

Faculté des sciences de la motricité

Élaboration de valeurs normatives dans les activités de saut bipodal et unipodal avec contre-mouvement chez une population saine de jeunes sportifs récréatifs

Un mémoire expérimentale

Auteur : DE PETTER Fabian
Promoteur : BREBELS Romain
Co-promoteur : BASTIEN Guillaume
Année académique 2023-2024
Master en kinésithérapie et réadaptation [60.0] – KINE2M

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes auxquelles je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Tout d'abord, j'adresse mes sincères remerciements à mes promoteurs, Monsieur Brebels et Monsieur Bastien qui ont fait preuve d'une grande disponibilité et m'ont orienté tout au long de ce mémoire pour le mener à bien.

Je remercie également mes très chers parents qui ont toujours été présents à mes côtés et qui m'ont soutenu dans mes études et mes autres projets. Mes remerciements vont aussi à ma copine, Charlotte, mon frère, Maxime, et son compagnon, Thomas, pour leurs encouragements tout au long de la réalisation de ce travail.

Table des matières

I. Introduction	1
II. Méthode.....	6
1. Participants	6
2. Procédure.....	7
3. Critères CMJ bipodal et unipodal.....	7
4. Logiciel d'analyse des données et validation	8
5. Sélection des paramètres et statistiques.....	9
III. Résultats	11
1. Saut vertical avec contre-mouvement bipodal	11
2. Saut vertical avec contre-mouvement unipodal	13
IV. Discussion	16
V. Limites	25
VI. Conclusion.....	27
Bibliographie.....	29
Table d'abréviation	32
Annexes	33
Annexe 1 : lettre de consentement éclairé.....	33
Annexe 2 : accord comité éthique	34
Annexe 3 : questionnaire auto-rapporté	36
Annexe 4 : calculs par rapport au tracé type (figure 5) d'un saut avec contre-mouvement et comparatif avec les résultats du programme conçu sur LabVIEW	37
Annexe 5 : résultats (détails)	40
Bipodal	40
Unipodal	44

I. Introduction

Lors d'une activité physique, notamment les sports pivots, les sports avec des changements de direction ou les sports de saut, le genou est une articulation soumise à des contraintes importantes. C'est pourquoi cette articulation est composée de plusieurs éléments dont le ligament croisé antérieur (LCA). Le LCA s'insère sur la face interne du condyle externe du fémur et le plateau tibial antérieur. L'orientation de ce ligament, oblique en bas et en avant, empêche le déplacement excessif du tibia sur le fémur (anti-tiroir antérieur) ainsi qu'une rotation interne exagérée de ces structures l'une par rapport à l'autre (Gilroy et Macpherson ; 2017). Par sa disposition anatomique au sein du genou, le LCA contribue énormément à la stabilisation du genou (van Melick et al., 2016) ainsi qu'à son contrôle neuromusculaire (Zimny et al., 1986). Cependant, la fonction prépondérante du LCA en fait un site potentiel de blessures. Selon la revue systématique de van Melick et al. (2016), 3% des sportifs amateurs et 15% des athlètes élités, âgés de 15 à 40 ans, participant à des sports pivots, subissent chaque année une blessure sans contact au niveau du LCA. Un professionnel de la santé pourra diagnostiquer une rupture chez certains membres de cette population. S'en suit donc une rééducation prolongée visant à permettre un retour complet à la pratique sportive sans aucune restriction (RTS). Le RTS peut se définir en trois phases différentes (Arden et al., 2016) :

1. Retour à la participation : « *l'athlète peut participer à la rééducation, à l'entraînement (modifié ou non) ou au sport, mais à un niveau inférieur à son objectif de RTS* ».
2. Retour au sport (RTS) : « *l'athlète a repris le sport qu'il avait défini, mais n'atteint pas le niveau de performance qu'il souhaitait* ».
3. Retour à la performance : « *l'athlète a progressivement repris le sport qu'il avait défini et réalise des performances égales ou supérieures à son niveau d'avant la blessure* ».



Fig.1 : les trois éléments du continuum du retour au sport (Arden et al., 2016)

Pour atteindre le RTS, la littérature propose différents critères d'évaluation qui aident à la prise de décision (figure 2). La force musculaire, la force explosive, l'examen clinique du genou, la qualité du mouvement, les facteurs contextuels, les facteurs psychologiques ainsi que la symétrie entre les membres font notamment partie de ces critères (Barber-Westin & Noyes, 2011; Gokeler et al., 2022).

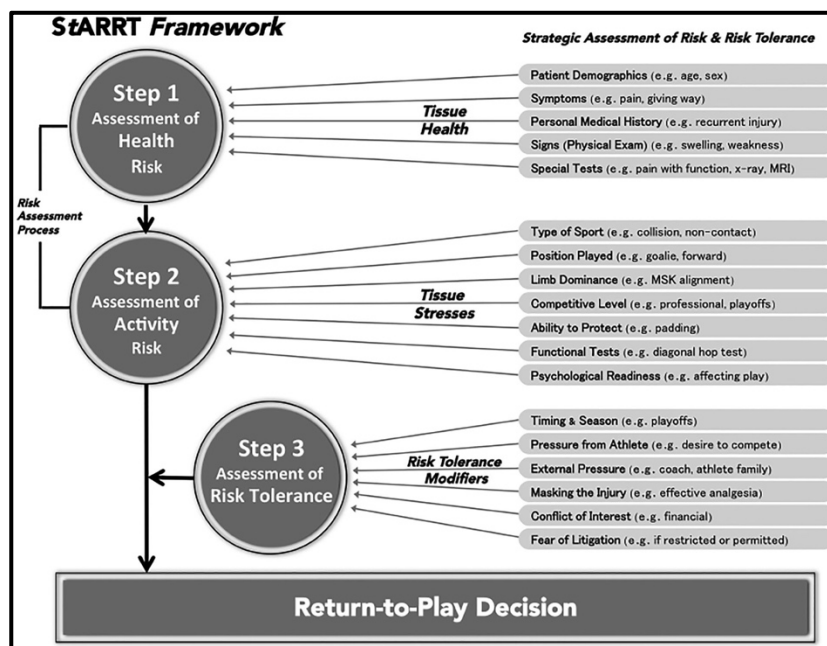


Fig.2 : Cadre d'évaluation stratégique du risque et de la tolérance au risque (StARRT) pour les décisions de retour au jeu.

A l'heure actuelle, pour répondre à ces différents critères, les professionnels de la santé disposent d'outils cliniques tels que le dynamomètre isocinétique, les tests de sauts horizontaux, les questionnaires auto-rapportés sur la fonction du genou et l'examen clinique (Barber-Westin & Noyes, 2011; Gokeler et al., 2022). Cependant, aujourd'hui, cette batterie de test de RTS se voit de plus en plus critiquée. En effet, environ 22% des patients se blessent à nouveau au LCA du côté ipsi ou controlatéral au cours des cinq premières années post-opératoires (Ahldén et al., 2012; Brophy et al., 2012; Rizvanovic et al., 2023). D'autres blessures peuvent également survenir en raison des stratégies de compensation adoptées par les patients : des pathologies de surcharge du membre controlatéral, des pathologies au niveau de la hanche ou de la cheville ipsilatérales (Webster & Hewett, 2019). Seulement 38% des patients pratiquant un sport pivot ont réussi à revenir à leur niveau antérieur dans les deux ans et sont encore en activité dans la division en question deux ans plus tard (Arden et al., 2014).

Trois revues systématiques ont suggéré que le manque de critères cliniques objectifs utilisés par les cliniciens pourrait contribuer aux résultats insatisfaisants du RTS (Barber-Westin & Noyes, 2011; N et al., 2013; Sd & Fr, 2011). Ces revues ont souligné que les tests isocinétiques et les tests fonctionnels de sauts horizontaux régulièrement utilisés ne sont pas suffisants et manqueraient de sensibilité dans l'évaluation de la symétrie pour un RTS optimal (A. Kotsifaki, Van Rossom, et al., 2022). Bien que le saut vertical soit moins utilisé que les sauts horizontaux dans les évaluations du RTS, il est inclus parmi les tests recommandés. La hauteur maximale comme variable semble être plus spécifique au genou avec une contribution de 34% lors de la phase de propulsion. La contribution du genou dans les sauts horizontaux n'atteignait que 13% lors de la phase propulsive (A. Kotsifaki et al., 2021). De plus, les déficits persistants, tels que ceux observés dans l'impulsion concentrique ou la hauteur de saut, même en présence de résultats favorables aux tests de force et de sauts horizontaux, témoignent de l'importance du saut vertical dans ces évaluations. Ces déficits ont été constatés dans une étude portant sur 126 footballeurs opérés au LCA, comparés à 532 sujets témoins, lors d'une tâche de saut vertical avec contre-mouvement (CMJ) bipodal et unipodal sur des plateformes de force (R. Kotsifaki et al., 2023). Le CMJ peut être divisé en 6 phases (figure 3) :

1. Bodyweight : le sujet est debout et stable ; les forces de réactions au sol verticales (GRFv) sont équivalentes au poids de la personne ; la vitesse est nulle.
2. Unweighting phase : le sujet fléchit les membres inférieurs pour préparer son saut ; les GRFv diminuent jusqu'à revenir à une valeur équivalente au poids du sujet ; la vitesse augmente négativement et la phase se termine au point le plus bas de la courbe de la vitesse.
3. Braking phase : le sujet atteint le point le plus bas du CMJ ; les GRFv augmentent ; une décélération est observée sur la courbe de la vitesse jusqu'à atteindre une vitesse nulle.
4. Propulsive phase : le sauteur effectue une extension rapide des membres inférieurs qui lui permet de décoller du sol ; les GRFv augmentent avant de retomber à 0 ; le sujet accélère et atteint sa vitesse maximale au moment du décollage. Durant cette phase, une variable mesurable est l'impulsion

concentrique correspondant à la quantité de mouvement produite durant la propulsion (figure 3 : point D à F).

5. Flight : le sujet est en l'air ; les GRFv sont nulles ; la vitesse diminue au fur et à mesure.
6. Landing : le participant retombe au sol ; un nouveau pic se dessine au niveau des GRFv ; le sujet décélère pour amortir l'atterrissage.

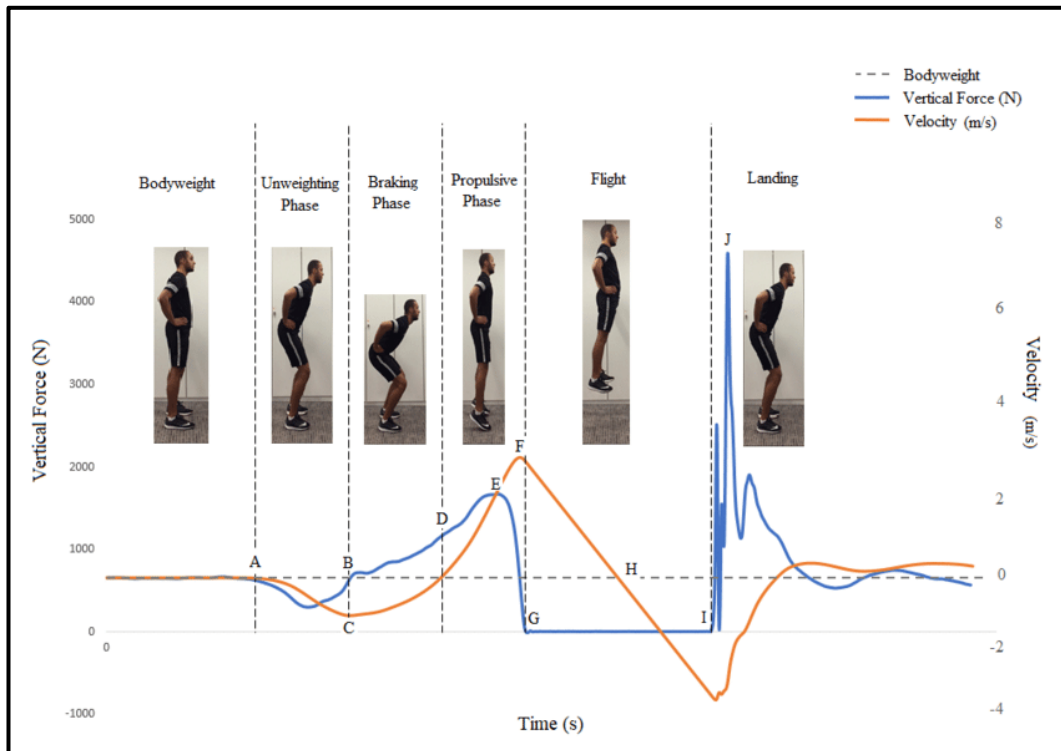


Fig.3 Coubes de la force et de la vitesse en fonction du temps d'un CMJ. (Chavda et al., 2018)

Dès lors, il semble pertinent de s'intéresser davantage aux paramètres fournis lors d'un CMJ effectué sur des plateformes de force. En effet, cette action couramment utilisée pour l'évaluation d'athlètes « sains » serait efficace pour apprécier des asymétries entre les membres. De plus, l'évaluation d'un patient au moyen d'un CMJ semble être assez représentative de la force explosive des membres inférieurs car elle requière de la force musculaire, de la puissance et une réponse des tendons élastiques à la charge (Dutaillis et al., s. d.) . Par ailleurs, cette action est simple à comprendre pour les athlètes et facile à mettre en place pour les cliniciens car de plus en plus de matériels à moindre prix et de bonne qualité sont mis à disposition dans le commerce.

L'étude mentionnée précédemment s'est basée sur une population de footballeurs semi-professionnels. Cependant, il semble nécessaire d'étendre la collecte de données afin que les professionnels de la santé puissent obtenir des normes pour cibler une population non-élite et ainsi optimiser leur prise en charge. C'est pourquoi, l'objectif de l'étude est d'examiner les différences sur les variables de performance de saut, d'impulsion concentrique et de l'indice de force réactive (mRSI) chez une population saine de jeunes sportifs récréatifs. Une évaluation comparant les genres et les niveaux d'activité physique des participants permettra de déterminer s'il est pertinent de former différents sous-groupes au sein de cette population. Pour ce faire, des données ont été recueillies au moyen de plateformes de force lors de la réalisation de sauts bipodaux et unipodaux.

II. Méthode

1. Participants

Soixante-quatre participants ont été recrutés sur une base volontaire. Ils ont été informés du projet soit grâce à une annonce diffusée sur les réseaux sociaux ou suite à une présentation introductive du travail de recherche délivrée à différents groupes d'éducation physique de l'UCL. L'étude a été menée au sein du Laboratoire de physiologie et biomécanique de la locomotion (LOCO) de l'Université catholique de Louvain, en Belgique. Tous les participants ont fourni leur consentement éclairé (Annexe 1) et l'étude a été approuvée par le comité d'éthique local PM 26/01/2015 (Annexe 2). Parmi les 64 sujets recrutés, 57 (tableau 1) répondaient aux critères d'inclusion suivants : (1) aucun antécédent de chirurgie des membres inférieurs, (2) aucune blessure mineure aux membres inférieurs telle qu'une entorse de cheville, une tendinopathie, une déchirure, une élongation ou une fracture du segment jambier au cours des six derniers mois précédant la prise de mesures, (3) engagement dans une activité physique d'au moins une heure par semaine, (4) âge compris entre 18 et 40 ans. Les données relatives à ces critères ont été recueillies à l'aide d'un formulaire auto-rapporté (Annexe 3) rempli par les participants le jour de leur évaluation.

Tableau 1

Statistiques descriptives des 57 sujets sains inclus dans l'expérience

	Sains
Sujets	57
Hommes	40
Femmes	17
Âge (année)	23 ± 2
Poids (kg)	72 ± 10
BMI (kg/m ²)	22 ± 2
Taille (cm)	180 ± 9
Heures d'activité physique par semaine	
1 à 6 (h/semaine)	24
plus de 6 (h/semaine)	33

2. Procédure

Au cours d'une session expérimentale, les participants ont exécuté, dans un ordre précis, trois sauts en contre-mouvement bipodaux (CMJ) suivis de trois sauts en contre-mouvement unipodaux (CMJ) pour chaque jambe. Une période de récupération minimale d'une minute a été accordée entre chaque tentative ainsi qu'entre les différentes modalités de saut. Deux plateformes de force reliées au logiciel d'acquisition 3D-Force Plate (Arsalis, Louvain-la-Neuve, Belgique) ont été utilisées pour enregistrer les données de chaque saut à une fréquence d'échantillonnage de 1000 Hz. Tous les participants ont effectué un protocole d'échauffement standardisé de cinq minutes à une intensité sous-maximale, comprenant des exercices de course sur place, des sauts écartés ("jumping jack"), des squats, des squats sautés et des petits sauts unipodaux.

Avant la session de tests, les participants ont visionné une vidéo expliquant en détail les consignes de réalisation des différents sauts. Avant chaque série de sauts, l'expérimentateur a procédé à l'encodage des informations personnelles du sujet (nom, prénom, taille avec chaussures, âge) dans le système de collecte de données, à la remise à zéro des plateformes, à la mesure du poids du sujet sur les plateformes et à la sélection du programme d'acquisition approprié. Ensuite, après que l'opérateur ait expliqué et démontré la tâche, le participant a effectué deux sauts sous-maximaux d'entraînement avant de réaliser les sauts de l'évaluation. La qualité de chaque saut a été analysée directement par l'évaluateur. En cas de saut jugé non-valide selon les critères décrits ci-dessous, le sujet devait répéter la tâche spécifique jusqu'à ce que trois sauts conformes aient été obtenus pour chaque type de saut.

3. Critères CMJ bipodal et unipodal

Pendant le CMJ bipodal (figure 4), les participants étaient instruits de se tenir debout avec un pied sur chaque plateforme de force, les mains sur les hanches, et d'adopter une posture immobile pendant au moins 2 secondes avant le début du test. Pour qu'un saut soit considéré comme valide, le sujet devait exécuter un contre-mouvement fluide, sauter à la hauteur maximale possible, maintenir la position des mains sur les hanches pendant toute la phase d'acquisition des données, et se

stabiliser en position debout à la fin du saut. Pour le CMJ unipodal, les instructions de saut étaient similaires, à l'exception des phases de départ et de réception. Dans ce cas, les participants étaient informés de se tenir sur un seul pied sur la plateforme de force correspondante au côté évalué, et après le saut, de se réceptionner sur le même pied avant de se stabiliser en position debout sur les deux pieds.



Fig.4 : Illustration de la réalisation d'un CMJ bipodal sur deux plateformes de force au sein du Laboratoire de physiologie et biomécanique de la locomotion (LOCO)

4. Logiciel d'analyse des données et validation

Dans le cadre du cours *Technologie et réadaptation*, sous la supervision de Monsieur Bastien Guillaume et Monsieur Brebels Romain, un logiciel d'analyse des données brutes a été développé sur LabVIEW 21.0. Le software permettait la connexion aux plateformes de force et la lecture de mesures enregistrées préalablement à ce mémoire. Ensuite, une matrice de calculs a été construite pour convertir les données brutes en paramètres biomécaniques de saut. Pour la validation du logiciel d'analyse, le tracé type d'un CMJ, avec des valeurs connues a été construit (figure 5). Ceci a permis de calculer et vérifier manuellement les différentes variables. Vous trouverez ci-dessous le tracé type avec les différents paramètres utilisés pour la vérification. Un comparatif entre les valeurs obtenues à partir du tracé type et les valeurs calculées avec le logiciel est présenté en annexe 4.

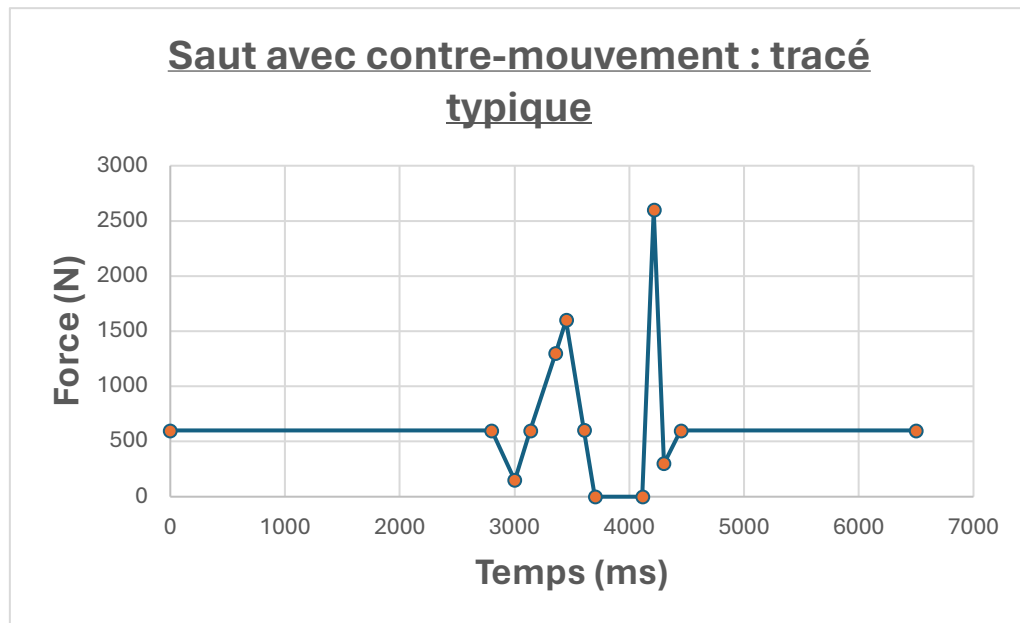


Fig.5 : tracé type d'un saut avec contre-mouvement et les différentes valeurs utilisées pour le calcul des paramètres.

5. Sélection des paramètres et statistiques

Des statistiques descriptives ont été utilisées pour présenter les caractéristiques des participants. Notre groupe contrôle de 57 sujets a été scindé en 4 afin d'avoir un nombre suffisant de sujets par sous-groupe. Les participants ont été répartis en fonction du sexe (homme ou femme) et du nombre d'heures d'activité physique pratiquées par semaine (1 à 6h ou plus de 6h). Trois variables représentant différents aspects du CMJ ont été retenues pour être analysées :

- L'impulsion concentrique correspond à la quantité de mouvement pendant la phase propulsive. Cela revient à calculer l'aire sous la courbe du graphe force-temps du CMJ.
- La hauteur de saut, déterminée par la vitesse au décollage du sujet.
- L'indice de réactivité du membre (mRSI), calculé comme le rapport entre la hauteur de saut et le temps écoulé entre l'initiation du contre-mouvement et le décollage (=time to takeoff).

Ces trois paramètres ont été sélectionnés car des altérations restaient présentes chez le sujet opéré du LCA 6 mois post chirurgie en comparaison à des sujets sains. En revanche, aucune différence significative n'avait été relevée pour une série d'autres valeurs examinées.

Le test de Shapiro-Wilk a examiné la normalité des données pour chaque sous-groupe et chaque variable étudiée. Dans la condition où les valeurs (jambe dominante et non dominante) suivaient une distribution normale, un test-t de Student a été réalisé pour identifier toutes les différences entre les membres. Lorsque les valeurs n'étaient pas distribuées normalement, un test-t non paramétrique (test de Wilcoxon) a été utilisé. L'analyse des données pour le CMJ bipodal et unipodal n'a montré aucune différence significative entre les valeurs des deux membres. Par conséquent, la moyenne du membre dominant et non-dominant a été utilisée pour examiner les interactions entre les groupes et établir les valeurs de référence. De plus, l'indice de symétrie des membres (LSI) est une mesure supplémentaire qui permet d'évaluer la différence entre les membres et est couramment utilisée dans la littérature. Il correspond au rapport entre le membre non-dominant et le dominant exprimé en pourcentage (O'Malley et al., 2018). C'est pourquoi, les valeurs moyennes de LSI ont également été calculées pour ce mémoire. Enfin, une ANOVA II a été réalisée afin d'observer les interactions entre les deux facteurs précédemment cités, l'appartenance à un genre et le temps d'activité physique par semaine, sur les différentes variables retenues. Une analyse post hoc avec correction de Bonferroni a été effectuée afin d'affiner l'interaction des 4 groupes. Le logiciel SPSS (version 29.1.0.1) a permis d'effectuer l'ensemble des méthodes d'analyse statistique citées ci-dessus.

III. Résultats

1. Saut vertical avec contre-mouvement bipodal

Les analyses statistiques ont montré des différences significatives en fonction du sexe du sujet ou du temps d'activité physique pratiqué par semaine (tableau 2 ; figure 6). Les hommes ont des valeurs significativement supérieures aux femmes en ce qui concerne le mRSI, l'impulsion concentrique et la performance de saut. De plus, les personnes qui pratiquent plus de six heures d'activité physique par semaine sont significativement meilleures que les personnes pratiquant une à six heures d'activité par semaine pour ces trois mêmes variables.

Tableau 2

Résultats des paramètres biomécaniques sélectionnés du CMJ bipodal

CMJ bipodal			
Paramètres	Homme (moy ± ET)	Femme (moy ± ET)	p valeur
mRSI (HS/TTT)	0,41 ±0,09	0,28 ±0,07	< 0,001
Imp. Conc unipodal (Ns/kg)	1,33 ±0,11	1,06 ±0,12	< 0,001
LSI (%)	99,86 ±20	106,76 ±21	/
Paramètres	1 à 6h d'APS/sem (moy ± ET)	Plus de 6h d'APS/sem (moy ± ET)	p valeur
mRSI (HS/TTT)	0,30 ±0,09	0,42 ± 0,09	< 0,001
Imp. Conc unipodal (Ns/kg)	1,13± 0,17	1,33 ± 0,11	< 0,001
LSI (%)	103,04 ±23	101,11 ±19	/

*mRSI = indice de réactivité du membre ; HS = hauteur de saut (m) ; TTT = temps pour décoller ; imp. = impulsion ; conc = concentrique ; moy = moyenne ; APS = activité physique par semaine ; CMJ = saut avec contre-mouvement. * $p < 0,05$ = différence significative*

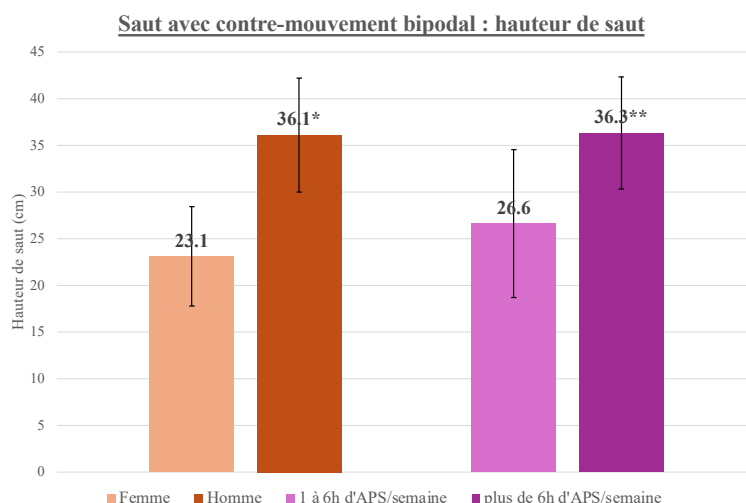


Fig.6. Histogramme comparatif des performances entre (1) les sexes et (2) le volume d'activité physique hebdomadaire. APS = activité physique par semaine. * Différence significative ($p < 0,05$) entre les hommes et les femmes pour le CMJ bipodal. ** Différence significative ($p < 0,05$) entre les sujets pratiquant 1 à 6h d'activité physique par semaine et les sujets pratiquant plus de 6h pour le CMJ bipodal.

Les résultats de l'analyse comparative entre les quatre groupes définis par le sexe et le volume d'activité physique hebdomadaire, utilisant le test post hoc avec correction de Bonferroni, ont révélé plusieurs différences significatives (tableau 3 et figure 7). Pour toutes les variables du saut bipodal, les femmes pratiquant moins de 6 heures de sport par semaine ont montré des résultats significativement inférieurs par rapport aux trois autres groupes. Aucune différence significative n'a été observée entre les groupes de femmes sportives et d'hommes moins sportifs. Concernant les hommes pratiquant plus de 6 heures d'activité physique par semaine, leurs performances étaient significativement supérieures à celles des femmes sportives en ce qui concerne l'impulsion concentrique et la hauteur de saut. Cependant, aucune différence significative n'a été observée pour le mRSI entre ces deux groupes. Les différents groupes d'hommes, malgré des volumes d'heures de sport différents, ne présentaient pas de différences significatives entre eux.

Tableau 3

Résultats des paramètres biomécaniques sélectionnés du CMJ bipodal

CMJ Bipodal				
	Fe < 6h	Fe > 6h	Ho < 6h	Ho > 6h
mRSI (HS/TTT)	0,25 ±0,05 ^{a,b,c}	0,35 ±0,04 ^{c,d}	0,36 ±0,08 ^d	0,43 ±0,09 ^d
Imp. Conc.	1,00 ±0,09 ^{a,b,c}	1,20 ±0,04 ^{c,d}	1,26 ±0,12 ^d	1,35 ±0,10 ^{a,d}
Unipodal (Ns/kg)				

mRSI = indice de réactivité du membre ; *HS* = hauteur de saut ; *TTT* = temps pour décoller ; *Imp.* = impulsion ; *Conc.* = concentrique. (^a) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe de femmes sportives ; (^b) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe d'hommes moins sportifs ; (^c) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe d'hommes sportifs ; (^d) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe de femmes moins sportives.

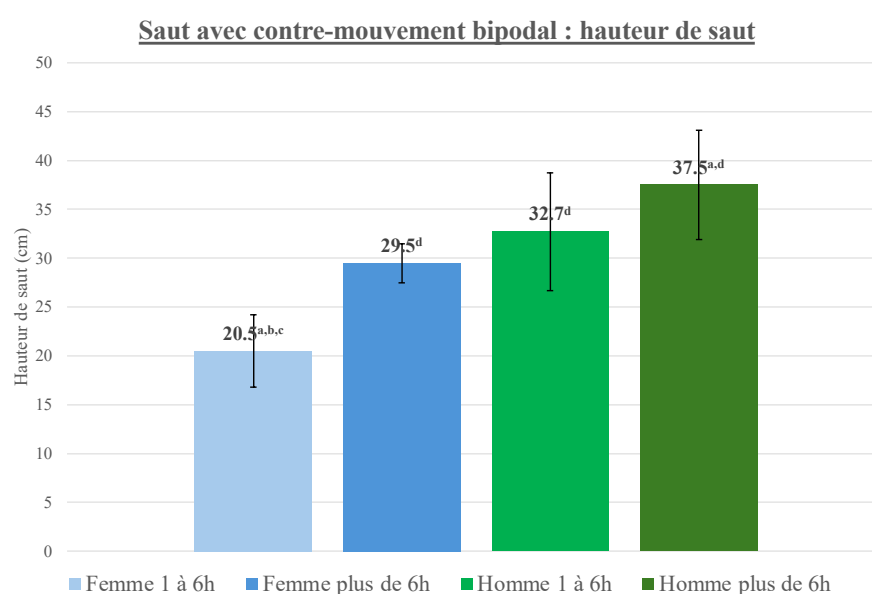


Fig. 7. Histogramme comparatif des hauteurs de saut des 4 groupes. (^a) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe de femmes sportives ; (^b) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe d'hommes moins sportifs ; (^c) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe d'hommes sportifs ; (^d) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe de femmes moins sportives.

Saut vertical avec contre-mouvement unipodal

Le tableau 4 et la figure 8 illustrent les différences significatives observées sur les variables analysées. Les LSI moyens sont proches de 100% puisqu'aucune différence significative n'avait été observée entre le membre dominant et non-dominant. Le mRSI, l'impulsion concentrique et la performance de saut sont significativement plus élevés chez les hommes que chez les femmes. De plus, les individus très sportifs affichent des performances significativement meilleures que ceux qui pratiquent entre une et six heures par semaine pour ces trois mêmes variables.

Tableau 4

Résultats des paramètres biomécaniques sélectionnés du CMJ unipodal

CMJ unipodal			
Paramètres	Homme (moy ± ET)	Femme (moy ± ET)	p valeur
mRSI (HS/TTT)	0,18 ± 0,05	0,11 ± 0,04	< 0,001
LSI (%)	99,26 ± 17	98,34 ± 18	/
Imp. Conc. (Ns/kg)	1,79 ± 0,21	1,35 ± 0,23	< 0,001
LSI (%)	98,94 ± 8	98,88 ± 8	/
Paramètres	1 à 6h d'APS/sem (moy ± ET)	Plus de 6h d'APS/sem (moy ± ET)	p valeur
mRSI (HS/TTT)	0,12 ± 0,04	0,19 ± 0,05	< 0,001
LSI (mRSI)	96,98 ± 18	99,14 ± 18	/
Imp. Conc. (Ns/kg)	1,46 ± 0,29	1,81 ± 0,20	< 0,001
LSI (%)	97,78 ± 8	98,78 ± 6	/

mRSI = indicie de réactivité du membre ; HS = hauteur de saut (m) ; TTT = temps pour décoller ; imp. = impulsion ; conc = concentrique ; moy = moyenne ; APS = activité physique par semaine ; CMJ = saut avec contre-mouvement. * $p < 0,05$ = différence significative pour la même variable en fonction d'un facteur.

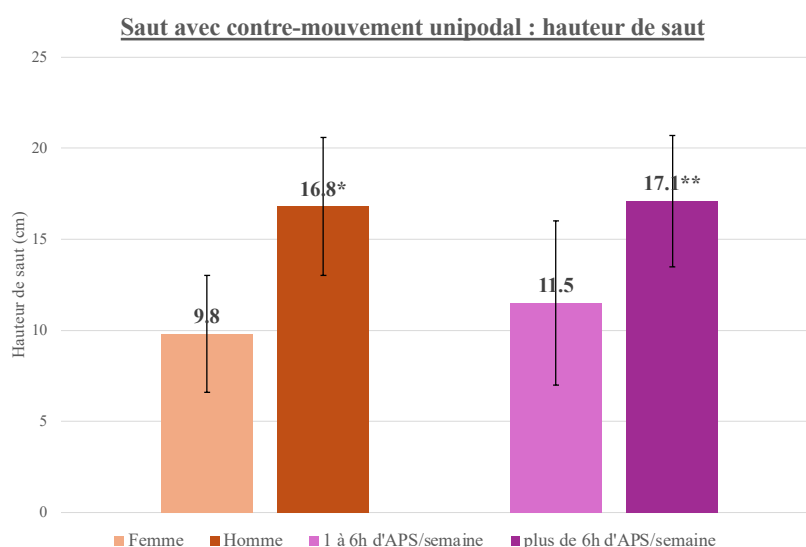


Fig.8 Histogramme comparatif des performances entre (1) les sexes et (2) le volume d'activité physique hebdomadaire. APS = activité physique par semaine. * Différence significative ($p < 0,05$) entre les hommes et les femmes pour le CMJ bipodal. ** Différence significative ($p < 0,05$) entre les sujets pratiquant 1 à 6h d'activité physique par semaine et les sujets pratiquant plus de 6h pour le CMJ bipodal.

L'analyse comparative entre les quatre groupes définis par le sexe et le volume d'activité physique hebdomadaire, et utilisant le test post hoc avec correction de Bonferroni, a mis en évidence un certain nombre de différences significatives

(tableau 5 et figure 9). Pour toutes les variables du saut unipodal, les femmes pratiquant moins de 6 heures de sport par semaine ont montré des résultats significativement inférieurs par rapport aux trois autres groupes. Aucune différence significative n'a été observée entre les groupes de femmes sportives et d'hommes moins sportifs ou sportifs, excepté pour le mRSI. Les différents groupes d'hommes, malgré des volumes d'heures de sport différents, ne présentaient pas de différences significatives entre eux excepté pour le mRSI.

Tableau 5

Résultats des paramètres biomécaniques sélectionnés du CMJ unipodal

CMJ unipodal				
	Fe < 6h	Fe > 6h	Ho < 6h	Ho > 6h
mRSI (HS/TTT)	0,09 ±0,03 ^{a,b,c}	0,16 ±0,03 ^d	0,15 ±0,03 ^{c,d}	0,20 ±0,05 ^{b,d}
Imp. Conc.	1,23 ±0,16 ^{a,b,c}	1,62 ±0,10 ^d	1,68 ±0,21 ^d	1,84 ±0,19 ^d
Unipodal (Ns/kg)				

mRSI = indice de réactivité du membre ; HS = hauteur de saut ; TTT = temps pour décoller ; Imp. = impulsion ; Conc = concentrique. (^a) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe de femmes sportives ; (^b) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe d'hommes moins sportifs ; (^c) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe d'hommes sportifs ; (^d) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe de femmes moins sportives.

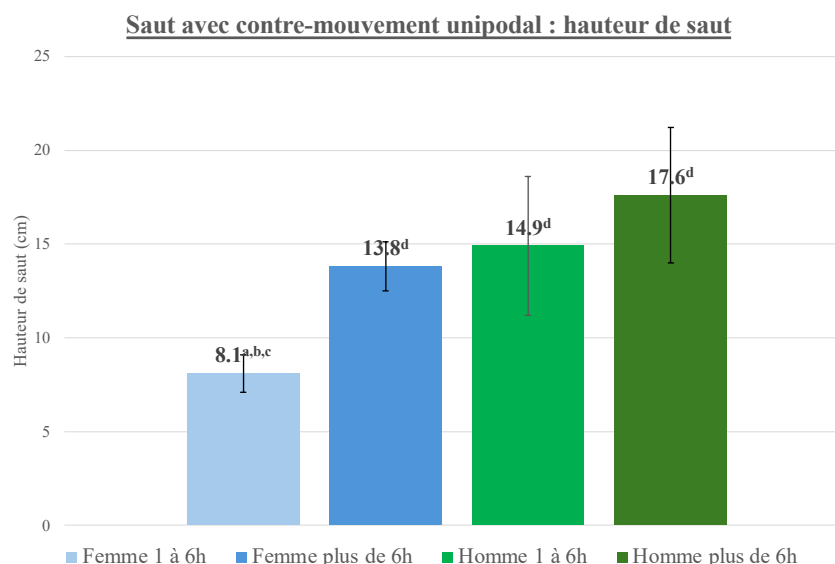


Fig.9. Histogramme comparatif des hauteurs de sauts des 4 groupes. (^a) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe de femmes sportives ; (^b) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe d'hommes moins sportifs ; (^c) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe d'hommes sportifs ; (^d) différence significative ($p < 0,05$) avec le groupe de femmes moins sportives.

IV. Discussion

Au cours de cette expérience, trois variables du CMJ bipodal et unipodal ont été analysées et les données relatives à celles-ci ont permis d'établir des valeurs normatives pour une population de jeunes sportifs récréatifs. Les résultats obtenus permettent de répondre aux questions : (1) quelles sont les différences observées dans les performances de saut, l'impulsion concentrique et l'indice de force réactive (mRSI) chez une population saine de jeunes sportifs récréatifs ? (2) Est-il pertinent d'effectuer des sous-groupes au sein d'une population de sportif récréatif afin d'établir des normes spécifiques ?

Des différences significatives ont été observées entre les hommes et les femmes ainsi qu'entre les sujets pratiquants une à six heures d'activité physique par semaine et les participants qui exerçaient plus de six heures. L'analyse des quatre groupes scindés selon le sexe et le volume de sport a montré que les femmes moins sportives sont systématiquement inférieures aux trois autres groupes. Aucune différence ne semble avoir été trouvée entre les femmes sportives et les hommes pratiquant une à six heures d'activité physique. L'augmentation du nombre d'heures de sport chez les hommes ne provoquerait pas de différences significatives entre ceux qui sont moins et ceux qui sont plus sportifs.

Il semblerait que l'appartenance au genre (homme ou femme) influence significativement la hauteur de saut ainsi que le mRSI, qui sont deux variables exprimées en valeurs absolues. En effet, dans notre étude, la différence entre les hommes et les femmes serait de 37% (femme = 23,1 cm ; homme = 36,1 cm) lors du saut bipodal et de 42% (femme = 9,8 cm ; homme = 16,8 cm) en ce qui concerne le CMJ unipodal. L'étude menée par Smith et al. (2020) est parvenue à des résultats similaires à notre mémoire en observant une différence de 40% pour un CMJ bipodal (figure 10). Ces différences de performance pourraient être attribuées aux caractéristiques anthropométriques des hommes, leur permettant de produire une force maximale plus importante que les femmes. Ces derniers présenteraient une masse musculaire plus importante, des extenseurs des genoux plus épais et une proportion de masse grasse plus faible (Smith et al., 2020). De plus, les hommes auraient une activité électromyographique du *rectus femoris* plus importante que

les femmes, soulignant un plus grand recrutement de l'unité motrice et par conséquent, une génération de force d'extension du genou majorée (Lees et al., 2004).

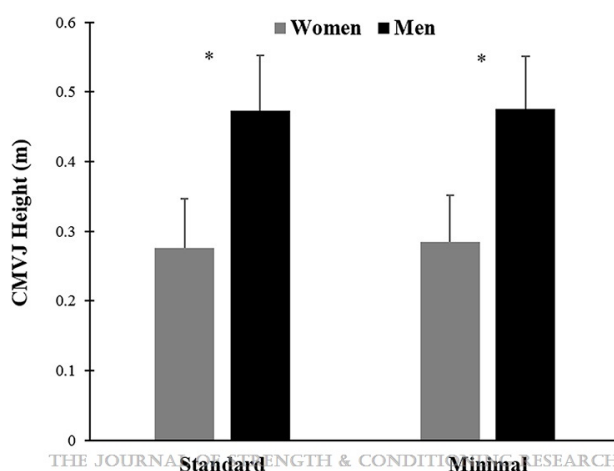


Fig.10. Déplacements du saut vertical en contre-mouvement (CMVJ) pour les femmes et les hommes portant des chaussures standard et minimalistes. *Effet principal du sexe ($p < 0,05$). (Smith et al., 2020)

Dans notre étude, les femmes présentent également des résultats inférieurs aux hommes pour l'impulsion concentrique, malgré la normalisation en fonction du poids corporel lors d'un CMJ. Ces résultats semblent être différents des données observées dans la littérature. En effet, l'étude de Rice et al. (2017) n'a pas noté de différence significative entre les sexes en ce qui concerne l'impulsion concentrique normalisée lors d'un CMJ bipodal. Ces auteurs ont analysé sur plateforme de force un échantillon composé de 21 hommes et 13 femmes évoluant en division 1 au basketball. Malgré la divergence observée sur l'impulsion concentrique normalisée en fonction du poids corporel, nos valeurs de hauteur de saut semblent cohérentes avec celles rapportées dans la littérature, notamment pour notre groupe d'hommes sains (tableau 6).

Tableau 6

Comparaison des normes établies avec des données provenant de la littérature

Études	Sujets sains		
	Mémoire UCL 2023-2024	O'Malley et al. (2018)	R. Kotsifaki et al. (2023)
Nombre de sujet	40	44	532
Hauteur de saut (CMJ bip)	36.1 ± 6.1	/	36.3 ± 5.4
Hauteur de saut (CMJ unip)	16.8 ± 3.8	17 ± 4.1	17.4 ± 3.7

CMJ = saut avec contre-mouvement ; bip = bipodal ; unip = unipodal.

Malgré les similitudes dans les caractéristiques anthropométriques de notre échantillon et ceux étudiés par R. Kotsifaki et al. (2023) et O'Malley et al. (2018), une distinction réside dans le profil sportif des participants. Tandis que les deux études précédentes se sont concentrées sur des footballeurs ou des adultes pratiquant des disciplines avec des changements de direction, notre échantillon regroupe des sujets exerçant un panel plus varié de sports (tableau 7).

Tableau 7

Récapitulatif des disciplines pratiquées par les sujets réalisant plus de six heures d'activité physique par semaine

Sports avec sauts	n	Sports sans sauts	n
Basketball	4	Fitness	12
Football	6	Rugby	3
Handball	1	Cyclisme	2
Volleyball	3	Natation	1
Athlétisme	2	Sports de combat	5
		Escalade	2
		Sports raquettes	5
		Course à pied	9

n = nombres de participants qui pratiquent la discipline

Le type de sport pourrait influencer la performance en saut vertical. Les sujets qui réalisent fréquemment des sauts durant leurs entraînements exploitent et développent leur pliométrie, impliquant le cycle d'étirement et de raccourcissement des muscles. Cette méthode a montré des améliorations positives dans la performance du saut vertical (Beato et al., 2018). Ce mémoire n'a pas pu classer les sujets par sous-groupe, selon le type de sport, sous peine d'obtenir un nombre insuffisant de sujets dans chaque groupe. Toutefois, par rapport aux deux autres études, nos sujets ont pu être divisés selon leur volume d'activité physique hebdomadaire. Les différences rapportées entre ces deux groupes peuvent être attribuées à un développement musculaire plus prononcé chez les individus très actifs par rapport à ceux qui pratiquent moins de six heures d'activité physique par semaine. En effet, les entraînement en endurance et en résistance améliorent significativement la force musculaire des membres inférieurs bien que les effets du premier soient moindre que ceux du second type (Lo et al., 2011).

Ensuite, nous avons observé une symétrie entre les deux membres dans nos différents groupes lors de différentes tâches de CMJ. Cette constatation concorde avec les résultats de R. Kotsifaki et al. (2023) qui ont analysé les données de 532 sujets contrôles et ont également conclu à une symétrie entre les membres. Dans la littérature, il n'y pas de consensus concernant la détermination de la dominance d'un membre en raison de la variabilité observée lors de différentes tâches (McGrath et al., 2016). Une étude récente portant sur 41 adultes en bonne santé a examiné cette problématique à l'aide d'un questionnaire auto-administré et d'observations lors de la réalisation de 6 tâches spécifiques (van Melick et al., 2017). Les résultats ont montré que la jambe dominante lors de tâches impliquant une mobilisation bilatérale, comme frapper un ballon de football, était également dominante lors de tâches de stabilisation unilatérale, comme sauter sur une jambe, chez environ 50 % des hommes et 70 % des femmes. Cette constatation indique qu'un nombre important de participants ont changé de jambe dominante selon le type de tâches. De plus, ne sachant pas la localisation de la rupture du LCA (membre dominant ou non-dominant), la moyenne des deux membres pour les sujets sains semble pertinente comme valeur de référence pour guider la rééducation. Les normes de ce présent travail sont en effet supérieures aux résultats obtenus dans les deux études évaluant des patients au moins six mois après l'intervention chirurgicale pour une rupture du LCA. Nos sujets de sexe masculin sautent en moyenne à 36,1 cm ($\pm 6,1$ cm) pour les CMJ bipodaux et 16,8 cm ($\pm 3,8$ cm) pour les CMJ unipodaux. Une étude sur 32 footballeurs amateurs rapportait une hauteur de saut de 28,3 cm (± 6 cm) en bipodal et 10,5 cm ($\pm 3,6$ cm) en unipodal (R. Kotsifaki et al., 2023). Ces déficits persistants sont cohérents avec les résultats de notre étude pilote où un sujet 6 mois post-opératoire LCA saute moins haut qu'un de nos sujets sains (figure 11). Pendant la phase de propulsion, une augmentation rapide de la force, suivie d'un pic de force plus élevé au moment du décollage, améliore la performance du sujet sain. La différence de temps de vol des deux participants peut se repérer sur le graphe lorsque les forces sont nulles et confirmer les moindres résultats du sujet LCA en termes de hauteur de saut. Ce paramètre peut s'exprimer en effectuant le produit de la force pesanteur divisée par deux et le carré du temps de vol. Le tableau 8 illustre de manière chiffrée les différences entre ces sujets.

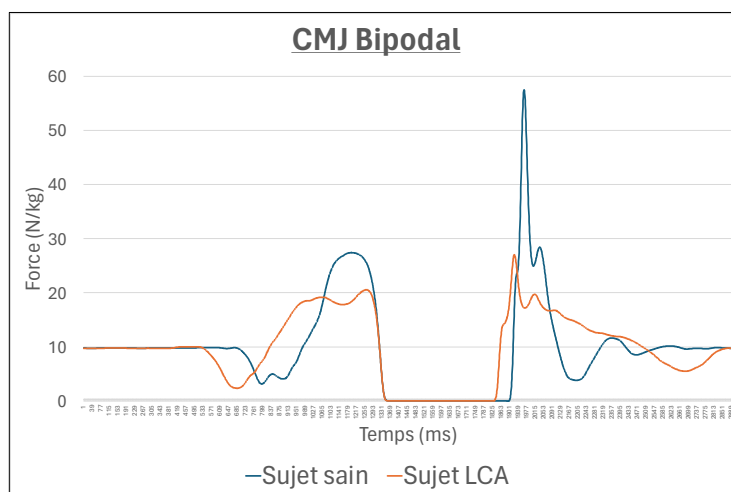


Fig.11. Cinétique d'un saut avec contre-mouvement bipodal d'un sujet sain (bleu) et d'un sujet opéré du LCA 6 mois post-opératoire (orange). Les tracés ont été normalisés en fonction du poids corporel.

Tableau 8

Valeurs comparatives d'un saut avec contre-mouvement bipodal d'un sujet sain et d'un sujet opéré du LCA 6 mois post-opératoire

Sujet	Sain	LCA
Pic de force (N/kg)	27.5	20.7
LSI (%)	99.9	96.5
Temps aérien (ms)	568	505
Hauteur de saut (cm)	39.9	30.8
Impulsion concentrique unipodal (Ns/kg)	1.92	1,46
LSI (%)	94.8	87.9

En complément de ces repères chiffrés, dans le cadre d'un retour au sport, une valeur de LSI supérieure à 90% voire 100% pour les sports à changements de direction et sports de contact est utilisée pour minimiser le risque de rechute (Benjaminse et al., 2018; Wellsandt et al., 2017). L'utilisation de cet indicateur lors d'un saut vertical révèle une meilleure sensibilité en comparaison au saut horizontal pour l'asymétrie des membres chez les sujets post chirurgie d'un LCA. Des résultats inférieurs aux recommandations du RTS ont été observés pour des variables telles que l'impulsion concentrique et la hauteur de saut malgré un LSI >90% aux tests de saut horizontal, une reprise de l'activité antérieure et un délai de minimum 6 mois post-opératoire (R. Kotsifaki et al., 2023). D'autres études ont également signalé des déficits persistants dans la phase concentrique du CMJ chez des athlètes professionnels jusqu'à 9 mois après l'opération et chez des skieurs professionnels jusqu'à deux ans après la chirurgie (Jordan et al., 2015; Read et al., 2020). Bien que ces études attestent de la pertinence du LSI lors de la réalisation d'un CMJ, des

recherches montrent que le membre controlatéral à la lésion subit également une atrophie musculaire durant la rééducation et donc une perte de force (Thomeé et al., 2012). La régression du membre controlatéral peut être la conséquence d'une priorité mise sur le membre lésé, un manque d'activité inhérent à l'acte chirurgical, un déconditionnement suite à l'arrêt de la rééducation, des adaptations bilatérales du mouvement (Patterson et al., 2020). Dès lors, les déficits neuromusculaires bilatéraux remettraient en question l'utilisation du LSI, qui pourrait surestimer la récupération du patient. Notre étude pilote a pu mettre en évidence ce phénomène (figure 12 et tableau 9). Le patient a aussi réalisé des CMJ unipodaux. L'observation des différents tracés normalisés en fonction du poids corporel montre une infériorité de la jambe saine du sujet LCA (orange) comparé au sujet sain (vert). De plus, les deux courbes du sujet opéré du LCA 6 mois post-opératoire sont relativement similaires bien que la jambe non-opérée reste supérieure à l'autre (tableau 9).

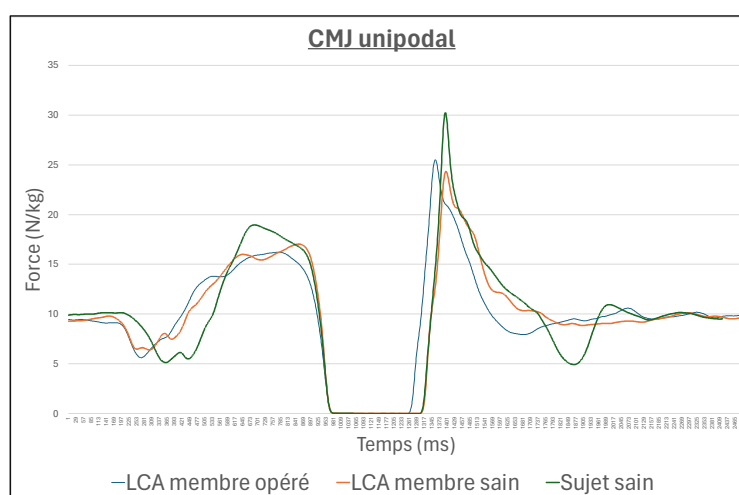


Fig.12. Cinétique d'un saut avec contre-mouvement unipodal. Comparaison des tracés cinétiques entre un sujet sain, le membre opéré et non-opéré d'un sujet LCA 6 mois post-opératoire. Les tracés ont été normalisés en fonction du poids corporel.

Tableau 9

Variables d'un saut avec contre-mouvement unipodal (sujet opéré du LCA 6 mois post-opératoire)

	LCA membre sain	LCA membre opéré
Pic de force (N/kg)	16.81	16.23
LSI (%)	96.53	
Impulsion concentrique ((Ns/kg)	1.63	1.43
LSI (%)	87.91	
Temps de vol (ms)	340	296
LSI (%)	87.08	
Hauteur de saut (cm)	13,6	10,5
LSI (%)	77.06	

Une comparaison aux valeurs personnelles pré-blessure des patients serait le meilleur outil pour personnaliser la rééducation mais peu de patients disposent de ces valeurs de référence. C'est pourquoi les cliniciens devraient comparer les résultats aux normes existantes et interpréter prudemment les valeurs de LSI.

Ce mémoire a analysé trois variables sur un saut bipodal et un saut unipodal. Chaque évaluation offre des données cruciales pour la rééducation. Le CMJ bipodal permet d'évaluer la performance globale des membres inférieurs (hauteur de saut et mRSI) , tout en fournissant un aperçu des éventuels mouvements compensatoires d'une jambe par rapport à l'autre avec l'impulsion concentrique d'une seule jambe. Les valeurs de référence obtenues à partir des 57 sujets sains doivent toutefois être interprétées avec prudence. En effet, une performance globale peut être atteinte malgré que la jambe opérée ne soit pas efficace dans la réalisation du saut par un score inférieur aux références ou un LSI inférieure à 90%. Le sujet pourrait par exemple déplacer le poids du corps sur la jambe non-opérée (R. Kotsifaki et al., 2023), ayant pour conséquence l'apparition de blessures au membre opposé à la chirurgie initiale (Webster & Hewett, 2019). Dès lors, les cliniciens ne disposant que d'une seule plateforme de force devraient faire preuve de prudence dans l'interprétation des données provenant d'un CMJ bipodal et intégrer le CMJ unipodal. Deux travaux antérieurs n'ont pas rapporté de disparités entre les membres en ce qui concerne les performances métriques du saut vertical et de l'impulsion concentrique pour le saut unipodal (R. Kotsifaki et al., 2023; O'Malley et al., 2018). Ces deux recherches ont identifié des asymétries pour ces variables sur des échantillons de sujets ayant subi une reconstruction du LCA au moins six mois après l'opération. L'utilisation des plateformes de force, que ça soit pour le saut bipodal ou unipodal, limite tout de même l'interprétation des compensations. En effet, les contributions intra-membres nécessitent une analyse tridimensionnelle du sujet au moyen de caméras captant la position dans l'espace de marqueurs placés sur le sujet. Une diminution de la performance du genou au profit de la hanche a notamment été observée alors que la hanche, le genou et la cheville participent chacun pour un tiers de la performance globale en saut vertical (O'Malley et al., 2018).

La précision des outils de mesure est importante dans l'évaluation de patients. La précision des variables abordées pour ce mémoire réside dans l'utilisation de deux plateformes de force. Leur fréquence d'échantillonnage a été calibrée à 1000 Hz et son programme d'analyse des données a été validé au moyen d'un tracé type d'un CMJ. Cependant, dans la pratique clinique, il n'est pas toujours possible d'obtenir des données provenant de technologies dont disposent les laboratoires. C'est pourquoi l'industrie du sport développe depuis plusieurs années des plateformes de force transportables (figure 13A). Ces dispositifs, moins onéreux, offrent un bon compromis entre précision et accessibilité bien qu'une certaine expertise dans l'analyse de ces données reste nécessaire. Ils représentent donc des outils intéressants pour les cliniciens dans l'évaluation des patients opérés.

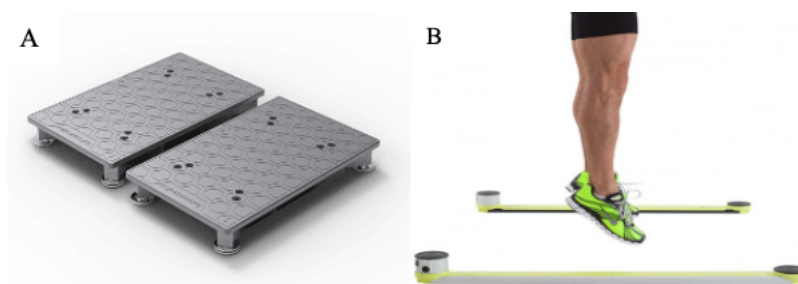


Fig.13. A = Plateformes de force portable. (« ForceDecks | Dual Force Plate System | VALD Performance », s. d.). B = Optojump (Optojump, s. d.)

Une alternative aux plateformes de force transportables existe également avec les systèmes photoélectriques, comme l'optojump (figure 13B). Ce dispositif calcule le temps de vol en millisecondes et estime la hauteur du saut en utilisant la seconde loi de Newton. Des études antérieures, mentionnées précédemment dans ce travail, ont observé des asymétries entre le membre opéré et non-opéré (R. Kotsifaki et al., 2023; O'Malley et al., 2018). Il est important d'interpréter prudemment les résultats obtenus car l'estimation de la hauteur de saut par le temps de vol peut entraîner une surestimation de la hauteur réelle du saut. En effet, la phase de montée équivaut à 50% du temps de vol et les autres 50% correspondent à la phase de descente. Cependant, lors d'un saut vertical, les athlètes quittent le sol en ayant les membres inférieurs complètement étendus et ils atterrissent en fléchissant légèrement les genoux et les hanches avec une dorsiflexion de cheville de sorte à atténuer les forces à l'atterrissage. Par conséquent, la durée de la phase descendante pourrait être plus longue que la phase d'ascension. Par opposition, une étude menée par Glatthorn et al. (2011) a montré que les optojumps sous-estimaient en moyenne de 1,06 cm (ou

de 2,5%) la hauteur d'un CMJ par rapport au gold standard, la plateforme de force bien que les coefficients de corrélation intraclass étaient très élevés (0,997-0,998). Ces auteurs ont également examiné la fiabilité de mesure des optojumps en évaluant 20 sujets (10 hommes et 10 femmes) sur deux sessions distancées d'une semaine. Les analyses ont rapporté de faibles coefficients de variation (2,7 %) et de faibles erreurs aléatoires ($\pm 2,81$ cm). Étant donné les valeurs excellentes de validité et de fiabilité de l'optopjump, cet outil semble aussi être une bonne alternative pour les cliniciens. Il est important d'utiliser le même outil d'évaluation lors des analyses longitudinales afin de pouvoir interpréter les résultats d'un changement.

V. Limites

Une des limitations réside notamment dans le déséquilibre observé dans l'appartenance à un genre, avec une proportion plus élevée de participants masculins (40 garçons contre 17 filles). Bien que la répartition des sujets en fonction du volume d'activité physique par semaine soit relativement équilibrée, l'analyse post hoc avec correction de Bonferroni a comparé 4 groupes de taille variable, avec des effectifs aussi petits que 5 dans certains cas. Des différences ont été rapportées pour cette analyse comparative. Dans notre étude, il semble que les femmes moins sportives obtiennent des résultats significativement inférieurs aux femmes sportives et aux hommes pour toutes les variables étudiées, qu'il s'agisse du CMJ unipodal ou bipodal. Les femmes sportives et les hommes pratiquant moins de 6h d'activité hebdomadaire ne sont pas significativement différents sur les tâches de sauts bipodal et unipodal. Le volume d'activité physique qui impacte les propriétés neuromusculaires du corps semble combler les différences potentiellement préexistantes en termes de caractéristiques anthropométriques entre les genres. Les deux groupes d'hommes ne semblent pas montrer de différences significatives entre eux. Pour certaines variables de saut seulement, les hommes pratiquant plus de 6h de sport sont significativement supérieurs aux femmes sportives. Ces résultats semblent difficiles à interpréter car la disparité de taille d'échantillon compromet la validité des comparaisons statistiques effectuées. Par ailleurs, environ 50% des participants recrutés sur base volontaire provenaient de la faculté des sciences de la motricité de l'UCL. La composition de notre échantillon, marquée par 25% d'étudiants en éducation physique, a conduit à un potentiel biais en ce qui concerne les volumes d'heures d'activité physique effectuées par semaine.

Une limitation supplémentaire de notre étude concerne les instructions données aux sujets avant leur participation à la séance d'évaluation. En effet, aucune directive n'a été donnée aux participants pour restreindre leur activité physique préalablement à la séance d'évaluation en laboratoire. Par conséquent, il est possible que les sujets se présentent au testing avec une fatigue préexistante au niveau des membres inférieurs, ce qui pourrait altérer les performances des CMJ. Une étude menée par Bobbert et al. (2011) a examiné l'effet de la fatigue induite sur les fléchisseurs

plantaires lors de squat jumps bipodaux, démontrant une réduction du travail musculaire total. Cette diminution serait la conséquence d'une désynchronisation entre la commande neuromusculaire et les propriétés musculosquelettiques. Ces résultats sont pertinents pour notre étude car les fléchisseurs plantaires semblent jouer un rôle non-négligeable dans la performance d'un CMJ, en particulier lors de la phase d'impulsion concentrique. Selon les travaux de Sahrom et al. (2020), l'activation du gastrocnémien médial survient plus tardivement que celle des autres muscles lors des CMJ, avec un pic d'activation atteint à environ 83% de la durée du saut. Dès lors, il est possible que les sujets ayant participé à une activité physique quelques temps avant l'évaluation et susceptible d'induire une fatigue musculaire présentent des performances inférieures à leur plein potentiel lors des tâches de saut.

La formulation précise des questions posées aux participants est une limite de notre étude. Avant la réalisation des CMJ sur les plateformes de force, les participants devaient remplir un document (voir Annexe 3) qui collectait des informations sur diverses variables telles que les sports pratiqués, le niveau de compétition et le volume d'heures consacrées à l'activité physique par semaine. Une comparaison entre les participants moins actifs (1 à 6 heures d'APS/semaine) et les participants actifs (plus de 6 heures d'APS/semaine) a révélé des différences significatives, mais l'inclusion du facteur de sexe n'a pas mis en évidence de disparités. Cette absence de distinction peut être attribuée au sens donné au terme "activité physique" par les participants, soulignant la nécessité d'une définition plus objective. L'utilisation du Questionnaire International sur l'Activité Physique (IPAQ) aurait pu offrir une catégorisation plus précise. Cette version longue du questionnaire auto-rapporté est validée pour évaluer les niveaux et les modèles d'activité chez les jeunes adultes en bonne santé (Hagströmer et al., 2006).

VI. Conclusion

Le présent mémoire expérimental visait à établir des valeurs de référence pour le CMJ chez une population de jeunes sportifs récréatifs en bonne santé et de déterminer la pertinence de former différents sous-groupes. À cette fin, nous avons évalué 57 sujets effectuant des sauts verticaux bipodaux et unipodaux à l'aide de deux plateformes de force, en utilisant un logiciel validé pour l'analyse cinétique des données. Les variables de performance étudiées étaient la hauteur de saut, l'impulsion concentrique et le mRSI.

Les résultats de notre étude ont montré qu'il était pertinent d'établir des sous-groupes au sein de cette population afin d'optimiser la rééducation des patients et permettre un RTS plus sûr. Les hommes surpassent significativement les femmes et les sujets pratiquants plus de 6h de sport hebdomadaire réalisent de meilleures performances par rapport aux sujets moins sportifs. Les femmes moins sportives obtiennent des scores significativement inférieurs à ceux des femmes très sportives et des hommes, ce qui pourrait suggérer d'utiliser des normes spécifiques pour la rééducation de ce groupe. Les hommes moins sportifs et les femmes sportives pourraient être regroupés, leurs résultats étant similaires. Il n'est pas nécessaire de diviser les hommes selon leur activité sportive. Cependant, le faible nombre de sujets de l'étude limite la certitude des conclusions sur les quatre groupes analysés. Outre l'atteinte des valeurs de références selon le profil du patient, la symétrie entre les membres est un objectif supplémentaire à accomplir durant la rééducation. Cependant, le LSI doit être interprété prudemment étant donné les déficits neuromusculaires bilatéraux subis par le patient. Dernièrement, le clinicien peut utiliser d'autres outils tels qu'un optojump pour l'évaluation de la performance métrique du CMJ.

En conclusion, les résultats de cette étude ont des implications cliniques importantes pour la rééducation des personnes ayant subi une reconstruction du LCA. Le CMJ s'avère être une tâche fonctionnelle pertinente pour le RTS et le retour à la performance, compte tenu de la persistance de déficits au-delà de 6 à 9 mois post-opératoire.

Dans le futur, une étude longitudinale des performances de sujets LCA, combinée à une comparaison avec nos sujets sains, pourrait enrichir nos conclusions. D'autres variables pourraient être étudiées pour déterminer si les paramètres de notre étude sont suffisants ou s'il est nécessaire d'en considérer d'autres afin de garantir un RTS plus sûr. Par exemple, un pic de force d'atterrissage plus important pour le sujet sain comparé au sujet LCA est observable sur les graphes de la cinétique du CMJ présentés dans ce mémoire. Il serait intéressant d'analyser cette variable et d'objectiver les causes de cette différence.

Bibliographie

- Ahldén, M., Samuelsson, K., Sernert, N., Forssblad, M., Karlsson, J., & Kartus, J. (2012). The Swedish National Anterior Cruciate Ligament Register : A Report on Baseline Variables and Outcomes of Surgery for Almost 18,000 Patients. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(10), 2230-2235. <https://doi.org/10.1177/0363546512457348>
- Ardern, C. L., Glasgow, P., Schneiders, A., Witvrouw, E., Clarsen, B., Cools, A., Gojanovic, B., Griffin, S., Khan, K. M., Moksnes, H., Mutch, S. A., Phillips, N., Reurink, G., Sadler, R., Silbernagel, K. G., Thorborg, K., Wangensteen, A., Wilk, K. E., & Bizzini, M. (2016). 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. *British Journal of Sports Medicine*, 50(14), 853-864. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096278>
- Ardern, C. L., Taylor, N. F., Feller, J. A., & Webster, K. E. (2014). Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery : An updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *British Journal of Sports Medicine*, 48(21), 1543-1552. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093398>
- Barber-Westin, S. D., & Noyes, F. R. (2011). Objective criteria for return to athletics after anterior cruciate ligament reconstruction and subsequent reinjury rates : A systematic review. *The Physician and Sportsmedicine*, 39(3), 100-110. <https://doi.org/10.3810/psm.2011.09.1926>
- Beato, M., Bianchi, M., Coratella, G., Merlini, M., & Drust, B. (2018). Effects of Plyometric and Directional Training on Speed and Jump Performance in Elite Youth Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(2), 289. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002371>
- Benjaminse, A., Holden, S., & Myer, G. D. (2018). ACL rupture is a single leg injury but a double leg problem : Too much focus on « symmetry » alone and that's not enough! *British Journal of Sports Medicine*, 52(16), 1029-1030. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098502>
- Bobbert, M. F., Van Der Kragt, M. M., Van Doorn, H., & De Ruiter, C. J. (2011). Effects of Fatigue of Plantarflexors on Control and Performance in Vertical Jumping. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(4), 673-684. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181fa7738>
- Brophy, R. H., Schmitz, L., Wright, R. W., Dunn, W. R., Parker, R. D., Andrich, J. T., McCarty, E. C., & Spindler, K. P. (2012). Return to Play and Future ACL Injury Risk After ACL Reconstruction in Soccer Athletes From the Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) Group. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(11), 2517-2522. <https://doi.org/10.1177/0363546512459476>
- Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A. N., Lake, J. P., & Mundy, P. D. (2018). Force-Time Characteristics of the Countermovement Jump : Analyzing the Curve in Excel. *Strength & Conditioning Journal*, 40(2), 67-77. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000353>
- Dutaillis, B., Diamond, L. E., Lazarczuk, S. L., Timmins, R. G., & Bourne, M. N. (s. d.). Vertical Jump Testing Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction : A Systematic Review and Meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 10.1249/MSS.00000000000003298. <https://doi.org/10.1249/MSS.00000000000003298>
- Glatthorn, J. F., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, F. M., & Maffiuletti, N. A. (2011). Validity and Reliability of Optojump Photoelectric Cells for Estimating Vertical Jump Height. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(2), 556-560.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ccb18d>

- Gokeler, A., Dingenen, B., & Hewett, T. E. (2022). Rehabilitation and Return to Sport Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction : Where Are We in 2022? *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 4(1), e77-e82.
<https://doi.org/10.1016/j.asmr.2021.10.025>
- Hagströmer, M., Oja, P., & Sjöström, M. (2006). The International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) : A study of concurrent and construct validity. *Public Health Nutrition*, 9(6), 755-762. <https://doi.org/10.1079/phn2005898>
- Jordan, M. J., Aagaard, P., & Herzog, W. (2015). Lower limb asymmetry in mechanical muscle function : A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(3), e301-309.
<https://doi.org/10.1111/sms.12314>
- Kotsifaki, A., Korakakis, V., Graham-Smith, P., Sideris, V., & Whiteley, R. (2021). Vertical and horizontal hop performance : Contributions of the hip, knee, and ankle. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 13(2), 128-135. <https://doi.org/10.1177/1941738120976363>
- Kotsifaki, R., Sideris, V., King, E., Bahr, R., & Whiteley, R. (2023). Performance and symmetry measures during vertical jump testing at return to sport after ACL reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*, 57(20), 1304-1310. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106588>
- Lees, A., Vanrenterghem, J., & De Clercq, D. (2004). Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of Biomechanics*, 37(12), 1929-1940.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.02.021>
- Lo, M. S., Lin, L. L. C., Yao, W.-J., & Ma, M.-C. (2011). Training and detraining effects of the resistance vs. Endurance program on body composition, body size, and physical performance in young men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(8), 2246-2254. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e8a4be>
- McGrath, T. M., Waddington, G., Scarvell, J. M., Ball, N. B., Creer, R., Woods, K., & Smith, D. (2016). The effect of limb dominance on lower limb functional performance—A systematic review. *Journal of Sports Sciences*, 34(4), 289-302.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1050601>
- N, E. M., Re, van C., Mp, T., & Mw, N. der S. (2013). Assessment of functional performance after anterior cruciate ligament reconstruction : A systematic review of measurement procedures. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy : Official Journal of the ESSKA*, 21(4). <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2030-6>
- O'Malley, E., Richter, C., King, E., Strike, S., Moran, K., Franklyn-Miller, A., & Moran, R. (2018). Countermovement Jump and Isokinetic Dynamometry as Measures of Rehabilitation Status After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Athletic Training*, 53(7), 687-695. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-480-16>
- *Optojump : Validité pour l'évaluation des sauts verticaux*. (s. d.). Sci-Sport. Consulté 8 août 2022, à l'adresse <https://www.sci-sport.com/articles/Optojump-Validite-pour-l-evaluation-des-sauts-verticaux-051.php>
- Patterson, B. E., Crossley, K. M., Perraton, L. G., Kumar, A. S., King, M. G., Heerey, J. J., Barton, C. J., & Culvenor, A. G. (2020). Limb symmetry index on a functional test battery improves between one and five years after anterior cruciate ligament reconstruction, primarily due to worsening contralateral limb function. *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 44, 67-74.
<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.04.031>
- Read, P. J., Michael Auliffe, S., Wilson, M. G., & Graham-Smith, P. (2020). Lower Limb Kinetic Asymmetries in Professional Soccer Players With and Without Anterior Cruciate Ligament Reconstruction : Nine Months Is Not Enough Time to Restore “Functional”

Symmetry or Return to Performance. *The American Journal of Sports Medicine*, 48(6), 1365-1373. <https://doi.org/10.1177/0363546520912218>

- Rice, P. E., Goodman, C. L., Capps, C. R., Triplett, N. T., Erickson, T. M., & McBride, J. M. (2017). Force- and power-time curve comparison during jumping between strength-matched male and female basketball players. *European Journal of Sport Science*, 17(3), 286-293. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1236840>
- Rizvanovic, D., Waldén, M., Forssblad, M., & Ståhlman, A. (2023). Surgeon's experience, sports participation and a concomitant MCL injury increase the use of patellar and quadriceps tendon grafts in primary ACL reconstruction : A nationwide registry study of 39,964 surgeries. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 31(2), 475-486. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07057-5>
- Sahrom, S. B., Wilkie, J. C., Nosaka, K., & Blazevich, A. J. (2020). The use of yank-time signal as an alternative to identify kinematic events and define phases in human countermovement jumping. *Royal Society Open Science*, 7(8), 192093. <https://doi.org/10.1098/rsos.192093>
- Sd, B.-W., & Fr, N. (2011). Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy : The Journal of Arthroscopic & Related Surgery : Official Publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 27(12). <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.09.009>
- Smith, R. E., Paquette, M. R., Harry, J. R., Powell, D. W., & Weiss, L. W. (2020). Footwear and Sex Differences in Performance and Joint Kinetics During Maximal Vertical Jumping. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(6), 1634. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002740>
- Thomeé, R., Neeter, C., Gustavsson, A., Thomeé, P., Augustsson, J., Eriksson, B., & Karlsson, J. (2012). Variability in leg muscle power and hop performance after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 20(6), 1143-1151. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-1912-y>
- van Melick, N., Meddeler, B. M., Hoogeboom, T. J., Nijhuis-van der Sanden, M. W. G., & van Cingel, R. E. H. (2017). How to determine leg dominance : The agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PLoS ONE*, 12(12), e0189876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189876>
- van Melick, N., van Cingel, R. E. H., Brooijmans, F., Neeter, C., van Tienen, T., Hullegie, W., & Nijhuis-van der Sanden, M. W. G. (2016). Evidence-based clinical practice update : Practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1506-1515. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095898>
- Webster, K. E., & Hewett, T. E. (2019). What is the Evidence for and Validity of Return-to-Sport Testing after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(6), 917-929. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01093-x>
- Wellsandt, E., Failla, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2017). Limb Symmetry Indexes Can Overestimate Knee Function After Anterior Cruciate Ligament Injury. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 47(5), 334-338. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7285>
- Zimny, M. L., Schutte, M., & Dabezies, E. (1986). Mechanoreceptors in the human anterior cruciate ligament. *The Anatomical Record*, 214(2), 204-209. <https://doi.org/10.1002/ar.1092140216>

Table d'abréviation

- **CMJ** : saut avec contre-mouvement
- **GRFv** : force de réaction au sol verticale
- **LCA** : ligament croisé antérieur du genou
- **mRSI** : l'indice de force réactive du membre
- **RTS** : retour au sport
- **TTT** : temps pour décoller (*time to takeoff*)

Annexes

Annexe 1 : lettre de consentement éclairé

Lettre de consentement éclairé :

Je soussigné (NOM, Prénom)

.....

Accepte de participer bénévolement à une ou plusieurs expériences relatives aux différents sauts (countermovement jump et repetitive jump) présentés sur la fiche d'informations, lesquelles sont réalisées à la Faculté des Sciences de la Motricité.

J'ai pris connaissances des conditions générales de participation et y consens de manière libre et informée. Par ailleurs, je garde la liberté de retirer mon consentement à tout moment, sans aucune pression et sans avoir à me justifier.

J'accepte d'être filmé(e) durant les sauts, les images ne seront en aucun cas diffusées ou partagées dans un cadre autre que celui de l'expérience.

J'accepte que les informations me concernant soient échangées entre les chercheurs du groupe. Je m'oppose toutefois à ce qu'elles soient divulguées à l'extérieur sans un dispositif préservant mon anonymat.

Signature :



Université Catholique de Louvain
Faculté de médecine



Cliniques universitaires
SAINT-LUC
UCL BRUXELLES

Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire

Brussels, 27 January 2020

To the principal investigator:
Prof. Olivier CORNU
Orthopédie
Cliniques Universitaires Saint-Luc

AMENDMENT – positive opinion

Object : 2015/26JAN/025 - Belgian n° : B403201523492

Protocol number : PM 26/01/2015

Acronym : orthoCD1

Title : Comment améliorer la qualité des soins des patients suivis en orthopédie ?- par l'évaluation fonctionnelle des patients en orthopédie après traitements conservateurs ou chirurgicaux en suivant le modèle de la classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé (modèle CIF de OMS).- Par la création d'une norme ISO pour améliorer la précision chirurgicale.

Dear colleague,

The Ethics Committee Hospitalo-Facultaire Saint-Luc – UCL received and examined the substantial amendment related to the study mentioned above including the following documents:

- Demande d'extension – Email 15 Dec 2019
- Formulaire déclaration Assurance – reçu le 15 Dec 2019
-

As leading Ethics Committee designated by the sponsor, according to the directives of the Belgian law of 7 May 2004, we provide a positive opinion about this amendment and agree to the continuation of the project.

We remind the investigator that he is personally responsible for this study and the sponsor that he is responsible for the language compliance of the information and informed consent forms and their distribution to the non-leading Ethics Committee.

We wish to assure you, dear Colleague, of our highest consideration.

A. GABRIEL
EC Member

Prof. J.-M. MALOTEAUX
Chairman

	Composition du Comité d'éthique hospitalo-facultaire nominatif	
CEHF-FORM-006-7.0		Commission d'éthique hospitalo-facultaire Date d'application : 15/01/2020

Comité d'éthique hospitalo-facultaire (CEHF)

COMPOSITION (cfr CEHF-DSQ-005_Description fonctionnement CEHF)	
▪ Président ▪ Vice-présidents ▪ Secrétaire ▪ Docteurs en Médecine attachés aux Cliniques Universitaires Saint-Luc ou à la Faculté de Médecine de l'UCL ▪ Médecins Omnipraticiens ou Extérieurs aux Cliniques Universitaires Saint-Luc ▪ Ethicien ▪ Juriste ▪ Infirmières (Cliniques universitaires Saint-Luc) et Assistante Sociale ▪ Psychologue ▪ Pharmaciens Hospitalier des Cliniques Universitaires Saint-Luc ▪ Méthodologiste ▪ Collaborateurs Scientifiques, PhD ▪ Représentants Volontaires Sains	▪ Jean-Marie MALOTEAUX, Docteur en médecine ▪ Véronique DUVEILLER, Pharmacien ▪ Emmanuelle VAN HELLEPUTTE, Juriste ▪ Yves HUMBLET, Docteur en médecine ▪ Marie-Chantal LIESSE - Infirmière ▪ Martine BERLIERE ▪ Yves HORSMANS ▪ Laurent HOUTEKIE ▪ Luc ROEGIERS ▪ Jean-Bernard OTTEⁱ ▪ Bénédicte BRICHARDⁱ ▪ Isabelle SCHEERSⁱ ▪ Dominique LATINNEⁱ ▪ Christiane VERMYLENⁱ ▪ Dominique LAMY ▪ Patrick EVRARD (Cliniques Mont-Godinne)ⁱ ▪ Eric GAZIAUX ▪ Geneviève SCHAMPS ▪ Cécile COUPEZ ▪ Claire DETIENNEⁱ ▪ Carine VANDEUREN - Assistante sociale, représentante des patients* ▪ Guibert TERLINDENⁱ ▪ Pascale de PIERPONTⁱ ▪ Séverine HALLEUXⁱ ▪ Niko SPEYBROECK ▪ Isabelle de HEMPTINNEⁱ ▪ Anne GABRIELⁱ ▪ Olivier BLEUS et/ou Stéphanie CHAPUTⁱ

ⁱ : invité

* Membre remplaçant comme représentante des patients : Aurélie Carlier

Annexe 3 : questionnaire auto-rapporté

- Nom
- Prénom
- Adresse mail
- Téléphone
- Faculté
- Sexe
- Date de naissance
- Quelle jambe utiliseriez-vous instinctivement pour tirer dans un ballon ?
- Quelle serait votre jambe de propulsion lors de la réalisation d'un saut en longueur ?
- Temps d'activité physique par semaine ?
- Niveau de pratique physique ?
- Sport / type d'activité physique ? (Plusieurs réponses possibles)
- Effectuez-vous régulièrement des sauts durant vos entraînements ?
- Antécédents de blessures aux membres inférieurs ?
- Moment de la blessure ?
- Endroit de la blessure ?
- Quelle était cette blessure ?

Annexe 4 : calculs par rapport au tracé type (figure 5) d'un saut avec contre-mouvement et comparatif avec les résultats du programme conçu sur LabVIEW

Phases	Définition	Paramètres	Echelle de mesure	Software	Résultats
Weighting phase	Le sujet est debout et stable ; les forces de réactions au sol vertical (GRFv) sont équivalentes au poids de la personne ; la vitesse est nulle.	Weighting average force	N	600	600
Unweighting phase	Le sujet fléchit les membres inférieurs pour préparer son saut ; les GRFv diminuent jusqu'à revenir à une valeur équivalente au poids du sujet ; la vitesse augmente négativement et la phase se termine au point le plus bas de la courbe de la vitesse.	Unweighting duration	ms	338	Début : $x = 2800$ Fin $x = 3139$ $3139-2800 = \mathbf{339}$
		Unweighting peak force	N	150	150
		Unweighting average force	N	375	$\frac{\sum_{i=2800}^{3139} x_i}{339} = \mathbf{375,23}$
		Unweighting net impulse	Ns	-76.4	$\mathbf{76,5} = \frac{-450}{2} (0.2 + 0.14)$
Braking phase	Le sujet atteint le point le plus bas du CMJ ; les GRFv augmentent ; une décélération est observée sur la courbe de la vitesse jusqu'à atteindre une vitesse nulle.	Braking duration	ms	218	Début : $x = 3140$ Fin $x = 3357$ $3357-3140 = \mathbf{217}$
		Braking peak force	N	1304	1300,33

		Braking average force	N	972	$\frac{\sum_{i=3140}^{3357} X_i}{217} = \mathbf{950,72}$
		Braking net impulse	Ns	76.8	$\mathbf{75.865} = \left(\frac{1300,33 - 601,111}{2} \right) 0.217$
Propulsive phase	Le sauteur effectue une extension rapide des membres inférieurs qui lui permet de décoller du sol ; les GRFv augmentent avant de retomber à 0 ; le sujet accélère et atteint sa vitesse maximale au moment du décollage.	Propulsive duration	ms	342	Début : $x = 3358$ Fin $x = 3700$ $3700 - 3358 = \mathbf{342}$
		Propulsive peak force	N	1600	1600
		Propulsive average force	N	978	$\frac{\sum_{i=3358}^{3700} x_i}{342} = \mathbf{978,18}$
		Propulsive net impulse	Ns	130	$\mathbf{129.161} = \left(0.310 \left(\frac{1600 - 601,111}{2} \right) \right) - 75.865 + \left(\left(\frac{1600 - 601,6}{2} \right) 0.156 \right) - \left(\left(\frac{601,6 - 6,4}{2} \right) 0.93 \right)$
Flight time	Le sujet est en l'air ; les GRFv sont nulles ; la vitesse diminue au fur et à mesure.	Flight duration	ms	415	Début : $x = 3700$ Fin $x = 4114$ $4114 - 3700 = \mathbf{414}$
Landing phase	Le participant retombe au sol ; un nouveau pic se dessine au niveau des GRFv ; le sujet décélère pour amortir l'atterrissage.	Landing peak force	N	2600	2600

		Jump height	cm	22.8	$(2,11^2/2g)^{100} = 22,69$
		Reactive strength index (mRSI)		0.25	$0.2269/898 = 0,25$
		Time to takeoff	ms	898	$UW + BR + PR = 339 + 217 + 342 = 898$

Annexe 5 : résultats (détails)

Facteurs intersujets

		Libellé de valeur	N
Sexe	F	Femme	17
	H	Homme	40

		Libellé de valeur	N
Temps d'activité physique par semaine	A	1 à 6h	24
	B	plus de 6h	33

		Libellé de valeur	N
Groupes	1,00	Femme 1 à 6h	12
	2,00	Femme plus de 6h	5
	3,00	Homme 1 à 6h	12
	4,00	Homme plus de 6h	28

Bipodal

Statistiques descriptives

Sexe		N	Moyenne	Ecart type
Femme	Jump height (m)	17	,231023529411765	,053401608336040
	mRSI (JH/TTT)	17	,276913725490196	,069758902318015
	MeanConcImpulse	17	,107707	,0127562
	Propulsive impulse ND	17	,110197383661421	,015858607414812
	Propulsive impulse DO	17	,105216730155567	,016120129146432
	N valide (liste)	17		
Homme	Jump height (m)	40	,360733333333333	,060924471479622
	mRSI (JH/TTT)	40	,411447500000000	,092912234998374
	MeanConcImpulse	40	,135182	,0117253
	Propulsive impulse ND	40	,134018304810082	,020899910331610
	Propulsive impulse DO	40	,136346131019200	,015227248384815
	N valide (liste)	40		

Temps d'activité physique par semaine		N	Moyenne	Ecart type
1 à 6h	Jump height (m)	24	,265769444444444	,079534087072407
	mRSI (JH/TTT)	24	,303959722222222	,090691169951467
	MeanConcImpulse	24	,115179	,0176184

plus de 6h	Propulsive impulse ND	24	,115324037875662	,020452555804672
	Propulsive impulse DO	24	,115033333581009	,022487469452429
	N valide (liste)	24		
	Jump height (m)	33	,3629777777777778	,059768902557793
	mRSI (JH/TTT)	33	,420315151515152	,088946949346112
	MeanConcImpulse	33	,135576	,0112506
	Propulsive impulse ND	33	,135342751685804	,019874153735254
	Propulsive impulse DO	33	,135809989317224	,014929403162664
	N valide (liste)	33		

Groupes		N	Moyenne	Ecart type
Femme 1 à 6h	Jump height (m)	12	,204566666666667	,037463816887199
	mRSI (JH/TTT)	12	,245977777777778	,053806355625743
	MeanConcImpulse	12	,101581	,0095742
	Propulsive impulse ND	12	,105134746132625	,015697940111846
	Propulsive impulse DO	12	,098026635827115	,013115477341137
	N valide (liste)	12		
Femme plus de 6h	Jump height (m)	5	,294520000000000	,020187862139855
	mRSI (JH/TTT)	5	,351160000000000	,041735978350685
	MeanConcImpulse	5	,122410	,0039965
	Propulsive impulse ND	5	,122347713730531	,008178204509099
	Propulsive impulse DO	5	,122472956543852	,006251151717370
	N valide (liste)	5		
Homme 1 à 6h	Jump height (m)	12	,326972222222222	,060417336185771
	mRSI (JH/TTT)	12	,361941666666667	,083470368691500
	MeanConcImpulse	12	,128777	,0124072
	Propulsive impulse ND	12	,125513329618699	,020042371808915
	Propulsive impulse DO	12	,132040031334904	,015946344254863
	N valide (liste)	12		
Homme plus de 6h	Jump height (m)	28	,375202380952381	,056130606021962
	mRSI (JH/TTT)	28	,432664285714286	,089860002192973
	MeanConcImpulse	28	,137927	,0104794
	Propulsive impulse ND	28	,137663294177817	,020527090241463
	Propulsive impulse DO	28	,138191602312469	,014817255283106
	N valide (liste)	28		

Tests des effets intersujets

Variable dépendante: MeanConcImpulse

Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	,009 ^a	1	,009	62,183	<,001
Constante	,704	1	,704	4859,712	<,001
Sexe	,009	1	,009	62,183	<,001
Erreur	,008	55	,000		
Total	,936	57			
Total corrigé	,017	56			

Variable dépendante: Jump height (m)

Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	,201 ^a	1	,201	57,983	<,001
Constante	4,178	1	4,178	1206,826	<,001
Sexe	,201	1	,201	57,983	<,001
Erreur	,190	55	,003		
Total	6,303	57			
Total corrigé	,391	56			

Variable dépendante: mRSI (JH/TTT)

Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	,216 ^a	1	,216	28,648	<,001
Constante	5,653	1	5,653	750,011	<,001
Sexe	,216	1	,216	28,648	<,001
Erreur	,415	55	,008		
Total	8,490	57			
Total corrigé	,630	56			

Tests des effets intersujets

Variable dépendante: Jump height (m)

Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	,131 ^a	1	,131	27,795	<,001
Constante	5,493	1	5,493	1162,835	<,001
Tempsdactivitéphysiqueparsema ine	,131	1	,131	27,795	<,001
Erreur	,260	55	,005		
Total	6,303	57			

Total corrigé	,391	56			
---------------	------	----	--	--	--

Variable dépendante: mRSI (JH/TTT)

Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	,188 ^a	1	,188	23,390	<,001
Constante	7,289	1	7,289	906,278	<,001
Tempsdactivitéphysiqueparsema ine	,188	1	,188	23,390	<,001
Erreur	,442	55	,008		
Total	8,490	57			
Total corrigé	,630	56			

	Hypothèse nulle	Test	Sig. ^{a,b}
1	La distribution de MeanConcImpulse est la même sur les catégories de Temps d'activité physique par semaine.	Test Kruskal-Wallis pour échantillons indépendants	<,001

Comparaisons appariées

Variable dépendante: MeanConcImpulse

(I) Groupes	(J) Groupes	Différence moyenne (I-J)	Erreur standard	Sig. ^b
Femme 1 à 6h	Femme plus de 6h	-,021*	,006	,003
	Homme 1 à 6h	-,027*	,004	<,001
	Homme plus de 6h	-,036*	,004	<,001
Femme plus de 6h	Femme 1 à 6h	,021*	,006	,003
	Homme 1 à 6h	-,006	,006	1,000
	Homme plus de 6h	-,016*	,005	,020
Homme 1 à 6h	Femme 1 à 6h	,027*	,004	<,001
	Femme plus de 6h	,006	,006	1,000
	Homme plus de 6h	-,009	,004	,082
Homme plus de 6h	Femme 1 à 6h	,036*	,004	<,001
	Femme plus de 6h	,016*	,005	,020
	Homme 1 à 6h	,009	,004	,082

Variable dépendante: Jump height (m)

(I) Groupes	(J) Groupes	Différence moyenne (I-J)	Erreur standard	Sig. ^b
Femme 1 à 6h	Femme plus de 6h	-,090*	,028	,012
	Homme 1 à 6h	-,122*	,021	<,001
	Homme plus de 6h	-,171*	,018	<,001
Femme plus de 6h	Femme 1 à 6h	,090*	,028	,012
	Homme 1 à 6h	-,032	,028	1,000
	Homme plus de 6h	-,081*	,025	,014

Homme 1 à 6h	Femme 1 à 6h	,122*	,021	<,001
	Femme plus de 6h	,032	,028	1,000
	Homme plus de 6h	-,048	,018	,056
Homme plus de 6h	Femme 1 à 6h	,171*	,018	<,001
	Femme plus de 6h	,081*	,025	,014
	Homme 1 à 6h	,048	,018	,056

Sample 1-Sample 2	Statistiques de test	Erreur standard	Statistiques de test standard	Sig.	Sig. Sig. ^a
Femme 1 à 6h-Femme plus de 6h	-17,450	8,835	-1,975	,048	,290
Femme 1 à 6h-Homme 1 à 6h	-19,833	6,776	-2,927	,003	,021
Femme 1 à 6h-Homme plus de 6h	-29,607	5,727	-5,170	<,001	,000
Femme plus de 6h-Homme 1 à 6h	-2,383	8,835	-,270	,787	1,000
Femme plus de 6h-Homme plus de 6h	-12,157	8,058	-1,509	,131	,788
Homme 1 à 6h-Homme plus de 6h	-9,774	5,727	-1,707	,088	,527

Unipodal

Statistiques descriptives

Sexe		N	Moyenne	Ecart type
Femme	Hauteur de saut (DO+ND/2)	17	,097926	,0318707
	mRSI (DO+ND/2)	17	,111402	,0403142
	Impulsion concentrique (DO+ND/2)	17	,137454	,0234992
	N valide (liste)	17		
Homme	Hauteur de saut (DO+ND/2)	40	,168205	,0378900
	mRSI (DO+ND/2)	40	,183444	,0474373
	Impulsion concentrique (DO+ND/2)	40	,182736	,0215549
	N valide (liste)	40		

Temps d'activité physique par semaine		N	Moyenne	Ecart type
1 à 6h d'activité physique/semaine	Hauteur de saut (DO+ND/2)	24	,115151	,0450691
	mRSI (DO+ND/2)	24	,123492	,0428145
	Impulsion concentrique (DO+ND/2)	24	,148758	,0301157
	N valide (liste)	24		
plus de 6h d'activité physique/semaine	Hauteur de saut (DO+ND/2)	33	,170585	,0361193
	mRSI (DO+ND/2)	33	,189933	,0474945
	Impulsion concentrique (DO+ND/2)	33	,184120	,0202964

N valide (liste)		33		
Groupes (4)		N	Moyenne	Ecart type
Fe moins de 6h	Hauteur de saut (DO+ND/2)	12	,081258	,0197246
	mRSI (DO+ND/2)	12	,092664	,0277302
	Impulsion concentrique (DO+ND/2)	12	,125753	,0161275
	N valide (liste)	12		
Fe plus de 6h	Hauteur de saut (DO+ND/2)	5	,137930	,0126180
	mRSI (DO+ND/2)	5	,156373	,0283712
	Impulsion concentrique (DO+ND/2)	5	,165536	,0098524
	N valide (liste)	5		
Ho moins de 6h	Hauteur de saut (DO+ND/2)	12	,149043	,0367670
	mRSI (DO+ND/2)	12	,154319	,0314699
	Impulsion concentrique (DO+ND/2)	12	,171763	,0219446
	N valide (liste)	12		
Ho plus de 6h	Hauteur de saut (DO+ND/2)	28	,176417	,0359147
	mRSI (DO+ND/2)	28	,195926	,0480458
	Impulsion concentrique (DO+ND/2)	28	,187438	,0199619
	N valide (liste)	28		

Tests des effets intersujets

Variable dépendante: Hauteur de saut (DO+ND/2)

Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	,059 ^a	1	,059	44,858	<,001
Constante	,845	1	,845	643,273	<,001
Sexe	,059	1	,059	44,858	<,001
Erreur	,072	55	,001		
Total	1,367	57			
Total corrigé	,131	56			

Variable dépendante: mRSI (DO+ND/2)

Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	,062 ^a	1	,062	29,933	<,001
Constante	1,037	1	1,037	501,390	<,001
Sexe	,062	1	,062	29,933	<,001
Erreur	,114	55	,002		
Total	1,671	57			
Total corrigé	,176	56			

Variable dépendante: Impulsion concentrique (DO+ND/2)

Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
--------	---------------------------------	----	-------------	---	------

Modèle corrigé	,024 ^a	1	,024	49,911	<,001
Constante	1,223	1	1,223	2495,543	<,001
Sexe	,024	1	,024	49,911	<,001
Erreur	,027	55	,000		
Total	1,684	57			
Total corrigé	,051	56			

Tests des effets intersujets

Variable dépendante: Hauteur de saut (DO+ND/2)

Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	,043 ^a	1	,043	26,546	<,001
Constante	1,134	1	1,134	705,293	<,001
Temps d'activité physique par semaine	,043	1	,043	26,546	<,001
Erreur	,088	55	,002		
Total	1,367	57			
Total corrigé	,131	56			

Variable dépendante: mRSI (DO+ND/2)

Source	Somme des carrés de Type III	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	,061 ^a	1	,061	29,503	<,001
Constante	1,365	1	1,365	656,545	<,001
Temps d'activité physique par semaine	,061	1	,061	29,503	<,001
Erreur	,114	55	,002		
Total	1,671	57			
Total corrigé	,176	56			

Hypothèse nulle		Test	Sig. ^{a,b}
1	La distribution de Impulsion concentrique (DO+ND/2) est la même sur les catégories de Temps d'activité physique par semaine.	Test Kruskal-Wallis pour échantillons indépendants	<,001

Comparaisons appariées

Variable dépendante: Hauteur de saut (DO+ND/2)

(I) Groupes (4)	(J) Groupes (4)	Différence moyenne (I-J)	Erreur standard	Sig. ^b	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence ^b Borne inférieure
Fe moins de 6h	Fe plus de 6h	-,057*	,017	,010	-,104

	Ho moins de 6h	-,068*	,013	<,001	-,104
	Ho plus de 6h	-,095*	,011	<,001	-,126
Fe plus de 6h	Fe moins de 6h	,057*	,017	,010	,010
	Ho moins de 6h	-,011	,017	1,000	-,058
	Ho plus de 6h	-,038	,016	,101	-,081
	Fe moins de 6h	,068*	,013	<,001	,032
Ho moins de 6h	Fe plus de 6h	,011	,017	1,000	-,036
	Ho plus de 6h	-,027	,011	,100	-,058
Ho plus de 6h	Fe moins de 6h	,095*	,011	<,001	,065
	Fe plus de 6h	,038	,016	,101	-,004
	Ho moins de 6h	,027	,011	,100	-,003

Variable dépendante: mRSI (DO+ND/2)

(I) Groupes (4)	(J) Groupes (4)	Différence moyenne (I-J)	Erreur standard	Sig. ^b	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence ^b
					Borne inférieure
Fe moins de 6h	Fe plus de 6h	-,064*	,021	,025	-,122
	Ho moins de 6h	-,062*	,016	,002	-,106
	Ho plus de 6h	-,103*	,014	<,001	-,141
Fe plus de 6h	Fe moins de 6h	,064*	,021	,025	,005
	Ho moins de 6h	,002	,021	1,000	-,056
	Ho plus de 6h	-,040	,019	,281	-,093
Ho moins de 6h	Fe moins de 6h	,062*	,016	,002	,017
	Fe plus de 6h	-,002	,021	1,000	-,060
	Ho plus de 6h	-,042*	,014	,024	-,079
Ho plus de 6h	Fe moins de 6h	,103*	,014	<,001	,065
	Fe plus de 6h	,040	,019	,281	-,014
	Ho moins de 6h	,042*	,014	,024	,004

Variable dépendante: Impulsion concentrique (DO+ND/2)

(I) Groupes (4)	(J) Groupes (4)	Différence moyenne (I-J)	Erreur standard	Sig. ^b	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence ^b
					Borne inférieure
Fe moins de 6h	Fe plus de 6h	-,040*	,010	,002	-,068
	Ho moins de 6h	-,046*	,008	<,001	-,067
	Ho plus de 6h	-,062*	,007	<,001	-,080
Fe plus de 6h	Fe moins de 6h	,040*	,010	,002	,012
	Ho moins de 6h	-,006	,010	1,000	-,034
	Ho plus de 6h	-,022	,009	,131	-,047
Ho moins de 6h	Fe moins de 6h	,046*	,008	<,001	,025
	Fe plus de 6h	,006	,010	1,000	-,022

	Ho plus de 6h	-,016	,007	,126	-,034
Ho plus de 6h	Fe moins de 6h	,062*	,007	<,001	,044
	Fe plus de 6h	,022	,009	,131	-,003
	Ho moins de 6h	,016	,007	,126	-,002

Résumé du mémoire :

Objectif : Examiner les différences en termes de hauteur de saut, d'impulsion concentrique et d'indice de force réactive (mRSI) chez des jeunes sportifs récréatifs, et déterminer l'intérêt de créer des sous-groupes. Ces valeurs pourraient optimiser la rééducation des patients opérés d'une rupture de ligament croisé antérieur.

Méthode : 57 sujets ont effectué des sauts avec contre-mouvement (CMJ) bipodaux et unipodaux sur deux plateformes de force. Un logiciel validé a extrait les variables de saut. Les analyses ont comparé les valeurs selon le genre, le volume d'activité physique hebdomadaire et l'interaction entre ces facteurs. La symétrie entre les membres des sujets a également été examinée.

Résultats : Les hommes sont significativement supérieurs aux femmes sur toutes les variables ($p < 0,05$), que ce soit en CMJ bipodal ou unipodal. Cette tendance se maintient même chez les sujets très sportifs par rapport à ceux pratiquant moins de six heures de sport par semaine. Les femmes moins actives affichent les performances les plus faibles. Aucune différence n'est observée entre les femmes très sportives et les hommes moins sportifs. Un volume élevé d'activité physique ne garantit pas la supériorité chez les hommes. L'analyse inter-membres n'a montré aucune différence ($p < 0,05$).

Conclusion : Les cliniciens devraient considérer le profil individuel de chaque patient lors de la rééducation des jeunes sportifs récréatifs, en tenant compte des différences entre hommes et femmes et des variations liées au niveau d'activité sportive. La rééducation devra viser les valeurs normatives correspondant au profil du patient et à la symétrie entre les membres.