

L'influence des émotions sur le contrôle moteur, l'excitabilité et l'inhibition corticale

Comparaison entre grimpeurs et non-grimpeurs

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

déposé par

Tessa Zünd

à

l'Université de Fribourg, Suisse
Faculté des sciences et de médecine
Section Médecine
Département des neurosciences et sciences du mouvement

en collaboration avec la
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent

Dr. Jan Ruffieux

Conseiller

Prof. Dr. Wolfgang Taube

Fribourg, janvier 2021

Table des matières

Résumé	4
Abréviations	5
1 Introduction	6
1.1 Les différents types d'escalade.....	6
1.2 Influence des émotions sur le contrôle moteur.....	8
1.3 Influence des émotions sur l'excitabilité et l'inhibition corticale	11
1.4 Objectif du travail.....	16
2 Méthode.....	17
2.1 Participants	17
2.2 Design de l'étude.....	19
2.3 Tâche motrice	19
2.4 Conditions	20
2.5 Électrophysiologie.....	22
2.6 Traitement des données	26
2.7 Analyse statistique.....	27
3 Résultats	28
3.1 Contrôle moteur et émotions	28
3.2 Excitabilité/inhibition corticale et émotions.....	32
3.3 Corrélations	34
4 Discussion	35
4.1 Contrôle moteur et émotions	35
4.2 Excitabilité/inhibition corticale et émotions.....	39
4.3 Corrélations	40
4.4 Limitations	41
5 Conclusion.....	42
Bibliographie.....	43
Annexe	48
Annexe 1 : informations aux volontaires	48
Remerciements	52

Résumé

Introduction : L'objectif de notre étude était de comprendre l'influence que les émotions, déclenchées au travers la vision d'images (positives, négatives et neutres), ont sur le contrôle moteur, l'excitabilité et l'inhibition corticale.

Méthode : 29 sujets volontaires ont été divisés en deux groupes : le groupe de grimpeurs et celui de non-grimpeurs. Les images montrées aux sujets pendant la tâche motrice étaient des images relatives à l'escalade, donc des images censées déclencher des réponses émotionnelles surtout dans les grimpeurs. La tâche motrice à laquelle les sujets étaient soumis était une tâche de force isométrique. Les volontaires devaient maintenir la force prédéfinie aussi constante que possible à environ 10 % de leur contraction maximale volontaire. À l'aide d'un système très particulier constitué d'une plaque de force, de l'électromyographie de surface et de la stimulation magnétique transcrânienne, nous avons pu répondre à nos questions de recherche.

Résultats : En ce qui concerne le contrôle moteur, pour le paramètre écart-type 1 (SD1), qui prend en considération les grandes fluctuations de la force, nous avons trouvé des différences significatives entre les conditions neutres-négatives ($p < 0,001$) et neutres-positives ($p = 0,004$). La condition négative était celle dans laquelle les sujets ont moins bien réussi à contrôler leur niveau de force. C'est aussi sous cette condition qu'ils ont eu un contrôle moteur plus faible. En ce qui concerne l'écart-type 2 (SD2), qui prend en considération les petites oscillations de la force, il y avait une différence significative uniquement entre les conditions neutres-positives ($p < 0,001$). Concernant les paramètres de l'excitabilité corticale (MEPs) et de l'inhibition corticale (SICI), aucune différence significative n'a été trouvée entre les deux groupes et les trois conditions (neutre, positive et négative).

Discussion : Les différences trouvées dans SD1 et SD2 pourraient être liées au fait que les images évocatrices (contrairement aux images neutres) ont un plus grand impact sur le contrôle moteur. Cependant, les sujets ont modifié leur contrôle moteur d'une façon plus subtile pour les images positives par rapport aux images négatives. En ce qui concerne l'effet de groupe, pour chaque paramètre analysé, nous avons trouvé aucune différence significative. Ceci pourrait être lié au choix des images et au fait que les sujets n'ont pas vraiment réussi à s'immerger dans la situation de grimpe.

Conclusion : Une de nos hypothèses a pu être validée : le contrôle moteur est influencé par les émotions. Cependant, les hypothèses concernant l'excitabilité et l'inhibition corticale n'ont pas pu être validées.

Abréviations

AMT : Seuil actif, c'est-à-dire la plus faible intensité de stimulus qui a obtenu des MEPs > 100 μ V dans au moins 50 % des cas

bEMG : activité de fond de l'EMG 100 ms avant la stimulation

EMG : électromyographie de surface

EMG M : la moyenne de l'EMG

F : femme (s)

FM : moyenne de la force dans les 2 s avant la stimulation

G : groupe de grimpeurs

H : homme (s)

ISI : interstimulus interval

MEPs : motor evoked potentials, signaux neuro-électriques du muscle, produits suite à la SMT

MVC : contraction maximale volontaire

NG : groupe de non-grimpeurs

PP : paired pulse

RMT : Seuil de repos, c'est-à-dire la plus faible intensité de stimulation qui donnait des petits MEPs (>50 μ V) dans au moins 50 % des cas

SICI : short-interval intracortical inhibition

SP : single pulse

SD 1 : écart type 1. Signal de force filtré avec filtre *high-pass* (100 Hz)

SD 2 : écart type 2. Signal de force filtré avec filtre *low-pass* (10 Hz)

SMT : stimulation magnétique transcranienne

1 Introduction

L'escalade, définie par Therme et Soulayrol (1992) comme « un déplacement exposé au risque de chute, sur un terrain d'inclinaison variée, nécessitant l'usage des mains et des pieds » est un sport qui devient de plus en plus populaire. Témoin de cette croissante popularité est le fait que l'escalade aurait dû faire sa première apparition lors des Jeux Olympiques de Tokyo en 2020 : Jeux Olympiques qui, pour le moment, ont été reportés à 2021 à cause de la pandémie de Corona Virus.

Le « boom » qui caractérise la pratique de l'escalade de ces dernières années fait augmenter aussi le nombre de blessures liées à ce sport. Les causes sous-jacentes des blessures sont multiples : une mauvaise technique, un volume d'entraînement trop important, un mépris de la phase de récupération (Ecuyer, 2020). En effet, il n'est pas rare de voir des personnes qui n'ont quasi jamais pratiqué de la grimpe, s'improviser grimpeurs professionnels. Une lacune dans la technique amène souvent à des blessures qui peuvent se vérifier au niveau des épaules, des poignets, des coudes, des genoux, des chevilles, etc. En revanche, les « vrais grimpeurs » sont connus pour vite devenir obsédés par ce sport. La grimpe devient alors un style de vie, et toutes leurs journées sont planifiées en fonction de celle-ci. Cela peut vite amener à un surentraînement : des volumes d'entraînement trop importants suivis d'une phase de récupération trop courte (Laurence, 2020).

1.1 Les différents types d'escalade

Il existe différents types d'escalade, les principaux comprennent : *l'escalade libre*, *l'escalade artificielle*, *l'escalade sportive*, *l'escalade traditionnelle*, *le bloc* et *l'escalade en solo* (Balboni, 2017). Ce qui compte le plus pour distinguer les différents types de grimpe n'est pas vraiment ce que le pratiquant fait, mais plutôt comment il le fait. Quel que soit le type d'escalade choisi, il attire toujours un nombre croissant de personnes. Dans tous les types d'escalade, les pratiquants utilisent les chaussons et la magnésie (poudre blanche qui se met sur les mains pour éviter de glisser à cause de la transpiration lors de la montée). Les chaussons sont les chaussures utilisées en grimpe et sont caractérisés par un chaussage étroit (souvent les grimpeurs prennent des chaussons qui chaussent 1 à 2 pointures en moins par rapport aux chaussures normales) et par une semelle qui adhère très bien aux différents types de parois. Le baudrier, un harnais qui serre le corps au niveau de la ceinture et des cuisses et auquel vient se rattacher la corde, est utilisé dans tous les types d'escalade sauf dans l'escalade en solo et le bloc (Ballenberger,

2020). La première distinction à faire, qui concerne la technique de remontée, est celle entre l'escalade libre et l'escalade artificielle.

L'escalade libre, qui est la plus répandue, se différencie de l'escalade artificielle par le fait que dans la première, le grimpeur utilise uniquement les prises naturelles présentes sur le rocher pour monter au haut de la paroi ; la corde et le reste du matériel de protection qui sont présents servent uniquement en tant que protection en cas de chute et ne sont jamais utilisés comme aide pour la montée (Balboni, 2017).

Par contre, dans *l'escalade artificielle* les pratiquants utilisent différents types de matériel (petites échelles en Nylon, ascenseurs, etc.) et insèrent dans le rocher du matériel (pitons, coinces, etc.) qu'ils vont ensuite utiliser pour remonter la paroi. Ce type d'escalade est souvent utilisé dans des parois rocheuses qui sont impossibles à remonter en utilisant uniquement l'escalade libre (Ballenberger, 2020 ; Laurence, 2020).

La typologie d'ascension détermine d'autres « sous-types » d'escalade. Chacune de ces catégories (sportive, traditionnelle, en bloc, en solo) peut être pratiquée en escalade libre ou escalade artificielle.

Dans *l'escalade sportive*, le matériel pour se protéger (ex. spit) a été placé au préalable. Le spit est un piton à expansion installé dans la paroi et utilisé pour se protéger d'une possible chute. Les parcours sont donc déjà prédéfinis. Il « suffit » de suivre les différents spit, mettre une dégaine pour coincer la corde afin de se protéger en cas de chute, et remonter jusqu'en haut. Les dégaines sont caractérisées par deux mousquetons reliés par une ficelle. Un mousqueton est accroché au spit et l'autre à la corde. Au sommet de la paroi (au relais) il y a des systèmes pour aider le grimpeur aussi à la descente (Balboni, 2017 ; Ballenberger, 2020 ; Laurence, 2020).

L'escalade traditionnelle est un mélange entre l'escalade libre, l'escalade sportive et l'escalade artificielle : les voies sont normalement peu équipées au préalable et le grimpeur peut poser des coinces (objets utilisés pour se protéger d'une chute) et autres types de protections pendant sa montée. Cependant, ces protections doivent impérativement pouvoir être enlevées (par exemple, par celui qui monte juste après) sans endommager la paroi rocheuse (Balboni, 2017 ; Ballenberger, 2020 ; Laurence, 2020).

Le bloc est pratiqué sur de grands cailloux et sa pratique nécessite uniquement les chaussons, la magnésie et un tapis pour se protéger des chutes. Dans ce type d'escalade, le sujet monte uniquement 3-4 mètres et les accidents mortels sont très rares (Balboni, 2017 ; Ballenberger, 2020 ; Laurence, 2020).

L'escalade en solo est considérée comme le type d'escalade le plus dangereux. En effet, dans ce type d'escalade, aucune protection (corde, spit, dégaines, etc.) n'est utilisée. Les pratiquants ne montent pas seulement 3-4 mètres comme dans la pratique du bloc, mais peuvent affronter des parois rocheuses entières de plusieurs centaines de mètres. Une chute dans ce genre d'escalade est souvent fatale (Balboni, 2017 ; Ballenberger, 2020 ; Laurence, 2020).

Chaque type d'escalade façonne le corps de l'athlète d'une manière différente. Par exemple, comme montré par Stien et al. (2019), les pratiquants du bloc (boulder) sont plus explosifs par rapport à ceux qui pratiquent de l'escalade traditionnelle. Ces derniers sont de fait plus endurants. Le corps des athlètes se modifie en fonction des besoins de la pratique. En effet, étant donné que les efforts dans la pratique du bloc sont très intenses mais très courts, les pratiquants développent une force explosive majeure par rapport aux grimpeurs traditionnels qui développent surtout une force plus endurante.

L'escalade est un sport très complet qui requiert de la force, de la flexibilité, de la souplesse, de l'endurance et de la coordination (Sheel, 2004). En plus de nombreux facteurs physiques, l'escalade requiert aussi de nombreux facteurs psychologiques comme le fait d'essayer une voie inconnue, le fait de gérer une possible chute et une possible blessure (Morrison & Schöffl, 2007). Ces nombreux facteurs psychologiques sont conditionnés par les émotions que certaines situations peuvent amener et rappeler. Ces émotions peuvent conditionner à leur tour la motivation qui pousse chaque sujet à accomplir une action (Coelho, Lipp, Marinovic, Wallis & Riek, 2010). Par exemple, refaire un passage dans lequel nous sommes déjà tombés pourrait nous amener à une forte pression psychologique, même si techniquement le passage n'est pas du tout difficile. Les émotions, liées aux souvenirs et aux motivations, influencent donc de façon positive et négative l'acte moteur. Pour étudier l'effet des émotions sur la pratique de l'escalade, de nombreux chercheurs ont utilisé des images négatives, positives et neutres pour essayer de réveiller chez les sujets différents types d'émotions et de souvenirs.

1.2 Influence des émotions sur le contrôle moteur

« Est-ce que la vie humaine pourrait-elle vraiment exister si nous ne ressentions aucune émotion ? » (Niedenthal, Krauth-Gruber & Ric, 2009). La réponse est « non » étant donné que si nous ne pouvions ressentir aucune émotion, notre vie serait complètement différente et n'aurait pas du tout la même saveur. Imaginons-nous vivre sans ressentir de tristesse, de joie, d'amour, de douleur : tout serait « gris », notre vie n'aurait plus ni couleurs de joie ni couleurs de tristesse. Ce sont souvent les émotions qui nous donnent la motivation d'accomplir une tâche, un geste. *L'homo sapiens* a été souvent appelé « l'animal émotif » et cela n'est pas un hasard (Eccles et

al., 2011). Comme expliqué par Stephan (2009), les actions de l'être humain et les décisions qui le poussent à faire certaines d'entre elles, sont énormément influencées par des processus dynamiques émotifs. L'être humain agit souvent en se basant sur ses émotions. Par conséquent, son acte moteur est fortement influencé par ses émotions. L'influence que les émotions ont sur le système moteur a toujours été un thème qui a suscité énormément d'intérêt dans le monde de la recherche et qui en suscite encore aujourd'hui. De nombreux chercheurs ont essayé de réveiller différents types d'émotions chez les sujets en leur montrant différents types d'images (positives, négatives et neutres).

Coombes, Cauraugh et Janelle (2005) ont démontré une augmentation de force suite à des images négatives en analysant 45 étudiants. La tâche de force auquel les sujets étaient soumis était composée par un stimulus acoustique auquel les sujets devaient répondre en déclenchant et en maintenant une contraction maximale bi-manuelle isométrique soutenue des muscles extenseurs du poignet et des doigts, contre deux cellules de charge indépendantes. Les images auxquelles ils étaient soumis, appartenaient à trois différentes catégories : images d'amour, images de mutilations et images neutres. Ces chercheurs ont découvert que l'exposition à des images négatives provoque une production majeure de force. Ils ont aussi démontré que la variabilité du mouvement ne variait pas en fonction des émotions. Leurs résultats indiquent donc que l'exposition prolongée à des stimuli négatifs provoque une production majeure de force pour un mouvement volontaire soutenu, sans modifier la variabilité de cette contraction.

Coombes, Gamble, Cauraugh et Janelle (2008) ont analysé 42 étudiants (22 femmes et 20 hommes, tous droitiers). La tâche de force à laquelle étaient soumis les sujets était une tâche précise demandant d'exercer le 10 % de leur force maximale isométrique (calculée au début de l'étude), avec le pouce et l'index, pendant 6 secondes. Les images auxquelles étaient exposés les participants, appartenaient à trois catégories différentes : images d'amour, images de mutilation et images neutres. Les chercheurs ont découvert que la production de la force à 10 % de la contraction maximale volontaire (MVC) du sujet n'était pas influencée ni par les états émotifs des sujets, ni par le sexe.

En 2011, Coombes et al. ont découvert que, dans une tâche où le participant doit exercer toujours la même force, l'activité de son cerveau (et plus particulièrement du cortex pré-moteur ventral et du cortex dorso-médial préfrontal) augmente quand le sujet regarde des images évocatrices par rapport à la vision d'images neutres. Leur découverte montre que quand une certaine force doit être maintenue même en présence de changements émotionnels, un circuit entre le cortex dorso-médial préfrontal, le cortex pré-moteur ventral et le cortex pré-moteur dorsal est activé.

Schmidt et al. (2009) confirment que des images très évocatrices entraînent une production majeure de force ainsi qu'une perception mineure de la fatigue. Les émotions joueraient donc aussi un rôle sur la motivation.

Les images évocatrices (positives et négatives), comparées à des images neutres, peuvent déclencher des émotions chez les sujets. Ces émotions, liées aux souvenirs, vont avoir une conséquence sur le contrôle moteur, défini comme la « capacité à régulariser les mécanismes essentiels au mouvement » (Bouyer, 2011), et le développement de la force chez les sujets. Les souvenirs positifs et négatifs vont être mémorisés beaucoup mieux par rapport aux souvenirs neutres (Hamann, Ely, Grafton & Kilts, 1999).

Comme prouvé par Hamann et al. (1999), la mémoire joue en effet un rôle dans la motivation, et celle-ci a un rôle dans le développement de la force. Par exemple, le souvenir d'un événement « touchant » peut entraîner une augmentation de l'anxiété qui, à son tour, peut augmenter la performance dans la grimpe ainsi que le développement de la force (Hardy & Hutchinson, 2007).

En effet, comme expliqué par Coombes et al. (2008), une fonction primaire des émotions est celle de la préparation aux actions motrices. L'acte moteur est influencé par notre motivation, qui à son tour est fortement influencée par nos émotions.

Comme démontré par Pijpers, Oudejans et Bakker (2005) et par Nieuwenhuys, Pijpers, Oudejans et Bakker (2008), il y a une forte relation entre les émotions et le contrôle moteur. En 2005 les chercheurs ont testé les effets de l'anxiété sur les vrais mouvements de la grimpe (mouvements complexes). Les participants ont dû traverser une paroi artificielle de grimpe à deux hauteurs différentes. Lorsque la hauteur était plus grande (plus de peur) les participants ont été moins performants : augmentation du temps nécessaire pour effectuer la traversée, mouvements plus lents, saisie plus longue des prises, etc.) La peur affecte donc de façon négative le contrôle moteur et plus en particulier la performance.

En 2008 les chercheurs, en plus de confirmer les résultats précédents de Pijpers et al. (2005), ont découvert, en utilisant la même méthode, que la peur entraîne une diminution dans l'efficacité du mouvement dans la grimpe en considérant le nombre d'étapes nécessaires afin d'accomplir un mouvement. Plus la peur augmente, plus les sujets en ont augmenté le nombre pour passer d'une prise à l'autre pendant la traversée.

En effet, plus la peur chez un sujet augmente, plus son efficacité dans la grimpe diminue (Green, Draper & Helton, 2014). Ces chercheurs ont analysé 15 grimpeurs. Les participants devaient grimper différentes voies à l'intérieur (dans une paroi artificielle). La distance parcourue et l'efficacité dans la grimpe ont été trouvées significativement inférieures quand les participants

étaient soumis à des mots de peur comparé aux mots neutres. À travers des images ou des mots, les émotions peuvent être déclenchées et celles-ci peuvent modifier et interférer dans le contrôle moteur. Des images évocatrices peuvent entraîner un changement dans les émotions des sujets, et cela peut provoquer une modification dans leur contrôle moteur.

Hardy et Hutchinson (2007), ont découvert que l'anxiété cognitive entraîne une augmentation de l'effort qui se traduit en une augmentation de la performance. Toutes ces recherches nous montrent comment les émotions, éveillées via des images évocatrices, peuvent modifier l'acte moteur et le contrôle moteur. Les émotions (déclenchées au travers des souvenirs rappelés par différentes images), qui peuvent aussi modifier la motivation, jouent donc un rôle essentiel dans le contrôle moteur.

1.3 Influence des émotions sur l'excitabilité et l'inhibition corticale

Beaucoup d'études se sont interrogées et s'interrogent toujours sur la relation qui existe entre la vision d'images évocatrices et le contrôle moteur, ainsi que sur le développement de la force. Par contre, les études scientifiques qui questionnent la relation entre la vision d'images évocatrices et l'excitabilité/inhibition corticale sont plus rares. Cela est sûrement lié au fait que pour étudier ces paramètres il faut un système très spécifique. Parmi ces systèmes, il y a la stimulation magnétique transcranienne (SMT).

1.3.1 Principe de la SMT. L'usage de la SMT est très répandu dans l'étude de l'excitabilité corticospinale des sujets. La voie corticospinale est considérée comme la voie principale pour le contrôle moteur volontaire (Weavil & Amann, 2018). La SMT est une méthode de stimulation cérébrale non invasive, et consiste en de très brèves et puissantes impulsions électriques déchargées par une bobine placée en contact avec le cuir chevelu. La bobine génère un champ magnétique, très puissant et très court, qui traverse le crâne. Ce champ magnétique induit un nouveau champ électrique qui dépolarise les cellules nerveuses. Lorsque ces impulsions déchargées par la SMT sont supérieures au seuil de repos du neurone moteur, une dépolarisation des cellules nerveuses a lieu et un potentiel d'action (signal électrique unidirectionnel induisant la libération de neurotransmetteurs) est déclenché.

L'information électrique se propage d'une cellule à l'autre à travers le potentiel d'action (PA) (cf. *figure 1*). Le potentiel au repos des cellules nerveuses varie entre -60mV et -80mV. Cet état est dépendant de la concentration des différents ions (K^+ , Na^+ , Cl^- , etc.) à l'intérieur et à l'extérieur des cellules. En effet, dans les neurones au repos, le K^+ est plus présent à l'intérieur de la cellule tandis que Na^+ et Cl^- sont plus présents à l'extérieur. Dans cet état, la membrane

est sélectivement perméable au K^+ . Suite à un changement du champ électrique, le potentiel au repos peut diminuer et quand il arrive à -55mV il y a un PA qui est déclenché. Un PA se déclenche suite à la dépolarisation de la membrane (Aaurashi, 2020 ; Davies, 2003 ; Raghavan, Fee & Barkhaus, 2019).

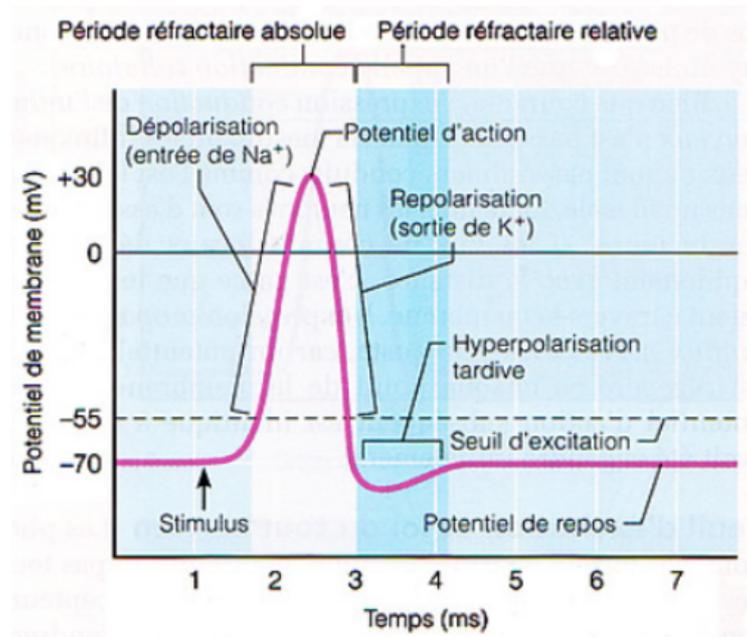


Figure 1. Les différentes phases d'un potentiel d'action (St-Jacques, 2017).

Ce phénomène se vérifie quand les canaux de Na^+ s'ouvrent suite à un stimulus électrique, permettant l'entrée de Na^+ à l'intérieur de la cellule et induisant un potentiel de membrane positif ($+30\text{mV}$). Une fois que la cellule a été dépolarisée, les canaux Na^+ se ferment et les canaux K^+ s'ouvrent en induisant la repolarisation de la membrane. Cette repolarisation dépasse le potentiel de membrane au repos et rend le potentiel de membrane plus négatif. Cet état est appelé hyperpolarisation et aucun canal n'est ouvert sauf la pompe Na^+/K^+ . Suite à cela, la cellule entre dans une période réfractaire où aucun PA ne peut être déclenché. Si le seuil pour déclencher un PA est atteint, ceci se vérifie toujours de la même façon. En effet, il est soumis à la loi du « tout ou rien ». Si, à la place de l'entrée de Na^+ , il y a l'entrée de Cl^- dans la cellule post-synaptique, le potentiel de membrane s'éloigne du seuil d'excitabilité en empêchant le déclenchement d'un PA (Aaurashi, 2020 ; Davies, 2003 ; Raghavan, Fee & Barkhaus, 2019). À l'aide de l'électromyographie de surface (EMG) nous pouvons mesurer dans le muscle les « motor evoked potential » (MEPs), c'est-à-dire la réponse musculaire suite à la stimulation par la SMT. Les MEPs, sont des signaux neuro-électriques du muscle, produits suite à la SMT (Carson, Ruddy & McNickle, 2016). Pour pouvoir enregistrer les MEPs provoqués par la SMT,

nous avons besoin d'installer sur le sujet des électrodes. L'EMG est une technique non invasive qui permet d'enregistrer les potentiels électriques émis par les fibres musculaires. Elle enregistre les potentiels des fibres musculaires appartenant à différentes unités motrices (Grimshaw, Burden & Crétual, 2016).

La SMT, en stimulant le cortex moteur au bon endroit, peut donc être utilisée pour étudier l'excitabilité et l'inhibition corticospinale (ou corticale). Le cortex moteur est une région très importante du cerveau qui intervient dans l'exécution des mouvements volontaires (Knierim, 2020). Il faut stimuler le « hotspot », l'endroit sur le cortex moteur qui, quand il est stimulé, donne la réponse musculaire la plus grande dans le muscle en question. Étant donné que les voies corticospinales se croisent au niveau bulbaire (décussation pyramidale), si nous voulons stimuler une partie du côté droit du corps, nous devons stimuler le cortex moteur gauche et vice-versa. La voie corticospinale (pyramidale) prend son origine au niveau du cortex cérébral, et est la voie la plus longue et l'une des plus importantes du système nerveux. Cette voie relie le cortex moteur et ses motoneurones à la moelle épinière et au tronc cérébral (Sauleau, 2020). La *figure 2* explique le fonctionnement de la SMT.

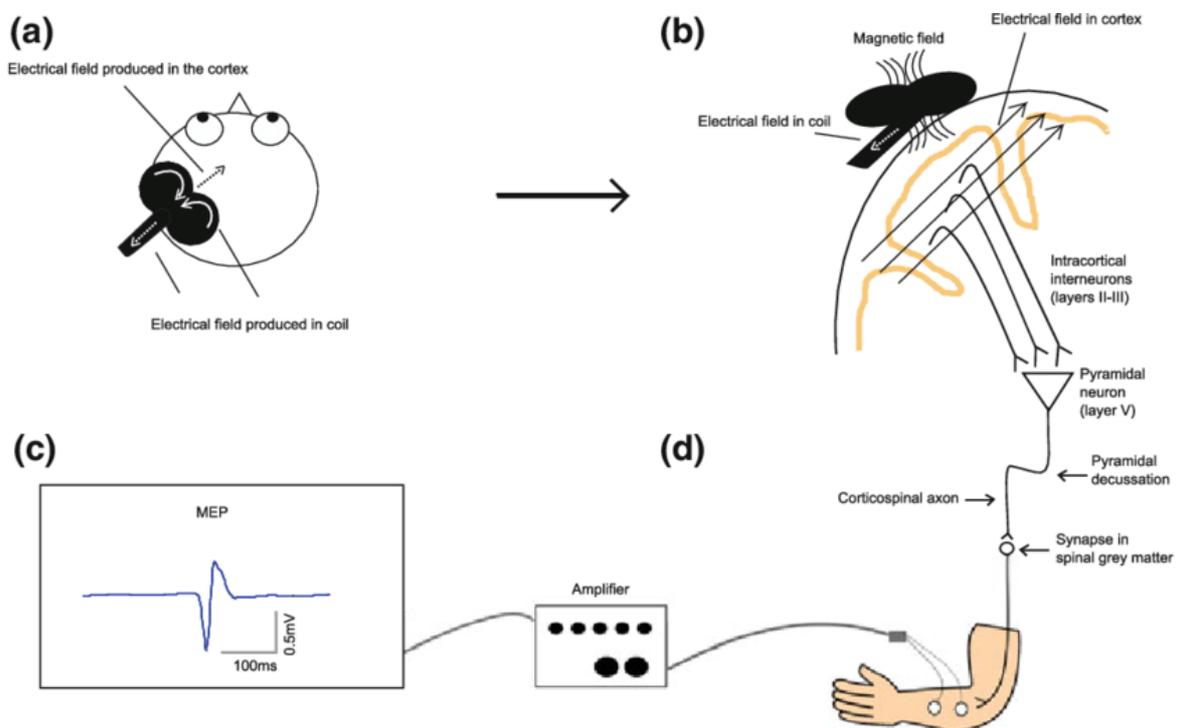


Figure 2. Cette figure explique le principe de la SMT. (a) Sont représentés les différents champs électriques dans le cortex et dans la bobine. (b) Le champ magnétique généré par la bobine traverse le crâne, induit un nouveau champ électrique qui dépolairise les cellules nerveuses. Étant donné qu'il y a la décussation pyramidale, pour enregistrer une activité musculaire dans le bras gauche, nous devons stimuler le cortex moteur droit et vice-versa. (c) Les électrodes de l'EMG enregistrent l'activité musculaire (MEPs). (Carson et al., 2016, p. 145).

L'excitabilité corticale est une composante essentielle de la fonction cérébrale (Rizzo, Richman & Puthanveettil, 2015). L'excitabilité corticale pourrait être expliquée de manière simplifiée comme étant le potentiel de membrane, ou comme la façon dont les cellules nerveuses répondent à un certain stimulus. Cette excitabilité est basée sur la sélectivité et la réactivité des neurones corticaux qui déterminent la manière dont un signal est traité par le cerveau (Gaggioni et al., 2019). L'excitabilité corticale est au centre de la fonction cognitive et par conséquent, une diminution de cette excitabilité peut entraîner un déclin cognitif. Ceci peut être observé lors du vieillissement ou en présence de pathologies cognitives (Alzheimer, Schizophrénie, etc.) (Chang, Rosene, Killiany, Mangiamele & Luebke, 2005).

1.3.2 Protocoles de stimulations. Afin d'étudier l'excitabilité et l'inhibition corticale, il existe différentes façons pour stimuler le cortex moteur, toujours en utilisant la SMT. En effet, deux grands types de stimulations sont présentes : les « single pulse » (SP) et les « paired pulse » (PP). Le paradigme SP utilise des impulsions uniques et est utile pour étudier la réaction corticale à chaque impulsion. Le paradigme PP utilise deux impulsions en succession très rapprochées dans le temps. Dans ce paradigme, les effets corticaux de la première impulsion (conditioning pulse, subthreshold) peuvent être mesurés par les variations de l'effet de la deuxième impulsion (test pulse, suprathreshold). Les effets des deux impulsions sont strictement dépendants de leurs intensités et de la durée de l'intervalle entre les deux impulsions, appelée « interstimulus interval » et connue sous l'acronyme ISI. L'intensité du conditioning pulse est calculée en pourcentage du AMT et se situe vers le 80-90%, alors que l'intensité du test pulse est calculée en pourcentage du RMT et se situe vers 130-140%. En utilisant le paradigme PP dans la même région corticale, il est possible d'étudier plusieurs circuits : 2 inhibiteurs et 2 excitateurs. « Short-interval intracortical inhibition » (SICI) fait partie de l'un des circuits inhibiteurs qui est possible d'étudier à travers l'utilisation de la SMT (Vahabzadeh-Hagh, 2014).

SICI est pensé être le produit de la réfraction axonale et de l'inhibition à bas seuil médiée par le récepteur GABA A (Ziemann, Lonnecker, Steinhoff & Palaus, 1996). Les récepteurs GABA A sont des canaux ioniques à ligands, post-synaptiques, et sont les principaux neurotransmetteurs inhibiteurs au niveau du système nerveux central (Sieghart, 2014). GABA est considéré comme un inhibiteur étant donné que l'activation de ses récepteurs, localisés après la synapse, provoque l'entrée de ions Cl⁻ dans la cellule postsynaptique et éloigne le potentiel du seuil d'excitabilité en empêchant le déclenchement d'un PA (Davies, 2003). Avec un « conditioning pulse » suivi d'un « test pulse » à un ISI de 1-6 ms, le MEP généré par le « test pulse » est inhibé et ceci est connu sous le nom de SICI (Wagle-Shukla, Ni, Gunraj, Bahl & Chen, 2009). SICI est donc

mesuré comme la réduction relative de l'amplitude des MEPs suite aux « conditioning pulse » (Samusyte, Bostock, Rothwell & Koltzenburg, 2018). SICI est un mécanisme d'inhibition et il est utilisé aussi pour étudier différentes pathologies comme la schizophrénie et la maladie d'Alzheimer (Vahabzadeh-Hagh, 2014).

1.3.3 Influence des émotions sur l'excitabilité/inhibition corticale. Hajcak et al. (2007) affirment que l'excitabilité du cortex moteur est influencée par les souvenirs et les émotions qu'ils rappellent. Au contraire, la vision d'images neutres ne rappelle aucun souvenir aux sujets, ce qui signifie qu'ils ne vont pas avoir d'émotions particulières qui déclencherait un changement dans leur excitabilité corticale. Ces chercheurs ont découvert que l'amplitude des MEPs varie en fonction des stimuli émotionnels : c'est-à-dire que leur amplitude est plus grande quand les participants regardent des images positives ou négatives que quand ils regardent des images neutres. L'excitabilité du cortex moteur est donc influencée par les émotions. Dans cette étude, 16 sujets en condition de repos ont visualisé 6 blocs d'images positives, négatives et neutres. Pendant chaque bloc, 36 stimulations ont été délivrées à l'aide de la SMT et les MEPs du muscle court abducteur du pouce ont été enregistrés à l'aide de l'EMG. En ce qui concerne l'activité de l'EMG avant la stimulation (bEMG), ces chercheurs n'ont trouvé aucune différence en fonction des stimuli émotionnels. Cependant, d'autres chercheurs ont démontré que l'excitabilité corticale est majeure, et que les MEPs sont plus grands, uniquement quand les sujets regardent des images négatives, et qu'il n'y a aucune différence en ce qui concerne la vision d'images positives et neutres (Coelho et al., 2010). Dans cette étude, 10 sujets ont été soumis à la vision d'images positives, négatives et neutres en condition de repos. Pendant l'observation des images, la SMT a été appliquée au cortex moteur droit sur la zone innervant le premier muscle interosseux dorsal de la main gauche. Ces chercheurs affirment que leur découverte est expliquée par le fait que les connexions neuronales des émotions négatives sont plus directes et sélectives aux structures cérébrales qui servent de médiateurs aux réponses motrices. Ensuite, d'autres chercheurs ont affirmé que l'amplitude des MEPs est plus grande quand les sujets regardent des images positives et négatives (comparée aux images neutres) mais que l'amplitude plus grande est présente quand les sujets regardent des images négatives (Van Loon, Van Den Wildenberg, Van Stegeren, Hajcak, & Ridderinkhof, 2010).

Dans toutes ces études, nous pouvons constater que les chercheurs ont étudié l'excitabilité corticale au repos et pas pendant une tâche de force. En outre, il est important de faire une distinction entre excitabilité corticale et activité motrice. Comme nous l'avons vu auparavant, l'excitabilité corticale est la façon dont les cellules nerveuses répondent à un certain stimulus

(Gaggioni et al., 2019). Cependant, l'activité motrice est définie par le dictionnaire *Larousse* comme « l'ensemble des fonctions nerveuses et musculaires permettant les mouvements volontaires ou automatiques du corps ». Les émotions, au travers des souvenirs qu'elles déclenchent, jouent donc un rôle essentiel en ce qui concerne le développement de la force, mais aussi le contrôle moteur et l'excitabilité/inhibition corticale. Cependant, dans la littérature existante, les études qui s'interrogent sur le paramètre SICI (inhibition corticale) en relation avec les émotions et la vision de différents types d'images, sont inexistantes.

1.4 Objectif du travail

La littérature présentée jusqu'à maintenant montre que les émotions, déclenchées grâce à la mémoire, aux souvenirs de certains événements et par l'intermédiaire d'images évocatrices, ont une influence sur le contrôle moteur et l'excitabilité corticale des sujets. Dans cette étude, nous voulons comprendre si la mémoire et les souvenirs d'un événement, ainsi que l'expérience d'un sujet, peuvent modifier de façon significative son contrôle moteur, son excitabilité et son inhibition corticale par rapport à un sujet qui, en voyant la même image, n'active pas de souvenirs. L'objectif de ce travail est donc d'étudier l'influence que différents types d'images (positives, négatives et neutres) relatives à l'escalade ont sur le contrôle moteur, l'excitabilité et l'inhibition corticale. Nous allons comparer un groupe de grimpeurs, auquel les images évocatrices devraient rappeler des souvenirs et donc des émotions, et un groupe de non-grimpeurs qui devrait réagir aux images positives et négatives de la même façon qu'aux images neutres. Le choix des images est donc fondamental étant donné que les sujets vont s'identifier à la situation au travers des images et c'est grâce aux images qu'ils vont avoir des souvenirs et des émotions qui se déclenchent.

Pour répondre à notre question de recherche, nous nous sommes posé les questions suivantes :

- a) Des images négatives, en comparaison avec des images positives, influencent-elles d'une façon différente le contrôle moteur et l'excitabilité/inhibition corticale ?
- b) Des images évocatrices (négatives et positives), en comparaison avec des images neutres, influencent-elles d'une façon différente le contrôle moteur et l'excitabilité/inhibition corticale ?
- c) Les émotions déclenchées par les images, vont-elles avoir une influence différente sur le contrôle moteur et l'excitabilité/inhibition corticale des grimpeurs et des non-grimpeurs ?

2 Méthode

Afin de pouvoir répondre aux questions de départ, une étude en coupe transversale (cross-sectional study) a été menée avec le type de groupe (grimpeur ou non-grimpeur) et la condition (neutre, positive ou négative) comme variables indépendantes.

2.1 Participants

Trente-deux sujets volontaires provenant de Fribourg, de Lausanne, du Valais et du Tessin se sont mis à disposition pour cette étude. Malheureusement, trois volontaires appartenant au groupe de non-grimpeurs n'ont pas été retenus dans nos analyses car ils n'ont pas pu finir la prise de mesures pour différentes raisons. En effet, un sujet femme avait des forts maux de tête suite à la SMT, un sujet homme avait une forte nausée suite à la SMT et un autre sujet homme ne répondait pas assez aux stimulations de la SMT dans la condition au repos. Au final, nous avons pu analyser les données de vingt-neuf sujets d'âge compris entre 20 et 31 ans (moyenne (M) = 25 ; écart type (SD) = 2). Ces vingt-neuf sujets ont été divisés en deux groupes.

Le groupe de grimpeurs était composé de 15 personnes : 5 femmes et 10 hommes. Le groupe de non-grimpeurs était composé de 14 personnes : 5 femmes et 9 hommes. Le *tableau 1* reporte les valeurs anthropométriques des volontaires.

Tableau 1
Valeurs anthropométriques des participants

	Groupe de grimpeurs (15)		Groupe de non-grimpeurs (14)	
	Femmes (5)	Hommes (10)	Femmes (5)	Hommes (9)
	<i>[MIN ; MAX]</i> <i>M ± SD</i>			
Âge (ans)	[23 ; 31] 27 ± 3	[20 ; 29] 24 ± 3	[22 ; 27] 24 ± 2	[22 ; 27] 25 ± 2
Taille (cm)	[162 ; 173] 166 ± 4	[172 ; 195] 182 ± 7	[155 ; 174] 166 ± 8	[179 ; 190] 178 ± 6
Poids (kg)	[53 ; 58] 56 ± 2	[58 ; 84] 74 ± 7	[52 ; 69] 59 ± 8	[67 ; 84] 77 ± 6

Note. MIN = minimum ; MAX = maximum ; M = moyenne ; SD = écart type.

Nous avons choisi d'avoir cette répartition des genres pour essayer d'être le plus représentatifs possible de la population de grimpeurs qui se compose d'un nombre plus élevé d'hommes (Saby, 2019). Pour la répartition des sujets dans les deux groupes, des critères ont été fixés afin de pouvoir bien les différencier. Groupe de grimpeurs : sujets entre 20 et 35 ans qui grimpent, en tête (posant eux-mêmes les protections) et à l'extérieur (ex : en falaise), une cotation d'au moins 6b. Groupe de non-grimpeurs : sujets entre 20 et 35 ans qui n'ont jamais (ou quasi jamais) grimpé à l'extérieur. Nous avons divisé de cette façon les participants parce que les images auxquelles ils ont été soumis étaient des images relatives à l'escalade à l'extérieur (et pas à l'escalade en bloc ni à l'escalade en salle). En effet, comme expliqué par Stein et al. (2019), les différents types d'escalade forment de façon différente les sujets et leurs corps.

Pour des grimpeurs qui pratiquent l'escalade à l'extérieur, des images négatives vont être plus centrées sur des spits rouillés, des cordes en train de se casser etc. À l'inverse, pour les grimpeurs qui pratiquent du bloc, même si ce sont des grimpeurs, des images qui reprennent des spits rouillés vont difficilement susciter des émotions négatives (ex : la peur), étant donné que dans leur type d'escalade ce matériel n'est pas présent. Les images que nous avons soigneusement choisies devraient donc déclencher des souvenirs uniquement chez les sujets appartenant au groupe de grimpeurs.

Le niveau de difficulté choisi (la cotation) a été posée à un 6b à l'extérieur pour être sûr que les sujets qui faisaient partie du groupe de grimpeurs avaient déjà grimpé beaucoup à l'extérieur et étaient donc déjà (sûrement) entrés en contact avec des situations peu agréables que la grimpe peut proposer (comme du matériel en mauvais état, des cordes cassées, des spits rouillés, etc.). Pour faire partie du groupe de non-grimpeurs les sujets devaient n'avoir jamais (ou quasi jamais) grimpé à l'extérieur. De ce fait, la probabilité que les images positives et négatives concernant la grimpe à l'extérieur auraient pu avoir une influence sur leurs perceptions et leurs émotions était très basse (voir quasi nulle).

La tranche d'âge des participants choisis se situait entre 20 et 35 ans pour ne pas avoir une fourchette trop grande et essayer d'avoir plus au moins le même niveau d'expérience parmi les grimpeurs. Les participants ont été recrutés par message au travers de nos connaissances et nous nous sommes basés sur leur niveau d'escalade auto-déclaré (nous n'avons donc pas contrôlé que les grimpeurs pouvaient effectivement grimper au moins un 6b à l'extérieur ni que les non-grimpeurs n'avaient quasi jamais grimpé à l'extérieur). Les participants ont été informés par l'intermédiaire d'un document du déroulement de l'étude, des critères d'exclusion, de leurs droits, etc. Les participants, pour des questions légales, ont dû signer ce document au début de la prise des mesures.

Il leur a été demandé d'éviter des efforts maximaux 24 heures avant la prise des mesures au laboratoire afin d'éviter une fatigue au préalable.

Le temps consacré à chaque sujet était de 60 à 90 minutes tout compris (de l'explication initiale, à la pose des électrodes de l'EMG, aux mesures, avec des pauses entre les séries). Les mesures ont été effectuées uniquement sur une personne à la fois.

2.2 Design de l'étude

Les sujets, divisé en deux groupes, ont effectué une tâche de force tout en regardant des images neutres, positives ou négatives. Pendant ce temps, ils ont été stimulés à travers la SMT en suivant le protocole SICI qui consiste en des stimulations SP et des stimulations PP. Après une série au repos où les sujets visualisaient des images neutres, les participants ont été soumis à la vision de 3 séries d'images d'une durée de 4 minutes chacune. Pendant ces 3 séries les participants devaient effectuer la tâche motrice. Chaque série contenait 2 blocs d'images par condition (neutre, positive ou négative).

2.3 Tâche motrice

Afin de pouvoir étudier l'influence que différentes images relatives à la grimpe ont sur le contrôle moteur, l'excitabilité et l'inhibition corticale, nous avons mis en place un système spécial. Ce système (cf. *figure 3*) est constitué d'une plateforme de soutien pour poser l'avant-bras et d'une poignée qui peut être poussée vers le bas.

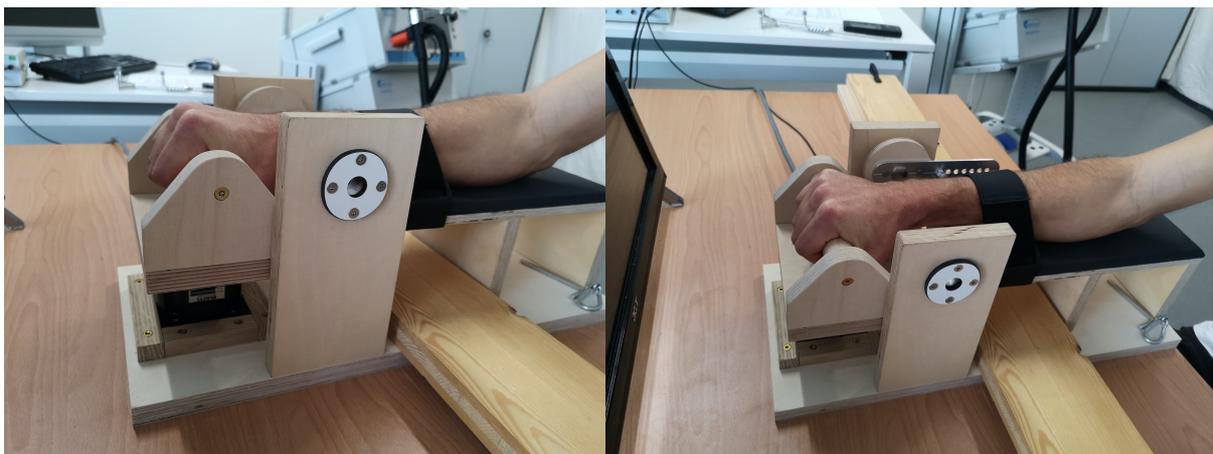


Figure 3. Le système utilisé dans cette étude pour mesurer la force maximale des participants ainsi que leur force exercée pendant la prise des mesures.

Sous cette poignée, nous avons placé une plaque de force (*MC3A-500* avec amplificateur *GEN 5* ; Advanced Mechanical Technology Inc., Watertown, MA, États-Unis) qui enregistre la force qu'un sujet exerce. Étant donné que la plaque de force était placée sous la poignée, le participant devait exercer une pression vers le bas afin d'exercer la pression sur la plaque de force. Le sujet devait donc exercer une flexion du poignet et maintenir cette force (en exerçant une force isométrique) durant le temps prédéfini. La position était fixe.

Tout d'abord, le participant devait s'installer, poser son avant-bras du côté fort sur le système et exercer sa force maximale sur la plaque de force à l'aide de la poignée. Une fois sa force maximale connue, nous avons pu calculer le 10 % de cette force que nous avons ensuite utilisé pendant la prise des mesures. Pour certains sujets nous avons dû adapter cette valeur étant donné que leur avant-bras, au fur et à mesure qu'on avançait dans les analyses, se fatiguait trop.

La tâche motrice, que nous avons évaluée et analysée, consistait à maintenir la force prédéfinie aussi constante que possible à environ 10 % de la MVC testée auparavant. Le feedback donné aux volontaires pour savoir où était situé le 10 % de leur force maximale était un feedback de type auditif. Si le sujet n'exerçait pas assez de pression, le bruit était grave. Si, au contraire, il exerçait trop de pression, le bruit était aigu. Quand le sujet exerçait exactement 10 % de sa force maximale (avec un intervalle de tolérance de plus ou moins 1 %) le sujet n'entendait aucun bruit. L'intervalle de tolérance est une zone qui va plus ou moins du 9 % de la force maximale du sujet jusqu'au 11 %. Dans cette zone de tolérance le sujet n'entendait aucun bruit, c'est-à-dire que tout l'intervalle de cette zone était considéré comme étant correct. Chez les sujets qui avaient une force maximale assez faible, nous avons augmenté l'intervalle de tolérance afin de leur faciliter légèrement la tâche.

2.4 Conditions

Dans cette étude il y avait 3 types de conditions différentes contenant chacune des images. La condition neutre était caractérisée par des images contenant uniquement des couleurs, par image il y avait uniquement une seule couleur. Ce type d'image a été choisi en considérant le fait que des couleurs pleines ne devraient déclencher aucun type d'émotions chez les participants.

En ce qui concerne les images appartenant aux conditions positives et négatives, le choix a été plus difficile à faire étant donné que ces images auraient dû déclencher des émotions uniquement chez les sujets appartenant au groupe de grimpeurs. En ce qui concerne les images positives, elles montraient principalement des personnes heureuses en train de grimper, au sommet d'une voie, des grimpeurs connus, des moments représentant la force dans les bras, etc. (cf. *figure 4*).



Figure 4. Deux exemples d'images appartenant à la condition positive (Ontherock, 2016).

Un possible problème avec ce genre d'images est que l'expression sur le visage des sujets qui étaient en train de grimper aurait pu aussi déclencher des émotions chez les participants du groupe de non-grimpeurs. En ce qui concerne les images appartenant à la condition négative, elles étaient focalisées surtout sur le matériel utilisé dans la grimpe à l'extérieur dans un état pourri (cf. *figure 5*). Par exemple des cordes en train de se casser, des spits verrouillés, des mousquetons cassés, des relais non sécurisés, etc.



Figure 5. Deux exemples d'images appartenant à la condition négative (Gogna, 2015).

Même pour ce groupe d'images, nous n'avons pas pu exclure le fait que ces photos auraient pu déclencher des émotions négatives même chez certains sujets appartenant au groupe de non-grimpeurs.

2.5 Électrophysiologie

Dans notre étude nous avons utilisé plusieurs méthodes afin de pouvoir monitorer ce qui se produit dans les neurones et les fibres musculaires afin d'étudier en particulier l'excitabilité et l'inhibition corticale des sujets, ainsi que les MEPs, le contrôle moteur et la force exercée par chacun d'eux.

2.5.1 Électromyographie de surface (EMG). Pour monitorer les MEPs déclenchées par la SMT, deux électrodes de l'EMG ont été placées sur les sujets. Le PA est monopolaire, mais, en amplification différentielle, il produit un signal bipolaire (EMG) à cause de la prise des mesures dans les deux électrodes. Pour enregistrer le signal EMG il faut positionner une électrode et un capteur. L'électrode sert à monitorer l'activité du muscle concerné et est donc placée en dessus de ce muscle, parallèlement aux fibres musculaires. Le capteur (placé à côté de l'électrode à une distance de 4-5 cm) avec batterie et wireless, mesure l'activité musculaire et a la fonction de filtrer et amplifier le signal. Celui-ci est alors envoyé à la station EMG où il est reconverti en signal analogue. De là, il est envoyé au convertisseur analogue/digital qui est connecté à l'ordinateur. Le signal enregistré est toujours relatif et dépend de nombreux facteurs (placement des électrodes, conductibilité de la peau, etc.). Aucun effet secondaire n'est connu à ce jour. Cependant, cette technique pourrait éventuellement conduire à des irritations cutanées superficielles dans la zone de placement des électrodes. L'EMG, comme mentionné auparavant, sert à monitorer les MEPs suite à la SMT et plus en général l'activité musculaire. Notre signal EMG était filtré à 20-450 Hz et amplifié de 800 fois. Avant de poser les électrodes, nous avons bien préparé la peau. Cela consiste en un rasage de la zone cible (en dessus du muscle fléchisseur radial du carpe), application d'un produit « peeling » et pour finir un nettoyage à l'alcool. La préparation de la peau est fondamentale pour avoir un bon signal EMG (Carson et al., 2016). Toutes les données (EMG et force) ont été récoltées avec une fréquence d'échantillonnage de 4000 Hz et sauvées sur un ordinateur en utilisant des application Python (Version 3.7, Python Software Foundation).

2.5.2 Stimulation magnétique transcrânienne (SMT). Pour étudier l'excitabilité et l'inhibition corticale du sujet, nous avons utilisé la méthode de la SMT. Le stimulateur était du MagPro X100 avec MagOption, MagVenture A/S (Farum, Danemark). La bobine que nous avons utilisée était du type D-B80 Butterfly Coil (diamètre intérieur : 67 mm, diamètre extérieur : 95 mm, angle : 120°). Dans cette étude nous avons donc stimulé le cortex moteur responsable du mouvement de l'avant-bras, et plus particulièrement du muscle fléchisseur radial du carpe. Avant tout, nous avons dû chercher le « hotspot » du sujet (l'endroit qui, stimulé, donne les MEPs avec l'amplitude la plus grande). Pour le reste des mesures, la position de notre bobine par rapport au crâne du sujet a été monitorée par un système de neuro-navigation (TMS Navigator, Version 2.0.5, Localite GmbH, Sankt Augustin, Allemagne ; caméra : Polaris Spectra, Northern Digital Inc., Waterloo, Canada).

Ensuite, nous avons recherché le seuil de repos (RMT) et le seuil actif (AMT). Pour trouver le RMT, en stimulant l'endroit prédéfini (hotspot) nous avons recherché la plus faible intensité de stimulation qui donnait des petits MEPs ($>50 \mu\text{V}$) dans au moins 50 % des cas (cinq MEPs sur dix consécutifs devaient être $>50 \mu\text{V}$; Müller-Dahlhaus et al., 2008).

L'AMT a été calculé pendant la tâche motrice. Le AMT a été calculé comme la plus faible intensité de stimulus qui a obtenu des MEPs $> 100 \mu\text{V}$ dans au moins 50 % des cas (cinq MEPs sur dix consécutifs devaient être $>100 \mu\text{V}$; Müller-Dahlhaus et al., 2008).

Les contre-indications pour l'utilisation de la SMT sont nombreuses : la possession d'un implant cérébral ou cochléaire, la possession d'un pacemaker, des troubles neurologiques ou psychiatriques diagnostiqués, des crises d'épilepsie ou des antécédents familiaux de crises d'épilepsie, ainsi que des lésions cérébrales.

Les effets secondaires de cette méthode sont de possibles maux de têtes passagers dûs à l'activation des muscles du crâne lors des stimulations, ainsi que des douleurs aux muscles du cou.

2.5.3 SICI. Comme déjà expliqué auparavant, SICI est un mécanisme d'inhibition et représente (en pourcentage), la différence entre l'amplitude d'un MEP non conditionnée et celle d'un MEP conditionné. Le protocole SICI que nous avons utilisé pendant la prise de mesures est un protocole très connu pour étudier l'inhibition dans le cortex moteur humain. Ce protocole consiste en des stimulations PP et des stimulations SP qui sont utilisées pour étudier de façon non-invasive l'inhibition corticospinale médiée par les récepteurs de l'acide gamma-aminobutyrique A (GABAA) (Müller-Dahlhaus, Liu & Ziemann, 2008 ; Peurala, Müller-Dahlhaus, Arai & Ziemann, 2008). GABA A est le principal neurotransmetteur inhibiteur du système nerveux central.

Si l'intervalle entre le « conditioning pulse » et le « test pulse », appelé « interstimulus interval » et connu sous l'acronyme ISI, est entre 2 et 4,5 ms, il reflète complètement l'inhibition synaptique médiée par les récepteurs GABAA (Roshan, Paradiso & Chen, 2003). Les récepteurs GABAA sont des canaux à ligands qui interviennent dans la majorité des neurotransmissions rapides et inhibitrices du système nerveux central (SNC) (Fritschy et Panzanelli, 2014). Notre protocole SICI consistait en une stimulation « single pulse » (SP) suivie, après 5 secondes, par une stimulation « paired pulse » (PP) avec un ISI de 2 ms (cf. *figure 6*). La stimulation SP consiste uniquement en une stimulation simple « test pulse », tandis que la stimulation PP consiste en un « conditioning pulse » suivi, après 2 ms, par un « test pulse ».

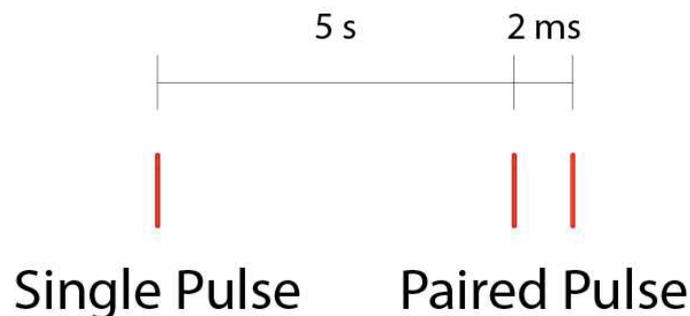


Figure 6. Le protocole SICI utilisé dans cette étude. La stimulation SP, composée par une stimulation test pulse, était suivie, après 5 s, par une stimulation PP composée d'un conditioning pulse et d'un test pulse écartés de 2 ms.

Nous avons testé les bonnes intensités pour le protocole SICI. En d'autres termes, nous avons recherché les intensités correctes pour les « test pulse » et les « conditioning pulse » pour avoir une SICI d'environ 50 % (entre 40 et 60 %). Pendant ce temps, le sujet visualisait des images neutres en même temps qu'il effectuait la tâche motrice.

Ensuite, nous avons utilisé le protocole SICI avec les bonnes intensités personnelles trouvées pour chaque participant d'abord pendant la situation au repos ; le sujet restait au repos avec le

bras et ne devait exercer aucune contraction pendant qu'il visualisait des images neutres. Pendant cette situation, nous avons fait 40 stimulations : 20 SP et 20 PP dont l'ordre était aléatoire. Suite à la situation au repos, le sujet était soumis au protocole SICI pendant qu'il effectuait la tâche motrice et qu'il visualisait 3 séries d'images (cf. *figure 7*) contenant 3 différentes conditions : positives, négatives et neutres. Chaque série durait 4 minutes et était caractérisée par 6 blocs d'images (2 blocs par condition). Dans chaque bloc nous avons fait 8 stimulations (4 SP et 4 PP dont l'ordre était aléatoire) avec au total 48 stimulations (24 SP et 24 PP). Entre chaque série il y avait une pause de 5 minutes pour laisser le sujet se reposer et réduire au maximum l'effet de la fatigue sur le contrôle moteur, l'excitabilité et l'inhibition corticale. Le sujet devait ainsi exercer une force isométrique et, avec l'aide de la SMT, l'EMG et le capteur de force, nous avons pu monitorer son excitabilité corticospinale (MEPs des SP), SICI (inhibition corticale), son activité musculaire, sa force et son contrôle moteur pour comprendre si la vision de différentes images provoquait un changement chez le participant.

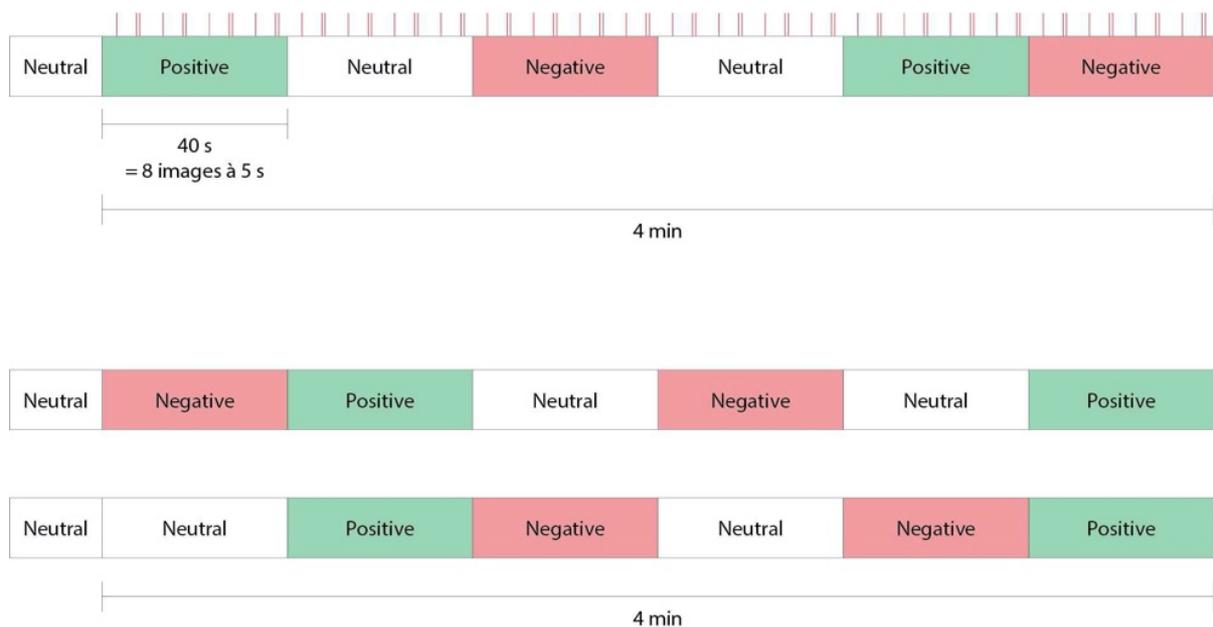


Figure 7. Design de l'étude pour la partie SMT pendant la tâche (quand le sujet doit exercer la contraction équivalente au 10 % de sa force maximale). Les trois différents blocs représentent les 3 différentes séries. Dans chaque série l'enchaînement des différentes conditions change. Uniquement dans la série 1 sont représentées les stimulations du protocole SICI. Cependant, ce protocole est utilisé pendant toutes les séries. Les petits traits rouges représentent les stimulations SP et PP.

2.6 Traitement des données

Pour analyser nos données nous avons créé des scripts avec Matlab (Release 2019b, The Math-Works Inc., Natick, MA, États-Unis). Cela nous a permis d'analyser d'une meilleure façon (plus rapide et en évitant des fautes) les données récoltées pendant la prise des mesures.

En ce qui concerne les paramètres de la SMT, pour tous les MEPs nous avons calculé l'amplitude « peak-to-peak » (=MAX-MIN). Pour chaque condition (repos, tâche avec images neutres, positives et négatives), les deux paramètres suivants ont été calculés : amplitude moyenne des MEPs non conditionnés (SP), qui correspond à l'excitabilité corticospinale, et le paramètre du SICI = $(\text{MEP non conditionné} - \text{MEP conditionné}) / \text{MEP non conditionné} * 100$. La valeur du MEP correspond à son amplitude moyenne.

Pour contrôler, nous avons calculé l'activité de fond (bEMG) avant chaque stimulation. La bEMG correspond à valeur moyenne de l'EMG rectifié dans les 100 ms avant la stimulation. Cela a été fait pour vérifier qu'il n'y avait aucune activité de fond au repos, et que l'activité de fond pendant la tâche était similaire entre SP et PP ainsi qu'entre les 3 conditions.

Pendant la tâche, tous les paramètres ont été calculés dans les 2 s avant une stimulation (donc 3 s après une stimulation), cela afin d'éviter des artefacts provoqués par la stimulation dans le signal. Pour l'EMG, le signal a été rectifié et filtré *low-pass* (3 Hz) pour avoir l'enveloppe du signal. La valeur de l'EMG est donc la valeur moyenne de l'enveloppe pendant les 2 s.

En ce qui concerne la force, le signal de force a été filtré avec un filtre *high-pass* à 100 Hz afin d'éliminer le bruit. La force moyenne (FM) est la moyenne de la force dans les 2 secondes avant la stimulation. Nous avons calculé la FM pour contrôler que le niveau de force ne différait pas entre les conditions. SD 1 est l'écart type du signal de force pendant les 2 s avant la stimulation avec un filtrage *high-pass* de 100 Hz. Le SD1 enlève les très hautes fréquences (les bruits), et mesure la variation du niveau de force en général (indépendamment de la force). Un sujet pourrait donc être à la limite de la zone cible mais rester stable, et il aurait donc une valeur de SD1 petite. Pour SD2 (écart type 2), le signal de force a été filtré une deuxième fois (filtre *low-pass* à 10 Hz) pour éliminer les grandes fluctuations du niveau de force. SD2 a aussi été calculé pendant les 2 s, ce dernier analyse les petites variations par rapport au niveau de force cible. Plus la valeur de SD est élevée, et plus le sujet s'éloigne de la force cible, ce qui signifie qu'il a un plus faible contrôle moteur, un plus faible contrôle de sa force. En effet, la tâche motrice à laquelle étaient soumis les volontaires consistait à maintenir la force prédéfinie aussi constante que possible (à environ 10 % de la MVC testée auparavant). Pour chaque paramètre et chaque sujet, nous avons calculé la moyenne des 20 stimulations/essais par condition. Ces valeurs moyennes ont été utilisées pour les statistiques.

2.7 Analyse statistique

Dans la condition au repos, les paramètres que nous avons analysés sont les MEPs des SP et le SICI. Pour les MEPs nous avons effectué un Mann-Whitney U (version non paramétrique du Student's test) étant donné que les conditions de la variance et de la normalité n'étaient pas respectées. Nous avons voulu voir si le type de groupe a une influence sur l'amplitude des MEPs. Pour l'inhibition corticale (SICI) au repos, nous avons fait un Student's test. Avec ce test nous avons pu découvrir une influence ou non du groupe sur le paramètre SICI au repos.

Dans la condition pendant la tâche, nous avons analysé les MEPs des SP, le SICI, la moyenne de l'activité de l'EMG (EMG M), la FM, le SD1 et le SD 2. Pour ces paramètres, comme analyse statistique nous avons fait des ANOVAs mixed-design étant donné qu'on avait un facteur « between » (les groupes grimpeurs et non-grimpeurs) et un facteur « within » (les trois conditions). Notre but était d'investiguer s'il y avait une différence entre les trois conditions, entre les deux groupes sous une ou plusieurs conditions et aussi s'il y avait une différence entre les trois conditions pour le même groupe.

Afin de voir s'il y avait un lien entre le niveau de force et SD1 (fluctuation de force) nous avons fait une analyse de régression (correlation matrix) entre FM et SD1. Nous nous sommes intéressés à ce lien pour comprendre si le contrôle moteur était influencé par le niveau de force. Nous avons aussi fait des analyses de régression (correlation matrix) entre SD1 et MEPs et entre SD2 et MEPs pour étudier le lien qui existe entre le contrôle moteur et l'excitabilité corticale, et plus en particulier pour voir si une plus grande variabilité dans le contrôle moteur est en lien avec une amplitude majeure des MEPs. Pour faire ces corrélations, nous n'avons pas faite de distinction entre les deux groupes, nous avons pris tous les sujets ensemble.

Avant de commencer avec les tests statistiques, nous avons dû regarder si les données étaient paramétriques ou non afin de savoir quel test il fallait utiliser. Si les données respectent la condition de la normalité (données distribuées normalement autour de la moyenne) et de l'homogénéité des variances (la variance de l'erreur est la même dans les deux groupes) nous pouvons utiliser les tests paramétriques, sinon il faut utiliser les versions non-paramétriques. Pour respecter la condition de la normalité, le test de Shapiro-Wilk doit donner une valeur $> 0,05$. Pour respecter la condition de l'homogénéité des variances, le test de Levene doit donner une valeur $> 0,05$.

Pour le test statistique ANOVA mixed-design il faut aussi tester la sphéricité (Mauchly) pour voir si nous pouvons utiliser la valeur non corrigée du p de l'ANOVA ou si nous devons la corriger.

3 Résultats

3.1 Contrôle moteur et émotions

En ce qui concerne l'EMG M, il était similaire entre les trois conditions et entre les deux groupes (cf. *tableau 2*). En effet, l'analyse statistique ANOVA mixed-design n'a pas donné un résultat significatif ($p > 0,05$). En utilisant la version paramétrique du test (normalité, sphéricité et variance respectaient les conditions), en ce qui concerne l'effet principal de la condition, nous avons obtenu : $F(2,54) = 0,208$, $p = 0,813$, $\eta_p^2 = 0,008$. Les résultats de l'effet principal du groupe : $F(1,27) = 0,00467$, $p = 0,946$, $\eta_p^2 = 0,000$, ainsi que de l'interaction entre la condition et le groupe : $F(2,54) = 1,665$, $p = 0,199$, $\eta_p^2 = 0,058$, n'ont donné aucune différence significative. Cela signifie que le paramètre EMG M n'est pas influencé ni par l'appartenance à un groupe, ni par une des trois conditions.

Pour le groupe de grimpeurs, la FM était similaire dans les trois conditions et plus élevée par rapport aux non-grimpeurs (cf. *tableau 2*). En effet, l'analyse statistique ANOVA mixed-design n'a donné aucun résultat significatif en ce qui concerne l'effet principal de la condition : $F(2,54) = 0,267$, $p = 0,767$, $\eta_p^2 = 0,010$. Les résultats de l'effet principal du groupe : $F(1,27) = 0,278$, $p = 0,602$, $\eta_p^2 = 0,010$, ainsi que de l'interaction entre la condition et le groupe : $F(2,54) = 0,661$, $p = 0,520$, $\eta_p^2 = 0,024$, n'ont donné aucune différence significative. Cela signifie que le niveau de force était le même dans toutes les trois conditions et que notre protocole a donc fonctionné (cf. *figure 8*). Nos résultats montrent aussi que l'appartenance à un groupe n'a pas d'influence sur le niveau de force des sujets.

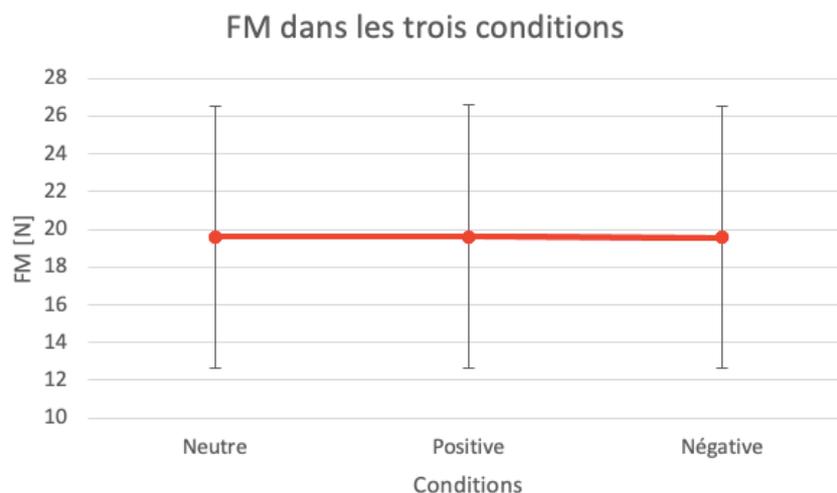


Figure 8. Graphique qui reporte, pour le facteur FM, l'effet principal de la condition. Sur le graphique sont représentés : la valeur moyenne (points) ainsi que l'écart type (traits verticaux) pour les trois conditions (neutre, positive et négative).

Pour analyser les SD1, et les SD2, nous avons dû faire une *log transformation* afin de pouvoir utiliser la version paramétrique de l'ANOVA mixed-design, étant donné que la condition de la normalité n'était pas respectée. Faire une *log transformation* signifie que pour chaque valeur nous avons calculé le logarithme de base 10 et nous avons utilisé ces valeurs pour conduire les analyses statistiques.

Pour les deux groupes, SD1 était le plus élevé pendant la condition négative (cf. *tableau 2* et *figure 10*). En effet, nous avons obtenu le résultat significatif suivant en ce qui concerne l'effet principal de la condition : $F(2,54) = 7,64, p = 0,001, \eta_p^2 = 0,221$. Suite à des post-hoc tests, nous avons obtenu une différence significative entre les conditions neutre-positive ($p = 0,040$) et les conditions neutre-négative ($p < 0,001$) (cf. *figure 9*). Les résultats de l'effet principal du groupe : $F(1,27) = 0,017, p = 0,896, \eta_p^2 = 0,001$, ainsi que de l'interaction entre la condition et le groupe : $F(2,54) = 2,28, p = 0,112, \eta_p^2 = 0,078$, n'ont donné aucune différence significative.

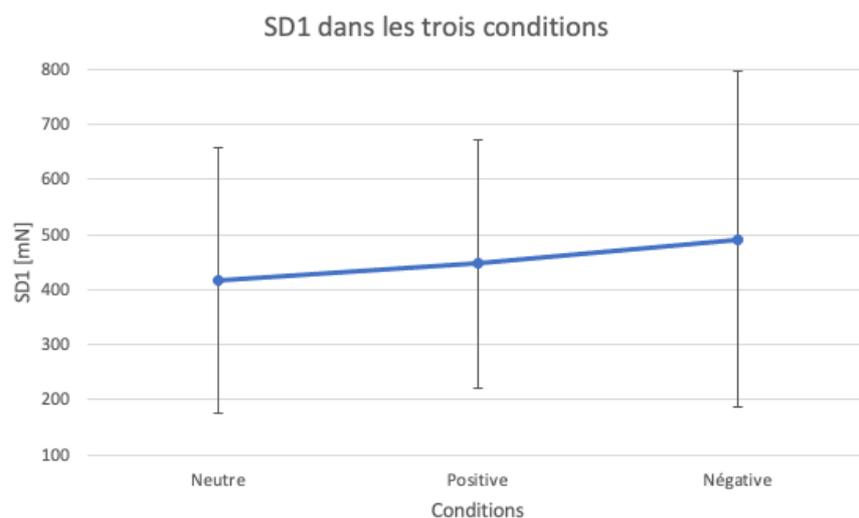


Figure 9. Graphique qui reporte, pour le facteur SD1, l'effet principal de la condition. Sur le graphique sont représentés : la valeur moyenne (points) ainsi que l'écart type (traits verticaux) pour les trois conditions (neutre, positive et négative).

Cependant, étant donné que la valeur p pour l'interaction entre la condition et le groupe était assez proche de 0,05 ($p = 0,112$), nous avons décidé d'analyser de façon séparée les deux groupes dans les trois conditions (étant donné que c'était une des questions de recherche principales). En faisant des ANOVA repeated measures pour chaque groupe séparément, nous avons obtenu d'autres différences significatives. Dans le groupe de non-grimpeurs il y a une différence significative entre les conditions neutre ($M = 369$ mN) et positive ($M = 435,4$ mN) avec un $p = 0,022$, et entre les conditions neutre ($M = 369$ mN) et négative ($M = 450,2$ mN)

avec un $p = 0,019$. Dans le groupe de grimpeurs il y a une différence significative uniquement entre les conditions neutre ($M = 461,6$ mN) et négative ($M = 528$ mN) avec un $p = 0,050$.

La *figure 10* reporte les moyennes et les écarts-types pour le facteur SD 1 dans les deux groupes et les trois conditions.

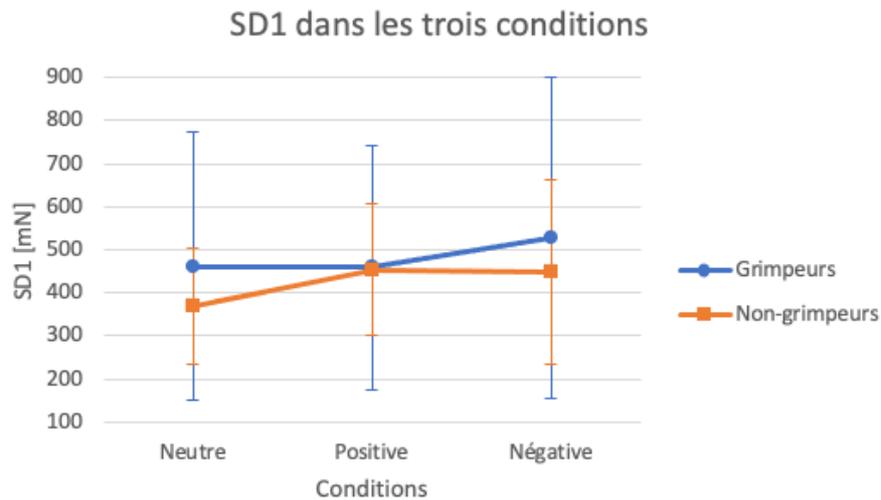


Figure 10. Graphique qui reporte, pour le facteur SD1, la valeur moyenne (points ou carrés) ainsi que l'écart type (traits verticaux) pour les deux groupes (grimpeurs et non-grimpeurs) et les trois conditions (neutre, positive et négative).

Pour les deux groupes, SD2 était le plus élevé sous la condition positive (cf. *tableau 2*). En effet, après avoir éliminé un sujet qui avait des données fausses dans le groupe de grimpeurs, notre analyse statistique a donné le résultat significatif suivant en ce qui concerne l'effet principal de la condition : $F(2,52) = 7,54, p = 0,001, \eta_p^2 = 0,225$. Cela implique qu'il y avait une différence significative entre certaines conditions, mais nous avons dû faire des post-hoc tests pour comprendre où était cette différence. Ces tests ont montré une différence significative entre les conditions neutre et positive ($p < 0,001$) en considérant la p de Tukey (cf. *figure 11*). Les résultats de l'effet principal du groupe : $F(1,26) = 0,119, p = 0,733, \eta_p^2 = 0,005$, ainsi que de l'interaction entre la condition et le groupe : $F(2,52) = 2,60, p = 0,084, \eta_p^2 = 0,091$, n'ont donné aucune différence significative. Cela implique que l'appartenance à un groupe n'a pas d'influence sur le facteur SD2. Cependant, étant donné que la valeur p pour l'interaction entre la condition et le groupe était assez proche de 0,05 ($p = 0,084$), nous avons décidé d'analyser de façon séparée les deux groupes dans les trois conditions. En faisant des ANOVA repeated measures pour chaque groupe séparément, nous avons obtenu d'autres différences significatives.

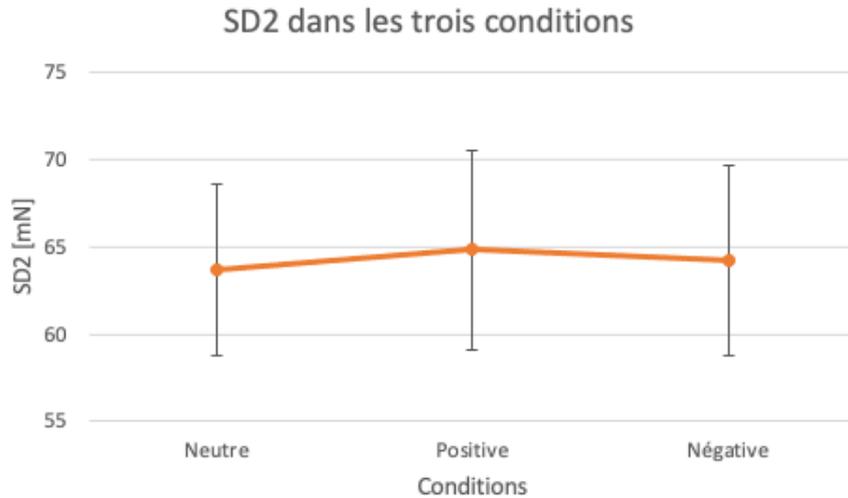


Figure 11. Graphique qui reporte, pour le facteur SD2, l'effet principal de la condition. Sur le graphique sont représentés : la valeur moyenne (points) ainsi que l'écart type (traits verticaux) pour les trois conditions (neutre, positive et négative).

Dans le groupe de non-grimpeurs il y a une différence significative ($p = 0,023$) entre les conditions neutre ($M = 62,89$ mN) et positive ($M = 64,35$ mN). Dans le groupe de grimpeurs il y a des différences significatives entre les conditions neutre ($M = 64,47$ mN) et positive ($M = 65,33$ mN) avec un $p = 0,028$, et entre les conditions positive ($M = 65,33$ mN) et négative ($M = 64,32$ mN) avec un $p = 0,011$.

Le *tableau 2* reporte, pour chaque paramètre de force et du contrôle moteur, ainsi que pour chaque groupe, les moyennes et les écarts types.

Tableau 2

Moyennes et écarts types des paramètres de force et du contrôle moteur pendant la tâche

	Groupe de grimpeurs ($n = 15$)			Groupe de non-grimpeurs ($n = 14$)		
	$M \pm SD$			$M \pm SD$		
	Neutre	Positive	Négative	Neutre	Positive	Négative
EMG M (mV)	0,048 ± 0,021	0,047 ± 0,018	0,048 ± 0,024	0,046 ± 0,017	0,048 ± 0,019	0,047 ± 0,018
FM (N)	20,23 ± 6,91	20,31 ± 6,92	20,26 ± 6,95	18,92 ± 7,14	18,89 ± 7,20	18,86 ± 7,09
SD 1 (mN)	461,6 ± 310,2	458,8 ± 282,0	528,1 ± 374,1	369,0 ± 133,5	435,4 ± 153,0	450,2 ± 214,4
SD 2 (mN)	64,47 ± 7,59	65,33 ± 7,65	64,32 ± 7,24	62,89 ± 6,32	64,35 ± 8,08	64,15 ± 7,95

3.2 Excitabilité/inhibition corticale et émotions

Pour le groupe de grimpeurs, l'inhibition corticale (SICI) au repos, était plus élevée en comparaison au groupe de non-grimpeurs (cf. *tableau 3*). Cependant, l'analyse statistique n'a donné aucune différence significative entre les deux groupes. En effet, le Student's Test : $t(22) = 0,765, p = 0,452$ montre très bien que le résultat n'était pas significatif ($p = 0,452$).

Pour le groupe de non-grimpeurs, l'amplitude des MEPs (excitabilité corticospinale) au repos, était plus élevée par rapport au groupe de grimpeurs (cf. *tableau 3*). Cependant, l'analyse statistique du Mann-Whitney U (version non paramétrique du Student's test, étant donné que les conditions de la variance et de la normalité n'étaient pas respectées) ne montre aucune différence significative pour ce paramètre : $U = 101, p = 0,880$.

Pour analyser les MEPs pendant la tâche nous avons dû faire d'abord une *log transformation* qui consiste en calculer pour chaque valeur le logarithme de base 10 que nous avons ensuite utilisé pour faire les analyses statistiques. Pour le groupe de grimpeurs, l'amplitude des MEPs pendant la tâche, était la plus haute pendant la condition neutre et la plus basse pendant la condition positive, tandis que pour le groupe de non-grimpeurs c'était l'opposé (cf. *tableau 3*). Cependant, l'analyse statistique ANOVA mixed-design paramétrique n'a donné aucune différence significative en ce qui concerne l'effet principal de la condition : $F(2,54) = 0,104, p = 0,901, \eta_p^2 = 0,004$ (cf. *figure 12*). Les résultats de l'effet principal du groupe : $F(1,27) = 0,025, p = 0,875, \eta_p^2 = 0,001$, ainsi que de l'interaction entre la condition et le groupe : $F(2,54) = 0,135, p = 0,874, \eta_p^2 = 0,005$, n'ont donné aucune différence significative.

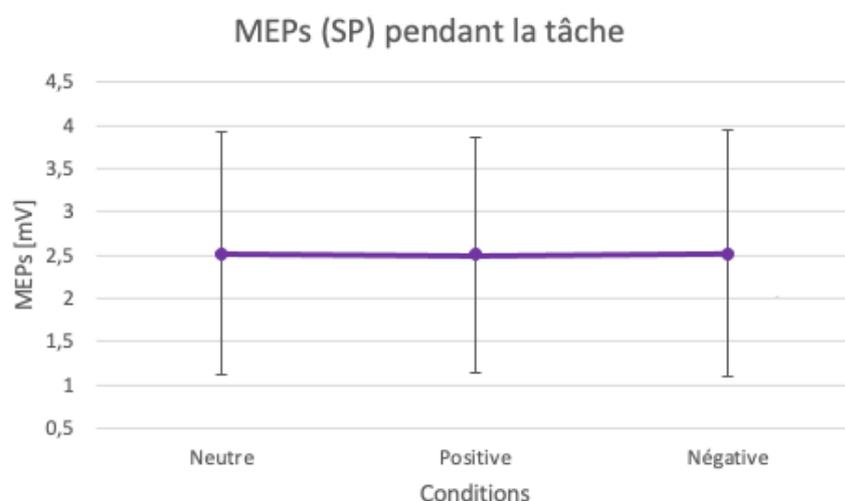


Figure 12. Graphique qui reporte, pour le facteur MEPs (SP) pendant la tâche, l'effet principal de la condition. Sur le graphique sont représentés : la valeur moyenne (points) ainsi que l'écart type (traits verticaux) pour les trois conditions (neutre, positive et négative).

Le *tableau 3* reporte, pour chaque paramètre et pour chaque groupe, les moyennes et les écarts types. Pour certains paramètres, comme par exemple pour l'inhibition corticale (SICI) au repos et pendant la tâche, nous avons dû éliminer plusieurs sujets de l'analyse étant donné que leurs valeurs étaient fausses et qu'elles auraient biaisé les résultats.

Tableau 3

Moyennes et écarts types des paramètres de l'inhibition et de l'excitabilité corticospinale

	Groupe de grimpeurs <i>M ± SD ; (nombre de participants)</i>			Groupe de non-grimpeurs <i>M ± SD ; (nombre de participants)</i>		
Au repos						
MEPs des SP	0,334 ± 0,268 ; (15)			0,512 ± 0,506 ; (14)		
SICI	58,31 ± 18,54 ; (13)			52,19 ± 20,68 ; (11)		
Pendant la tâche						
	Neutre	Positive	Négative	Neutre	Positive	Négative
MEPs des SP	2,55 ± 1,51 ; (15)	2,48 ± 1,36 ; (15)	2,52 ± 1,45 ; (15)	2,48 ± 1,36 ; (14)	2,52 ± 1,42 ; (14)	2,51 ± 1,44 ; (14)
SICI	24,88 ± 11,96 ; (12)	25,99 ± 11,78 ; (12)	21,99 ± 12,37 ; (12)	20,64 ± 8,14 ; (11)	19,27 ± 12,57 ; (11)	23,23 ± 11,15 ; (11)

SICI pendant la tâche, pour le groupe de grimpeurs, était le plus haut dans la condition positive et le plus bas sous la condition négative, tandis que pour le groupe de non-grimpeurs c'était l'opposé (cf. *tableau 3*). Cependant, l'analyse statistique ANOVA mixed-design n'a donné aucune différence significative en ce qui concerne l'effet principal de la condition : $F(2,42) = 0,004, p = 0,996, \eta_p^2 = 0,000$ (cf. *figure 13*). Les résultats de l'effet principal du groupe : $F(1,21) = 0,564, p = 0,461, \eta_p^2 = 0,026$, ainsi que de l'interaction entre la condition et le groupe : $F(2,42) = 2,54, p = 0,088, \eta_p^2 = 0,109$, n'ont donné aucune différence significative. Pour faire cette analyse, nous avons retiré 3 sujets appartenant au groupe de grimpeurs et 3 sujets appartenant au groupe de non-grimpeurs étant donné que leurs données étaient fausses.

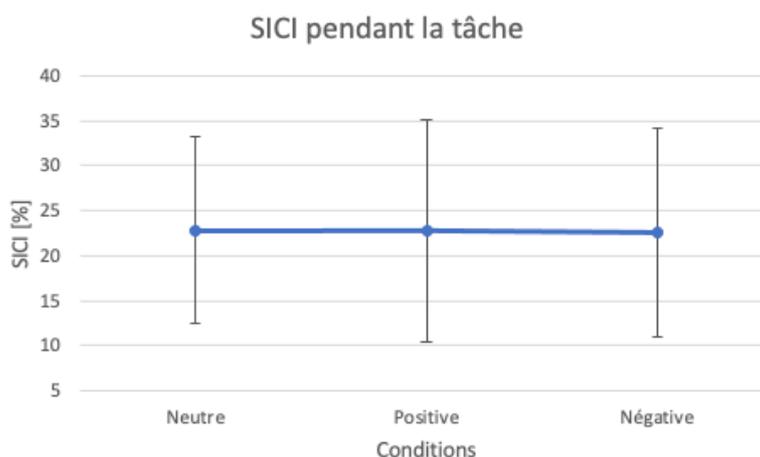


Figure 13. Graphique qui reporte, pour le facteur SICI pendant la tâche, l'effet principal de la condition. Sur le graphique sont représentés : la valeur moyenne (points) ainsi que l'écart type (traits verticaux) pour les trois conditions (neutre, positive et négative). SICI est exprimé en % de la réduction relative de l'amplitude des MEPs suite aux « conditioning pulse ».

3.3 Corrélations

Nous avons fait une analyse de corrélation entre la FM des sujets (moyenne sur les trois conditions) et le SD1 (moyenne sur les trois conditions) pour voir s'il y avait un lien entre le niveau de force des sujets et la façon dont ils parviennent à contrôler leur force. Étant donné que la condition de la normalité n'était pas respectée ($p < 0,05$), nous avons utilisé le rho de Spearman et pas le r de Pearson. Le rho de Spearman était de 0,548, ce qui indique une relation positive moyenne (entre 0,5 et 0,7). Cette relation est significative ($p = 0,001$). Nous pouvons donc dire qu'il existe une relation positive moyenne entre SD1 et la force moyenne. Si nous prenons les 3 conditions séparément, la seule condition qui a donné une corrélation positive est la condition neutre (rho de Spearman = 0,574, $p < 0,001$).

Plus de variabilité dans les mouvements implique une amplitude des MEPs plus grande. En effet, nous avons trouvé une corrélation moyenne positive entre SD1 et MEPs pendant la tâche (rho de Spearman = 0,511, $p < 0,003$). Si nous prenons les trois conditions séparément : la condition neutre a donné un rho de Spearman = 0,650, $p < 0,001$ et la condition positive a donné un rho de Spearman = 0,505, $p < 0,003$. En ce qui concerne le lien entre SD2 et MEPs pendant la tâche (rho de Spearman = 0,653, $p < 0,001$), nous avons aussi trouvé une corrélation moyenne positive. Si nous prenons les trois conditions séparément : la condition négative a donné un rho de Spearman = 0,650, $p < 0,001$, la condition positive a donné un rho de Spearman = 0,653, $p < 0,001$ et la condition neutre a donné un rho de Spearman = 0,684, $p < 0,001$. Toutes ces corrélations sont liées. En effet, plus le niveau de force chez un sujet est élevé, plus sa variabilité augmente et plus l'amplitude des MEPs augmente (surtout pour SD1 dans la condition neutre).

4 Discussion

4.1 Contrôle moteur et émotions

Beaucoup de chercheurs (Coombes et al., 2005 ; Hardy & Hutchinson, 2007 ; Schmidt et al., 2009) ont démontré que des images évocatrices (positives et négatives) entraînent un développement majeur de la force. Coombes et al. (2008) ont découvert que pour une tâche à 10 % de la MVC du sujet, la production de force n'était pas influencée par les états émotionnels. Dans notre étude nous avons en effet trouvé aucune différence significative. Notre résultat montre que, ni le groupe (grimpeurs, non-grimpeurs) ni les conditions (neutre, positive, négative) n'ont une influence sur le développement de la force moyenne chez les sujets à 10 % de leur MVC. En d'autres termes, dans notre étude, la force des sujets des deux groupes n'a pas varié de façon significative pendant les différentes conditions. La tâche demandée aux sujets était de maintenir le niveau de force constant (ce que nous avons contrôlé avec le feedback auditif). Ce résultat est celui que nous espérions obtenir : aucune différence dans le développement de la force sous les trois différentes conditions et dans les deux groupes.

Notre analyse statistique de l'EMG M n'a pas donné un résultat significatif. Cela signifie que ni la condition ni le groupe n'ont une influence sur l'activité musculaire moyenne. Ce qui est normal, étant donné que le niveau de force ne variait pas pendant les trois conditions. Ce résultat nous montre aussi que l'efficacité de leur mouvement n'a pas changé entre les conditions étant donné qu'il y avait la même activité musculaire pour la même force.

Comme démontré par Pijpers et al. (2005), Nieuwenhuys et al. (2008), et par Green et al. (2014), il y a une forte relation négative entre les émotions et le contrôle moteur. Plus la peur chez un sujet augmente, plus son efficacité dans la grimpe diminue. Dans notre étude, nous avons effectivement trouvé des différences en ce qui concerne le contrôle moteur, représenté par SD1 et SD 2, et les états émotionnels (déclenchés au travers des différents types d'images dans les différentes conditions).

En effet, en ce qui concerne le SD1, qui représente les grandes fluctuations de force du sujet par rapport au niveau de force préétabli, il y avait des différences significatives entre les conditions neutres-positives et neutres-négatives. En effet, dans les conditions positives ($M = 447,47$ mN) et négatives ($M = 490,49$ mN) les sujets ont moins bien contrôlé leur force (la position était fixe) par rapport à la condition neutre ($M = 416,90$ mN). Pendant les conditions qui consistaient en la visualisation des images évocatrices les sujets avaient un contrôle mineur, plus mauvais, de leur force. Les émotions (qu'elles soient positives ou négatives) ont un impact sur le contrôle moteur des sujets. La condition négative est celle dans laquelle les participants ont

le moins bien réussi à contrôler leur force. Ceci va dans la même direction que l'étude de Green et al. (2014) qui affirme que plus la peur augmente, plus l'efficacité dans la grimpe diminue. Une efficacité moindre dans la grimpe peut être traduite par un contrôle moteur plus faible. La peur, déclenchée au travers des images négatives, a un impact négatif sur le contrôle moteur. Comme déjà expliqué auparavant, même si les analyses statistiques n'ont donné aucun effet de groupe, nous avons analysé séparément l'influence des images dans les deux groupes. Si nous allons donc plus dans les détails, ce qui est intéressant à analyser est le fait que dans le groupe de non-grimpeurs, il y a une différence significative entre les conditions neutres-positives ($p = 0,022$) et neutres-négatives ($p = 0,019$). Cela pourrait être expliqué par le fait que chez les non-grimpeurs, il y a un changement émotionnel entre les conditions positives ($M = 435,40$ mN) et négatives ($M = 450,19$ mN) par rapport à la condition neutre ($M = 368,98$ mN) mais il n'y a aucun changement émotif entre les conditions positives et négatives. Les non-grimpeurs contrôlent en effet mieux leur force sous la condition neutre que les autres conditions. Dans le groupe de grimpeurs, il y a des différences significatives uniquement entre les conditions neutres-négatives ($p = 0,050$). Cela pourrait être expliqué par le fait que les grimpeurs, suite aux images négatives ($M = 528,10$ mN), ont des émotions comme la peur qui se déclenchent. En effet, le groupe de grimpeurs arrive moins bien à contrôler sa force (il y a un écart plus grand par rapport à la force préétablie, une valeur de SD1 plus élevée) uniquement dans la condition négative. Leur contrôle de la force pendant la condition neutre ($M = 461,62$ mN) et positive ($M = 458,75$ mN) est très similaire. Cela pourrait être expliqué par le fait que la peur est uniquement présente lors des images négatives et que les images positives n'ont pas un vrai impact sur le contrôle moteur des grimpeurs. Les différences présentes dans les deux groupes montrent que les images ont un impact différent dans les deux groupes. Les non-grimpeurs perçoivent d'une façon similaire les images positives et négatives, et les distinguent uniquement des images neutres. Les grimpeurs perçoivent d'une façon similaire les images neutres et positives, et les distinguent uniquement des images négatives. Cependant, dans les deux groupes, la condition négative est celle qui était la moins bien contrôlée en SD1.

En ce qui concerne SD2, qui prend en considération les petites oscillations du sujet par rapport au niveau de force cible, il y avait une différence significative uniquement entre les conditions neutre et positive ($p < 0,001$). Ceci pourrait être lié au fait que lors d'un changement émotionnel, les sujets modifient leur contrôle moteur d'une façon plus subtile (et moins grossière) face aux images positives par rapport aux images négatives. En d'autres termes, des images positives, mêmes si provoquent un changement émotionnel, modifient moins le contrôle moteur comparées aux images négatives, où les émotions provoquent une grande variation du contrôle moteur.

En effet, en considérant SD2, les sujets ont une différence significative lors des petites variations uniquement entre les conditions neutres et positives, en contrôlant moins bien la condition positive ($M = 64,84$ mN) par rapport au neutre ($M = 63,69$ mN). Il n'y a pas des différences significatives entre les conditions neutres et négatives ($M = 64,23$ mN). Si nous allons plus dans les détails (comme nous avons fait avec SD1), dans le groupe de non-grimpeurs il y a une différence significative entre les conditions neutres-positives ($p = 0,023$). Les non-grimpeurs contrôlent moins bien leur force pendant la condition positive ($M = 64,35$ mN) par rapport à la situation neutre ($M = 62,89$ mN). Ceci respecte ce que nous avons dit auparavant pour le SD2 et les différences dans les conditions en général. Dans le groupe de grimpeurs il y a des différences significatives entre les conditions neutres-positives ($p = 0,028$) et positives-négatives ($p = 0,011$). Dans la condition positive ($M = 65,33$ mN) les grimpeurs répondent d'une façon différente par rapport aux conditions neutres ($M = 64,47$ mN) et négatives ($M = 64,32$ mN). Cela signifie que pendant la condition positive, chez les grimpeurs il y a un changement émotionnel (lié au bonheur) qui leur fait modifier le contrôle moteur mais qui leur permet également de bien contrôler la tâche motrice, ainsi que leur force. Les différences présentes dans les deux groupes montrent que les images ont un impact différent dans les deux groupes. Cependant, dans les deux groupes, la condition positive est celle qui était le moins bien contrôlée en SD2. Si nous prenons SD1 et SD2 ensemble, les deux montrent que les sujets en général (sans aucune distinction entre grimpeurs et non-grimpeurs) arrivent à mieux contrôler la force de leur bras, et donc à avoir un meilleur contrôle moteur, pendant la condition neutre, donc pendant une condition qui est privée de retours émotionnels. Les images évocatrices influencent donc le contrôle moteur d'une façon différente par rapport aux images neutres. Ces découvertes vont aussi dans la même direction que celles de Coombes et al. (2011). Ces chercheurs ont découvert que dans une tâche où le participant doit exercer toujours la même force (comme c'est le cas dans notre étude), l'activité de son cerveau augmente (dans le cortex préfrontal dorsomédial et le cortex prémoteur ventral gauche) quand le sujet regarde des images évocatrices (positives et négatives) par rapport à des images neutres. Une augmentation de l'activité du cerveau pourrait donc être traduite par une augmentation du mouvement (que dans notre étude serait traduite par un contrôle moteur moindre). Dans notre étude, SD1 était le plus grand sous la condition négative et SD2 était le plus grand sous la condition positive. En considérant les découvertes de Coombes et al. (2011), nous pourrions interpréter cela comme le fait que pendant les conditions qui présentent des images évocatrices, il y a augmentation du mouvement (due à une augmentation de l'activité du cerveau).

Les images positives déclenchent un changement dans le contrôle moteur du sujet mais ce changement est plus fin, plus contrôlable, par rapport au changement qui est amené par les images négatives. En effet, en analysant le SD 1, qui captait les grandes oscillations de la force par rapport à la force cible, il y a eu des différences significatives entre les conditions neutre-positive et neutre-négative. Cependant, la condition négative était celle dans laquelle le contrôle moteur était le moins bon. En analysant le SD 2, qui captait uniquement les petites variations par rapport à la force cible, la seule différence significative était celle entre les conditions neutre-positive. La condition positive était celle dans laquelle le contrôle moteur était le moins bon. Cela nous montre que les images positives influencent aussi le contrôle moteur mais d'une façon plus fine et subtile par rapport aux images négatives. La condition négative est celle où les participants ont eu un mauvais contrôle moteur. Comme expliqué par Coombes et al. (2008), une fonction primaire des émotions est celle de la préparation aux actions motrices. Des émotions positives permettent donc de mieux pouvoir contrôler l'acte moteur par rapport aux images négatives qui déclenchent de la peur.

La physiologie de l'évolution nous apprend que dans une situation dangereuse, il est important que le corps soit prêt à réagir. La réponse de combat ou de fuite (*fight-or-flight response*) est une réaction physiologique innée découverte en 1929. Cette réponse, qui se produit quand l'organisme se sent en danger, inclut une série de mécanismes neuronaux et physiologiques qui activent rapidement le corps en le rendant prêt à combattre ou à fuir. Dans le cas d'une peur, ces réponses physiologiques sont activées quand l'individu est exposé à un stimulus qui lui fait peur. Cette réponse physiologique inclut, par exemple, une libération majeure des hormones de stress comme l'adrénaline et le cortisol (Milosevic & McCabe, 2015).

Dans une situation dangereuse, une production de force serait donc plus importante qu'une bonne motricité fine. Pendant la condition négative, celle dans laquelle les participants pourraient se sentir en danger, nos résultats montrent une plus grande variabilité de force et un mauvais contrôle moteur.

Une autre raison pour laquelle, pendant les conditions positives et négatives, les volontaires, en général, ont réussi à moins bien contrôler leur force, pourrait être aussi liée au fait que pendant ces moments, les sujets se concentraient plus sur l'image (positive ou négative) et moins sur essayer de garder la bonne force. En effet, pendant la vision d'images neutres, les sujets avaient plus de temps pour penser à garder la force correcte étant donné que les images étaient composées uniquement par des couleurs. Cependant, pendant la vision d'images positives et négatives, où il y avait une action, les sujets pouvaient mieux se concentrer sur cette dernière et moins sur la tâche motrice de force.

Pour répondre à nos questions de départ, le type d'image a une influence sur le contrôle moteur des sujets mais l'appartenance à un groupe (grimpeurs/non-grimpeurs) n'en a aucune. Ceci pourrait être expliqué par le choix des images et par le fait que les sujets n'étaient pas en train de faire un vrai mouvement de grimpe. Tous les sujets ont moins bien contrôlé les conditions positives et négatives par rapport à la condition neutre, qui était celle dans laquelle les sujets y arrivaient le mieux. Cependant, la condition positive, comparée à celle négative, entraîne des changements plus faibles dans le contrôle moteur. La condition négative était celle où les participants ont eu le plus de peine à contrôler leur force.

4.2 Excitabilité/inhibition corticale et émotions

Hajcak et al. (2007) ont découvert que l'amplitude des MEPs était plus grande quand les participants regardaient des images positives ou négatives par rapport à quand ils regardaient des images neutres. Cependant, dans notre étude nous n'avons pas pu confirmer cette affirmation. En effet, notre résultat a montré que l'amplitude des MEPs des SP pendant la tâche entre les trois conditions (neutre, positive et négative) et entre les deux groupes n'a aucune différence significative. Cela signifie que l'ampleur des MEPs n'était pas significativement liée ni au groupe ni à une des trois conditions.

Coelho et al. (2010) ont démontré que l'excitabilité corticale est majeure, et que les MEPs sont plus grands, uniquement quand les sujets regardent des images négatives, et qu'il n'y a aucune différence en ce qui concerne la vision d'images positives et neutres. Nos résultats montrent que l'excitabilité corticale n'était influencée ni par l'appartenance à un groupe ni par l'exposition à un type particulier d'image (neutre, positive ou négative). L'amplitude des MEPs (excitabilité corticospinale) au repos n'a pas donné un résultat significatif, $U = 101, p = 0,880$. Cela signifie que l'amplitude des MEPs au repos ne dépend pas de l'appartenance des sujets à un certain groupe. Nous ne pouvons donc pas confirmer les résultats de ces chercheurs étant donné que notre étude n'a pas montré une influence des émotions sur ce facteur.

En ce qui concerne l'inhibition corticale (SICI) aucune étude ne s'était penchée sur le lien qui existe entre cette dernière et la vision d'images neutres, positives et négatives. De ce fait nous ne pouvons pas nous comparer aux autres. Dans notre étude nous avons analysé SICI au repos et pendant la tâche. Cependant, aucune différence significative n'a été trouvée. Au repos, le groupe (grimpeurs/non-grimpeurs) n'a pas d'influence sur l'inhibition corticale des sujets au repos. En ce qui concerne le résultat pendant la tâche, il montre aussi qu'il n'y a aucune différence significative pour ce facteur entre les trois conditions ($p > 0,05$). Cela signifie que

l'inhibition corticale n'est influencée ni par l'appartenance à un groupe ni par l'exposition à un type particulier d'image (neutre, positive ou négative).

En réponse à nos questions de départ, des images positives n'influencent pas de façon différente l'excitabilité corticale et l'inhibition intracorticale par rapport aux images négatives ou neutres. Le type d'image n'a donc donné aucune différence significative sur l'excitabilité et l'inhibition corticale. En plus, l'appartenance à un groupe (grimpeurs/non-grimpeurs) n'a pas non plus d'influence sur l'excitabilité (MEPs) et l'inhibition corticale (SICI) des sujets.

4.3 Corrélations

En étudiant le lien entre la force moyenne des sujets et leur contrôle moteur, notre analyse de corrélation entre la force moyenne des sujets (moyenne sur les trois conditions) et le SD 1 (moyenne sur les trois conditions) a donné un résultat de 0,548, ce qui indique une relation positive moyenne. Cette relation est significative ($p = 0,001$). C'est-à-dire que plus la force moyenne d'un sujet augmente et plus son SD1 augmente, donc plus sa force augmente et plus le sujet a de la peine à garder la même force avec son bras, et plus il fait de grands mouvements autour de la force cible. Si nous prenons les 3 conditions de façon séparées, la seule condition qui donne une corrélation positive est la condition neutre (rho de Spearman = 0,574, $p < 0,001$). C'est-à-dire que pendant la visualisation d'images neutres, plus la force d'un participant était élevée et plus son SD1 était élevé. Ceci pourrait être interprété comme le fait que, pendant les conditions positives et négatives, la force des participants n'a pas d'influence sur leur contrôle moteur. Cependant, pendant la condition neutre, plus la force des volontaires augmentait, plus leur SD1 augmentait et moins ils arrivaient à contrôler leur force. Ceci implique le fait qu'il n'y ait pas de variabilité de force pendant la visualisation d'images évocatrices, comme l'ont démontré les études de Coombes et al. (2005) et de Coombes et al. (2008).

De plus, la motivation, comme expliqué par Coombes et al. (2008), influence l'acte moteur. Quand un sujet voit des images évocatrices (positives et négatives) il est plus motivé à accomplir la tâche motrice par rapport à la visualisation unique des images neutres. Cela, pourrait sembler aller contre les résultats trouvés auparavant en ce qui concerne le contrôle moteur et les émotions. Cependant, cela n'est pas le cas. En effet, avec cette corrélation nous pouvons montrer qu'uniquement dans la condition neutre la force moyenne peut influencer sur le SD1. Dans les autres conditions (positives et négatives), le contrôle moteur n'est pas influencé par la force moyenne des sujets, mais par leurs vraies émotions et leurs souvenirs.

Les autres corrélations significatives que nous avons trouvés dans notre étude sont entre SD1 et MEPs (rho de Spearman = 0,511, $p < 0,003$) et entre SD2 et MEPs (rho de Spearman = 0,653,

$p < 0,001$). C'est-à-dire que plus les écarts types augmentent chez un sujet, plus son contrôle moteur est en baisse, et plus son excitabilité corticale augmente. Comme expliqué par Coelho et al. (2010), il est très important de faire une distinction entre excitabilité corticale et activité motrice. En effet, comme montré par nos corrélations, ces deux facteurs sont très distinguables.

4.4 Limitations

Le fait de ne pas avoir pu confirmer des résultats précédemment obtenus par d'autres chercheurs, n'est pas lié à la taille de l'échantillon. En effet, beaucoup d'autres études qui ont trouvé des résultats significatifs avaient une taille de l'échantillon plus petite. Par contre, cela pourrait être lié au choix des images. Les images, qui ont acquis une partie centrale dans notre étude, auraient pu être testées auparavant de façon singulière pour vérifier qu'elles soient vraiment évocatrices uniquement pour les sujets appartenant au groupe de grimpeurs. De plus, les images positives, qui représentaient surtout des visages exprimant la joie et le bonheur, auraient pu être plus représentatives comparées aux images négatives même pour les sujets du groupe de non-grimpeurs. En effet, les images négatives ne comprenaient pas d'expression du visage mais uniquement du matériel en mauvais état. Pour des prochaines études, il serait intéressant de remplacer les images avec des vidéos, pour permettre aux participants de s'immerger plus dans la situation. En effet, une autre limitation demeure dans le fait que les sujets n'étaient pas dans des vraies conditions de grimpe et donc il est possible qu'ils n'aient pas pu vraiment s'identifier à la situation. D'autre part, la tâche motrice sur laquelle les sujets ont été analysés ne correspondait pas parfaitement à un mouvement de grimpe. Cela pourrait expliquer le fait que nous n'avons pas trouvé une différence entre les deux groupes. En outre, des études ultérieures sont nécessaires afin de s'interroger sur la relation qui existe entre l'inhibition corticale (SICI) et la visualisation de différents types d'images et donc les émotions, vu que à ce jour, aucune autre étude n'a encore été réalisée.

5 Conclusion

Notre étude a jeté de la lumière sur plusieurs aspects du contrôle moteur, de l'excitabilité et l'inhibition corticale. Son but était de comprendre dans quelle mesure les émotions, déclenchées au travers de la mémoire par l'intermédiaire de différents types d'images, avaient une influence sur le contrôle moteur, l'excitabilité et l'inhibition corticospinale. Nos questions nous ont aidés pour mettre en place notre étude et la méthode avec laquelle nous avons pu tester nos hypothèses de départ.

En ce qui concerne l'excitabilité corticale, notre étude n'a pas pu confirmer les découvertes faites jusqu'à présent qui témoignent une amplitude majeure des MEPs dans certaines conditions (négative vs. positive et neutre ; négative et positive vs. neutre). En effet, dans notre étude aucune différence significative n'a été trouvée entre les trois conditions (neutre, positive, négative) ni entre les deux groupes. En ce qui concerne l'influence de différents types d'images sur l'inhibition corticale (SICI), d'autres études doivent être conduites afin de comprendre s'il existe ou non un lien entre ces deux paramètres. Cependant, dans notre recherche nous n'avons trouvé aucune différence significative.

En ce qui concerne le contrôle moteur, notre étude a montré des résultats significatifs. En effet, comme montré par Pijpers et al. (2005), Nieuwenhuys et al. (2008), et par Green et al. (2014), il y a une forte relation négative entre les émotions et le contrôle moteur. Nos résultats ont montré que les valeurs de SD1 sont significativement plus élevées dans la condition négative, ce qui implique un contrôle moteur plus faible, un contrôle mineur de la force. En ce qui concerne SD2, la condition plus difficile à contrôler était celle positive. En effet, plus les valeurs des deux écarts-types sont élevées, et plus cela signifie que les sujets ont davantage de difficulté à contrôler leur niveau de force. En ce qui concerne les différences entre les deux groupes, nous avons trouvé aucun effet significatif de groupe sous les trois conditions. Cependant, en analysant les deux groupes séparément, nous pouvons voir qu'il y a des différences, mais SD1 était le plus élevé lors de la condition négative et SD2 était le plus élevé pendant la condition positive chez les deux groupes. Les images négatives influencent le contrôle moteur d'une façon plus grossière par rapport aux images positives. Les images évocatrices en général (comparées aux images neutres) influencent négativement le contrôle moteur. Une corrélation positive entre le développement de la force et SD1 a été trouvée pendant la condition neutre. Ce résultat nous montre qu'uniquement pendant la visualisation d'images neutres la force moyenne du sujet a une influence sur son contrôle moteur. En effet, pendant les deux autres conditions (positives et négatives), la FM des volontaires n'a aucune influence sur leur contrôle moteur.

Bibliographie

- Aaurashi, K. (2020). Action Potential—The Resting Membrane Potential—Generation of Action Potentials. *TeachMePhysiology*. Accès à l'adresse <https://teachmephysiology.com/nervous-system/synapses/action-potential/>
- Balboni, N. (2017). L'arrampicata : tipologie e attrezzatura. Accès à l'adresse <https://blog.iafstore.com/it/l-arrampicata-tipologie-e-attrezzatura-a509>
- Ballenberger, T. (2020). La guida a tutti i tipi di scalata e come affrontarli. Accès à l'adresse <https://www.redbull.com/it-it/guida-su-diverse-tipologie-di-arrampicata>
- Bouyer, L. J. (2011). Chapter 8-challenging the adaptive capacity of rhythmic movement control: from denervation to force field adaptation. *Progress in brain research*, 188, 119–134. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53825-3.00013-9>
- Carson, R. G., Ruddy, K. L., & McNickle, E. (2016). What Do TMS-Evoked Motor Potentials Tell Us About Motor Learning? *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 957, 143-157. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47313-0_8
- Chang, Y.M., Rosene, D.L., Killiany, R.J., Mangiamele, L.A. & Luebke, J.I. (2005). Increased action potential firing rates of layer 2/3 pyramidal cells in the prefrontal cortex are significantly related to cognitive performance in aged monkeys. *Cereb. Cortex.*, 15, 409-418.
- Coelho, C. M., Lipp, O. V., Marinovic, W., Wallis, G., & Riek, S. (2010). Increased corticospinal excitability induced by unpleasant visual stimuli. *Neuroscience Letters*, 481(3), 135-138. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2010.03.027>
- Coombes, S. A., Cauraugh, J. H., & Janelle, C. M. (2005). Emotion and movement : Activation of defensive circuitry alters the magnitude of a sustained muscle contraction. *Neuroscience Letters*, 396(3), 192-196. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.11.048>
- Coombes, S. A., Cauraugh, J. H., & Janelle, C. M. (2008). Dissociating motivational direction and affective valence : Specific emotions alter central motor processes. *Psychological Science*, 18(11), 938-942. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.02005.x>
- Coombes, S. A., Corcos, D. M., Pavuluri, M. N., & Vaillancourt, D. E. (2011). Maintaining force control despite changes in emotional context engages dorsomedial prefrontal and premotor cortex. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 22(3), 616-627. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr141>

- Coombes, S. A., Gamble, K. M., Cauraugh, J. H., & Janelle, C. M. (2008). Emotional states alter force control during a feedback occluded motor task. *Emotion (Washington, D.C.)*, 8(1), 104-113. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.8.1.104>
- Coombes, S. A., Higgins, T., Gamble, K. M., Cauraugh, J. H., & Janelle, C. M. (2009). Attentional control theory : Anxiety, emotion, and motor planning. *Journal of Anxiety Disorders*, 23(8), 1072-1079. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2009.07.009>
- Davies, M. (2003). The role of GABAA receptors in mediating the effects of alcohol in the central nervous system. *J Psychiatry Neurosci*, 28(4), 263-274.
- Eccles, D. W., Ward, P., Woodman, T., Janelle, C. M., Le Scanff, C., Ehrlinger, J., Castanier, C., & Coombes, S. A. (2011). Where's the emotion? How sport psychology can inform research on emotion in human factors. *Human Factors*, 53(2), 180-202. <https://doi.org/10.1177/0018720811403731>
- Ecuyer, A. (2020). Boom de l'escalade : les dangers qui guettent les grimpeurs. Accès à l'adresse <https://webspecial.24heures.ch/longform/boom-de-lescalade-dangers-guettent-grimpeurs/boom-de-lescalade-dangers-guettent-grimpeurs/>
- Fritschy, J.-M., & Panzanelli, P. (2014). GABAA receptors and plasticity of inhibitory neurotransmission in the central nervous system. *The European Journal of Neuroscience*, 39(11), 1845-1865. <https://doi.org/10.1111/ejn.12534>
- Gaggioni, G., Ly, J. Q. M., Muto, V., Chellappa, S. L., Jaspar, M., Meyer, C., Delfosse, ... Vandewalle, G. (2019). Age-related decrease in cortical excitability circadian variations during sleep loss and its links with cognition. *Neurobiology of Aging*, 78, 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2019.02.004>
- Green, A. L., Draper, N., & Helton, W. S. (2014). The impact of fear words in a secondary task on complex motor performance : A dual-task climbing study. *Psychological Research*, 78(4), 557-565. <https://doi.org/10.1007/s00426-013-0506-8>
- Grimshaw, P., Burden, A., & Crétual, A. (2016). *Biomécanique du sport et de l'exercice*. De BoeckSupérieur.
- Gogna, A. (2015). Amore per l'imprevisto. Accès à l'adresse <https://www.alessandro-gogna.com/tag/editoriale/page/3/>
- Hajcak, G., Molnar, C., George, M. S., Bolger, K., Koola, J., & Nahas, Z. (2007). Emotion facilitates action : A transcranial magnetic stimulation study of motor cortex excitability during picture viewing. *Psychophysiology*, 44(1), 91-97. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00487.x>

- Hamann, S. B., Ely, T. D., Grafton, S. T., & Kilts, C. D. (1999). Amygdala activity related to enhanced memory for pleasant and aversive stimuli. *Nature Neuroscience*, 2(3), 289-293. <https://doi.org/10.1038/6404>
- Hardy, L., & Hutchinson, A. (2007). Effects of performance anxiety on effort and performance in rock climbing : A test of processing efficiency theory. *Anxiety, Stress, and Coping*, 20(2), 147-161. <https://doi.org/10.1080/10615800701217035>
- Knierim, J. (2020). *Motor Cortex (Section 3, Chapter 3) Neuroscience Online : An Electronic Textbook for the Neurosciences | Department of Neurobiology and Anatomy—The University of Texas Medical School at Houston*. Accès à l'adresse <https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s3/chapter03.html>
- Laurence, K. (2020). Blessure et escalade : est-ce vraiment une fatalité ? Accès à l'adresse <https://lafabriqueverticale.com/fr/blessure-escalade-fatalite/>
- Milosevic, I., & McCabe, R.E. (2015). *Phobias: The Psychology of Irrational Fear*. Santa Barbara: Greenwood.
- Morrison, A. B., & Schöffl, V. R. (2007). Physiological responses to rock climbing in young climbers. *British Journal of Sports Medicine*, 41(12), 852-861; discussion 861. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.034827>
- Müller-Dahlhaus, M., Liu, Y., & Ziemann, U. (2008). Inhibitory circuits and the nature of their interactions in the human motor cortex a pharmacological TMS study. *The Journal of Physiology*, 586(2), 495-514. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.142059>
- Niedenthal, P., Krauth-Gruber, S. & Ric, F. (2009). Chapitre 1. Que sont les émotions et comment sont-elles étudiées ?. Dans : , S. Krauth-Gruber, P. Niedenthal & F. Ric (Dir), *Comprendre les émotions: Perspectives cognitives et psycho-sociales* (pp. 9-45). Wavre, Belgique: Mardaga. <https://www.cairn.info/comprendre-les-emotions--9782870099971-p-9.htm>
- Nieuwenhuys, A., Pijpers, J. R., Oudejans, R. R. D., & Bakker, F. C. (2008). The influence of anxiety on visual attention in climbing. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 30(2), 171-185. <https://doi.org/10.1123/jsep.30.2.171>
- Ontherock. (2016). Rock Climbing Album. Accès à l'adresse <https://www.ontherock.es/rock-climbing-album/>
- Peurala, S. H., M. Müller-Dahlhaus, J. F., Arai, N., & Ziemann, U. (2008). Interference of short-interval intracortical inhibition (SICI) and short-interval intracortical facilitation (SICF). *Clinical Neurophysiology*, 119(10), 2291-2297. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.05.031>

- Pijpers, J. R., Oudejans, R. R. D., & Bakker, F. C. (2005). Anxiety-induced changes in movement behaviour during the execution of a complex whole-body task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 58(3), 421-445. <https://doi.org/10.1080/02724980343000945>
- Raghavan, M., Fee, D., & Barkhaus, P. E. (2019). Generation and propagation of the action potential. *Handbook of Clinical Neurology*, 160, 3-22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64032-1.00001-1>
- Rizzo, V., Richman, J. & Puthanveetil, S.V. (2015). Dissecting mechanism of brain aging by studying the intrinsic excitability of neurons. *Front. Aging. Neurosci.*, 337.
- Roshan, L., Paradiso, G. O., & Chen, R. (2003). Two phases of short-interval intracortical inhibition. *Experimental Brain Research*, 151(3), 330-337. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1502-9>
- Saby, M. (2019). Grimper au féminin. Accès à l'adresse <https://www.experience-outdoor.com/grimper-au-feminin/>
- Samusyte, G., Bostock, H., Rothwell, J., & Koltzenburg, M. (2018). Short-interval intracortical inhibition : Comparison between conventional and threshold-tracking techniques. *Brain Stimulation*, 11(4), 806-817. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.03.002>
- Sauleau, P. (2020). Cours de neurophysiologie. Accès à l'adresse <https://sites.google.com/site/aphysionado/home/fonctionssn/systmoteur/effecortxmoteur>
- Schmidt, L., Cléry-Melin, M.-L., Lafargue, G., Valabrègue, R., Fossati, P., Dubois, B., & Pessiglione, M. (2009). Get aroused and be stronger : Emotional facilitation of physical effort in the human brain. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 29(30), 9450-9457. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1951-09.2009>
- Sheel, A. W. (2004). Physiology of sport rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 355-359. <https://doi.org/10.1136/bjism.2003.008169>
- Sieghart, W. (2014). Allosteric modulation of GABAA receptors via multiple drug-binding sites. *Advances in Pharmacology (San Diego, Calif.)*, 72, 53-96. <https://doi.org/10.1016/bs.apha.2014.10.002>
- St-Jacques, R. (2017). Le neurone. Accès à l'adresse <http://www.corpshumain.ca/Neurone.php>

- Stephan, A. (2009). Homo sapiens: The emotional animal. In B. Rottger-Rössler & H. J. Markowitsch (Eds.), *Emotions and bio-cultural processes* (pp. 11–19). New York, NY: Springer.
- Stien, N., Saeterbakken, A. H., Hermans, E., Vereide, V. A., Olsen, E., & Andersen, V. (2019). Comparison of climbing-specific strength and endurance between lead and boulder climbers. *PLoS One*, *14*(9), e0222529. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222529>
- Therme, P., & Soulayrol, R. (1992). Apprentissages moteurs et psychopathologie. Pratique de l'escalade chez l'enfant psychotique. *La Psychiatrie De l'Enfant*, *35*(2), 519. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1292240530?accountid=17206>
- Vahabzadeh-Hagh, A. (2014). Paired-Pulse Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) Protocols. In A. Rotenberg, J. C. Horvath, & A. Pascual-Leone (Éds.), *Transcranial Magnetic Stimulation* (p. 117-127). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0879-0_6
- Van Loon, A.M., Van Den Wildenberg, W.P.M., Van Stegeren, A.H., Hajcak, G., & Ridderinkhof, K.R. (2010). Emotional stimuli modulate readiness for action: A transcranial magnetic stimulation study. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *10*, 174-181. <https://doi.org/10.3758/CABN.10.2.174>
- Wagle-Shukla, A., Ni, Z., Gunraj, C. A., Bahl, N., & Chen, R. (2009). Effects of short interval intracortical inhibition and intracortical facilitation on short interval intracortical facilitation in human primary motor cortex. *The Journal of Physiology*, *587*(Pt 23), 5665-5678.
- Weavil, J. C., & Amann, M. (2018). Corticospinal excitability during fatiguing whole body exercise. *Progress in Brain Research*, *240*, 219-246. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.07.011>
- Ziemann, U., Lönnecker, S., Steinhoff, B. J., & Paulus, W. (1996). The effect of lorazepam on the motor cortical excitability in man. *Experimental Brain Research*, *109*(1), 127-135. <https://doi.org/10.1007/BF00228633>

Annexe

Annexe 1 : informations aux volontaires

INFORMATIONS AUX VOLONTAIRES

Effets de différents types d'images (négatives, positives, neutres) sur le contrôle moteur – comparaison entre un groupe de grimpeurs et un groupe de non-grimpeurs

Objectif de l'étude :

Cette étude a pour but d'investiguer si la vision de différents types d'images pouvant susciter une émotion a une influence sur le contrôle moteur des participant(e)s.

Sélection des personnes pouvant participer à l'étude :

Les personnes pouvant participer à cette étude doivent avoir entre 20 et 40 ans et ne doivent répondre à aucun des critères d'exclusion suivant :

- Possession d'un implant cérébral ou cochléaire
- Possession d'un pacemaker
- Troubles neurologiques ou psychiatriques diagnostiqués
- Crises d'épilepsie ou des antécédents familiaux de crises d'épilepsie
- Lésions cérébrales

Pour pouvoir faire partie de groupe de grimpeurs, les sujets doivent pouvoir grimper, en **falaise** et en tête, au moins une cotation de **6b**.

Pour pouvoir faire partie de groupe de non-grimpeurs, les sujets ne doivent avoir **jamais (ou quasi jamais) grimpé à l'extérieur**.

→ Les participants ne devraient pas faire un entraînement trop intensif le jour avant la prise des mesures.

Déroulement de l'étude :

Pour répondre à cette question de recherche, les participants vont être soumis à la vision de plusieurs suites d'images (neutres, positives, négatives). Pendant ce temps, ils doivent essayer d'exercer toujours la même force (qui correspond à 10% de leur force maximale) sur une plaque de force à l'aide d'une poignée.

Nous allons positionner une électrode de l'électromyographie de surface (EMG) qui va enregistrer l'activité musculaire du fléchisseur radial du carpe (muscle de l'avant-bras). Ensuite, les sujets devront essayer d'exercer toujours la même force pendant qu'ils visualisent différentes suites d'images (positives, négatives et neutres). Des feedbacks sonores vont les informer par rapport à la pression qu'ils sont en train d'exercer. Pendant ce temps, ils vont aussi être stimulés à l'aide de la SMT (stimulation magnétique transcranienne).

Chaque participant devra se rendre une fois au laboratoire de l'Université de Fribourg (*Pérolles 08, Ch. du Musée 3, 1700 Fribourg*) pour la prise des mesures. Le temps total par sujet varie entre 60 et 90 minutes.

Méthodes de mesure :

• Électromyographie de surface (EMG)

L'EMG est une technique non invasive qui permet d'enregistrer les potentiels électriques émis par les fibres musculaires. L'EMG enregistre l'activité électrique des muscles lorsqu'ils se contractent. Des électrodes sont collées sur la peau, au-dessus des muscles concernés et leur activité électrique est enregistrée et renvoyée à un ordinateur. La préparation de la peau avant la pose des électrodes détermine la qualité du signal. Cette préparation comprend un rasage de la zone cible, l'application d'un gel purifiant (peeling) et le nettoyage à l'alcool.

- **Aucun effet secondaire n'est connu à ce jour. Cependant, cette technique pourrait éventuellement conduire à des irritations cutanées superficielles dans la zone de placement des électrodes.**

• Stimulation magnétique transcranienne (SMT)

La SMT est une méthode de stimulation cérébrale non invasive. Cette méthode consiste en des très brèves et puissantes impulsions électriques déchargées par une bobine placée au contact du cuir chevelu, sur la tête. Lorsque ces impulsions sont supérieures au seuil de repos du neurone moteur, un potentiel d'action est déclenché, ce qui provoque une petite contraction musculaire. Dans cette étude nous allons donc stimuler le cortex moteur responsable du mouvement de l'avant-bras.

- **Les contre-indications pour l'utilisation de la SMT sont mentionnées dans les critères d'exclusion de cette étude (voir ci-dessus).**
- **Les effets secondaires de cette méthode sont de possibles maux de têtes passagers dûs à l'activation des muscles du crâne lors des stimulations, ainsi que des douleurs aux muscles du cou.**

Droits du participant :

Vous devez prendre part à cette étude uniquement selon votre propre volonté. Personne n'est en droit de vous y pousser ou de vous influencer de quelque manière que ce soit. Vous êtes donc libre d'accepter ou de refuser de participer à l'étude, sans justifications. Si vous décidez d'y participer vous signerez un formulaire de consentement, présent en fin de document. Même après avoir signé ce formulaire, vous restez libre de vous retirer de l'étude à n'importe quel moment, sans donner de raison. Vous n'avez donc pas à justifier vos décisions. Si vous êtes étudiant ou employé à l'Université de Fribourg, la décision de vous retirer de l'étude ou de ne pas y participer n'a aucune conséquence sur vos études ou sur votre engagement à l'Université. Vous pouvez à tout moment poser toutes les questions nécessaires au sujet de l'étude. Veuillez-vous adresser pour ce faire à la personne indiquée à la fin de la présente feuille d'information.

Obligations des participants

Si vous décidez de participer à l'étude, vous êtes également tenus de répondre de façon exacte aux questionnaires. De plus, vous devrez respecter les critères d'exclusion présentés dans ce document, et informer l'équipe de l'étude en cas de changement les concernant.

Confidentialité des données

Nous serons amenés, pour les besoins de l'étude, à enregistrer vos données personnelles. Ces données seront toutefois codées. Le codage signifie que toutes les données permettant de vous identifier (nom, date de naissance, etc.) sont remplacées par un code, de sorte que les personnes ne connaissant pas ce code ne peuvent pas lier ces données à votre personne. Vos données sont ainsi traitées de façon anonyme. Au sein de l'Université de Fribourg, seules les personnes autorisées et clairement désignées auront accès à ces données, y compris sous forme non codée. Le code reste en permanence au sein de l'institution.

Toutes les personnes impliquées dans l'étude de quelque manière que ce soit sont tenues au secret professionnel et à une confidentialité absolue. Votre nom n'apparaîtra jamais sur Internet ou dans une publication.

Interlocuteurs

En cas de doute, de craintes ou de questions avant, pendant ou après l'étude, vous pouvez vous adresser à tout moment à l'un des interlocuteurs suivants :

Étudiante réalisant son travail de master :

Tessa Zünd

Email : tessa.zuend@unifr.ch

Tél. : +41 78 884 66 32

Investigateur :

Dr. rer. nat. Jan Ruffieux

Université de Fribourg

Section Médecine

Département des Neurosciences et Sciences du Mouvement

Bureau F440

Boulevard de Pérolles 90, 1700 Fribourg, Suisse

Email: jan.ruffieux@unifr.ch

Tél.: +41 26 300 72 62

En signant ce document la/le participant(e) accepte le déroulement de l'étude et affirme ne pas répondre à aucun des critères d'exclusion mentionnés.

Nom et prénom du participant :

Date de naissance :

Lieu, date :

Signature du participant :

Remerciements

J'aimerais remercier tout d'abord mon superviseur, Dr. Jan Ruffieux, pour m'avoir aidée dès le début, avec ses connaissances, ses compétences et son expérience, à réaliser cette étude. Ça a été un immense plaisir de travailler avec toi !

J'aimerais ensuite remercier Aloys Chevalley, pour avoir toujours su me conseiller et m'aider lors des moments d'indécision qui m'ont suivie pendant la rédaction de cette thèse de Master. Avoir à mes côtés un passionné de la grimpe comme toi, a sûrement été une aide incontournable !

J'aimerais remercier ma famille, pour m'avoir toujours aidée et supportée, même lors des moments où j'étais insupportable et stressée ! Comme dit toujours mon père : « *La pazienza è la virtù dei forti* ».

J'aimerais remercier tous les participants qui se sont gentiment mis à disposition pour effectuer la prise de mesure parce que sans eux, je n'aurais jamais pu réaliser cette étude.

Et pour finir, j'aimerais remercier l'Université de Fribourg pour avoir rendu possible la réalisation de mon travail de Master en mettant à ma disposition les laboratoires ainsi que tout le matériel nécessaire (SMT, EMG, etc.).

Merci à toutes ces personnes, vraiment !