

Licence Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives  
**Parcours Ergonomie du Sport et Performance Motrice**

*Année universitaire 2020-2021*



## **Rôle et poids de la proprioception dans la perception gravitaire**

BOUDJEMLINE Adem - [adem.boudjemline@etu.univ-amu.fr](mailto:adem.boudjemline@etu.univ-amu.fr)

FADIL Zakaria - [zakaria.fadil@etu.univ-amu.fr](mailto:zakaria.fadil@etu.univ-amu.fr)

GALERNE Lou - [lou.galerne@etu.univ-amu.fr](mailto:lou.galerne@etu.univ-amu.fr)

JAMET Manon - [manon.jamet@etu.univ-amu.fr](mailto:manon.jamet@etu.univ-amu.fr)

VACHE Lucas - [lucas.vache@etu.univ-amu.fr](mailto:lucas.vache@etu.univ-amu.fr)

ZANNINI Pierre - [pierre.zannini@etu.univ-amu.fr](mailto:pierre.zannini@etu.univ-amu.fr)

Rapport d'expérience

sous la direction de Lionel Bringoux, Florence Paris, Gwenaëlle Sessa

***Février 2021***

# I. INTRODUCTION

Les entrées visuelles, proprioceptives et vestibulaires constituent ce que l'on appelle les afférences sensorielles. Elles fournissent à l'individu les informations nécessaires au bon déroulement de l'ensemble des interactions entre l'homme et son environnement. On distingue deux types d'informations : extéroceptive et intéroceptive. Celles-ci permettent à l'Homme d'interagir de façon adéquate et performante dans son environnement. Néanmoins, comment la proprioception pourrait dans une certaine mesure jouer un rôle sur notre perception gravitaire ?

On peut différencier quatre modes opératoires **d'interactions** entre les différents systèmes sensoriels : complémentarité, additivité, substitution et conflit. Les modes opératoires sont liés les uns aux autres. Le principe de complémentarité rend compte du fait qu'un même état de l'environnement est traduit par des informations spécifiques provenant des différents systèmes sensoriels. Il en résulte, selon le principe d'additivité, une meilleure performance lorsque les afférences **sont multiples et se combinent au sein du cortex associatif**. Le principe de substitution démontre que, lorsque l'une des informations sensorielles est altérée, une compensation se produit. Le dernier principe, celui de conflit, démontre qu'en cas d'intégration sensorielle conflictuelle, le système nerveux central conduit nécessairement à un comportement.

La régulation posturale implique une intégration multi-sensorielle conduisant à une seule représentation de l'environnement. Le processus de **transduction** permet également la mise sous forme d'influx nerveux d'informations perçues par nos systèmes sensoriels. Des ondes spécifiques sont captées par des récepteurs qui leur sont propres. Il permet le passage de la sensation à la perception.

Au niveau visuel, des ondes spécifiques sont captées par des récepteurs qui leur sont propres. Pour percevoir correctement l'orientation d'un objet visuel dans l'espace, le système nerveux central doit transposer l'information rétinienne dans un référentiel géocentré. De plus, les informations vestibulaires doivent également être considérées puisqu'elles renseignent sur l'orientation et les déplacements de la tête. Quant à elle, la proprioception permet à l'homme de percevoir et d'avoir conscience de sa position en fonction de lui-même et de son environnement. La proprioception est utilisée pour réguler la posture, fournir le lien entre la position de la tête et du corps dans l'espace **avec les forces** de réaction dues au contact au sol : c'est notre 6<sup>ème</sup> sens. *Comment pourrait-il, dans une certaine mesure, jouer sur notre perception gravitaire ?*

Ainsi, à travers notre étude, nous souhaitons apporter des informations supplémentaires sur le rôle et le poids de la proprioception dans la perception de la verticale gravitaire.

Dans cette étude, nous allons nous centrer dans un premier temps sur le principe de conflit. En effet, dans certaines situations particulières, les informations fournies par les différents systèmes sont perçues et interprétées de manière conflictuelle par le système nerveux central qui doit néanmoins conduire à un comportement. Ce dernier peut être influencé par le contexte environnemental.

Dans un second temps, nous étudierons l'influence des déséquilibres à caractère actif et passif des participants lors d'une tâche de perception gravitaire. Le déséquilibre passif a pour but de réduire les informations tactiles et proprioceptives (somesthésiques) entraînant une altération de la perception de la verticalité de notre corps.

Nous partons sur une première hypothèse générale : La proprioception est utile dans la perception de l'environnement, elle permettrait en règle générale de compenser ou d'atténuer l'effet d'un trouble quelconque au niveau visuel ou vestibulaire.

Pour cela nous nous référons dans un premier temps au principe d'additivité, lors de la première expérience nous pensons que les informations proprioceptives cumulées aux informations vestibulaires auraient un effet bénéfique sur la perception de la verticale gravitaire lorsque les informations visuelles sont biaisées. De plus, selon le principe de substitution, lorsque les informations émanant du système vestibulaire sont erronées les retour sensoriels proprioceptif vont compenser pour conduire à une représentation plus réaliste.

## II. MÉTHODOLOGIE

### 1. Participants

Pour nos deux expériences, "effet cadre et proprioception" & "déséquilibre et proprioception", nous avons sélectionné 3 participants dont une gymnaste, un rugbyman et un amateur de musculation, tous les 3 étudiants en STAPS.

Participants	Âge	Taille	Poids (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )
Musculation (1)	20 ans	1m63	67	25,2
Gymnaste (2)	19 ans	1m64	55	20,4
Rugbyman (3)	19 ans	1m74	68	22,5

### 2. Matériels

Dans un premier temps, pour étudier l'influence du champ visuel sur la perception gravitaire (proprioception et vision), nous avons utilisé le RFT (Rod and Frame Test) portable. Dans cette expérience, le participant est debout, la tête placée à l'intérieur du RFT (champ visuel plus ou moins incliné). Il doit d'abord incliner une baguette dont la position initiale est aléatoire puis son avant-bras selon son estimation de la verticale gravitaire. Le dispositif RFT est constitué d'un tube à section carrée. Les seuls repères d'orientation représentés sont les arêtes du tube ainsi que le cadre situé au fond de ce dernier (base du tube). La baguette noire à l'extrémité du tube est placée au centre de ce cadre. Cette baguette peut effectuer une rotation autour de l'axe central indépendamment des rotations du cadre. Elle est maniable à l'aide d'une molette placée à l'extérieur du RFT et à gauche du participant. C'est grâce à cette molette qu'il pourra replacer la baguette à ce qu'il pense être la verticale. Un disque gradué placé à l'opposé du participant permet à l'expérimentateur de relever les inclinaisons de cette baguette. Un fil à plomb pendu au plafond représente notre repère gravitaire et permet à l'expérimentateur de mesurer les erreurs angulaires du bras.

Dans un second temps, afin d'étudier l'influence du type de déséquilibre (contrôle, actif et passif) toujours sur la perception gravitaire, nous avons utilisé un fauteuil rembourré ainsi qu'un duvet permettant de limiter les informations proprioceptives. Un scotch horizontal parallèle au sol collé au mur représente notre repère gravitaire, et permet à l'expérimentateur de mesurer les erreurs angulaires du bras. Dans cette seconde expérience, le participant devra effectuer 3 tâches, dont deux correspondantes à 2 types de déséquilibres et une tâche contrôle. Pour étudier l'influence d'un déséquilibre actif sur la perception gravitaire, le participant doit s'incliner vers l'arrière, yeux fermés, et placer son bras à ce qu'il pense être la parallèle au sol (référentiel gravitaire). Pour étudier cette fois-ci l'influence d'un déséquilibre passif, le participant doit s'asseoir confortablement, yeux fermés, dans un fauteuil recouvert d'un épais duvet pour diminuer au maximum les informations proprioceptives. Il doit ensuite, comme pour la tâche précédente, placer son bras à ce qu'il pense être la parallèle au sol. La tâche contrôle sera quant à elle réalisée, debout, yeux fermés et sans aucun déséquilibre.

### 3. Procédure expérimentale

Durant la première tâche, le participant est debout, ses bras doivent être étendus le long du corps. Le participant place sa tête face au trou du tube afin d'avoir les yeux au niveau du centre du cadre. La tête reste dans l'axe du tronc. Ainsi les informations otolithique perçoivent aux mieux la verticale gravitaire. L'expérimentateur manipule l'orientation de la baguette et du cadre par rapport à la verticale. Entre chaque essai, celui-ci demande au participant de fermer les yeux lors du réglage de l'inclinaison du prochain essai.

Deux types de consignes sont données au participant. Dans une première, il doit aligner la baguette avec la verticalité physique en ayant un cadre qui peut être faussé. Dans une seconde situation, il doit aligner son avant bras avec cette même verticale. Pour cela, il doit faire une abduction d'épaule afin de placer son bras dans l'alignement de la ligne d'épaule puis réaliser l'inclinaison subjective avec son avant-bras et le point fermé. Les participants n'ont aucune contrainte temporelle leur permettant d'être le plus efficace possible. La verticale mesurée correspond à l'estimation par l'individu de la direction gravitaire en fonction de l'inclinaison du cadre.

Avant le début du test, l'expérimentateur présente le fil à plomb pour que le participant comprenne comment il doit incliner la baguette. Un exemple d'inclinaison de l'avant-bras est également réalisé afin de s'assurer que les consignes soient bien comprises et de ce fait que les résultats ne soient pas faussés.

Dans les deux types de situations, nous avons utilisé le RFT avec 3 inclinaisons différentes (0, 9 et 18°) à gauche et à droite. Le participant est testé 2 fois sur les 3 inclinaisons à gauche et 2 fois à droite. Pour ces 12 essais, il lui est demandé d'aligner la baguette et le bras selon la verticale gravitaire. Nous veillons à inverser l'ordre du degré d'inclinaison du cadre et de la sortie motrice demandée afin d'éviter un éventuel effet d'ordre. Avant chaque essai, la baguette est inclinée de façon aléatoire par rapport à l'inclinaison du cadre. Finalement, nous obtenons 12 résultats d'inclinaisons de la baguette et de même pour le bras. Pour la baguette nous calculons l'erreur absolue directement sur le RFT. Pour le bras, nous calculons l'angle entre la verticale gravitaire représentée par le fil à plomb et la verticale subjective présentée par l'avant-bras.

Lors de la deuxième tâche, le participant subit une situation contrôle dans laquelle il est en position debout, les yeux fermés et doit nous indiquer à l'aide de son bras la perpendiculaire à l'axe gravitaire. Une photo est prise face au plan sagittal. Aucun matériel supplémentaire n'est nécessaire pour cette phase. A noter qu'il est judicieux de demander au participant la perpendiculaire et non pas la parallèle à l'axe gravitaire : en effet, lors de cette tâche, il sera dans des positions changeantes autour de l'axe médio-latéral et par conséquent selon un mouvement de roulis.

Dans une seconde phase, le participant doit être en déséquilibre actif, pour cela il lui est demandé de se mettre debout en adoptant une extension du rachis. La tête est dans le prolongement de la posture adoptée, c'est-à-dire inclinée vers l'arrière. Les jambes sont tendues. Durant cette phase, la perception de l'inclinaison de la tête par les otolithes du système vestibulaire et la proprioception globale sont confrontés à la cécité du participant. Il doit indiquer l'horizontale à l'axe gravitaire avec son bras. Le participant maintient sa position et une photo est prise face au plan sagittal.

Lors de la dernière phase, le participant est allongé dans un fauteuil confortable recouvert d'un épais duvet et incliné vers l'arrière. Cela permet de réduire les pressions cutanées exercées qui constituent la réaction du support au poids de la personne. Cette dernière garde les yeux fermés. Le participant montre l'horizontale à l'axe gravitaire à l'aide de son bras et nous prenons une photo face au plan sagittal.

A noter que les phases durant les tâches sont répétées et interverties afin d'éviter l'effet d'ordre inter et intra-individuel ainsi que l'effet d'habituation chez un même participant.

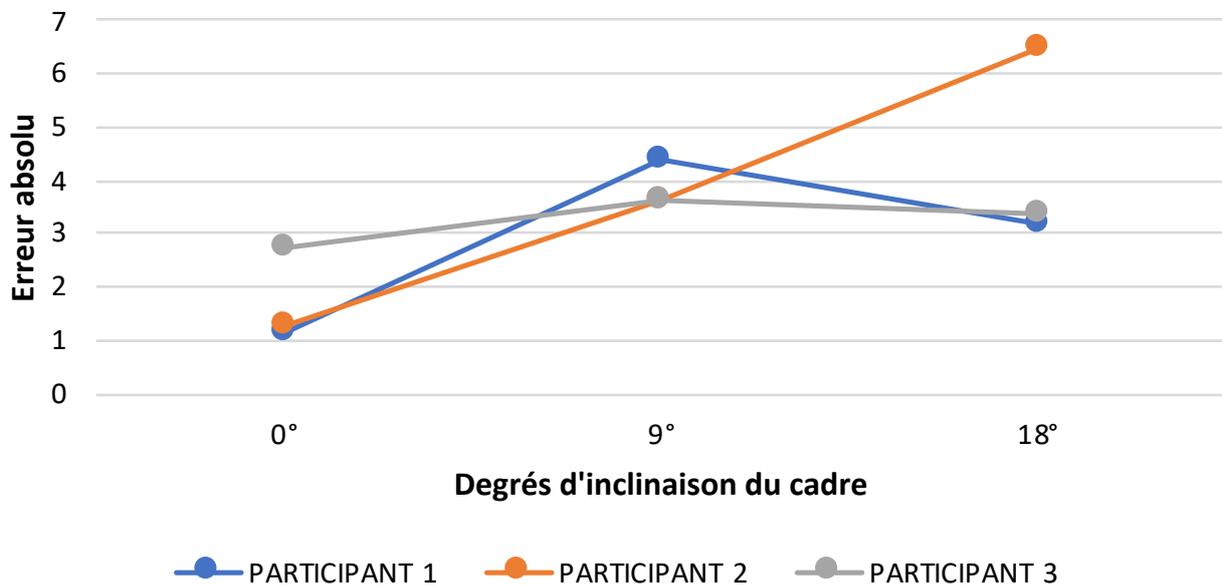
### 4. Variables de traitement mesurées

Lors de ces expériences, on cherche à mesurer d'une part, l'erreur d'inclinaison de l'avant-bras du participant et de la baguette du RFT par rapport à l'axe gravitaire vertical et, d'autre part, l'erreur d'inclinaison du bras par rapport à la perpendiculaire de l'axe gravitaire.

Pour cela, nous avons mesuré l'erreur moyenne inter et intra-individuelle des participants. En effet, la moyenne est un outil mathématique utilisé en statistique qui s'avère être représentatif dès lors que plusieurs données d'un échantillon peuvent être réduites à une seule valeur. Nos résultats proviennent de plusieurs participants ayant subi une même démarche expérimentale; la moyenne peut alors être utilisée pour permettre ensuite l'exploitation de ces derniers.

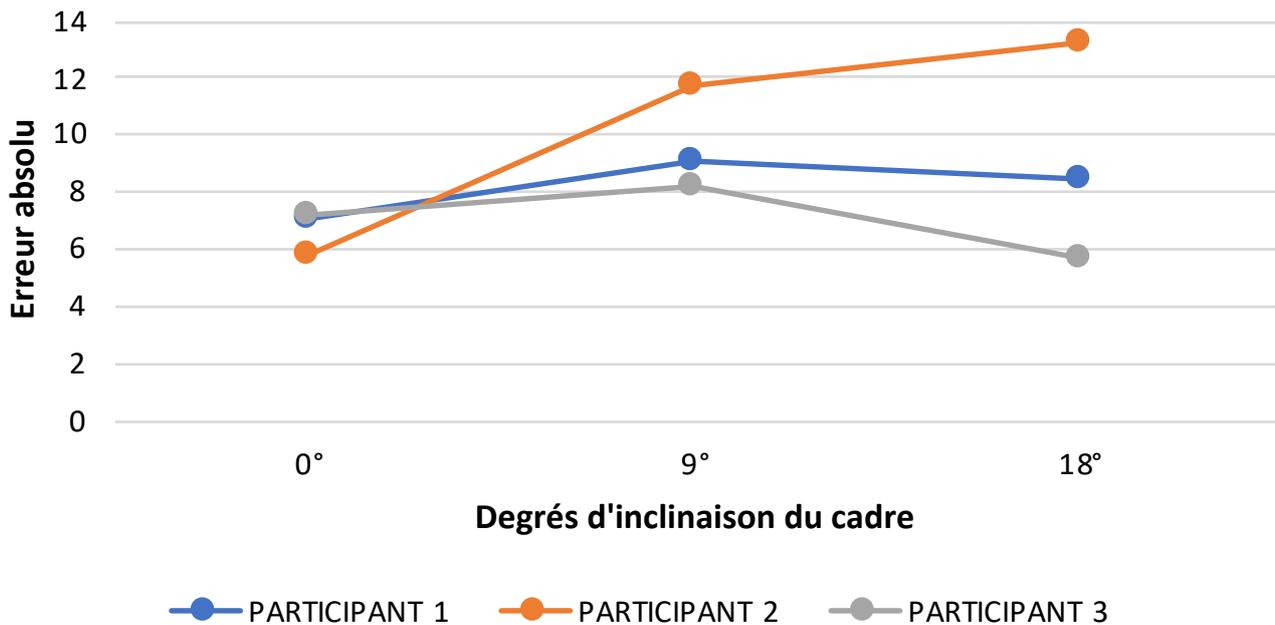
### III. RÉSULTATS

#### 1. Effet cadre



**Figure 1.1 : Erreur de jugement subjectif de la verticale gravitaire avec la baguette** du RFT en fonction de l'inclinaison du cadre de référence. Nous pouvons observer dans ce graphique que l'erreur maximale absolue est atteinte à 9° pour le premier et le troisième participant. Le deuxième obtient quant à lui, une erreur maximale pour une inclinaison de 18°. Lorsque le cadre est incliné à 0°, contrairement à la même situation avec manipulation de la baguette, le taux d'erreurs n'est pas identique entre les 3 participants. Les deux premiers sont de l'ordre de 1° tandis que le troisième avoisine les 3°. Lorsque le cadre est incliné à 9°, les 3 participants ont une erreur moyenne se rapprochant de 4°. Pour 18° d'orientation, le second participant se démarque significativement des deux autres. Il atteint son pic maximal ici avec une moyenne de 6,5°. Les deux autres quant à eux, se positionnent de manière similaire à un décalage de 3°.

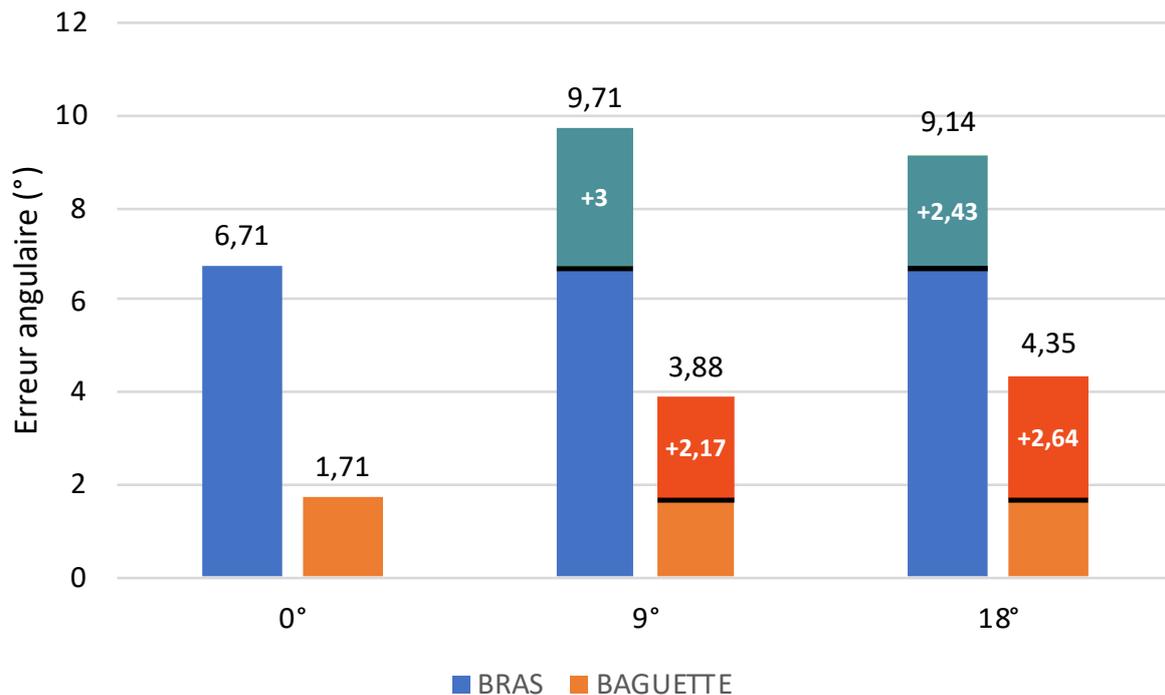
De plus, nous pouvons constater une variation intra-individuelle différente pour chaque participant non identique à celle lors de la manipulation du bras. Le troisième participant a une erreur moyenne à peu près constante entre chaque essai. Même s'il est légèrement meilleur lorsque le cadre est orienté à 0°, sa moyenne est quasiment identique pour les deux autres degrés d'inclinaison en avoisinant les 3,5°. Sa performance entre les trois essais est assez stable et linéaire. Les performances du second participant ont une allure très différente. Son erreur moyenne augmente continuellement au fil des essais. Il commence par une faible erreur à 0° (1,2°) pour finir avec un fort décalage par rapport à la verticale gravitaire lorsque le cadre est incliné à 18° (6,5°) en passant par 3,6° d'erreur à 9° d'inclinaison visual. La performance de ce sujet diminue de façon croissante entre chaque essai. Pour finir, le premier participant a une performance variable entre les 3 degrés d'inclinaison. Son pic maximal se situe à 9° d'inclinaison du cadre avec une erreur moyenne de 4,4 degrés. Les inclinaisons l'entourant présentent toutes deux des erreurs inférieures de 1,1° pour un cadre incliné à 0° et de 3,2° à 18°. L'allure de sa performance a quant à elle une allure plutôt triangulaire avec en sommet la valeur à 9°.



**Figure 1.2 : Erreur de jugement subjectif de la verticale gravitaire avec le bras** en fonction de l'inclinaison du cadre de référence. Ce graphique nous permet d'établir le pic d'erreur maximal de chaque participant. Le premier comme le troisième réalisent leurs erreurs maximales lorsque le cadre est incliné à 9° tandis que le second atteint son maximum à 18°.

Lorsque le cadre est incliné à 0°, aucune différence significative n'est observée entre les 3 participants. Leur erreur moyenne avoisine les 7 degrés. Le participant 2 réalise une erreur supérieure aux deux autres que ce soit pour une inclinaison de 9° ou 18°. Ce dernier se démarque des deux autres qui ont environ les mêmes moyennes d'erreurs selon les inclinaisons du cadre.

De plus, nous pouvons constater une variation intra-individuelle plus ou moins différente entre les participants. Le premier et le troisième participant ont des performances de même allure entre les 3 inclinaisons du cadre. Ils débutent tous les deux par une erreur moyenne de 7° avec un champ visuel non-incliné et atteignent chacun leur pic maximal lorsque le cadre est orienté à 9°. Le premier l'atteint avec une erreur moyenne de 9,1° et l'autre de 8,2°. Pour une inclinaison de 18°, le décalage entre la verticalité subjective et l'axe gravitaire est moindre que lors de l'inclinaison précédente pour chacun de ces deux participants. Le premier a un décalage de 8,5° et le second de 5,7. Le second participant se démarque de ces derniers par la présence d'une augmentation de l'erreur avec l'augmentation du degré d'inclinaison du cadre. En effet, cet individu part avec la meilleure performance à 0° lorsque le cadre n'est pas incliné en faisant une erreur moyenne de 5,9°. Plus le cadre est incliné et plus sa performance diminue. Lorsque l'inclinaison est de 18°, le second participant réalise son pic d'erreur avec une moyenne de 13,2° soit environ 2 fois supérieure à celle des deux autres. Entre ces deux degrés d'inclinaison, son erreur à 9° d'inclinaison est supérieure à celle à 0° mais inférieure à celle à 18° avec un décalage de 11,8°. La performance de ce participant est donc décroissante. Plus le degré d'inclinaison augmente, plus l'individu est mauvais dans le jugement de l'axe gravitaire.



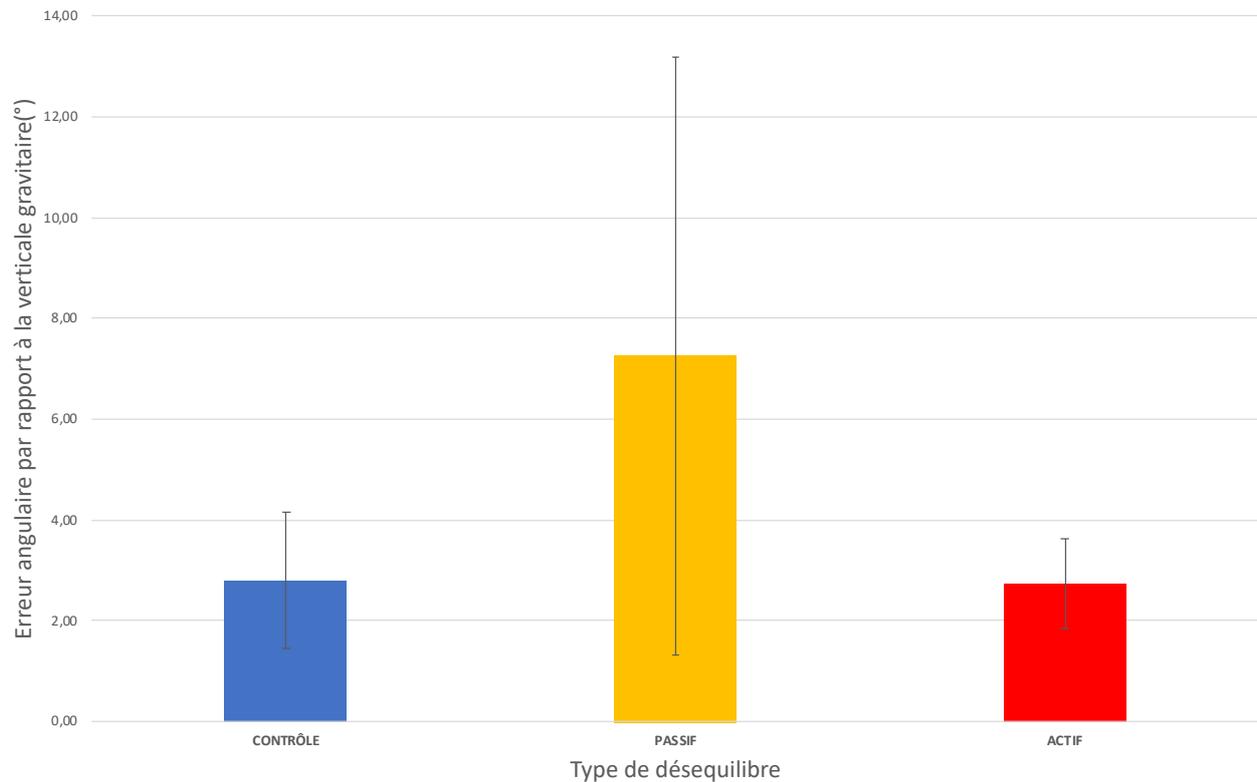
**Figure 1.3 : Erreur angulaire moyenne en fonction de l'inclinaison du cadre.**

Lorsqu'on effectue la moyenne des résultats de tous les participants, on remarque que le jugement de la gravité n'est pas similaire selon le moyen de jugement.

Effectivement, les participants obtiennent une erreur angulaire à minima supérieure à 6° quelque soit l'angle d'inclinaison de départ de l'effet cadre quand ils doivent indiquer l'axe gravitaire avec leur avant-bras. À l'inverse, on observe des résultats doublement inférieurs environ (entre 1,8° et 4,2°) lors d'un jugement de la gravité avec la baguette du RFT.

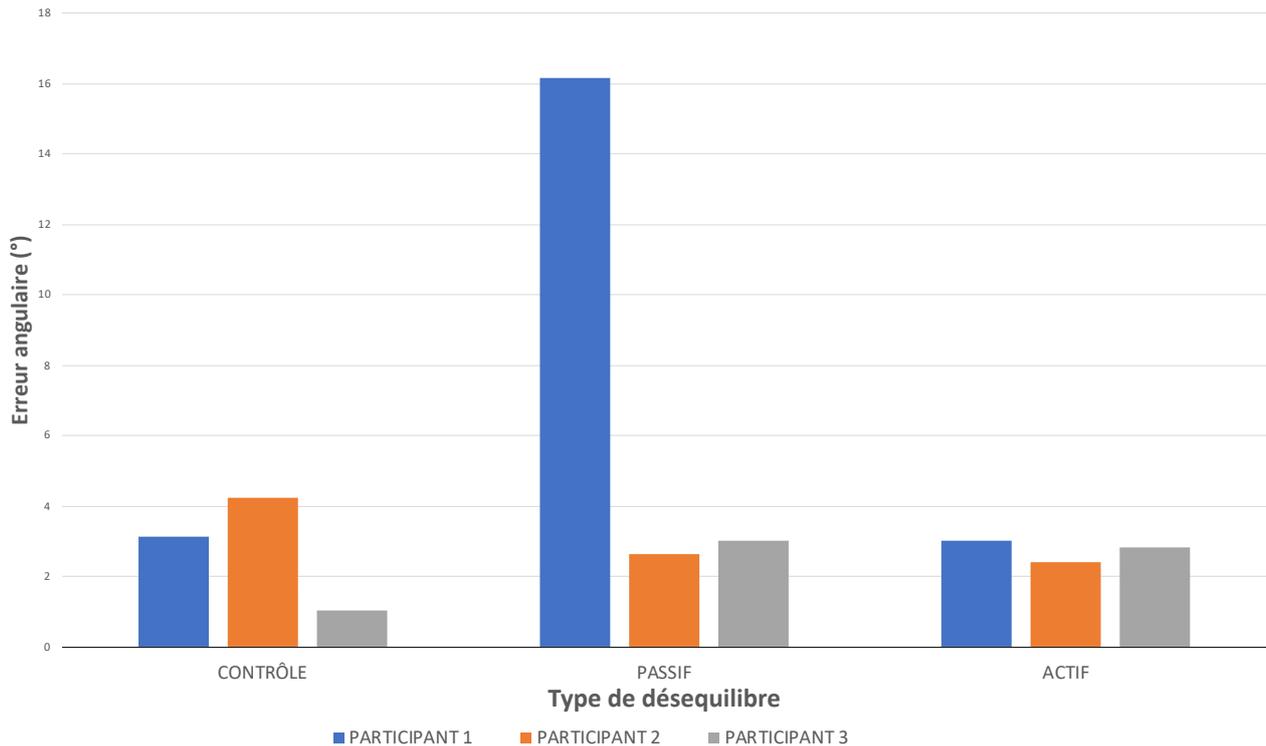
À l'aide de la tâche contrôle, on obtient une valeur de référence sur laquelle établir notre raisonnement. Que ce soit par le bras ou par la baguette, l'augmentation des erreurs entre la phase contrôle et les phases expérimentales varie selon le même ordre de grandeur. Effectivement, on note une erreur qui augmente dans un intervalle entre 2,17° et 3° lors du jugement gravitaire avec le bras ainsi qu'avec la baguette. On note alors une très faible différence pour le bras et la baguette selon les différents degrés d'inclinaison.

## 2. Déséquilibre



**Figure 2.1 : Histogramme représentant l'erreur angulaire moyenne selon le type de déséquilibre**

A travers l'étude de cet histogramme, on observe la moyenne absolue des différents participants pour chaque type de déséquilibre. Ainsi, l'erreur angulaire par rapport à la verticale ( $2,7^\circ$ ) semble similaire entre la phase de contrôle et la phase de déséquilibre actif. Cependant, en phase de déséquilibre passif, le degré d'erreur a largement doublé pour atteindre  $7,5^\circ$ . D'autre part, concernant l'écart-type, on remarque une faible variation interindividuelle ( $\pm 1^\circ$  d'écart environ) des erreurs angulaires en phase de contrôle et de déséquilibre actif. En revanche, la variabilité lors d'un déséquilibre passif est significativement importante ( $\pm 6^\circ$  d'écart).



**Figure 2.2 : Erreur angulaire par rapport à la verticale gravitaire pour chaque participant selon le type de déséquilibre.**

Cet histogramme représente l'erreur angulaire par rapport à la verticale gravitaire (en degrés) pour chaque participant selon le type de déséquilibre : contrôle, passif ou actif. On observe pour la phase en contrôle, qui est le test témoin, que tous les participants quelque soit leur spécialité sportive font une faible erreur (< ou = à 4). Lors de la phase en déséquilibre passif, c'est-à-dire allongé dans un fauteuil confortable, l'erreur augmente drastiquement pour le participant 1 qui se trompe de 16° contre 3° lors de la première phase. L'erreur du participant 3 augmente de 2° par rapport à la première phase. Seul le participant 2 (gymnaste) fait une erreur plus faible (seulement 2,5°) que lors de la première phase (4°). Durant la phase en déséquilibre actif, le gymnaste se trompe également de 2,5°.

## IV. DISCUSSION

Pour la première tâche, nous sommes dans un cas de conflit multi-sensoriel. Effectivement, les informations visuelles sont altérées tandis que les systèmes vestibulaires et proprioceptifs renvoient à une bonne représentation. Les conditions nous ont contraint à convoquer un faible nombre de participants qui représentent l'échantillon de notre étude. Nos interprétations sont basées sur les résultats de ce dernier. Une forte variabilité inter-individuelle est à noter au sein de cette expérimentation par rapport aux tâches qui sont demandées aux participants. Cela implique une disparité au niveau des résultats. Bien qu'il soit plus juste de porter l'étude sur un échantillon plus grand et varié, il reste concevable de tirer des conclusions de nos résultats.

L'étude portée sur la comparaison des erreurs angulaires entre le bras et la baguette permet de constater que la précision est d'autant plus élevée lorsque le participant doit montrer l'axe gravitaire à l'aide de la baguette. En effet, cette tâche implique le système vestibulaire du participant qui s'avère être plus précis et performant que son système proprioceptif. Cela peut être affirmé aux vues des erreurs, plus grandes lors de la tâche avec le bras en condition témoin (0°).

Le bras est soumis au système proprioceptif par les organes tendineux de Golgi, les capsules articulaires et les fuseaux neuromusculaires. Le système vestibulaire, quant à lui, est un organe dédié à la perception gravitaire : c'est notre centre gravito-inertiel. Cela explique les résultats et reflète donc la différence de sensibilité (aspect qualitatif) et/ou de quantité des récepteurs.

A noter que pour toutes tâches, les participants sont moins précis dès lors que le degré d'inclinaison du champ visuel augmente (résultat corrélé à C. Rousseu & J. Crémieux (2005) ) dans un intervalle de degré d'inclinaison inférieur à 18°.

L'expérience contrôle (témoin à 0°) permet de déterminer une valeur de référence pour chaque condition (« bras » et « baguette ») auxquelles il est intéressant de comparer les résultats pour 9° et 18° d'inclinaison : l'écart similaire entre ces phases expérimentales et la phase contrôle prouve que l'effet cadre influence notre système vestibulaire et proprioceptif de la même manière.

Dans cette étude nous sommes, là aussi, dans un cas de conflit multi-sensoriels. En revanche, dans ce contexte, ce sont les informations vestibulaires qui se retrouvent biaisées. Nous notons que les résultats sont meilleurs si le sujet est en déséquilibre actif. En effet, lorsque le participant est actif dans le contrôle postural, il a ses sens éveillés et par conséquent une stimulation de son sixième sens (proprioceptif) ce qui lui permet d'avoir une meilleure perception gravitaire. A contrario, en phase passive, le fauteuil matelassé diminue la part de réaction gravitaire, le participant subit donc le déséquilibre.

Il est intéressant de faire le lien entre discipline sportive et résultats. En effet, les deux participants faisant de la musculation et du rugby ont tendance à faire la plus grosse erreur durant la phase passive et à faire une erreur plus importante en phase active qu'en phase de contrôle. Le participant 2 quant à lui, fait preuve d'une remarquable perception de l'axe gravitaire malgré le fait qu'il ait les yeux fermés et qu'il subisse des perturbations au niveau vestibulaire et plus largement au niveau postural. Nous considérons que les gymnastes de part la particularité de leur activité physique sont réceptifs à leurs afférences proprioceptives et se passent plus facilement de leur vision qu'un sujet lambda. Ceci explique la forte disparité des résultats lors d'un déséquilibre passif, illustré par l'écart-type important de la figure 2.1.

D'après l'expérience C. Rousseu et J. Crémieux (2005), on s'attendait à une erreur maximale des participants pour 18° d'inclinaison du RFT. Mais nos résultats montrent plutôt des erreurs supérieures pour 9° d'inclinaison.

De plus, toujours lors de l'expérience du RFT, nous avons établi comme hypothèse que le bras permettrait un meilleur jugement de la verticale gravitaire grâce au principe d'additivité impliquant la proprioception et le système vestibulaire. Cependant, d'après nos résultats, le système vestibulaire se montre, d'une part, plus efficace lors du jugement gravitaire avec la baguette, d'autre part, il se montre autant impacté que le système proprioceptif pour une même inclinaison du champ visuel.

D'autre part, concernant la deuxième expérience, lors de la phase de déséquilibre actif, la variation de l'inclinaison de leur corps dans le plan sagittal n'est pas totalement identique entre tous les participants. En effet, la comparaison inter-individuelle se montre alors imprécise, de par une valeur inconstante d'inclinaison entre les individus mais également une impossibilité d'établir une valeur d'inclinaison donnée à chaque participant.

Lorsque le participant était plongé dans un fauteuil matelassé incliné, il devait estimer la verticale horizontale avec son bras. D'après Darling (1995), l'élévation du bras peut s'effectuer par rapport à la gravité (élévation extrinsèque) ou par rapport au tronc (élévation intrinsèque). En l'occurrence, le fauteuil va avoir un effet perturbant le système vestibulaire et notamment les organes otolithiques. Néanmoins, le participant peut compenser ce manque par une élévation de son bras intrinsèque (par rapport au tronc).

## V. CONCLUSION

L'expérience RFT nous permet de déterminer que le système vestibulaire est plus performant que le système proprioceptif dans une tâche de perception gravitaire. En référence à la valeur moyenne obtenue en condition 0°, nous pouvons ajouter que ces deux systèmes sont influencés de manière semblable pour une même inclinaison du champ visuel. Par le biais d'une intégration multi-sensorielle, l'altération de la vision engendre une dégradation similaire aussi bien sur le système vestibulaire que sur la proprioception. De ce fait, une tâche de perception gravitaire avec proprioception sera autant réussi que sans.

En revanche, notre deuxième expérience nous permet d'affirmer que la proprioception va permettre un réajustement de la perception gravitaire lorsque les informations vestibulaire se retrouvent biaisées.

L'expérience mise en place était assez longue et lourde avec de nombreuses données à relever et à traiter. Il aurait peut-être fallu se concentrer seulement sur une expérience pour permettre de convoquer davantage de participants qui auraient réalisé plus d'essais à plus de degrés d'inclinaison afin d'obtenir des données significatives.

Il serait intéressant de reproduire l'expérience de RFT en inhibant au mieux les informations proprioceptives. En effet, lors de notre expérience, le sujet devait juger la verticalité gravitaire grâce à son système vestibulaire via les informations otolithiques (condition baguette). Or, dans cette même condition, le participant se trouvait debout, un retour proprioceptif était donc possible. Le fait de mettre le sujet assis sur un tabouret sans contact avec le dossier, avec les talons en contact au sol et les avant-bras sur les cuisses réduirait davantage le retour proprioceptif. Nous pouvons aussi aller plus loin en installant le participant dans un dispositif de "matelas coquille" afin d'inhiber totalement d'éventuels retours proprioceptifs. De la même façon, lors de la deuxième expérience, l'efficacité du fauteuil n'était pas optimale. En effet, nous ne disposons pas de matelas coquille à proprement parlé. Nous avons donc reproduit au mieux un dispositif atténuant les informations proprioceptives en utilisant un fauteuil médical ainsi qu'un duvet matelassé.

De plus, nous soulignons que les moyens d'acquisition utilisés étaient beaucoup plus précis pour la condition baguette. En effet, pour cette condition, le dispositif de mesure des données était intégré à l'outil expérimental, il était donc commun à tous les participants; nous disposions d'un cercle gradué ayant une résolution d'un degré. Pour la condition bras, le fil à plomb "maison" ainsi que l'angle de prise des photos et l'incertitude concernant la délimitation du segment bras rendent les résultats moins précis.

Il serait intéressant de se pencher ultérieurement sur l'effet du principe de substitution sur des groupes de participant dit « indépendant » et « dépendant » au champ visuel. D'autre part, il serait pertinent, sur une expérience similaire, de convoquer d'autres participants (expert en équilibre, milieu ouvert/fermé, non-sportifs). En effet nous pourrions observer des résultats plus ou moins significatifs selon leurs habiletés ouvertes/ fermées.