle de cotation française, tous les grimpeurs étaient considérés comme avancés (Draper & al., 2011). Le protocole de cette étude, mais pas le but, a été expliqué au préalable et les volontaires ont donné leur consentement écrit pour leur participation (Annexe 2).

2.2 Protocole expérimental

Le protocole expérimental durait environ 60 minutes et était constitué d'un échauffement, d'un pré-test de force (force maximale et force endurance), d'une ascension d'une voie d'escalade et d'un post-test de force identique au pré-test. Lors de l'ascension de la voie, le grimpeur recevait soit des instructions spécifiques à la respiration (condition expérimentale, RESP), soit des instructions neutres de type encouragements (condition contrôle, CONT). Lors de la deuxième visite, le protocole était identique, seules les instructions lors de l'ascension de la voie différaient. Les conditions expérimentales et contrôles étaient randomisées.

2.2.1 L'échauffement

L'échauffement durait environ 35 minutes et était constitué de la mise en train, de la visualisation, d'une pause et de la première prise du taux de lactate sanguin. Le participant effectuait trois tours de salle à la course puis devait grimper sur un pan facile (*Figure 22*) en choisissant les prises. Il effectuait un total de deux cent mouvements de mains et avait pour consigne de ne pas se fatiguer.



Figure 22. Pan d'échauffement

Ensuite, le sujet grimpeait une voie d'exactement un degré de difficulté de moins que son niveau maximal (par exemple si le participant grimpeait habituellement du 7a comme niveau maximal, il devait choisir une voie de difficulté 6a pour l'échauffement). Il avait comme consigne de ne pas se fatiguer et pouvait se reposer dans la corde s'il sentait qu'il avait besoin d'une pause. Une fois arrivé en haut de la voie d'échauffement, le participant redescendait dans sa voie de test. Il avait le droit de toucher toutes les prises et d'imaginer les mouvements à effectuer afin d'éviter le plus possible le potentiel stress provoqué par l'inconnu lorsqu'on grimpe une voie pour la première fois (ce qu'on appelle « à vue » dans le jargon de l'escalade) (Draper, Jones, Fryer, Hodgson, & Blackwell, 2008). Comme le sujet répétait deux fois l'expérimentation, il était important pour l'expérimentateur d'essayer de le mettre dans les mêmes conditions lors des deux visites. A la fin de l'échauffement et de la reconnaissance, le participant faisait quinze minutes de pause passive, c'est-à-dire qu'il n'effectuait aucune activité physique autre que se tenir debout, assis, ou marcher. Après dix minutes de pause, l'expérimentateur effectuait la première prise de lactate (Lac 0).

2.2.2 Pré-test

À la fin des 15 minutes de pause, le participant effectuait le pré-test qui consistait en un test de force maximale des doigts de la main (Fmax 1) et d'un test d'endurance musculaire (Res 1). Suite au pré-test de force, le participant effectuait dix minutes de récupération active où il devait grimper à nouveau sur le pan d'échauffement. Il avait pour consigne de ne pas s'arrêter

de grimper mais de se reposer en choisissant des grandes prises et des positions économiques. Suite à la pause active, le participant avait encore cinq minutes pour visualiser la voie. En observant la forme, la taille et la disposition des prises, le participant pouvait s'imaginer les mouvements qu'il allait effectuer, repérer les parties plus simples où il pourrait se reposer et élaborer ainsi un plan tactique afin d'atteindre le sommet de la voie. À la fin de la visualisation, une deuxième prise de lactate était effectuée (Lac 1). L'expérimentateur installait un lecteur mp3 sur le participant et allumait la caméra.

2.2.3 Ascension de la voie

Une fois le participant et l'assureur prêts devant la voie de test, ils effectuaient le double contrôle de sécurité pour vérifier l'encordement. L'expérimentateur mettait en route le lecteur mp3 pour que le participant entende les instructions durant son ascension. Le participant devait alors grimper la voie de test en accrochant toutes les dégaines et en respectant les règles de sécurité. Le but du grimpeur était d'atteindre la prise la plus haute de la voie sans effectuer de pause dans la corde. Il s'agissait donc de grimper jusqu'à la chute. Si le grimpeur réussissait trop facilement la voie, il était immédiatement redescendu au sol et recommençait une seconde fois la même voie. Lorsque le grimpeur chutait, il était automatiquement redescendu au pied de la voie et l'expérimentateur enclenchait le chronomètre. Le plus rapidement possible, le participant devait observer une échelle de Borg (Annexe 3) et donner un nombre entre 1 et 10 de son ressenti subjectif de l'effort (RPE). Exactement trois minutes après la chute du grimpeur, l'expérimentateur effectuait la troisième mesure de lactate (Lac 2).

2.2.4 Post-test

Directement après la troisième mesure du taux de lactate, le participant effectuait à nouveau les tests de force maximale (Fmax 2) et de force endurance (Res 2), identiques au pré-test.

2.3 Mesures et matériel

Infrastructure. L'expérimentation s'est déroulée à la salle d'escalade *Bloczone* à Givisiez. L'infrastructure est composée de murs d'escalade Walltopia®. Sur ces murs, des prises de couleur, de forme et de taille différente de la marque HRT® ou Lapis® étaient vissées de manière réfléchie pour former une route imaginée par l'ouvreur.

Le matériel d'escalade. Chaque participant utilisait son propre matériel d'escalade de voie. Il est constitué d'un baudrier, de chaussons d'escalade et d'un sac de magnésie. La corde utilisée pour l'expérimentation était de la marque BEAL® (Wallmaster 10,5 mm, UNICORE). L'assureur utilisait un Gri gri 2 de la marque PETZL®.

Voie d'escalade. L'équipe d'ouvriers de la salle a construit des voies spécialement pour l'étude. Un des buts de l'étude consistait à mesurer l'effet de la respiration sur la performance grâce à des instructions. Les grimpeurs devaient, dans l'idéal, chuter à cause de la fatigue musculaire. C'est pourquoi, il était important de les faire grimper dans des voies faciles d'un point de vue technique. Par contre, la difficulté des voies était progressive, les prises étaient de plus en plus petites pour mettre à l'épreuve l'endurance et la résistance musculaire du grimpeur. Les voies comprenaient entre 25 et 35 mouvements et l'effort durait 2 à 3 minutes. L'ascension de la voie était filmée à l'aide d'une caméra fixe GoPro® Hero 4. L'analyse vidéo permettait de déterminer divers paramètres ; le temps que le grimpeur mettait pour réaliser la voie, depuis le moment où il levait le pied du sol jusqu'à ce qu'il lâchait les prises (durée totale, D), le temps durant lequel le grimpeur était en mouvement (durée active, DA), le temps durant lequel le grimpeur n'effectuait pas de mouvement et était en pause (durée passive, DP) et la comptabilisation de tous les mouvements de bras sauf ceux nécessaires au clippage de la corde dans les dégaines (N.mvts). Grâce au nombre de mouvements et au temps, la fréquence de mouvements était calculée (F.mvts). La dernière prise saisie par le participant était également vérifiée grâce à la vidéo (TopN).

Instructions. Un lecteur mp3 (Ipod Shuffle, Apple®) ainsi que ses écouteurs étaient utilisés pour que les participants entendent les instructions tout au long de l'ascension de la voie. Les instructions intervenaient toutes les 20 secondes et, dans les deux conditions, étaient encourageantes. Lors de la condition contrôle (contrôle), les participants recevaient des encouragements. Lors de la condition expérimentale (respiration), les participants recevaient des instructions axées sur la respiration, par exemple « inspire, expire », « pense à ta

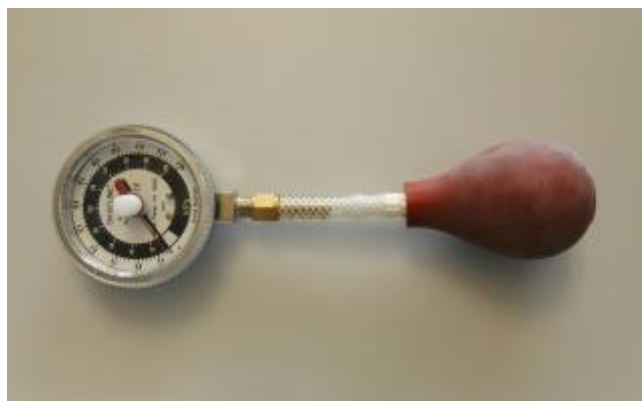


Figure 23. Dynamomètre pneumatique

respiration ».

Force. L'ensemble des tests de force durait environ 5 minutes. La force maximale (F_{max}) était déterminée à l'aide d'un dynamomètre pneumatique (Baseline® Evaluation Instruments) (Figure 23). Le participant devait serrer la poire du dynamomètre le plus fort possible avec sa main dominante. Le test était effectué à 3 reprises, avec une minute de pause entre chaque essai, sans feedback. Le meilleur des trois essais était gardé. La perte de force maximale suite à la voie d'escalade était déterminée par la différence entre les valeurs obtenues lors du pré-test et post-test avec $\Delta F_{max} = F_{max} 2 - F_{max} 1$.



Figure 24. Suspensions

La force endurance était déterminée par un test de temps limite en suspension isométrique sur une poutre d'entraînement (Figure 24). Le participant devait rester suspendu à deux prises de taille moyenne, sans utiliser les pieds, le plus longtemps possible. L'endurance musculaire (Res) correspondait à la durée totale de suspension. La perte de résistance suite à la voie d'escalade était déterminée par la différence entre les valeurs obtenues lors du pré-test et post-test avec $\Delta Res =$

$Res\ 2 - Res\ 1$.

Lactatémie Le matériel de lactatémie était constitué d'un analyseur portable automatique (Lactate Pro2, Arkay, Kyoto, Japon), de bandelettes de test pour Lactate Pro 2, de tampons alcoolisés de la marque Soft-Zellin®, de compresses, de gants en latex, de lancettes (Multilet, Arkay, Kyoto, Japon) (Figure 25). L'expérimentateur mettait ses gants, désinfectait l'oreille du participant, lui piquait le lobe de l'oreille et essuyait la première goutte de sang. Il récoltait ensuite la goutte qui allait servir à la mesure grâce à l'analyseur et à une bandelette.



Figure 25. Matériel nécessaire à la prise du taux de lactate sanguin

L'augmentation du taux de lactate sanguin suite à la voie d'escalade était déterminée par la différence entre les valeurs obtenues après la voie (Lac 2) et celles juste avant la voie (Lac 1) avec $\Delta\text{Lac} = \text{Lac 2} - \text{Lac 1}$.

Fréquence de respiration. La fréquence de respiration moyenne (BF) était mesurée lors de l'ascension de la voie grâce à un système de monitoring sans fil constitué de deux capteurs en contact avec la peau de la marque Sense® (CSEM, Neuchâtel, Suisse).

Fréquence cardiaque. Un cardiofréquencemètre (Ambit 3, Suunto, Vantaa, Finlande) servait à chronométrer toute l'expérimentation et à mesurer la fréquence cardiaque. La fréquence cardiaque moyenne (FCm) et pic (FCp) durant l'ascension de la voie ont été déterminées.

2.4 Analyse statistique

Toutes les données sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Lorsque les données respectaient les conditions de normalité et d'homogénéité des variances, des tests t appariés ont été utilisés pour déterminer les différences pour chaque sujet entre les deux conditions (RESP vs CONT) et les deux essais (1, 2) au niveau des paramètres de la charge interne et externe. Des tests t indépendants ont été utilisés pour déterminer les différences entre les deux groupes de sujets (avancés vs experts ; augmentation vs diminution BF). Plusieurs relations ont été déterminées entre la condition RESP et CONT ; la différence de la fréquence de respiration et du niveau des participants (ΔBF vs Niv), la différence de la fréquence de respiration et la différence du résultat (ΔBF vs ΔTopN), la différence de la variation du taux de lactate, après l'ascension et avant l'ascension, et la différence du résultat ($\Delta\Delta\text{Lac}$ vs ΔTopN) et la différence de la variation du taux de lactate, après l'ascension et avant l'ascension, et la différence de la variation entre Res 1 et Res 2 ($\Delta\Delta\text{Lac}$ vs $\Delta\Delta\text{Res}$). Le test de normalité de Shapiro-Wilk a été utilisé pour tester la normalité des données. Si les données n'étaient pas normales, le coefficient de corrélation de Spearman (ρ) a été calculé. Si les données respectaient les conditions de normalité, le coefficient de corrélation de Pearson a été utilisé.

Pour toutes les analyses statistiques, le seuil de significativité (*) était fixé à $p < 0.05$. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel SPSS Statistics (IBM© SPSS© Statistics, Version 24.0.0.0, 1989-2016).

3 Résultats

3.1 Comparaison de la condition RESP et de la condition CONT

Les valeurs des paramètres de repos (Lac 0, Lac 1, Fmax 1, Res 1) pour les conditions RESP et CONT sont présentées dans le Tableau 1. Aucune différence significative n'a été trouvée pour les paramètres de repos entre les deux conditions ($p > 0.05$). Les participants étaient donc considérés comme étant dans le même état de forme durant les deux conditions.

Tableau 1

Valeurs des paramètres de repos entre les conditions RESP et CONT.

	RESP (n=21)			CONT (n=21)		
Lac 0 (mmol/l)	1.6	±	0.5	1.7	±	0.9
Lac 1 (mmol/l)	1.2	±	0.5	1.1	±	0.5
Fmax 1 (kPa)	118.1	±	19.7	122.6	±	17.7
Res 1 (sec)	56.4	±	17.2	57.7	±	17.3

Note. Les valeurs sont données en moyenne ± écart-type. Lac 0 = taux de lactate avant le pré-test ; Lac 1 = taux de lactate avant la voie d'escalade ; Fmax 1 = force maximale des doigts de la main (pré-test) ; Res 1 = force endurance (pré-test).

Les différents paramètres de la charge externe (N.mvts, TopN, D, DP, DA, F.mvts) et de la charge interne (Lac 1, Lac 2, Δ Lac 1/2, FCm, FCp, BF, RPE) mesurés durant l'ascension de la voie sont présentés dans le tableau 2 et le tableau 3 respectivement. Aucune différence significative n'a été trouvée pour tous ces paramètres entre les conditions RESP et CONT ($p > 0.05$).

Tableau 2

Valeurs des paramètres de la charge externe entre la condition RESP et CONT.

	RESP (n=21)			CONT (n=21)		
N.mvts (n)	31.3	±	12.2	29.6	±	13.3
TopN (Top-n)	-5.6	±	4.6	-6.2	±	4.0
D (sec)	183.7	±	63.2	175.5	±	56.7
DP (sec)	20.1	±	22.5	17.0	±	19.5
DA (sec)	163.6	±	54.5	160.0	±	54.2
F.mvts (mvts/s)	0.17	±	0.03	0.17	±	0.04

Note. Les valeurs sont données en moyenne ± écart-type. N.mvts = nombre de mouvements durant l'ascension; TopN = résultat de la performance ; D = durée de l'ascension ; DP = durée passive (le grimpeur est en pause) ; DA = durée active (le grimpeur est en mouvement) ; F.mvts = fréquence de mouvement (N.mvts/D).

Tableau 3

Valeurs des paramètres de la charge interne entre la condition RESP et CONT.

	RESP (n=21)			CONT (n=21)		
Lac 1 (mmol/l)	1.2	±	0.5	1.1	±	0.5
Lac 2 (mmol/l)	5.8	±	1.9	5.5	±	1.7
△Lac 1/2 (mmol/l)	4.7	±	1.9	4.4	±	1.5
FCm (bpm)	158.4	±	11.7	156.2	±	10.6
FCp (bpm)	180.3	±	11.3	178.6	±	10.0
BF (bpm)	20.0	±	3.4	19.1	±	3.5
RPE (0-10)	7.1	±	1.0	6.9	±	0.9

Note. Les valeurs sont données en moyenne ± écart-type. Lac 1 = taux de lactate après le pre-test et un temps de repos ; Lac 2 = taux de lactate après la voie d'escalade ; △Lac 1/2 = différence entre Lac 1 et Lac 2 ; FCm = fréquence cardiaque moyenne ; FCp = fréquence cardiaque pic ; BF = fréquence de respiration ; RPE = ressenti subjectif de l'effort d'après l'échelle de Borg.

Les valeurs obtenues lors du pre-test (Fmax 1, Res 1) et du post-test (Fmax 2, Res 2), ainsi que la différence entre les deux (△Fmax 1/2, △Res 1/2) sont présentées dans le Tableau 4. Il n'y a pas de différence significative ($p > 0.05$).

Tableau 4

Valeurs du pre-test et du post-test entre la condition RESP et CONT.

	RESP (n=21)			CONT (n=21)		
Fmax 1 (kPa)	118.1	±	19.7	122.6	±	17.7
Fmax 2 (kPa)	91.4	±	14.2	96.7	±	19.3
△Fmax 1/2 (kPa)	-26.7	±	17.1	-26.0	±	14.3
Res 1 (sec)	56.4	±	17.2	57.7	±	17.3
Res 2 (sec)	32.9	±	11.1	33.0	±	12.2
△Res 1/2 (sec)	-23.5	±	11.1	-24.8	±	12.9

Note. Les valeurs sont données en moyenne ± écart-type. Fmax 1 = force maximale des doigts de la main (pré-test) ; Fmax 2 = force maximale des doigts de la main (post-test) ; △Fmax 1/2 = différence entre Fmax 1 et Fmax 2 ; Res 1 = force endurance (pré-test) ; Res 2 = force endurance (post-test) ; △Res 1/2 = différence entre Res 1 et Res 2.

3.2 Comparaison de l'essai 1 et de l'essai 2

Les tableaux 5 et 6 présentent respectivement les valeurs des paramètres de la charge externe (N.mvts, TopN, D, DP, DA, F.mvts) et de la charge interne (Lac 1, Lac 2, △Lac 1/2, FCm, FCp, BF, RPE) mesurées durant l'ascension de la voie lors des premier et deuxième essais. Les grimpeurs ont significativement grimpé plus haut (TopN) lors de l'essai 2 par rapport à l'essai 1 ($p = 0.001$). Pour tous les autres paramètres de la charge externe ou interne, aucune différence significative n'a été trouvée ($p > 0.05$).

Tableau 5

Valeurs des paramètres de la charge externe entre l'essai 1 et 2.

	Essai 1 (n=21)			Essai 2 (n=21)		
N.mvts (n)	29.5	±	12.6	31.6	±	12.8
TopN (Top-n)	-7.2	±	3.5	-4.7	±	4.7 *
D (sec)	176.8	±	63.8	182.4	±	56.2
DP (sec)	17.3	±	21.7	19.9	±	20.6
DA (sec)	161.6	±	57.7	162.2	±	50.9
F.mvts (mvts/s)	0.16	±	0.04	0.17	±	0.05

Note. Les valeurs sont données en moyenne ± écart-type. N.mvts = nombre de mouvements durant l'ascension; TopN = résultat de la performance ; D = durée de l'ascension ; DP = durée passive (le grimpeur est en pause) ; DA = durée active (le grimpeur est en mouvement) ; F.mvts = fréquence de mouvement (N.mvts/D).

Tableau 6

Valeurs des paramètres de la charge interne entre l'essai 1 et 2.

	Essai 1 (n=21)			Essai 2 (n=21)		
Lac 1 (mmol/l)	1.2	±	0.6	1.1	±	0.3
Lac 2 (mmol/l)	5.5	±	1.7	5.8	±	1.9
△ Lac 1/2(mmol/l)	4.4	±	1.6	4.7	±	1.9
FCm (bpm)	157.3	±	10.7	157.3	±	11.7
FCp (bpm)	179.1	±	9.9	179.8	±	11.5
BF (bpm)	19.6	±	4.0	19.5	±	2.6
RPE (0-10)	7.0	±	1.0	7.0	±	1.0

Note. Les valeurs sont données en moyenne ± écart-type. Lac 1 = taux de lactate après le pre-test et un temps de repos ; Lac 2 = taux de lactate après la voie d'escalade ; △Lac 1/2 = différence entre Lac 1 et Lac 2 ; FCm = fréquence cardiaque moyenne ; FCp = fréquence cardiaque pic ; BF = fréquence de respiration ; RPE = ressenti subjectif de l'effort d'après l'échelle de Borg.

3.3 Comparaison entre grimpeurs avancés et grimpeurs experts

Afin de déterminer si les résultats entre les *conditions* ou entre les *essais* étaient influencés par le niveau de pratique, les grimpeurs ont été répartis en deux groupes en fonction de leur niveau maximal estimé. Un groupe de grimpeurs avancés (niveau ≤7a+, n=11) et un groupe de grimpeurs experts (niveau >7a+, n=10) ont ainsi été formés.

3.3.1 Condition RESP vs condition CONT

Les valeurs des paramètres de la charge externe (N.mvts, TopN, D, DP, DA, F.mvts) et de la charge interne (Lac 1, Lac 2, Δ Lac 1/2, FCm, FCp, BF, RPE) mesurées durant l'ascension de la voie, lors des conditions RESP et CONT, sont présentées dans le Tableau 7 pour les groupes des avancés et des experts. Pour tous les paramètres de la charge externe ou interne, aucune différence significative n'a été trouvée ($p > 0.05$).

Tableau 7

Valeurs des paramètres de la charge externe et interne entre la condition RESP et CONT pour les avancés et les experts.

	Avancés (n=11)						Experts (n=10)					
	RESP			CONT			RESP			CONT		
N.mvts (n)	36.1	±	14.4	35.1	±	16.2	26.1	±	6.4	23.4	±	4.4
TopN (Top-n)	-5.0	±	4.3	-5.6	±	3.0	-6.3	±	5.1	-6.9	±	5.0
D (sec)	201.5	±	74.7	189.5	±	69.8	164.2	±	43.1	160.2	±	35.2
DP (sec)	18.1	±	26.7	18.2	±	25.3	22.3	±	17.9	15.6	±	11.5
DA (sec)	183.4	±	64.9	176.7	±	65.7	141.9	±	30.4	141.4	±	32.0
F.mvts (mvts/s)	0.18	±	0.04	0.18	±	0.03	0.16	±	0.02	0.16	±	0.04
Lac 1 (mmol/l)	1.0	±	0.3	1.1	±	0.6	1.3	±	0.6	1.1	±	0.3
Lac 2 (mmol/l)	5.5	±	2.4	5.5	±	1.8	6.2	±	1.1	5.6	±	1.7
Δ Lac1/2(mmol/l)	4.5	±	2.3	4.3	±	1.3	4.9	±	1.5	4.5	±	1.7
FCm (bpm)	156.3	±	12.5	155.3	±	10.3	160.7	±	10.9	157.3	±	11.5
FCp (bpm)	178.1	±	12.1	177.9	±	9.9	182.8	±	10.5	179.3	±	10.6
BF (bpm)	21.5	±	3.8	19.9	±	4.1	18.4	±	1.9	18.2	±	2.5
RPE (0-10)	7.2	±	0.9	7.1	±	0.9	6.9	±	1.2	6.6	±	0.8

Note. Les valeurs sont données en moyenne \pm écart-type. N.mvts = nombre de mouvements durant l'ascension; TopN = résultat de la performance ; D = durée de l'ascension ; DP = durée passive (le grimpeur est en pause) ; DA = durée active (le grimpeur est en mouvement) ; F.mvts = fréquence de mouvement (N.mvts/D) ; Lac 1 = taux de lactate après le pre-test et un temps de repos ; Lac 2 = taux de lactate après la voie d'escalade ; Δ Lac 1/2 = différence entre Lac 1 et Lac 2 ; FCm = fréquence cardiaque moyenne ; FCp = fréquence cardiaque pic ; BF = fréquence de respiration ; RPE = ressenti subjectif de l'effort d'après l'échelle de Borg.

Afin de comparer les conditions RESP et CONT entre les deux groupes de niveau, les valeurs de la condition CONT ont été soustraites aux valeurs de la condition RESP (Δ TopN, Δ D,

Δ N.mvts, $\Delta\Delta$ Lac, Δ BF et Δ BFp) (Tableau 8). Aucune différence significative n'a été trouvée ($p > 0.05$).

Tableau 8

Valeurs des différents deltas comparés entre la condition RESP et CONT des avancés et des experts.

	Avancés (n=11)			Experts (n=10)		
Δ TopN	0.6	\pm	3.4	0.6	\pm	4.6
Δ D	12.0	\pm	24.9	4.0	\pm	51.4
Δ N.mvts	4.2	\pm	9.0	5.0	\pm	10.3
$\Delta\Delta$ Lac	0.2	\pm	1.8	0.4	\pm	1.3
Δ BF [bpm]	1.1	\pm	4.0	-0.4	\pm	2.8
Δ BFp [%]	7.6	\pm	20.3	-1.0	\pm	14.3

Note. Les valeurs sont données en moyenne \pm écart-type. Δ TopN = différence du résultat entre les deux conditions, Δ D = différence de la durée entre les deux conditions, Δ N.mvts = différence du nombre de mouvement entre les deux conditions, $\Delta\Delta$ Lac = différence de la variation entre Lac 1 et Lac 2 entre les deux conditions, Δ BF = différence de la fréquence de respiration entre les deux conditions exprimée en battement/minute et Δ BFp = différence de la fréquence de respiration entre les deux conditions exprimée en pourcentage.

3.3.2 Essai 1 vs essai 2

Les valeurs des paramètres de la charge externe (N.mvts, TopN, D, DP, DA, F.mvts) et de la charge interne (Lac 1, Lac 2, Δ Lac 1/2, FCm, FCp, BF, RPE) mesurées durant l'ascension de la voie, lors de l'essai 1 et l'essai 2, sont présentées dans le tableau 9 pour les groupes des avancés et des experts. Pour tous les paramètres de la charge externe ou interne, aucune différence significative n'a été trouvée ($p > 0.05$).

Tableau 9

Valeurs des paramètres de la charge externe et interne entre l'essai 1 et l'essai 2 pour les avancés et les experts.

	Avancés (n=11)						Experts (n=10)					
	Essai 1			Essai 2			Essai 1			Essai 2		
N.mvts (n)	35.0	±	16.0	36.2	±	14.7	23.9	±	3.6	25.9	±	7.3
TopN (Top-n)	-6.5	±	2.7	-4.2	±	4.2	-8.0	±	4.3	-5.2	±	5.4
D (sec)	195.7	±	80.7	195.2	±	63.5	156.0	±	30.0	168.4	±	46.0
DP (sec)	16.9	±	28.0	19.3	±	24.0	17.7	±	14.3	20.7	±	16.9
DA (sec)	184.9	±	71.9	175.9	±	58.5	138.3	±	25.6	145.4	±	36.0
F.mvts (mvts/s)	0.2	±	0.0	0.2	±	0.0	0.2	±	0.0	0.2	±	0.0
Lac 1 (mmol/l)	1.2	±	0.6	1.0	±	0.3	1.2	±	0.5	1.2	±	0.3
Lac 2 (mmol/l)	5.3	±	1.8	5.7	±	2.4	5.8	±	1.7	6.1	±	1.3
△Lac1/2(mmol/l)	4.2	±	1.4	4.6	±	2.3	4.6	±	1.8	4.8	±	1.4
FCm (bpm)	156.0	±	9.7	155.5	±	13.0	158.8	±	12.1	159.2	±	10.6
FCp (bpm)	178.5	±	9.5	177.5	±	12.4	179.8	±	10.8	182.3	±	10.5
BF (bpm)	21.4	±	4.4	19.6	±	3.4	17.3	±	2.1	19.3	±	1.8
RPE (0-10)	7.2	±	0.9	7.1	±	0.9	6.7	±	1.1	6.8	±	1.0

Note. Les valeurs sont données en moyenne ± écart-type. N.mvts = nombre de mouvements durant l'ascension; TopN = résultat de la performance ; D = durée de l'ascension ; DP = durée passive (le grimpeur est en pause) ; DA = durée active (le grimpeur est en mouvement) ; F.mvts = fréquence de mouvement (N.mvts/D) ; Lac 1 = taux de lactate après le pre-test et un temps de repos ; Lac 2 = taux de lactate après la voie d'escalade ; △Lac 1/2 = différence entre Lac 1 et Lac 2 ; FCm = fréquence cardiaque moyenne ; FCp = fréquence cardiaque pic ; BF = fréquence de respiration ; RPE = représentation de l'effort d'après l'échelle de Borg.

Afin de comparer l'essai 1 et 2 entre les deux groupes de niveau, les valeurs de l'essai 2 ont été soustraites aux valeurs de l'essai 1 (△TopN, △D, △N.mvts, △△Lac, △BF et △BFp) (Tableau 10). Aucune différence significative n'a été trouvée ($p > 0.05$).

Tableau 10

Valeurs des différents deltas comparés entre l'essai 1 et 2 pour les avancés et les experts.

	Avancés (n=11)			Experts (n=10)		
Δ TopN	-2.3	\pm	2.5	-2.8	\pm	3.6
Δ D	0.5	\pm	27.9	-12.4	\pm	49.9
Δ N.mvts	-1.9	\pm	3.8	-2.4	\pm	6.9
$\Delta\Delta$ Lac	-0.5	\pm	1.7	-0.2	\pm	1.4
Δ BF [bpm]	2.5	\pm	3.3	-1.7	\pm	2.2
Δ BFp [%]	13.4	\pm	17.3	-8.0	\pm	10.6

Note. Les valeurs sont données en moyenne \pm écart-type. Δ TopN = différence du résultat entre les deux conditions, Δ D = différence de la durée entre les deux conditions, Δ N.mvts = différence du nombre de mouvement entre les deux conditions, $\Delta\Delta$ Lac = différence de la variation entre Lac 1 et Lac 2 entre les deux conditions, Δ BF = différence de la fréquence de respiration entre les deux conditions exprimée en battement/minute et Δ BFp = différence de la fréquence de respiration entre les deux conditions exprimée en pourcentage.

3.4 Comparaison entre grimpeurs qui ont augmenté leur fréquence de respiration et grimpeurs qui ont diminué leur fréquence de respiration

Afin de déterminer si le fait d'avoir augmenté ou diminué la fréquence de respiration lors de la condition respiration influençait différemment les résultats, les grimpeurs ont été répartis en deux groupes en fonction de leur réponse respiratoire. Un groupe de grimpeurs ayant augmenté leur fréquence de respiration (ABF) et un groupe de grimpeurs ayant diminué leur fréquence de respiration (DBF) ont ainsi été formés.

Les valeurs des paramètres de la charge externe (N.mvts, TopN, D, DP, DA, F.mvts) et de la charge interne (Lac 1, Lac 2, Δ Lac 1/2, FCm, FCp, BF, RPE) mesurées durant l'ascension de la voie, lors des conditions RESP et CONT, sont présentées dans le Tableau 11 pour les groupes de grimpeurs ayant augmenté leur fréquence de respiration (ABF) et un groupe de grimpeurs ayant diminué leur fréquence de respiration (DBF). La fréquence cardiaque moyenne et la fréquence de respiration du groupe ABF est significativement plus grande dans la condition *respiration* ($p=0.017$) et ($p=0.014$) respectivement. La fréquence cardiaque moyenne du groupe DBF est significativement plus grande dans la condition RESP ($p=0.024$).

La fréquence de respiration de ce même groupe est significativement plus grande dans la condition CONT ($p=0.017$). Pour tous les autres paramètres de la charge externe ou interne, aucune différence significative n'a été trouvée ($p > 0.05$).

Tableau 11

Valeurs des paramètres de la charge externe et interne entre la condition RESP et CONT pour les groupes ABF et DBF.

	ABF (n=11)						DBF (n=10)					
	RESP			CONT			RESP			CONT		
N.mvts (n)	35.0	±	13.8	34.3	±	15.9	30.4	±	12.7	26.1	±	13.0
TopN (Top-n)	-6.4	±	3.9	-6.4	±	3.6	-5.2	±	5.1	-6.8	±	4.3
D (sec)	215.9	±	66.4	214.9	±	49.3	171.4	±	62.0	150.3	±	57.4
DP (sec)	28.8	±	29.8	27.1	±	25.7	18.3	±	17.1	9.3	±	10.4
DA (sec)	187.1	±	63.1	187.8	±	55.3	153.1	±	52.0	137.7	±	57.3
F.mvts (mvts/s)	0.2	±	0.0	0.2	±	0.0	0.2	±	0.0	0.2	±	0.0
Lac 1 (mmol/l)	1.1	±	0.4	0.9	±	0.1	1.1	±	0.3	1.3	±	0.7
Lac 2 (mmol/l)	4.9	±	1.3	5.1	±	1.4	6.7	±	2.4	5.8	±	2.2
△Lac1/2(mmol/l)	3.8	±	1.3	4.2	±	1.5	5.6	±	2.3	4.5	±	1.8
FCm (bpm)	156.3	±	11.2	151.5	±	11.9*	163.8	±	12.3	159.2	±	10.2*
FCp (bpm)	179.5	±	10.8	175.6	±	11.0	183.6	±	12.4	180.7	±	9.5
BF (bpm)	21.4	±	3.0	18.3	±	1.7*	18.8	±	3.4	20.8	±	4.3*
RPE (0-10)	7.4	±	0.5	7.1	±	1.0	6.8	±	1.4	6.7	±	0.9

Note. Les valeurs sont données en moyenne ± écart-type. N.mvts = nombre de mouvements durant l'ascension; TopN = résultat de la performance ; D = durée de l'ascension ; DP = durée passive (le grimpeur est en pause) ; DA = durée active (le grimpeur est en mouvement) ; F.mvts = fréquence de mouvement (N.mvts/D) ; Lac 1 = taux de lactate après le pre-test et un temps de repos ; Lac 2 = taux de lactate après la voie d'escalade ; △Lac 1/2 = différence entre Lac 1 et Lac 2 ; FCm = fréquence cardiaque moyenne ; FCp = fréquence cardiaque pic ; BF = fréquence de respiration ; RPE = ressenti subjectif de l'effort d'après l'échelle de Borg.

Afin de comparer les conditions RESP et CONT entre les deux groupes de niveau, les valeurs de la condition CONT ont été soustraites aux valeurs de la condition RESP (△TopN, △D, △N.mvts, △△Lac, △BF et △BFp) (Tableau 12). La fréquence de respiration exprimée en battement/minute et la fréquence de respiration exprimée en pourcentage sont

significativement plus grandes pour le groupe ABF, ($p=0.004$) et ($p=0.004$). Aucune autre différence significative n'a été trouvée ($p > 0.05$).

Tableau 12

Valeurs des différents deltas comparés entre la condition RESP et CONT pour les groupes ABF et DBF.

	ABF (n=8)			DBF (n=9)		
Δ topN	0	\pm	3.7	1.8	\pm	3.8
Δ D	1	\pm	23.3	26.8	\pm	52.9
Δ N.mvts	0.8	\pm	3.6	5.5	\pm	7.4
$\Delta\Delta$ Lac	-0.4	\pm	0.8	1.1	\pm	2.0
Δ BF [bpm]	3.1	\pm	2.8	-1.7	\pm	1.9 *
Δ BFp [%]	17.4	\pm	15.3	-7.3	\pm	6.7 *

Note. Les valeurs sont données en moyenne \pm écart-type. Δ TopN = différence du résultat entre les deux conditions, Δ D = différence de la durée entre les deux conditions, Δ N.mvts = différence du nombre de mouvement entre les deux conditions, $\Delta\Delta$ Lac = différence de la différence entre Lac 1 et Lac 2 entre les deux conditions, Δ BF = différence de la fréquence de respiration entre les deux conditions exprimée en battement/minute et Δ BFp = différence de la fréquence de respiration entre les deux conditions exprimée en pourcentage.

3.5 Corrélations

Le graphique ci-dessous représente la relation entre le niveau des participants (adapté du système de cotations d'escalade français ; NIV) et la différence de leur fréquence de respiration (Δ BF) entre la condition RESP et CONT. Il y a une faible relation négative, elle n'est pas significative ($r=-0.156$, $p > 0.05$) et il y a une grande dispersion des valeurs.

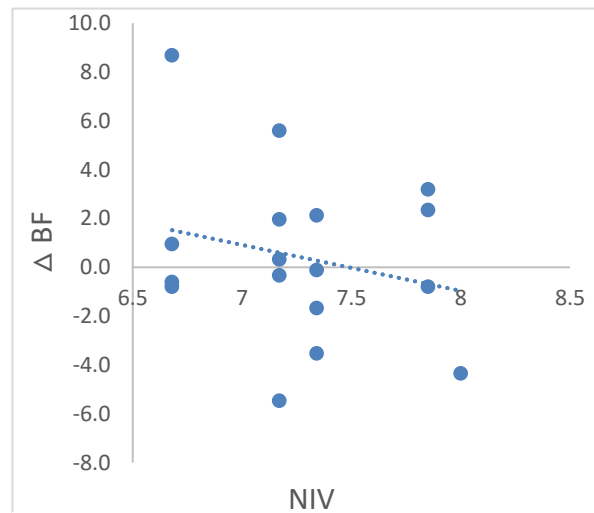


Figure 26. Relation entre le niveau et la différence de la fréquence de respiration entre la condition RESP et CONT.

Le graphique ci-dessous représente la relation entre la différence du résultats (Δ TopN) et la différence de la fréquence de respiration (Δ BF) entre la condition RESP et CONT. Il y a une faible relation négative, elle n'est pas significative ($r=-0.076$, $p > 0.05$) et il y a une grande dispersion des valeurs.

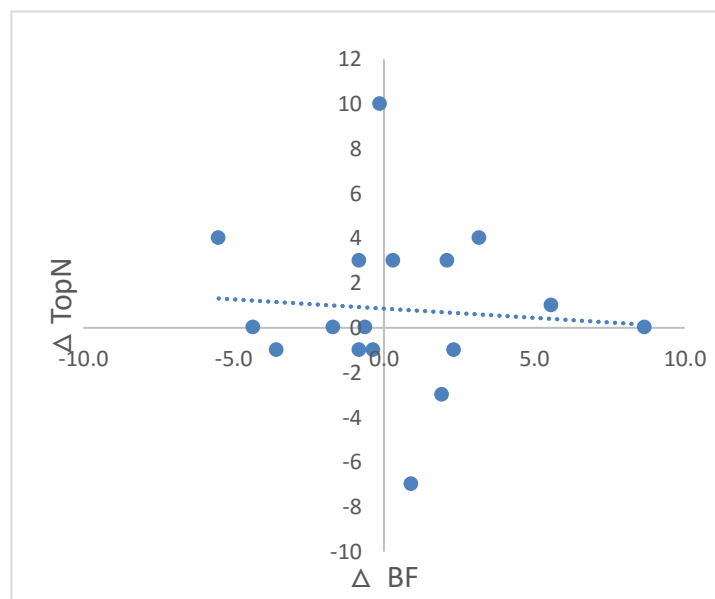


Figure 27. Corrélation entre la différence du résultat et de la fréquence de respiration entre la condition RESP et CONT.

Le graphique ci-dessous représente la relation entre la différence de la variation du taux de lactate sanguin entre deux conditions ($\Delta\Delta\text{Lac}$) et la différence du résultats (ΔTopN) entre la condition RESP et CONT. Il y a une faible relation positive, elle n'est pas significative ($r=0,344$, $p > 0.05$) et une grande dispersion des valeurs.

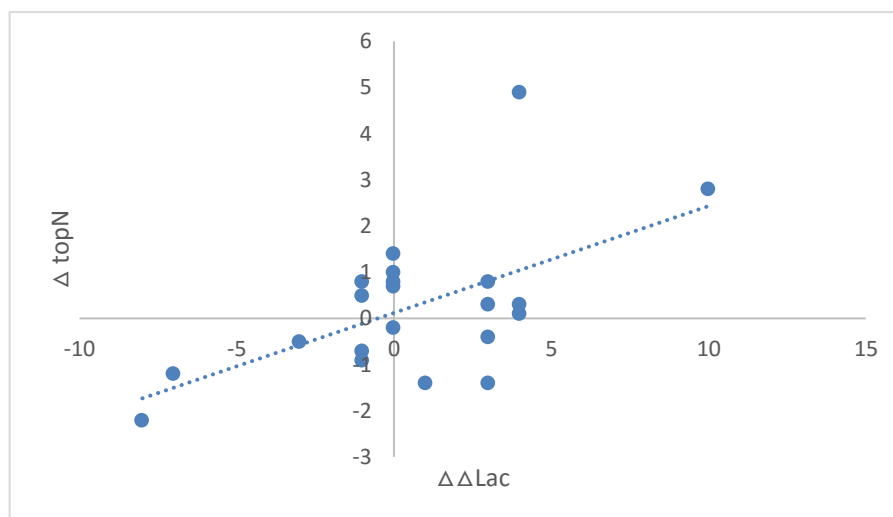


Figure 28. Corrélation entre la différence du résultat et de la différence de la variation du taux de lactate sanguin entre la condition RESP et CONT

Le graphique ci-dessous représente la relation entre la différence de la variation du taux de lactate sanguin entre deux conditions ($\Delta\Delta\text{Lac}$) et la différence de la variation entre Res 1 et Res 2 entre deux conditions ($\Delta\Delta\text{Res}$) entre la condition RESP et CONT. Il y a une faible relation négative, elle n'est pas significative ($r=-0.466$, $p > 0.05$) et il y a une grande dispersion des valeurs.

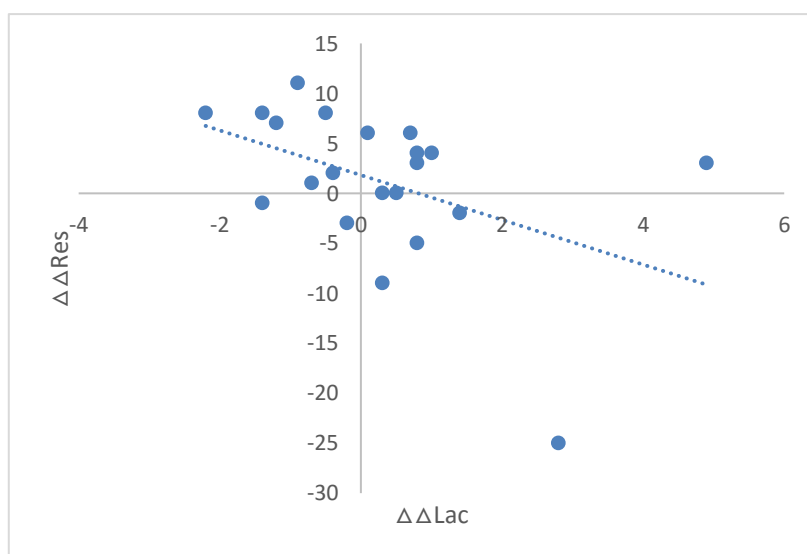


Figure 29. Corrélation entre la différence de la variation entre Res 1 et Res 2 et de la différence de la variation du taux de lactate sanguin entre la condition RESP et CONT.

4 Discussion

Cette étude consistait à déterminer si la performance en escalade, lors de l'ascension en tête d'une voie de niveau maximal, peut être améliorée par le contrôle de la respiration. La cause principale de la chute du grimpeur est la fatigue musculaire locale due à la répétition de contractions isométriques et intenses des muscles de l'avant-bras et à une forte mobilisation de la filière anaérobie lactique. Cette expérimentation a voulu démontrer s'il était possible d'éviter des périodes d'apnée chez les grimpeurs en leur donnant des instructions sur leur respiration. Cela permettrait un meilleur apport en oxygène, retarderait l'utilisation accrue de la filière anaérobie lactique et de ce fait, améliorerait la performance en retardant la chute du grimpeur.

Les résultats de la présente étude démontrent qu'il n'est pas possible d'améliorer sa performance uniquement en entendant des instructions sur la respiration (Hypothèse H0). Il n'y a eu aucune différence significative entre les deux conditions RESP et CONT. L'instruction n'a pas eu d'effet sur les participants ; elle n'a pas influencé leurs résultats dans la voie. Une différence significative a cependant été trouvée entre le 1^{er} essai dans la voie et le 2^{ème} essai. Les participants ont grimpé plus haut dans la voie lors de leur 2^{ème} essai. Lors de l'expérimentation, les sujets pouvaient toucher les prises avant de grimper leur 1^{er} essai afin d'éviter l'effet « à vue ». Ils n'avaient pas le droit de s'entraîner durant la semaine qui les séparait des deux essais. Malgré cela, ils grimpaient mieux lors de leur 2^{ème} essai et réalisaient une meilleure performance.

Dans un premier temps, les valeurs de repos ont été analysées afin de vérifier si les participants se trouvaient dans le même état de forme entre leur premier et leur deuxième passage. Il n'y a eu aucune différence significative entre les valeurs de repos (Tableau 1), cela signifie que les participants se sont présentés les deux fois dans le même état de forme initial et que les conditions étaient standardisées. En analysant la vidéo de deux participants, ils n'étaient pas du tout dans la même forme initiale (malgré des valeurs basales identiques, ils n'ont pas réalisé la même performance ; le nombre de mouvement, la durée et le résultat étaient totalement différents), c'est pourquoi ils ont finalement été écartés des résultats.

Pour tous les autres participants, ils ont effectué environ trente mouvements et une durée de grimpe de trois minutes (Tableau 2), il est alors possible d'affirmer qu'ils se trouvaient en résistance (Guyon & Broussouloux, 2004). Cela signifie que les voies ont été correctement ouvertes pour l'expérience et ont permis aux participants d'enchaîner les mouvements sans se

reposer, car la durée passive ne dépasse par les vingt secondes de moyenne. La moyenne du résultat (TopN) pour la condition RESP est -5,6, cela signifie que les grimpeurs sont tombés environ cinq prises en-dessous du sommet de la voie, ce qui est typique d'un résultat dans son niveau maximal.

En observant les valeurs des paramètres de la charge interne (Tableau 3), nous pouvons affirmer que les participants n'avaient pas subi de pre-fatigue avant l'ascension de la voie car le taux de lactate sanguin moyen était situé entre 1.1 et 1.2 mmol.l (Lac 1), ce qui correspond aux valeurs moyennes mesurées au repos (Sheel, 2004). La différence du taux de lactate entre la valeur de repos et la valeur mesurée après la voie ($\Delta\text{Lac1/2}$) était considérable, cela signifie que les participants ont grimpé une voie difficile (Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss, 2007) et ont produit un effort intense. La fréquence cardiaque pic a atteint 180 bpm de moyenne entre les participants pour la condition RESP, ce qui correspond aux valeurs évoquées dans l'étude de Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss (2007). Enfin, le ressenti subjectif de l'effort des participants se trouvait généralement entre 6 et 8 sur l'échelle de Borg adaptée (Annexe 3), ce qui indique qu'ils ont produit un effort difficile, voire très difficile. Les résultats des pre-test et post-test (Tableau 4) confirment l'intensité des voies et l'effort fourni par les participants puisque les différences de force maximale et de force endurance avant et après la voie, sont considérables. Les voies ouvertes par l'équipe de Grimper.ch correspondaient tout à fait aux attentes et les participants ont grimpé jusqu'à leur limite, en sortant de leur zone de confort. Comme il n'y a pas de différence entre la perte de force dans la condition RESP et la perte de force dans la condition CONT, nous pouvons une nouvelle fois affirmer que l'expérimentation était standardisée et que les participants sont venus dans le même état de forme. Par contre, ces résultats prouvent que l'instruction n'a pas eu d'effet sur les participants car les valeurs entre la condition RESP et CONT ne diffèrent pas.

Afin de vérifier si la répétition de la voie influence davantage la performance que la condition, les paramètres ont été comparés entre le 1^{er} essai des participants dans la voie et le 2^{ème} essai. En effet, en comparant la charge externe, il y a une différence significative ($p=0.001$) entre le résultat (TopN) des participants au 1^{er} essai et leur résultat au 2^{ème} essai (Tableau 5). De plus, la différence du résultat (ΔTopN) entre l'essai 1 et l'essai 2 est plus grande que pour les conditions RESP et CONT. Cela veut dire que l'effet de la répétition influence davantage la performance que les instructions. La performance est donc meilleure lorsque le sujet connaît déjà la voie, quelle que soit l'instruction. Une étude analysant l'effet

de la grimpe « à vue » sur les réponses physiologiques et psychologiques peut expliquer ces résultats (Draper et al., 2008).

La **Error! Reference source not found.** compare le temps de grimpe, la moyenne de la consommation maximale en oxygène, la fréquence cardiaque moyenne ainsi que trois valeurs

	On-sight Lead Climb	2 nd Lead Climb
Climb time (s) *	213 (46)	199 (33)
Mean VO ₂ (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	26.54 (2.46)	25.98 (2.48)
Average HR (bts.min ⁻¹)	161 (6)	159 (6)
CSAI-2R		
Somatic Anxiety (Pts) *	17.7 (7.0)	14.3 (5.7)
Cognitive Anxiety (Pts) *	22.6 (5.9)	19.0 (8.3)
Self Confidence (Pts)	26.6 (5.5)	26.2 (5.2)

* indicated significant (p < 0.05) differences between trials.

Figure 30. Différences physiologiques entre la grimpe "à vue" et au " 2^{ème} essai". (Draper, 2008)

sur l'anxiété (mesurées grâce à des questionnaires) entre la grimpe « à vue » et la grimpe « au 2^{ème} essai » dans une même voie entre plusieurs grimpeurs de niveau moyen. La durée de l'ascension et l'anxiété sont plus

basses lors de la grimpe « au 2^{ème} essai ». Le grimpeur est psychologiquement et physiologiquement plus à même de grimper la voie lors du 2^{ème} essai. Dans la présente étude, les participants avaient le droit de toucher les prises avant leur premier essai dans la voie afin de minimiser l'effet « à vue ». Cependant, les participants ont effectué le même nombre de mouvements entre l'essai 1 et 2 mais sont allés plus haut lors de l'essai 2 (Tableau 5). Cela veut dire qu'ils ont optimisé le chemin emprunté en sautant des prises inutiles car ils connaissaient déjà la voie. Ils ont été meilleurs tactiquement, et cela s'est ressenti dans leur performance. Dans l'étude d'Espana-Romero et al. (2012), les résultats de l'expérience démontrent que la durée de l'ascension et la dépense énergétique diminue avec le nombre de répétitions de la même voie. Il serait intéressant de réitérer la présente étude en autorisant les participants à grimper plusieurs fois la voie choisie avant le passage test (par exemple, une fois par semaine durant huit semaines). Les participants grimperaient alors pour la 9^{ème} fois la voie lors de leur première visite et pour la 10^{ème} fois lors de leur deuxième visite et il n'y aurait pas d'effet lié à la répétition. La charge interne reste la même lors des deux essais (Tableau 6), alors que les participants ont été plus haut la deuxième fois. Cela prouve qu'ils ont été plus économe dans leur façon de grimper.

Comme le niveau des participants influence la source d'énergie (i.e. la contribution relative des systèmes énergétiques) utilisée dans une voie d'escalade (Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss, 2007), l'échantillon a été séparé en deux groupes ; les avancés (de niveau 6c à 7a+) et les experts (de niveau supérieur à 7a+). L'un de ces deux groupes pourrait peut-être réagir à l'instruction. Les mêmes paramètres ont été comparés entre la condition RESP et CONT pour les deux groupes. Aucune différence significative n'est ressortie de cette analyse (Tableau 7).

Les paramètres (TopN, D, N.mvts, Δ Lac, BF, BFp) de la condition CONT ont été soustraits de la condition RESP. Les deltas obtenus ont été comparés entre le groupe des avancés et des experts (Tableau 8). L'instruction n'a pas eu plus d'effet sur un groupe que sur l'autre.

Les mêmes analyses ont été faites entre l'essai 1 et l'essai 2 pour les deux groupes (Tableau 9, Tableau 10). Le fait que les participants réussissent à grimper plus haut au 2^{ème} essai n'est pas lié au niveau car il n'y a eu aucune différence significative entre le groupe des avancés et le groupe des experts.

Il n'y a pas de différence significative entre la fréquence de respiration dans la condition RESP ou CONT. Mais en observant les réactions des participants à l'instruction, il semblerait que certains participants ont augmenté leur fréquence de respiration dans la condition RESP alors que d'autres l'ont diminué. C'est pourquoi, il a été possible de les séparer en deux groupes ; les participants qui ont augmenté leur fréquence de respiration (ABF) et les participants qui ont diminué leur fréquence de respiration (DBF) dans la condition RESP.

Pour le groupe ABF, la fréquence cardiaque moyenne (FCm) et la fréquence de respiration (BF) étaient plus élevées lors de la condition RESP (Tableau 11). Comme les groupes ont été séparés en se basant sur l'augmentation de la fréquence de respiration, ce résultat n'est pas surprenant. Par contre, la fréquence cardiaque moyenne augmente également, cela peut indiquer qu'elle est liée à la fréquence de respiration. Cependant, en observant les résultats du groupe DBF (Tableau 11), la fréquence cardiaque moyenne augmente et la fréquence de respiration diminue lors de la condition RESP. La fréquence de respiration diminue car nous avons séparé le groupe en se basant sur cette différence. Par contre, nous pouvions penser que la fréquence cardiaque moyenne diminuerait également, comme les participants prennent de plus grandes inspirations et expirations. Mais ce n'est pas le cas, il n'est pas possible d'affirmer qu'il existe un lien entre la fréquence de respiration et la fréquence cardiaque. Les participants qui ont essayé de se calmer en inspirant et en expirant plus profondément n'ont pas réussi à faire diminuer leur fréquence cardiaque moyenne par rapport à la condition CONT.

Les paramètres (TopN, D, N.mvts, Δ Lac, BF, BFp) de la condition CONT ont été soustraits de la condition RESP. Les deltas obtenus ont été comparés entre le groupe ABF et DBF (Tableau 12). Mis à part la différence significative entre les fréquences de respiration, aucune autre différence n'a été trouvée. L'instruction n'a pas eu d'effet sur la performance, que ce soit dans un groupe ou dans l'autre. Les participants ont réagi différemment en entendant l'instruction sur la respiration. Afin de comprendre pourquoi, des questionnaires post-

expérience ont été envoyés aux participants (Annexe 4). D'après les réponses obtenues, il semblerait que certains participants ont plutôt essayé de se calmer en respirant plus calmement et en diminuant leur fréquence de respiration. Alors que pour d'autres, l'instruction leur a rappelé de respirer plus souvent, c'est pourquoi ils ont augmenté leur fréquence de respiration. La sensibilité des participants aux instructions n'était pas la même car chaque personne est différente. D'après le livre de Trökes & Seyd (2008), il existerait même plusieurs types de respiration propre aux personnes. Cela voudrait dire, par exemple, qu'une respiration abdominale conviendrait parfaitement à un grimpeur et l'aiderait à se détendre mais serait néfaste pour un autre grimpeur qui préfère une respiration thoracique. Lors de la mise en place du protocole expérimental, deux spécialistes de l'hypnose thérapeutique ont répondu à un questionnaire afin de pouvoir enregistrer des instructions pertinentes pour l'expérience (Annexe 5). Un point important a été mentionné par les thérapeutes ; l'instruction n'aura pas l'effet escompté si elle intervient au mauvais moment. C'est pourquoi, il aurait fallu pouvoir contrôler la respiration des participants en direct et leur dire de respirer au moment où ils bloquaient leur respiration (par exemple à l'aide d'un micro et d'une oreillette). De cette manière, il aurait été possible de personnaliser les instructions pour chaque personne et de faire en sorte qu'elles soient plus précises. Mais les conditions n'auraient pas été standardisées et il n'aurait pas été possible de comparer les deux conditions. Après avoir séparé l'échantillon par groupe de niveau ou par fréquence de respiration, il était normal de vouloir trouver une corrélation entre les deux (*Figure 26*). Cette relation n'est pas significative, de ce fait, il n'existe aucun lien entre le niveau de grimpe des participants (NIV) et leur réaction dans leur fréquence de respiration entre les conditions RESP et CONT (ΔBF).

En se basant toujours sur la fréquence de respiration, nous nous sommes demandé si les grimpeurs qui augmentaient/diminuaient leur fréquence (ΔBF) obtenaient un meilleur résultat ($\Delta TopN$). Mais à nouveau, aucun lien n'a été trouvé entre ces deux paramètres (*Figure 29*).

Ensuite, nous avons voulu savoir si le fait d'aller plus haut dans une voie, augmentait le taux de lactate sanguin. Là encore, aucune corrélation significative n'a été trouvée entre la différence de variation du taux de lactate ($\Delta \Delta Lac$) et la différence du résultat ($\Delta TopN$) entre la condition RESP et CONT (*Figure 30*).

Comme l'accumulation de lactate sanguin est liée avec l'acidose du milieu et avec la fatigue musculaire (Cairns, 2006), une corrélation entre la différence de la variation du taux de lactate

sanguin ($\Delta\Delta\text{Lac}$) et la différence de la variation du test de force endurance entre la condition RESP et CONT a été analysée (*Figure 31*). Il semblerait logique que, plus le participant produit du lactate durant la voie, plus il est fatigué, moins longtemps il pourra résister durant le test de force endurance après la voie. Mais d'après les résultats, cette relation n'est pas significative. Nous ne pouvons donc pas affirmer cette hypothèse.

Pour résumer, l'instruction n'a pas eu d'effet sur la performance car : les participants ont réagi différemment à l'instruction, les paramètres de la performance en escalade sont complexes (la chute peut aussi être liée à une erreur technique, tactique ou mentale), l'effet de la répétition a dépassé l'effet de l'instruction et plusieurs paramètres liés à la respiration n'ont pas pu être mesurés. Il aurait été intéressant de pouvoir mesurer les volumes d'air inspirés et expirés, de repérer les périodes d'apnée et de mesurer la profondeur de la respiration des participants lors de l'ascension. La respiration permet les échanges gazeux entre l'atmosphère et les organes du corps humain et le fait d'amener de l'oxygène à nos cellules permet à nos muscles de continuer de se contracter sans produire de lactate et de ions H^+ . Cette acidification du milieu est la cause principale de la fatigue musculaire et de la chute du grimpeur, en admettant qu'elle puisse être isolée et qu'elle ne soit pas influencée par d'autres facteurs. Le fait de respirer davantage aurait peut-être permis de retarder cette fatigue et d'améliorer la performance des participants. Mais l'influence de l'instruction n'a pas été assez forte pour permettre à la présente étude de démontrer cette hypothèse.

5 Conclusion

En conclusion, la présente étude montre que l'ascension d'une voie difficile en escalade sportive augmente le taux de lactate sanguin et la fréquence cardiaque. Elle soutient que la performance en escalade est un paramètre complexe influencé par de nombreux facteurs. Il est possible de standardiser la performance d'un grimpeur mais il est difficile d'isoler et d'influencer un seul facteur à la fois. Le but de l'étude était de prouver qu'un meilleur contrôle de la respiration durant l'ascension d'une voie dans son niveau maximal, permettait d'aboutir à une meilleure performance. Les résultats de l'expérimentation démontrent qu'il n'est pas possible d'améliorer sa performance uniquement en entendant des instructions sur la respiration. En entendant les instructions, les participants ont modifié leur fréquence de respiration ; soit en l'augmentant soit en la diminuant, mais cela n'a pas eu d'impact sur le résultat. La performance des participants n'a pas été influencée par l'instruction, mais par la répétition de la voie. Grimper une seconde fois la même voie améliore la performance quel que soit le niveau du grimpeur.

Les mécanismes exacts pouvant faire le lien entre la fatigue musculaire, le contrôle de la respiration et la chute du grimpeur ne sont pas encore connus. D'autres études sont nécessaires afin d'identifier précisément le rôle de la respiration dans la performance en escalade sportive.

Bibliographie

- Balas, J., Panackova, M., Jandova, S., Martin, A., Strejcova, B., Vomacko, L., . . . Draper, N. (2014). The Effect of Climbing Ability and Slope Inclination on Vertical Foot Loading Using a Novel Force Sensor Instrumentation System. *Journal of Human Kinetics*, 44, 75-81.
- Bellet, F. (2015). *Grimper Malin*. Consulté le mai 2017, sur Le Guide Ultime des Cotations en Escalade : <http://www.grimper-malin.fr/cotation-escalade/>
- Bertuzzi, R. d., Franchini, E., Kokubun, E., & Kiss, M. D. (2007). Energy system contributions in indoor rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 101, 293-300.
- Billat, V. (2012). *Physiologie & méthodologie de l'entraînement*. Belgique: De Boeck.
- Birrer, D., Dannenberger, D., Grötzinger Strupler, C., Rüdisühli, U., & Weber, A. (2009). *Manuel clé Jeunesse+Sport*. Macolin: Office fédéral du sport OFSPO.
- Cairns, S. (2006). Lactic Acid and Exercise Performance Culprit or Friend? *British Journal of Sports Medicine*, 36(4), 279-291.
- Chambre, D. (2015). *Le 9ème degré*. Alcobendas: Mont Blanc.
- Deyhle, M., Hsu, H.-S., Fairfield, T. J., Cadez-Schmidt, T., Gurney, B. A., & Mermier, C. (2015). Relative Importance of Four Muscle Groups for Indoor Rock Climbing Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 2006-2014.
- Draper, N., Canalejo, J. C., Fryer, S., Dickson, T., Winter, D., Ellis, G., Hamlin, M., Shearman, J., North, C. (2011). Reporting climbing grades and grouping categories for rock climbing. *Isokinetics and Exercise Science*, 19, 273-280.
- Draper, N., Dickson, T., Blackwell, G., Priestley, S., Fryer, S., Marshall, H., & Ellis, G. (2011). Sport-specific power assessment for rock climbing. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 51(3), 417-425.
- Draper, N., Jones, G., Fryer, S., Hodgson, C., & Blackwell, G. (2008). Effect of an on-sight lead on the physiological and psychological responses to rock climbing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7, 492-498.
- Edwards, R. (1983). Biochemical bases for fatigue in exercise performance: Catastrophe theory in muscular fatigue. *British Journal of Sports Medicine*, 38(5), 648-649.
- Espana-Romero, V., Jensen, R., Sanchez, X., Ostrowski, M., Szekely, J., & Watts, P. (2012). Physiological responses in rock climbing with repeated ascents. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 821-828.

- FFME. (2011, Septembre 13). *Fédération française de la montagne et de l'escalade*. Consulté le Mai 05, 2017, sur [www.ffme.fr](http://www.ffme.fr/escalade/page/presentation-2.html): <http://www.ffme.fr/escalade/page/presentation-2.html>
- Fowke, E. (2016, Novembre 9). *Flickr*. Consulté le avril 2017, sur IFSC World Youth Championships Guangzhou 2016: <https://www.flickr.com/photos/123572206@N08/30902127455>
- Fowke, E. (2017, Avril 30). *flickr*. Consulté le Mai 2017, sur IFSC World Cup Nanjing 2017: <https://www.flickr.com/photos/ifscclimbing/34421906915/in/photostream/>
- Gastin, P. B. (2001). Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 31(10), 725-741.
- Guyon, L., & Broussouloux, O. (2004). *Escalade et Performance*. Barcelona: Amphora.
- Hörst, E. (2003). *Training for climbing*. Guilford: Globe Pequot Press.
- IFSC. (2017). *International Federation of Sport Climbing*. Consulté le Mai 2017, sur Rankings: <http://www.ifsc-climbing.org/index.php/world-competition/rankings>
- Kazaden. (2017). *Kazaden Le blog*. Consulté le Mai 2017, sur Les Différentes Cotations en Escalade : <http://blog.kazaden.com/cotations-en-escalade-alpinisme/>
- Laffaye, G., Collin, J.-M., Levernier, G., & Padulo, J. (2014). Upper-limb power test in rock-climbing. *Sports Medicine*, 35(8), 670-675.
- Laffaye, G., Levernier, G., & Collin, J.-M. (2016). Determinant factors in climbing ability: Influence of strength, anthropometry, and neuromuscular fatigue. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(10), 1151-1159.
- Magiera, A., Rocznio, R., Maszczyk, A., Czuba, M., Kantyka, J., & Kurek, P. (2013). The Structure of Performance of a Sport Rock Climber. *Journal of Human Kinetics*, 36, 107-117.
- Noble, C. (2016, Juin 07). *Climbing*. Consulté le Mai 2017, sur Adam Ondra : The Future of Climbing: <https://www.climbing.com/people/adam-ondra-the-future-of-climbing/>
- OFSPPO, O. f. (2010). *Manuel J+S Sports de montagne*. Macolin: Office fédéral du sport OFSPPO.
- Pallure, L. (2013, Mars 22). *Un Medecin Vous Informe*. Consulté le Avril 2017, sur Filière aérobie, VO2 Max, PMA, VMA, Endurance maximale aérobie (EMA). Entraînement de la filière aérobie.: http://un-medecin-vous-informe.blogspot.ch/2013_03_22_archive.html

- Pancrat. (2013). *Wikimedia Commons*. Consulté le Mai 2017, sur Glycolyse-respiration: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glycolyse-respiration.png>
- Plowman, S., & Smith, D. (2013). *Exercise Physiology: For Health, Fitness, and Performance* (éd. 4th). Lippincott Williams and Wilkins.
- Prévost, P., & Reiss, D. (2013). *La bible de la préparation physique*. Broché.
- Sanchez, X., Boschker, M., & Llewellyn, D. (2010). Pre-performance psychological states and performance in an elite climbing competition. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, 20, 356-363.
- Sanchez, X., Lambert, P., Jones, G., & Llewellyn, D. (2012). Efficacy of pre-ascent climbing route visual inspection in indoor sport climbing. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, 22, 67-72.
- Schücker, L., Hagemann, N., Strauss, B., & Völker, K. (2009). The effect of attentional focus on running economy. *Journal of Sports Sciences*, 27(12), 1241-1248.
- Schücker, L., Knopf, C., Strauss, B., & Hagemann, N. (2014). An Internal Focus of Attention Is Not Always as Bad as Its Reputation: How Specific Aspects of Internally Focused Attention Do Not Hinder Running Efficiency. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 36, 233-243.
- Sesboüé, B. G. (2006). Muscular fatigue. *Annales de réadaptation et de médecine physique*, 49(6), 257-264.
- Sheel, A. (2004). Physiology of sport rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 355-359.
- Sheel, A., Seddon, N., Knight, A., McKenzie, D., & Warburton, D. (2003). Physiological Responses to Indoor Rock-Climbing and Their Relationship to Maximal Cycle Ergometry. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 35(7), 1225-1231.
- Spriet, L., Howlett, R., & Heigenhauser, G. (2000). An enzymatic approach to lactate production in human skeletal muscle during exercise. *Med Sci Sports Exerc.*, 32(4), 756-763.
- Trökes, A., & Seyd, M. (2008). *Yoga und Atemtypen*. AURUM.
- Verson, T. (s.d.). *Physiologie de l'exercice*. Consulté le Juin 2017, sur L'acide lactique: http://t.verson.free.fr/PHYSIOLOGIE/PHYSIOLOGIE_EXERCICE/PHYSIO-EXERC.htm
- Voet, D., & Voet, J. (2005). *Biochimie*. Broché.

- Watts, P. B. (2004). Physiology of difficult rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 91, 361-372.
- Weineck, J. (1997). *Manuel d'entraînement* . Paris: Vigot.
- Zumr, V. (2017). *Facebook*. Consulté le Avril 2017, sur vladekzumr:
https://www.facebook.com/pg/vladekzumrphoto/photos/?tab=album&album_id=1489933247748534

Annexes

Annexe 1 Réponses de Kevin Hemund et Pirmin Scheuber

Données personnelles :

- 1) Peux-tu te présenter en quelques lignes ? (Nom, profession, âge, etc)
« Kevin Hemund, 32 ans, 12 ans membre de l'équipe suisse, responsable depuis 5 ans de la relève Swiss Climbing CAS et collaborateur scientifique de Swiss Climbing CAS. Entraîneur de Petra Klingler, championne du Monde bloc. »
- 2) Quelles formations as-tu faites dans le domaine de l'escalade sportive ?
« Études en sciences du sport à l'Université de Bern, formation d'enseignant au secondaire II en sport et biologie, formation J+S 1-3 (entraîneur de la relève), diplôme d'entraîneur Swiss Olympic (2016), responsable de la formation d'ouverture voie/bloc. »
- 3) Que fais-tu actuellement comme activités / profession en lien avec l'escalade ?
« Responsable de la relève Swiss Climbing CAS, entraîneur de Petra, support coté fédération des organisateurs de Coupe du Monde en suisse (Meiringen & Villars). »

Thème de la respiration :

- 4) Je souhaiterais étudier le rôle de la respiration lorsqu'un grimpeur de haut niveau escalade une voie dans son niveau maximal, est-ce que ce thème t'interpelle ? Si oui pourquoi ?
« Je suis persuadé que la respiration a beaucoup d'influence sur la performance ! C'est un outil pour se relaxer (contre le stress et la tension), pour trouver la concentration et pour ne pas trop forcer dans les mouvements. »
- 5) Est-ce que la respiration est un thème abordé lors des entraînements ? Si oui, est-ce que la respiration est travaillée de manière spécifique ? Quelles techniques/méthodes sont-elles utilisées ?
« Oui! J'observe toujours la respiration des athlètes parce que c'est quelque chose à apprendre et pas simplement à donner. Je leur rappelle de respirer durant les exercices ou les mouvements. On fait des entraînements mentaux où la respiration est très importante. C'est un thème qu'il faut toujours entraîner. »

- 6) As-tu l'impression que tes athlètes y pensent lorsqu'ils sont dans une voie (dans leur niveau max plutôt) en compétition ?
« Cela dépend beaucoup de leur expérience. Quand ils ont l'habitude, ils le font automatiquement. C'est comme pour d'autres thèmes (prendre les prises doucement), il faut d'abord apprendre, acquérir et stabiliser puis après appliquer et varier, créer et compléter (niveaux d'apprentissage J+S). »
- 7) D'après toi, au niveau physiologique, que provoque le fait de respirer profondément lors de l'ascension d'une voie ?
« Transport en permanence d'oxygène, diminue le rythme cardiaque, relaxation des muscles et de la tension. »
- 8) D'après toi, au niveau mental, que provoque le fait de respirer profondément lors de l'ascension d'une voie ?
« Relaxation des muscles et de la tension, trouver la concentration et le focus, réduction du stress et de la nervosité. »
- 9) Comment décrirais-tu l'effet de la respiration sur la performance ?
« C'est un automatisme du corps comme le rythme cardiaque, mais la respiration on peut l'influencer! Et cela provoque un énorme effet sur tout le corps et tous les systèmes ! »
- 10) Est-ce que tu penses qu'il y a un plus grand effet mental (aide à la concentration) ou physiologique (diminue le rythme cardiaque) ou alors un mélange des deux ?
« Pour moi c'est clairement un mélange des deux ! »
- 11) Est-ce que tu abordes différemment la notion de respiration s'il s'agit d'un entraînement de résistance par rapport à un entraînement d'endurance longue ou technique ?
« Non pas vraiment, parce que c'est un thème à toujours intégrer. »

Données personnelles :

- 1) Peux-tu te présenter en quelques lignes ? (Nom, profession, âge, etc)
« Pirmin Scheuber, 30 ans, Bachelor Sport Macolin, Master Sciences Sport Université Fribourg/EHSM, Sportlehrer und Nationaltrainer Sportklettern Nachwuchs Swiss Climbing. »
- 2) Quelles formations as-tu faites dans le domaine de l'escalade sportive ?
« Alle bis Trainer Spitzensport Swiss Olympic. »

3) Que fais-tu actuellement comme activités / profession en lien avec l'escalade ?

« *Nationaltrainer Sportklettern Nachwuchs, Trainer von Athleten der Nationalmannschaft, Erstellen Trainingspläne, Durchführen Trainings, Wettkampfbegleitung, ect. »*

Thème de la respiration :

4) Je souhaiterais étudier le rôle de la respiration lorsqu'un grimpeur de haut niveau escalade une voie dans son niveau maximal, est-ce que ce thème t'interpelle ? Si oui pourquoi ?

« *Ja klar, die Atmung ist ein wichtiger Bestandteil der Leistung beim Klettern, welche auch bei der Ausbildung zum Trainer Spitzensport und im Studium behandelt habe. Sie ist Bestandteil der meisten Trainings. »*

5) Est-ce que la respiration est un thème abordé lors des entraînements ? Si oui, est-ce que la respiration est travaillée de manière spécifique ? Quelles techniques/méthodes sont-elles utilisées ?

« *Ja die Atmung ist ein Bereich des Trainings beim Klettern. Sie wird beim Training spezifisch trainiert mit einzelnen kleinen Übungen. Grundsätzlich geht es darum sich zuerst bewusst aufs Atmen beim Klettern zu fokussieren. Wenn man dies schafft, werden die verschiedenen Techniken bei schwierigeren Routen angewendet. Ich unterscheide zwischen beruhigenden Atemtechniken, welche vor allem an Schüttelstellen verwendet werden und aktiven Atemtechniken, welche während den Schlüsselstellen verwendet werden. Als Methode werden die Techniken zuerst am Boden, dann in einfachen Routen und später an Wettkämpfen verwendet. »*

6) As-tu l'impression que tes athlètes y pensent lorsqu'ils sont dans une voie (dans leur niveau max plutôt) en compétition ?

« *Ja ganz klar. Im Spitzenbereich ist es den Athleten sicher bewusst, dass sie mittels den Atemtechniken einen gewissen Anteil der Leistung verändern können. »*

7) D'après toi, au niveau physiologique, que provoque le fait de respirer profondément lors de l'ascension d'une voie ?

« *Die Muskulatur des Zwerchfells ist der Hauptmuskel der Atmung. Die Bauchmuskulatur und die Lunge habe physiologisch gesehen eine unterstützende Funktion. »*

8) D'après toi, au niveau mental, que provoque le fait de respirer profondément lors de l'ascension d'une voie ?

« Die Atmung wird über die Medulla oblongata im Hirnstamm gesteuert. Verschiedene Rezeptoren über die Muskulatur ect geben die Reize weiter und unterstützen damit die Atmung. So wird sie unterbewusst angesteuert. Angst und die explizite bewusste Steuerung der Atmung lösen aber sicher auch wichtige Reize aus. »

9) Comment décrirais-tu l'effet de la respiration sur la performance ?

« Physiologisch gesehen erhält man mehr Sauerstoff, da man sich nicht verkrampft. Dies ist ganz klar mit bewusstem Atmen zu verbessern. Zudem kann man sich mit verschiedenen Atemtechnik einfach beruhigen oder aktivieren und so die Leistung zusätzlich verbessern.

10) Est-ce que tu penses qu'il y a un plus grand effet mental (aide à la concentration) ou physiologique (diminue le rythme cardiaque) ou alors un mélange des deux ?

« Ich glaube es ist klar ein Mix aus den beiden. Je nach Athlet kann es auch nur ein Bereich sein, aber meistens ist es sicher ein guter Mix. »

11) Est-ce que tu abordes différemment la notion de respiration s'il s'agit d'un entraînement de résistance par rapport à un entraînement d'endurance longue ou technique ?

« Bei Kraftausdauer Trainings ist sicher das aktive und regelmässige tiefe Atmen ein wichtiger Bereich. Da kann man physiologisch gesehen sehr viel machen, auch wenn man schon sehr müde ist ect. Bei technischen Trainings steht vor allem die Konzentration und eine beruhigende Atemtechnik im Vordergrund. »

Annexe 2 Formulaire de consentement

- Veuillez lire attentivement ce formulaire.
- N'hésitez pas à poser des questions si certains aspects vous semblent peu clairs ou si vous souhaitez obtenir des précisions.

Titre de l'étude :	Effet de l'instruction sur la performance en escalade
Promoteurs (adresse complète) :	Sciences du Mouvement et du Sport Université de Fribourg, Boulevard de Pérolles 90, CH – 1700 Fribourg
Lieu de réalisation de l'étude :	Salle d'escalade de Grimper.ch, Bloczone, 1762 Givisiez
Investigateurs	
Nom et prénom :	Chenevière Xavier Stucki Chloé
Participant	
Nom et prénom :	-----
Date de naissance :	-----

- Je déclare avoir été informé, oralement et par écrit, par l'investigateur des objectifs et du déroulement de l'étude, des effets présumés, des avantages et des inconvénients possibles ainsi que des risques éventuels.
- Je certifie avoir lu et compris l'information écrite aux participants qui m'a été remise sur l'étude précitée, datée du 17 février 2017. J'ai reçu des réponses satisfaisantes aux questions que j'ai posées en relation avec ma participation à cette étude. Je conserve l'information écrite aux participants et reçois une copie de ma déclaration écrite de consentement.
- J'ai eu suffisamment de temps pour prendre ma décision.
- Je sais que mes données personnelles ne seront transmises que sous une forme anonyme à des fins de recherche.
- Je prends part de façon volontaire à cette étude. Je peux, à tout moment et sans avoir à fournir de justification, révoquer mon consentement à participer à cette étude.

- Je suis conscient du fait que les exigences et les restrictions mentionnées dans l'information aux participants devront être respectées pendant la durée de l'étude. L'investigateur peut m'exclure à tout moment de l'étude dans l'intérêt de ma santé.

Lieu, date	Signature du participant
------------	--------------------------

Attestation de l'investigateur : J'atteste par ma signature avoir expliqué au participant la nature, l'importance et la portée de l'étude. Je déclare satisfaire à toutes les obligations en relation avec cette étude. Si je devais prendre connaissance, à quelque moment que ce soit durant la réalisation de l'étude, d'informations susceptibles d'influer sur le consentement du participant à participer à l'étude, je m'engage à l'en informer immédiatement.

Lieu, date	Signature de l'investigateur
------------	------------------------------

Annexe 3 Echelle de Borg

Échelle de perception de l'effort
(Échelle de Borg modifiée)

	0. Aucun effort	Je dors
	1. Très très facile	Je regarde la TV en mangeant des chips
	2. Très facile	Je suis bien et je peux maintenir ce rythme toute la journée
	3. Facile	Je suis toujours bien mais je respire un peu plus difficilement
	4. Effort modéré	Je transpire un peu mais je me sens bien et je peux tenir une conversation sans problème
	5. Moyen	Légèrement fatigant, je transpire un peu plus mais je peux toujours parler facilement
	6. Un peu difficile	Je peux toujours parler mais je suis un peu essoufflé et j'ai du mal à finir mes phrases. Je transpire vraiment.
	7. Difficile	Je peux toujours parler mais je n'en ai pas envie et je transpire abondamment.
	8. Très difficile	Je peux grogner pour répondre aux questions et je ne peux tenir ce rythme que pour une courte période
	9. Très très difficile	Je vais probablement tomber d'épuisement bientôt !
	10. Maximal	Je suis tombé !!!

Annexe 4 Questionnaire envoyé aux participants post-expérience

Sensibilité du participant à l'instruction

- 1) Est-ce que l'instruction *respiration* a eu un impact sur toi durant la voie ? (Est-ce qu'en entendant les instructions, tu as modifié quelque chose dans ta grimpe par rapport à la fois où tu avais l'instruction *encouragements*)
- 2) Si oui, est-ce que l'instruction *respiration* a eu un impact sur ta respiration durant la voie ?
- 3) Est-ce que tu as entendu/écouté les instructions durant toute l'ascension ?
- 4) Si non, à quel moment l'instruction a-t-elle été la plus présente ?
- 5) Quel effet l'instruction *respiration* a eu sur toi ?
- 6) Etait-elle plutôt relaxante ou plutôt motivante ?
- 7) Quelle était la cause de la chute ?

Annexe 5 Réponses de deux thérapeutes travaillant avec l'hypnose

Madame Paloma Neuhaus :

- 1) Pouvez-vous vous présenter en quelques mots et expliquer ce que vous faites dans votre travail ?

« Je m'appelle Paloma Neuhaus. Je suis psychologue spécialiste en psychothérapie FSP, je travaille actuellement dans un centre de psychothérapie à Fribourg, le Centre Bertigny et j'ai ouvert un cabinet pluridisciplinaire avec trois collègues psychothérapeutes. Je suis formée en diverses approches : cognitive-comportemental, hypnose médicale et thérapeutique Ericksonnien, Thérapie brève centrée compétences, psychotraumatologie centrée compétences et Brainspotting. Je suis des adolescents et des adultes avec divers troubles : troubles de l'anxiété, dépression, troubles alimentaires, douleurs... Je fais aussi du coaching parental, supervision, etc. »

- 2) Avez-vous des patients sportifs ?

« Je n'ai pas eu jusqu'à maintenant de patients qui font une demande de suivi concernant leur activité sportive. J'ai par contre de personnes qui viennent pour d'autres raisons, qui sont sportifs parfois de haut niveau et on utilise ceci dans les suggestions et métaphores utilisées dans le langage hypnotique. Je reçois par contre de musiciens qui font une demande d'hypnose pour améliorer leurs performances musicales et pas avoir le trac dans la situation de concert face à un public. Le principe serait un peu le même avec les sportifs. »

- 3) En général, pour quels types de problèmes font-ils appel à vous ?

« Si vous parlez des sportifs, je n'ai pas eu comme j'ai dit dans le point 2 mais ils pourraient venir pour améliorer leurs performances, vaincre de possibles peurs ou bien désensibiliser un possible épisode sportif « traumatique » qu'ils ont pu avoir. »

- 4) Utilisez-vous l'hypnose afin de détendre vos patients ?

« L'hypnose s'utilise beaucoup et fonctionne très bien dans tout problème d'anxiété : phobies, TOC, PTSD. Ceci les aide justement à réduire l'activation de l'organisme donc à se détendre. Nous travaillons beaucoup le sentiment de sécurité avec l'hypnose, l'imagerie de tous ce que peut apporter du calme, de la légèreté, de la détente, de la protection...Donc oui, l'hypnose est très bénéfique au niveau de la détente. »

- 5) Travaillez-vous avec la respiration ?

« L'hypnose est une psychothérapie psychocorporelle et la respiration fait partie de toute approche corporelle. Les trances que je fais avec mes patients démarrent TOUJOURS par la

respiration, d'abord pour aller vers la détente, pour prendre conscience du corps, pour s'ancrer. Plus tard et selon les besoins je peux aussi utiliser la respiration pour « faire de l'ordre garder ce qu'est bon et jeter avec l'expiration tous ce qui n'est pas bon, lourd... », on va utiliser la respiration pour créer une sensation de légèreté, pour apporter du froid ou du chaud à l'intérieur pour le traitement de la douleur par exemple... Vers la fin de la transe, on va revenir de nouveau à la respiration et ancrer le travail qui a été fait. »

- 6) Si oui, est-ce que vous utilisez des mots ou exercices précis en rapport avec la respiration lors de vos séances (qui pourraient être utilisé par quelqu'un qui ne pratique pas l'hypnose) ?

« Concernant la respiration, je travaille beaucoup avec la cohérence cardiaque, on trouve sur youtube des exercices de 5' que les patients peuvent faire pour provoquer un ralentissement de l'activation physiologique et ainsi être plus calmes, détendus. Concernant les mots à utiliser ça va dépendre du but à attendre, si je vais utiliser la respiration pour quelqu'un qui fait la grimpe je pourrais utiliser des mots comme : Et chaque fois que j'inspire mon corps devient plus léger, je me sens plus ancré à la montagne, et à chaque expiration mon corps prend de l'élan et monte, et à chaque expiration mon excès de tension sort de mon corps, et quand j'entends le rythme de ma respiration je fais confiance en mon corps, et quand j'inspire l'air chargé d'oxygène va aider à la performance de mes muscles... »

- 7) Est-ce que vous savez si certaines tournures de phrase, même sans hypnose, peuvent avoir un plus grand effet sur une personne ?

« En fait, nos comportements et nos émotions vont toujours être influencés par le contenu de nos pensées, de ce que je vais me dire, de comment je vais me parler, me traiter. Dans ce cas-là, on peut dire que oui, même sans hypnose certaines tournures de phrase vont influencer comme je vais me positionner dans une situation, ce que je vais faire, ce que je vais sentir. »

- 8) Si oui, existe-t-il une phrase miracle permettant de se calmer lorsqu'un sportif est en situation de stress physiologique et mental ?

« Je ne crois pas qu'il existe UNE phrase, mais plusieurs. Je pense aussi que c'est quelque chose que nous devons explorer avec la personne : qu'est-ce que la personne s'est dit pour s'en sortir d'autres situations difficiles ? Chercher ce qui a pu marcher lors de la dernière réussite sportive, utiliser ceci, est-ce qu'il y a une phrase d'une chanson que met la personne dans une « transe » de réussite, etc. Comme votre travail est sur la grimpe, explorez quel est le langage dans ce sport, quelles compétences personnelles il faut pour être un bon sportif, pour bien grimper, nommez ceci dans vos enregistrements. »

Madame Marta Hegyaljai Python :

1) Avez-vous des patients sportifs ?

« *Oui, hockeyeurs, cavaliers, judoka. »*

2) En général, pour quels types de problèmes font ils appel à vous ?

« *Augmenter leur performance, surmonter des blocages. »*

3) Utilisez-vous l'hypnose afin de détendre vos patients ?

« *Oui mais pas nécessaire d'être forcément détendu pour une hypnose. La détente aide à faire des changements (ancrages) et améliore la créativité, la visualisation. Les athlètes sont de très bons sujets pour l'hypnose car ils se focalisent bien et savent s'autoréguler. »*

4) Travaillez-vous avec la respiration ?

« *Toujours. »*

5) Si oui, est-ce que vous utilisez des mots ou exercices précis en rapport avec la respiration lors de vos séances ?

« *Respiration abdominale. Pour baisser le taux d'adrénaline, ça calme. »*

6) Est-ce que vous savez si certaines tournures de phrase, même sans hypnose, peuvent avoir un plus grand effet sur une personne ?

« *Accompagner la respiration en répétant inspire, expire. Régler la respiration pour qu'elle soit agréable. »*

7) Si oui, existe-t-il une phrase miracle permettant de se calmer lorsqu'un sportif est en situation de stress physiologique et mental ?

« *Les grimpeurs sont comme dans une transe, focalisé sur quelque chose. Si on leur fait entendre une voix dans des écouteurs, cela peut les déranger. Exemple : Inspire, expire risque d'être pas au bon moment et de perturber leur respiration. Il faudrait entendre la personne respirer (oreillette avec un micro) et l'accompagner en faisant des bruitages de respiration lorsqu'il s'arrête de respirer. Etre en phase, un accompagnement en restant dans cet état de transe. Inclure une séance d'hypnose avant. Visualiser la voie et respirer en même temps au sol. Respiration doit être un acte automatique (avec un professionnel en hypnose profonde). La phrase doit être très tranquille comme une pensée et être monotone. »*

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, que ce soit durant le travail de recherche, l'expérimentation ou la rédaction.

Mon conseiller, Xavier Chenevière, pour sa disponibilité, ses précieux conseils et son suivi efficace tout au long de la réalisation du travail. Daniel et Martin Rebetez, de la société « Grimper.ch », pour la disponibilité de l'infrastructure de la salle d'escalade à Givisiez durant toute la phase expérimentale. Samuel Pugin et toute l'équipe d'ouvriers de la société « Grimper.ch » pour l'ouverture des voies spécialement conçues pour l'expérimentation. Paloma Neuhaus et Marta Hegyaljai Python pour les précieux conseils qui m'ont permis d'enregistrer les instructions. Kevin Hemund et Pirmin Scheuber pour m'avoir expliqué la place que prend la respiration dans leurs entraînements. Michaël Rapin, ingénieur au sein du CSEM de Neuchâtel, pour m'avoir prêté un système de monitoring développé pour mesurer plusieurs paramètres, dont la fréquence de respiration.

Et tous les participants qui ont accepté de participer à mon étude et qui m'ont offert leurs efforts afin de produire la meilleure performance possible.