

UNIVERSITE GRENOBLE ALPES



MASTER 2 STAPS

Parcours professionnel EOPS

Mémoire professionnel EOPS

en vue de l'obtention d'un Master II EOPS

par Validation d'Acquis d'Expériences (VAE)

Titre :

**Optimisation de la Prophylaxie dans la Préparation Physique
du skieur de bosses**

Présenté par :

Jérémy COINT

Accompagnateur VAE : Julien Brugniaux

Année Universitaire 2021-2022

PETITE PENSEE

« Le tableau et le peintre se séparent quand ils ne sont plus d'aucun secours, l'un pour l'autre. Quand le tableau ne sait plus nourrir le peintre, quand le peintre ne sait plus nourrir sa peinture. »

De Christian Bobin / « L'Inespérée »

2.1 INTRODUCTION

L'être humain depuis ses premiers pas rampe, déambule, court, saute et avance sans cesse tout au long de sa vie.

Lorsqu'il devient sportif et se spécialise vers le haut niveau, il se confronte aux meilleurs mondiaux grâce à d'innombrables heures passées à répéter ses gammes et à élever son potentiel d'acquisition.

Parfois ce chemin de progression est stoppé par une interruption partielle ou totale qui met à mal le corps et l'esprit de l'athlète : c'est la blessure.

Les raisons de cette dernière sont multifactorielles et ne peuvent pas être toutes identifiées tellement la tâche est ardue ; mais pouvons-nous avoir une action afin de l'éviter ?

Si nous avons la capacité de gérer ce risque de blessure, ou même de le supprimer, ne serions-nous pas tous devenu des machines ?

Le corps et son fonctionnement... Ce même corps qui évolue dans des lieux propices à la blessure. Des articulations qui sont amenées à être usées prématurément par la répétition incessante de la gestuelle technique ; l'esprit qui parfois n'est pas en accord avec son enveloppe, tout ne peut être analysé afin d'éviter cette rupture de progression.

Quand il s'agit de ski et plus particulièrement de ski de bosses, les athlètes doivent être en capacité de gérer les pressions et déformations, les vitesses, les freinages ou accélérations ou bien encore la gestuelle dans l'espace lors de sauts plus techniques les uns que les autres.

Le ski de bosses a évolué depuis Edgar Grospiron aux JO de 1992. On se souvient de ce champion hors norme qui avait rendu célèbre cette discipline et qui en se levant le matin de son titre Olympique disait : « C'est une belle journée pour gagner... »

Il y a des journées comme celles-ci où l'on gagne mais parfois on perd. Il s'agit là de l'éternelle remise en question des causes de l'échec afin de rebondir après la blessure.

Mais que faire afin d'éviter cette blessure et plus particulièrement l'entorse grave du genou que tous les skieurs redoutent le plus : la rupture du Ligament Croisé Antérieur (LCA)?

Est-il possible de rendre plus prophylactique la préparation physique ? ou bien plutôt comment optimiser la prévention des blessures du LCA dans le ski de bosses ?

Nous irons chercher par les analyses des techniques de l'activité une possibilité de réponse grâce aux vitesses angulaires des flexions et extensions des genoux.

Nous irons chercher ce que nous apporte la littérature sur les ruptures des LCA et leurs causes, puis nous observerons et analyserons une piste avec la HS2, l'innovation brevetée en 2019.

Aussi et avant toutes choses, voyons ce qu'est le ski de bosses d'aujourd'hui.

QU'EST-CE QUE LE SKI DE BOSSES ?

2.2 PRESENTATION DU SKI DE BOSSES

2.2.1 Présentation de l'activité

Le ski acrobatique est apparu en 1965, avec les skieurs Darryl Bowie et John Johnson. Ils mélangèrent alors le ski alpin et les figures aériennes. Le site Skimium nous explique ensuite qu'en 1974, un québécois du nom de Michel Daigle développe et démocratise cette discipline (skimium, 2021). Cette dernière est reconnue par la Fédération Internationale de Ski (FIS) en 1979 et devient Olympique par la suite en 1992. Comme le présente la Fédération Française de Ski (FFS) sur leur site web, les épreuves se déroulent sur une pente allant de 26 à 32° pour une longueur de 210 à 270m (FFS, 2021). Les skieurs doivent descendre le plus rapidement possible ce terrain très accidenté mais doivent également réaliser deux sauts différents depuis deux tremplins.

Voici un schéma du profil de la piste selon la thèse de Daphné Laurin-Landry (LAURIN-LANDRY, 2019).

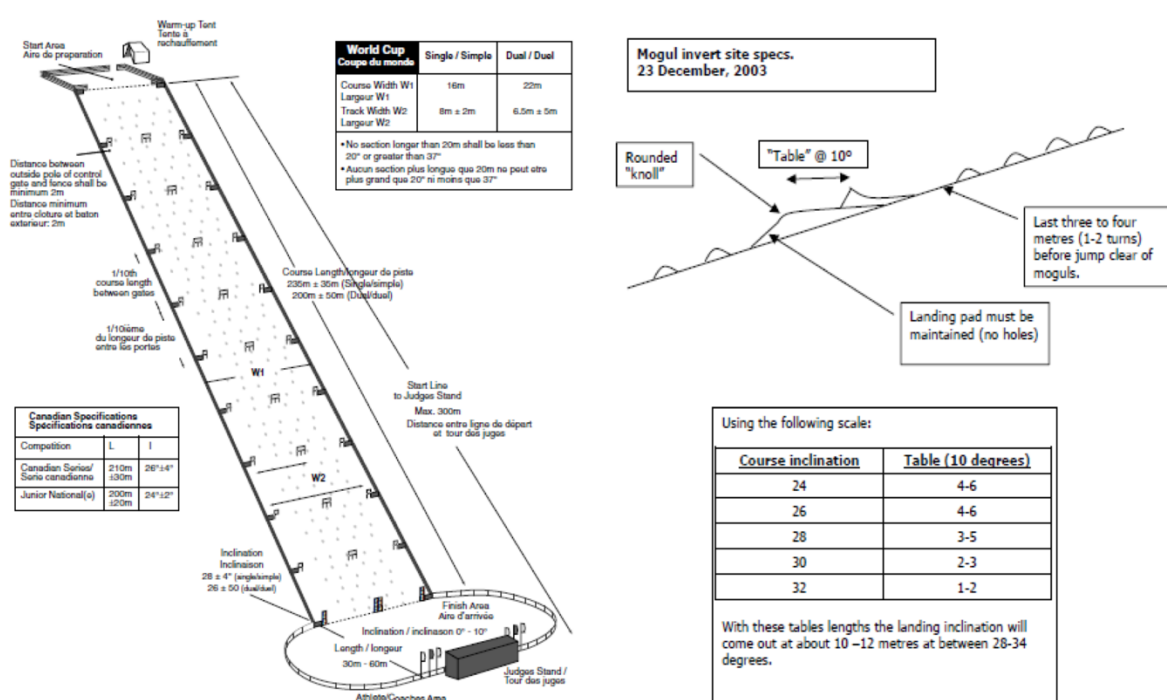


Figure 1 : Illustration des spécificités d'un parcours de bosses et d'un saut

Nous pouvons différencier quelques éléments sur la Figure 1 ; sur la gauche une représentation d'un parcours de bosses selon l'Association canadienne de ski acrobatique et sur la droite les normes pour un saut intégré dans un parcours de bosses selon l'association canadienne de ski acrobatique (LAURIN-LANDRY, 2019).

2.2.2 Le Jugement

Les épreuves se composent d'une phase qualificative suivie d'une première finale à 16 athlètes et se termine par la seconde finale (« super finale ») à 6 coureurs.

Il s'agit du format de course en « single » où un seul athlète présente sa descente.

Il existe un second format où le skieur se qualifie en « single » puis son classement détermine sa position dans un tableau à élimination directe. Il s'agit alors pour l'athlète de descendre la piste

parallèlement à un concurrent. La note est donnée par le jury et un des deux coureurs poursuit son cheminement dans le tableau pour passer en 1/4, 1/2 et finale.

Une note décernée par 5 à 7 juges dépend pour 60% de la technique, 20% des sauts et 20% de la vitesse.

Afin de mieux comprendre l'activité, il faut nous pencher plus précisément sur la discipline et ses exigences.

2.2.3 La vitesse

D'après le règlement de juge élaboré par la FFS la vitesse de base est de 9,7m/s pour un homme et 8,2m/s pour une femme, pour une piste d'une longueur de 220m (FFS, 2021).

2.2.4 Fonctionnement des entraînements

La préparation d'un athlète de ski de bosses français s'articule autour de la Préparation Physique (PP) avec les développements des qualités physiques et physiologiques, mais également acrobatiques en salle de gymnastique et plus particulièrement au trampoline. Ces derniers visent à automatiser la technicité gestuelle par la répétition dans le plan aérien. Dans la continuité de ce développement, des stages sur rampes d'eau sont organisés.

En effet, afin de mettre à profit toutes les nouvelles acquisitions techniques, les athlètes chaussent leurs skis et vont réaliser leurs sauts sur des tremplins au bord de l'eau. Il s'agit alors de glisser sur des tapis en pente et humidifiés, et grâce au tremplin, de s'envoler et se réceptionner dans un lac. (Exemple : la rampe d'eau d'Evian Les Bains 74).

A la fin de cette préparation acrobatique spécifique sur les rampes d'eau, les skieurs se testent lors de stages sur le glacier de Tignes à 3300m d'altitude. Comme à l'accoutumé, les entraînements spécifiques de saut sont réalisés en fin de séance lorsque l'entraînement technique ski est terminé.

2.2.5 Analyse de l'activité

Lors d'une descente dans les bosses conçues par les organisateurs des lieux de compétitions, le skieur doit passer de bosse en bosse avec une certaine technique. D'après le document Canadien (Freestyle Canada 2017), nous sommes en mesure de comprendre et d'apprécier la trajectoire d'un virage.

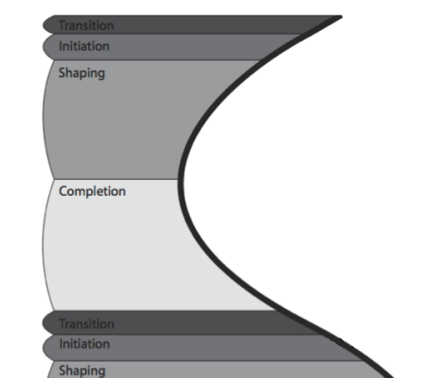


Figure 2 : Analyse de la trajectoire

« La Transition » en gris foncé (Figure 2) correspond à l'extension du corps, et au mouvement de latéralisation afin de venir s'appuyer sur le ski extérieur.

« L'Initiation » correspond à la prise de carre et à l'impact des skis sur la bosse.

« Le Shaping » quant à lui correspond à l'absorption de la bosse et « la Completion » au franchissement de cette dernière.

Nous retrouvons alors « la Transition » qui correspond de nouveau à l'extension pour la mise en place de la bosse suivante.

D'après l'unique document officiel français qui fait référence à la technique du ski de bosses (FFS, 2021), détaillons ci-après la mécanique et les actions musculaires appropriées.

PHASE 1 : LE CARVING



D'après la Figure 3, lorsque l'athlète sort du virage précédent, ce dernier vient orienter ses skis dans le creux de la bosse suivante par extension des genoux et des hanches (contraction concentrique des quadriceps jumeaux, grands fessiers). Il réalise alors un virage dit carvé. Lors de ce type de virage, le talon suit exactement la trajectoire prise par la spatule du ski.

Ce virage met en pression le ski et se déforme en une courbe dont le rayon est déterminé par l'angulation du ski, l'intensité de la déformation et de sa ligne de côte.

Figure 3 : Le Carving

Les épaules sont fixées dans la ligne de pente (Rectitude de la colonne vertébrale par co-contraction des abdominaux et du complexe : carré des lombes / muscles spinaux).

L'appui est sur le ski extérieur (pied gauche sur la Figure 3). L'athlète se prépare à la phase excentrique des jumeaux, quadriceps et érecteurs du rachis au moment de l'impact avec la bosse suivante. Le bâton gauche est prêt à être planté afin d'aider à la stabilisation du haut du corps. Ce dernier est en déploiement de la bosse précédente et prépare le futur impact de la bosse suivante. L'objectif est de conserver au maximum le contact Ski/Neige sans créer d'hyper extension.

PHASE 2 : IMPACT ET ABSORPTION



Figure 4 : Impact et absorption

Sur la Figure 4, le skieur doit, à la suite du virage carvé, présenter l'intérieur de la spatule du ski extérieur face à la bosse.

Il s'agit au moment de l'impact des skis avec la bosse, de remonter les genoux à la poitrine pour « absorber » la bosse à des fins de maintien de vitesse linéaire par le contact Ski/Neige. Le starter de l'avalement se produit par une contraction concentrique des psoas iliaques et excentrique des quadriceps (flexion de hanche avec maintien du bassin en antéversion pour maintenir la posture droite) ainsi qu'une contraction concentrique des muscles du tibia antérieur (flexion dorsale de la cheville) au moment de l'impact des skis dans la bosse.

Il s'agira alors de contracter les muscles des Ischio Jambiers (IJ) en co-contraction avec les Quadriceps (Q), puis au transverse et aux abdominaux d'aider à la remontée des genoux de manière concentrique. Le buste reste quant à lui toujours fixe et en direction de la ligne de pente. Le bâton a été planté et aide au pivotement des skis.

PHASE 3 : FRANCHISSEMENT DE LA BOSSE



Figure 5 : Franchissement de la bosse

D'après la Figure 5, au passage du point haut de la bosse, l'athlète marque une très légère phase isométrique de l'ensemble du corps et prépare les actions suite au passage de cette dernière.

Les épaules toujours en direction de la ligne de pente. L'appui du bâton gauche s'allège pour laisser place au planté suivant, celui du bâton droit.

Lors de cette phase, le bassin se trouve légèrement rétroversé.

PHASE 4 : MISE EN ACTION ET CARVING



Figure 6 : Mise en action et Carving

Sur la Figure 6 et une fois la bosse franchie, il s'agit de pousser les skis en arrière. L'athlète cherche la projection du corps vers l'avant afin de gagner en vitesse.

L'athlète se retrouve ainsi dans la phase 1 (Figure 3).

Lors de cette phase, l'athlète réalise une triple extension concentrique des Pieds/Genoux/Bassin. Les pieds pour la recherche de la flexion plantaire ; les genoux par les quadriceps puis des hanches grâce aux fessiers et du dos. Les psoas iliaques quant à eux se trouvent en phase excentrique.

Ainsi, l'objectif d'une telle analyse est de juger, d'observer les déformations du corps afin d'être en capacité de proposer une préparation physique (PP) adaptée. Cette dernière permettra d'accentuer les points faibles et d'aider l'athlète à améliorer sa technique de ski mais aussi de saut.

Sur le document Canadien (Freestyle Canada 2017), nous trouvons une description de la phase d'approche, d'impulsion, de manœuvre et de réception de manière globale. Ci-après, nous reprenons ce principe mais allons décrire et analyser le saut type Salto le plus réalisé en compétition : Le Back Cross.

2.2.6 Analyse technique d'un saut

Le Back Cross : Rotation arrière dans le plan transversal avec regroupement des pieds sur le bassin en croisant les skis à l'angle droit.

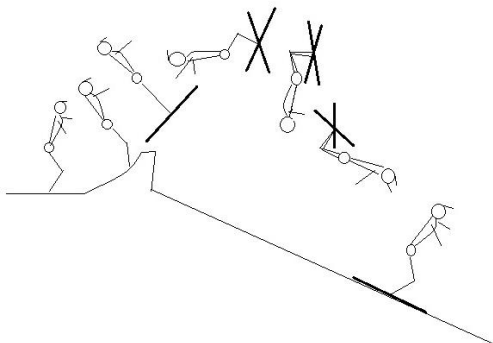


Figure 7 : Schéma du Back Cross

Analyse Descriptive : Figure 7

Arrivée dans la transition du saut, les tibias appuient sur les languettes pour favoriser le placement du bassin au-dessus de pieds avec les bras tendus vers l'oblique basse. Lors de la montée dans le tremplin, les genoux appuient toujours sur les languettes, et les bras se placent à l'horizontale avec le regard vers l'avant. En sortie de tremplin, les jambes sont tendues, les bras ont aidé à la poussée de jambes grâce à leur blocage et le regard est porté à l'oblique haute.

Dans la phase ascendante du vol, les skis se croisent pour former le Cross. Les bras sont tendus latéralement et les genoux remontent légèrement sur le tronc.

Au passage de la tête en bas, le croisement des skis à l'angle droit (Cross) reste visible pour le jury et le regard commence à se positionner sur la réception.

Le Cross est conservé jusqu'à ce que le visuel détermine le point de chute pour ensuite agir sur la gestion de la rotation et l'approche de la réception.

Le corps lors de la réception est perpendiculaire à la pente. Le regard est levé et les bras placés vers l'avant. Le corps est gainé avec le dos droit pour faire face à l'impact de la réception.

Suite à cette analyse descriptive qui nous renseigne sur la forme de ce saut, observons maintenant ce dernier mais d'un point de vue biomécanique et musculaire.

Tableau 1 : Analyse biomécanique et musculaire du Back Cross

Description	Analyse Biomécanique	Analyse musculaire
Transition	Le Centre De Gravité (CDG) est au-dessus des pieds grâce à l'appui sur les languettes et un corps gainé.	Phase isométrique des mollets, quadriceps, IJ. Maintien du gainage des transverse et abdominaux.
Montée dans le tremplin	L'appui sur les languettes est maintenu, les épaules ainsi que le bassin viennent s'aligner afin de favoriser la future impulsion des jambes. Le corps vient en opposition à la courbe concave du tremplin. Ceci engendrera la loi de l'Action/Réaction. L'action est déterminée par la flexion du matériel qui se déforme grâce au cumul des forces (vitesse, opposition du poids du corps contre le tremplin et le maintien du corps rigide). La réaction quant à elle sera efficace dès le retour à la normal des déformations engendrées auparavant.	Contraction isométrique des triceps suraux, des quadriceps, des fessiers et de la co-contraction isométrique Dos/Abdos.
Sortie de tremplin	L'impulsion est aidée par les bras. Leur montée brève, dynamique jusqu'au blocage à l'horizontale permet de créer l'allègement de l'impulsion et la transmission des forces vers l'oblique haute. L'inclinaison du corps vers l'arrière permet le début de rotation transversale arrière.	Impulsion des jambes par contraction concentrique des Quadriceps, mollet, fessiers et dos. Élévation latérale des bras par contraction concentrique des deltoïdes moyens. Déclenchement de la rotation arrière par l'extension du dos (contraction concentrique des muscles lombaires et fixateurs des omoplates).
Phase de vol	Lors de la phase de vol, la rotation transversale est accentuée par le rapprochement des masses des jambes sur le tronc. Ceci accroît la vitesse angulaire de la rotation. Au passage du dernier quart de tour, le point de réception est déterminé et le corps se prépare à la phase d'ouverture. Cette dernière participera au ralentissement de la vitesse angulaire grâce aux frottements des masses contre l'air.	Fermeture de l'angle jambe tronc par contraction concentrique du grand droit de l'abdomen, des psoas-iliaques et des quadriceps. Gainage pour la fixation du bassin par co-contraction isométrique des muscles antérieurs et postérieurs du tronc : transverse, obliques de l'abdomen et grand droit de l'abdomen et carré des lombes, érecteurs du rachis. Ouverture du corps afin de préparer la réception par contraction concentrique des quadriceps, du dos, des mollets.
Réception	Le poids du skieur au moment de l'impact sera déterminé par le cumul des vitesses linéaire et angulaire ; la masse du skieur et de son matériel ainsi que la hauteur du saut et de sa parabole.	Contraction excentrique de la chaîne des extenseurs lors de la réception : lombaires, fessiers, triceps sural et quadriceps.

En observant de plus près ces analyses techniques, on s'aperçoit que le ski de bosses est un sport complet, dans le sens où tous les régimes de contractions sont présents : concentrique, isométrique, excentrique et pliométrique. De plus, l'excentrique est majoré vis-à-vis des autres types de contractions puisque lorsque la vitesse augmente, le skieur doit réussir à freiner avant le deuxième saut sans perdre le contact Ski/Neige. En effet, lorsque la vitesse s'accumule, le skieur doit ralentir à l'approche du deuxième saut afin d'éviter des paraboles trop importantes lors de la réalisation de la seconde manœuvre aérienne. S'il ne freine pas, l'athlète se verrait alors sortir de la zone de réception et ainsi risquer une perte de contrôle et même pire, la blessure. Ce franchissement de zone de réception impacterait la tenue du corps et il se verrait ainsi perdre quelques précieux points au classement d'une course par exemple.

Si nous revenons au moment de l'impact de la bosse (Figure 4), l'athlète se trouve dans cette composante excentrique (EXC). Comme énoncé plus haut et suivant la réglementation de juges (FFS, 2021) la vitesse linéaire du skieur étant de 9,7m/s pour les hommes et 8,2m/s pour les femmes, nous pouvons supposer qu'il s'agit d'une rythmique excentrique basée sur une gestuelle rapide.

L'athlète devra impacter cette bosse majoritairement sur le pied extérieur (Figure 3) afin de gérer l'équilibration latérale due à la force centrifuge d'où une gestion particulière de ce régime de contraction (Kinetic and kinematic comparison of alpine ski racing disciplines as a base for specific conditioning regimes, 2015). Il sera bien sûr à même de gérer l'intensité de ce mouvement à des fins de création de vitesse, de conservation ou de freinage. Il en va de même lors des réceptions de sauts puisqu'il doit être en mesure de se positionner de manière optimale afin d'absorber l'impact en glissant dans un premier temps puis de conserver sa vitesse pour reprendre le ski dans les bosses.

Afin d'appuyer cette analyse, nous allons étudier la vitesse angulaire des segments Fémur/Tibia de deux athlètes des équipes de France lors d'un entraînement. L'objectif était de donner une orientation de travail en préparation physique afin d'être au plus proche des besoins de l'activité.

2.2.7 Analyse des vitesses angulaires

Pour ce faire, nous avons déterminé un nombre de bosses et chronométré le passage du premier au dernier impact de la section choisie.

NB : Cette étude angulaire a été réalisée avec une caméra vidéo HD pour l'enregistrement de la descente, une application smartphone (Technique) afin de déterminer les angles de flexion et un logiciel de montage vidéo (iMovie) afin de déterminer le chronométrage de la section choisie. Cette analyse est donc très approximative mais pour le moins intéressante.

Il conviendrait de compléter cette étude avec des mesures adaptées type GPS afin de chronométrer la section prédéfinie, des GPS à chaque articulation afin de déterminer les vitesses de Flexion/Extension des segments articulaires déterminés et le degré de pente de la descente. Il serait également judicieux de placer des capteurs de force dans les semelles des chaussures afin de déterminer la localisation des impacts sous le pied et la durée de ces derniers. Nous pourrions ajouter pour terminer un goniomètre numérique/électronique afin de déterminer les angles réels entre les inversions de régime de contraction.

Comparons sur une même piste deux athlètes français de niveau international masculin puis féminin.

a. Athlète masculin

Sur les Figures 8 et 9, nous avons déterminé les angulations de flexion de genoux en utilisant comme référence à l'angle, le condyle externe du genou avec l'articulation de la coxo-fémoral puis la malléole externe depuis une vidéo enregistrée de profil sur une piste d'entraînement.

NB : Nous n'avons aucune information quant au degré de pente de cette piste d'entraînement, la hauteur de bosses ni la longueur des segments Fémur/Tibia.



Figure 8 : Angulation des genoux dans le creux de la bosse de l'athlète masculin



Figure 9 : Angulation des genoux au sommet de la bosse de l'athlète masculin

Il s'agit maintenant de connaître le débattement entre le creux de la bosse puis le sommet. Sur la Figure 8, nous trouvons une valeur de 131° de flexion de genoux contre 87° sur la Figure 9, soit un débattement de 44° lors de la montée des genoux ; or il faut comptabiliser l'extension des genoux jusqu'au point d'impact suivant donc nous obtenons

$$DT = (131 - 87) \times 2 = 88^\circ$$

Équation 1 : Débattement total DT (Athlète masculin)

Sur cette piste d'entraînement, les bosses étaient espacées de 4,20m chacune. Nous avons négligé la longueur de la bosse.

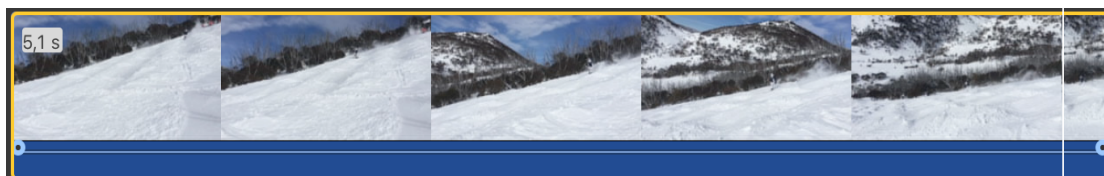


Figure 10 : Durée d'une descente de 15 bosses pour l'athlète masculin

Nous avons enregistré une séquence de 15 bosses franchies en 5,1 secondes (Figure 10) soit une vitesse de :

$$V = \frac{4,20 \times 15m}{5,1s} = 12,3m/s$$

Équation 2 : Vitesse V (Athlète masculin)

Nous pouvons d'ores et déjà observer que la vitesse de notre athlète sur cette piste est de 12,3m/s, soit une différence de 22% par rapport à la valeur fournie par la FFS.

Nous pouvons écrire :

$$T = \frac{4,20m}{12,3m/s} = 0,341s$$

Équation 3 : Temps inter-bosses T (Athlète masculin)

La vitesse angulaire de franchissement d'une bosse par le premier athlète est donc de :

$$VA = \frac{\text{Débattement total}}{\text{Temps interbosses}} = \frac{88^\circ}{0,341s} = 258^\circ/s$$

Équation 4 : Vitesse angulaire VA (Athlète masculin)

b. Athlète féminine

Faisons de même avec cette athlète féminine des équipes de France de ski de bosses en conservant les mêmes paramètres puisque sur la même piste.



Figure 11 : Angulation des genoux dans le creux de la bosse de l'athlète féminin



Figure 12 : Angulation des genoux au sommet de la bosse de l'athlète féminin

Cette skieuse se trouve au moment de l'impact de la bosse (Figure 11) avec une angulation de 123° et au sommet de cette dernière à 88° (Figure 12). Soit :

$$DT = (123 - 88) \times 2 = 70^\circ$$

Équation 5 : Débattement total DT (Athlète féminin)

Cette fois les 15 bosses sont franchies en 6,4s comme affiché sur la Figure 13.



Figure 13 : Durée d'une descente de 15 bosses de cette athlète

On a donc :

$$V = \frac{4,20 \times 15m}{6,4s} = 9,843m/s$$

Équation 6 : Vitesse V (Athlète féminin)

$$T = \frac{4,20m}{9,843m/s} = 0,427s$$

Équation 7 : Temps Inter-bosses T (Athlète féminin)

$$VA = \frac{70^\circ}{0,427s} = 163,93^\circ/s$$

Équation 8 : Vitesse angulaire VA (Athlète féminin)

Nous obtenons donc une très grande différence de vitesse angulaire entre l'athlète masculin et féminin, de l'ordre de 37% sur la même piste.

Ici encore, notre athlète est au-dessus de la vitesse établie par le règlement de juge (FFS, 2021) d'une valeur de 17%.

Suite à ces analyses de vitesse angulaire nous sommes à même de se demander sur quels paramètres le règlement de juge de la FFS est basé ; s'agit-il d'une moyenne ? d'une valeur recommandée ? d'une minimale éliminatoire ?

En effet, lorsque nous comparons les vitesses en m/s, les athlètes présents dans la dernière analyse sont bien plus rapides qu'annoncé par la FFS.

Nous pourrions mettre en cause le degré de pente, la longueur des segments Fémur/Tibia ou encore la hauteur de bosses.

Si le degré de pente est plus accentué, il transformera le profil de la piste et formera de plus grosses bosses puisque l'athlète devra gérer d'autant plus sa vitesse et ainsi s'appuyer sur les contre-pentes des bosses. En multipliant les passages et l'intensité des impacts de chaque athlète dans le parcours, on peut facilement déduire que les bosses seront plus compliquées à franchir puisqu'elles seront de plus en plus grosses.

Aussi, la hauteur des bosses et la longueur des segments (Tibia/Fémur) seront les paramètres à prendre en compte sur les différentes vitesses angulaires suivant les pistes. Comme les femmes et les hommes skient sur la même piste, on peut en partie expliquer les différences de vitesse linéaire par cette hypothèse.

En effet, lorsque les segments sont courts et que les bosses sont hautes, le débattement engendré afin de franchir la bosse deviendra plus important. Ceci aura pour conséquence une plus grande trajectoire, une oscillation verticale du bassin plus importante et donc une perte de temps non négligeable sur un même parcours.

Nous pouvons également supposer qu'au vu du débattement total de l'athlète féminin à savoir 70°, celle-ci vient chercher l'appui sur la base de la bosse. Cette base étant moins haute, le débattement peut en être réduit de la sorte. L'athlète masculin ayant une vitesse de l'ordre de 258°/s va devoir s'appuyer sur une contre pente plus importante afin de gérer sa vitesse, d'où un débattement total plus important.

En nous référant aux vitesses calculées sur cette l'analyse, il nous semble pertinent d'introduire ce facteur vitesse dans la préparation physique. En effet, nous pouvons déterminer des vitesses de travail

spécifiques à l'activité. Ceci est possible en utilisant un accéléromètre, qui permet de gérer aisément les intensités et vitesses par exemple lors d'un travail en squat. Avons-nous aujourd'hui des informations concernant le rapport entre la Force et la Vitesse dans le ski de bosses ?

2.2.8 Le ratio Force / Vitesse

Suivant la thèse de Matthew Cross (CROSS, 2020) le profil F/V des skieurs est différent suivant les disciplines alpines. Nous trouvons des athlètes de descente (DH) plutôt fort avec peu de vitesse, une force isométrique importante et une moyenne de force développée quasi similaire aux athlètes spécialisés dans le Slalom (SL). Ces derniers dégagent très peu de force à basse vitesse et un rendement isométrique faible. D'après l'étude du Dr Alhammoud concernant les régimes de contractions lors de différents virages en SL, il apparaît que les skieurs spécialisés dans cette discipline utilisent le régime excentrique de manière prépondérante vis-à-vis des autres skieurs alpins (On-Field Ski Kinematic According to Leg and Discipline in Elite Alpine Skiers, 2020). Ce mode excentrique correspond à l'entrée en courbe dans le virage puis une fois la porte franchie, l'inversion est réalisée. Le skieur ajuste alors la phase concentrique vitesse afin de créer l'allègement et ainsi changer de pied d'appui. Aussi et faisant toujours référence à l'étude du Dr Alhammoud, « l'amplitude angulaire moyenne du genou de la jambe extérieure a été mesurée à 45° en SL (On-Field Ski Kinematic According to Leg and Discipline in Elite Alpine Skiers, 2020, P.3 et 5) soit un débattement total de 90° Allé/Retour.

Nous pourrions comparer ces dernières informations avec le ski de bosses puisque la discipline du SL reste la plus exigeante en termes du nombre de virages dans une descente. La posture de l'athlète est haute avec des épaules fixes et en direction de la ligne de pente tout comme le skieur de bosses. Nous retrouvons sensiblement les mêmes débattements de genoux entre les deux disciplines.

Les correspondances entre les disciplines du ski et ce d'après la littérature, nous force à penser qu'il sera nécessaire d'orienter la PP des athlètes vers tous les régimes de contractions puisque la variabilité des paramètres de chaque descente (degré de pente, hauteur de bosses, longueur de segments Tibia/Fémur) engendrera des différences de vitesses linéaire et angulaire. Mais finalement sur ce sport de glisse, quels sont les points fixes autrement dit les points d'appuis dynamiques sur lesquels s'organisent les skieurs lors de leurs appuis ?

2.2.9 Quels sont les points fixes en ski de bosses ?

Le jugement et la technique de ski imposent une posture droite, en évitant les mouvements latéraux du buste et une vitesse des membres inférieurs sans faille. Cette technique impose donc deux points fixes : les épaules et les pieds.

Comme le précise Mr Kröll, lors de l'activité en ski alpin, le « Ground Reaction Force (GRF) » est l'ensemble des forces de réaction au sol (Kinetic And Kinematic Comparison Of Alpine Ski Racing Disciplines As a Base For Specific Conditioning Regimes, 2015). Ceci consiste à prendre en considération la déformation de la chaussure, l'angulation du ski dans la ligne de pente, la déformation de ce dernier ainsi que l'angulation du skieur au-dessus de ses skis. Lorsqu'il y a réaction, ceci implique qu'il y ait eu une action au préalable. S'il y a Action/Réaction, cela signifie qu'il y a un point d'appui dynamique au niveau du pied. Les épaules peuvent être considérées comme l'autre point fixe puisque le jugement impose une sobriété du haut du corps qui demande à l'athlète un contrôle total et une coordination entre le bassin et les épaules, suivant ce que la partie Bassin /Pieds impose. Il s'ensuit donc une adaptation par l'athlète afin d'assurer ce contrôle par l'appui du bâton, qui permettra de stabiliser le haut du corps par une épaule fixe.

Comme évoqué précédemment, le pied extérieur crée un point de fixation. Il est le déclencheur du mouvement d'absorption par la dorsiflexion de la cheville. Lorsque le pied rencontre la contre pente d'une bosse, le GRF impose une dorsiflexion de la cheville (KRÖLL, 2015). Il s'ensuit toute une mécanique (flexion dorsale de la cheville associée à la flexion du genou et de la hanche) pour créer l'allègement par la contraction excentrique des muscles gastrocnémiens et les quadriceps afin de conserver le contact Ski/Neige.

Afin de compléter ce travail réalisé en chaîne fermée, nous proposons d'ajouter un renforcement spécifique en chaîne ouverte grâce à l'isocinétisme. Cette méthode nous permettrait de faire travailler les quadriceps (Q) ou les ischios jambiers (IJ) de manière isolée et ce avec des hanches ouvertes ou fermées.

2.3 INTRODUCTION A L'ISOCINETISME

2.3.1 Les ratios et le choix des vitesses angulaires de référence

Suivant les observations du chapitre précédent, nous proposons d'optimiser la prophylaxie des skieurs en leur faisant faire un test deux fois par saison. La saison de PP d'un skieur étant de Mai à Novembre (plus quelques rappels durant l'hiver afin de ne pas perdre les acquis du développement précédent), nous effectuerons le premier test après quelques semaines de préparation puis le second en fin de PP. Ceci permettra d'optimiser les ratios et les différentiels de force entre les Q et les IJ avant le départ pour une saison longue et éprouvante de Décembre à Mars.

Comme le précise Mr Pocholle dans son livre « L'isocinétisme aujourd'hui : les tests » (POCHOLLE, 2001), les ratios IJ/Q en concentrique (CONC) à 60°/s sont les plus anciennement et couramment utilisés. Il ajoute aussi la détermination d'autres ratios tels que le IJ EXC (Excentrique)/Q EXC (Excentrique), les ratios CONC/EXC pour un groupe musculaire précis (Q ou IJ) et enfin les Q CONC/IJ EXC.

Mr Pocholle signale aussi un ratio proposé par JL Croisier qui reflèterait mieux la physiologie du Q et des IJ au cours de diverses activités sportives : le rapport IJ EXC/Q CONC à la même vitesse (CROISIER, 1999). Mr Croisier et Mr Codine dans le livre « Exercices musculaire excentrique » précisent que la contraction des IJ s'oppose au tiroir antérieur du genou, le rôle des muscles IJ allant dans le sens d'un contrôle rotatoire dynamique du genou (JL Croisier, 2009). Sur le plan fonctionnel, les IJ assurent un rôle freinateur et permettent d'éviter l'hyper-extension du genou lors d'un mouvement rapide d'extension. Cette fonction protectrice justifie l'évaluation excentrique de ce groupe musculaire. Mr Bishop nous indique qu'il est nécessaire de réaliser quelques répétitions à vitesse lente (30°/s) afin d'aider à se familiariser avec ce mouvement sur la machine isocinétique. Il précise également qu'il est possible de varier les vitesses angulaires de 30 jusqu'à 120°/s. Cette dernière étant la vitesse maximale que les sujets peuvent retenir dans ce régime de contraction (The effect of eccentric strength training at various speeds on concentric strength of the quadriceps and hamstring muscles, 1991).

2.3.2 Proposition de test isocinétique pour le skieur de bosses

Il serait judicieux de proposer lors des séances de renforcement des vitesses de l'ordre de 180°/s puis 240°/s voire 300°/s afin de s'approcher au maximum de l'activité spécifique musculaire. Comme chaque piste est différente et que les athlètes n'auront pas tous le même débattement ni la même vitesse angulaire, il paraît cohérent de proposer un large panel de vitesses.

L'idéal serait d'analyser chaque piste coutumière sur la tournée Coupe du Monde, de mesurer les écarts entre les bosses puis enregistrer ces différentes distances. Il suffirait ensuite de calculer une moyenne par athlète afin d'être plus précis dans le choix des vitesses en isocinétisme.

Une autre piste qui pourrait être expérimentée :

Si nous calculons la moyenne des 2 vitesses analysées précédemment (258°/s et 163,93°/s), nous sommes à 210,96°/s. La vitesse angulaire la plus proche utilisable sur la machine CYBEX Humac2015 est de 240°/s. Nous pourrions donc proposer un test en endurance de Puissance/Vitesse sur 20 secondes (durée d'une descente en ski) qui correspondrait à 16,6 répétitions à 240°/s.

Si nous nous référons au livre des Mr Dufour et Pillu, « La biomécanique Fonctionnelle », l'angle « à tout faire » serait de 100° puisque la marche requiert 65 à 70°, monter un escalier 80° à 85°, le descendre 90°, s'asseoir 95°, mettre ses chaussures 105°, et ramasser un objet 120° (DUFOUR, 2005).

Nous partirions ainsi sur 100° de débattement ; 100° de flexion aller puis 100° en retour, soit 200° à parcourir en tout.

$$D = \frac{240^\circ}{200^\circ} = 1,2s$$

Équation 9 : Durée de l'aller-retour en seconde D

$$N = \frac{20sec}{1,2s} = 16,6 \text{ mouvements}$$

Équation 10 : Nombre de répétitions pour 20 sec de test N

Sur cette même base de 100°, nous pourrions établir le protocole de test isocinétique suivant :

Q et IJ en CONC à 60°/s sur 5 répétitions

Q en CONC à 120°/ sur 5 répétitions

IJ en EXC à 120°/s sur 5 répétitions

Q et IJ en CONC à 240°/s sur 17 répétitions

Q en EXC à 60°/s sur 5 répétitions

Le CONC 60°/s permettra de déterminer les ratios et les différentiels Gauche/Droite Q et IJ et d'observer la valeur seuil de 0,60 comme nous le rappelle Mr Pocholle (POCHOLLE, 2001). Avec un ratio inférieur à 0,60 l'athlète est plus sujet au risque de blessure. Si la valeur est supérieure à 0,60, le genou est musculairement protégé.

Le CONC Q à 120°/s permettra de confirmer les différentiels Q / Q à vitesse 2 fois plus rapide que le test précédent.

L'EXC IJ à 120°/s permettra de vérifier le différentiel IJ / IJ mais également d'analyser le ratio mixte à 120°/s afin d'observer les potentielles faiblesses dans ces régimes de contraction. Un ratio égal à 1 confirmerait que les IJ assurent leur rôle de freinateur de l'extension de genou (CROISIER, 1999).

Le CONC à 240°/s permettra de valider un indice de fatigabilité sur une vitesse rapide aussi bien en Q/Q qu'en IJ/IJ. Cette vitesse angulaire se trouve être proche du temps d'une compétition. Si le test à cette vitesse venait à être avant le 120°/s, il engendrerait trop de fatigue musculaire et nous risquerions d'obtenir des valeurs faussées concernant le ratio mixte.

L'EXC Q à 60°/s permettra de vérifier les différentiels Q / Q mais également d'analyser le ratio EXC Q / CONC Q (POCHOLLE, 2001).

Nous aurons ainsi testé l'ensemble des vitesses, observé et analysé les résultats afin d'être au plus proche des exigences de l'activité. Nous aurons également obtenu des résultats afin de vérifier les ratios conventionnels (CROISIER, 1999). Ce protocole nous aura également permis de tester sur la machine Cybex Humac2015 les athlètes sur un débattement supérieur à celui analysé dans l'activité spécifique.

Pourquoi ? Le choix de cet angle de 100° sera le même pour tous les athlètes. Celui-ci permettra la comparaison des athlètes sur une base commune. Si nous testons les Q et les IJ sur des angles plus profonds, c'est également pour des raisons prophylactiques. En effet, lors d'une faute technique, l'athlète peut être amené à sortir de la piste ou chuter dans les bosses. Les angles de flexion de genou seront alors différents de l'analyse précédente et nous pouvons ainsi penser que le genou puisse être protégé sur des amplitudes plus importantes.

Lorsque l'on se réfère à ces observations nous sommes en droit de nous demander comment les genoux peuvent être préservés, notamment au regard des entorses graves avec rupture des LCA dont nous avons évoqué la récurrence dans le ski de bosses. Les IJ jouent alors un rôle important dans la protection du genou par la synergie de la co-contraction des antagonistes du Q. Le risque de lésion de ce ligament tient au délai de mise en place de cette activation simultanée. Lorsque le quadriceps se contracte, celui-ci crée un tiroir antérieur du tibia sous fémur et fragilise ainsi le ligament (nous expliciterons précisément cette mécanique ultérieurement).

2.4 LES ISCHIOS JAMBIERS

2.4.1 L'anatomie des Ischios Jambiers et leur rôle

Afin de faire le point sur le rôle et le fonctionnement des IJ, il est primordial de connaître l'anatomie et la fonction de ces derniers. Nous aborderons ensuite le rôle non négligeable de ces muscles lors d'un geste sportif et dans la prévention des blessures.

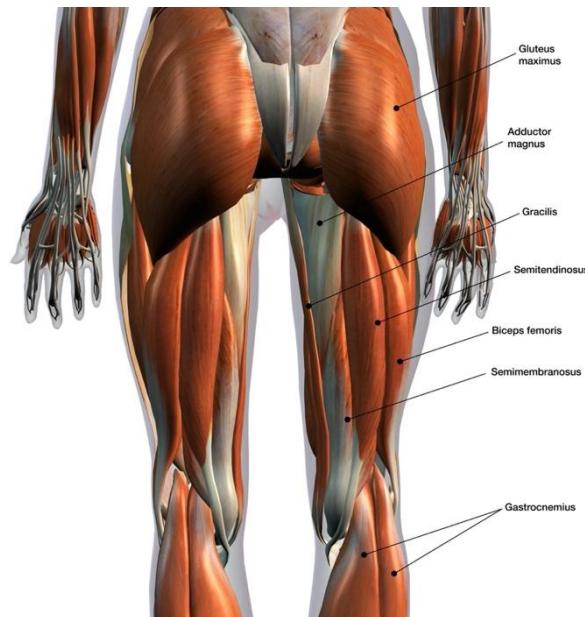


Figure 14 : Anatomie des Ischios Jambiers

Les Ischios Jambiers (Figure 14) sont composés du biceps fémoral, du semi-tendineux et du semi-membraneux. Ces muscles ont une action couplée sur la hanche et le genou. Les ischios-jambiers interviennent notamment dans le mouvement du genou, notamment lors de la marche et de la posture debout.

Description anatomique

Le Biceps fémoral (BF)

Il s'agit du muscle externe de la loge postérieure de la cuisse. Il comporte deux chefs : le premier bi articulaire qui est la longue portion, le second mono articulaire qui est la courte portion. Ces portions se situent respectivement au niveau de l'os coxal à la fibula (premier) et du fémur à la fibula (second). En ce qui concerne l'insertion, la longue portion possède une partie commune avec le semi-membraneux et le semi-tendineux, la partie inférieure de la tubérosité ischiatique, en arrière des adducteurs.

Quant à la courte portion, elle est insérée au niveau de la $\frac{1}{2}$ inférieure de la lèvre externe de la ligne âpre, en dessous du grand fessier. Le Biceps fémoral se caractérise de l'Oblique vers le bas. En effet, la longue portion passe en dedans et en arrière de la courte portion. Ce muscle est un extenseur de la hanche, il verrouille également le genou en extension. En d'autres termes, cette partie de la jambe permet de fléchissement du genou et la rotation externe du tibia sur le fémur.

Le semi-membraneux (SM)

C'est le second constituant des muscles Ischio jambiers : bi articulaire, se situant dans la loge postérieure de la cuisse en interne, entre l'os coxal (ischion) et le tibia. Le muscle possède une partie commune avec le BF et le semi-tendineux. Cette membrane descend verticalement à la partie médiale et postérieure de la cuisse et se termine par trois tendons.

Cette partie de la jambe est également un extenseur de la hanche, avec le genou verrouillé en extension. Ici encore, elle permet de fléchir les genoux et de d'effectuer une rotation interne du tibia sur le fémur.

Le semi-tendineux (ST)

Le ST se situe sur la loge postéro-latérale. Ses insertions sont les mêmes que celles du BF et du SM.

Ce muscle descend verticalement à la face postérieure du SM et passe en arrière du condyle médial du fémur et son tendon vient s'attacher sur le 1/3 supérieur de la face médiale du tibia.

2.4.2 Relation entre IJ et LCA

Lorsque dans le livre « Biomécanique Fonctionnelle » les auteurs nous donnent des précisions sur le LCA (Figure 15) et le Ligament Croisé Postérieur (LCP : Figure 16), on s'aperçoit que le croisement de ces deux ligaments assure une cohérence de l'action anti-tiroir (DUFOUR, 2005 p.160) : « ces ligaments puissants jouent un rôle de guidage passif dans les déplacements de l'articulation fémoro-tibiale empêchant le quadriceps de faire avancer le tibia pour le LCA et empêchant les Ischios-Jambiers de le faire reculer, pour le LCP » (Figure 17).

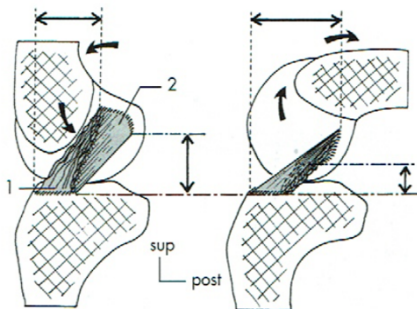


Figure 15 : Le Ligament Croisé Antérieur (LCA).
Extrait de (DUFOUR, 2005).

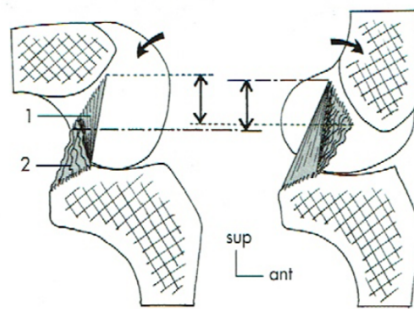


Figure 16 : Le Ligament Croisé Postérieur (LCP).
Extrait de (DUFOUR, 2005).

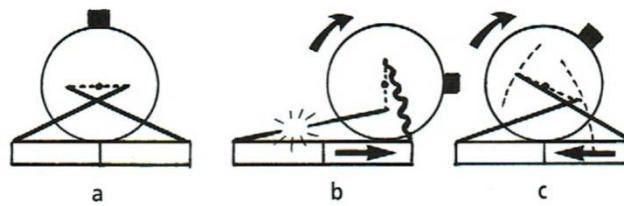


Figure 17 : Système croisé (a), Il assure le guidage des surfaces, maintenant l'articulation en bon rapport de surfaces. Le roulement de la flexion fémorale (b) est neutralisé par un glissement en sens inverse (c). Extrait de (DUFOR, 2005).

Si nous voulons renforcer les IJ de manière efficace et dans le respect de la biomécanique de l'activité, il semble pertinent de rendre plus puissants ces fléchisseurs de genou ou extenseurs de hanche avec comme point fixe le pied.

Or actuellement, nos recherches sur internet et dans les salles de musculation ont montré qu'il était difficile de trouver des mouvements avec grande amplitude ou encore des machines spécialisées ayant comme point fixe le pied ; nous allons présenter ci-après ces observations (section 2.4.4).

2.4.3 Quelles sont les méthodes de renforcement des IJ actuelles ?

a. Le Leg Curl Allongé

Un des appareils les plus répandus dans les salles de musculation est le Leg Curl Allongé (Figure 18).

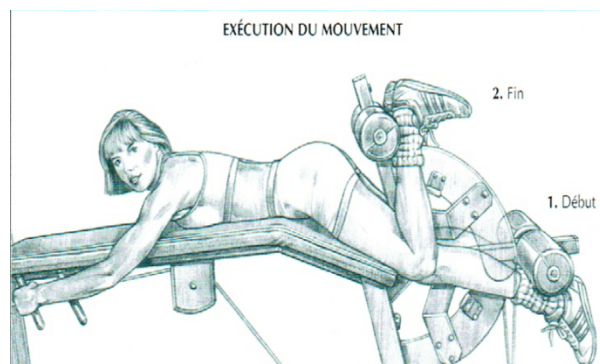


Figure 18 : Leg Curl Allongé (DELAVIER, 2001). p.87

Sur l'appareil ci-dessus (Figure 18), le fémur est en point fixe et le tibia est en mouvement. Le pied quant à lui reste libre. Lors de cette flexion, les IJ ne travaillent efficacement que lorsqu'ils font face à la gravité.

Une fois le passage de la gravité passé, l'ischio est moins sollicité lors de la course interne car il bénéficie en plus de l'élan de la course externe.

Le pratiquant est souvent positionné avec une antéversion du bassin qui crée une « assistance » aux IJ via les muscles du dos et les fessiers.

b. Le Leg Curl Assis

Un autre appareil très répandu dans les salles de musculation est le Leg Curl Assis (Figures 19 et 20)

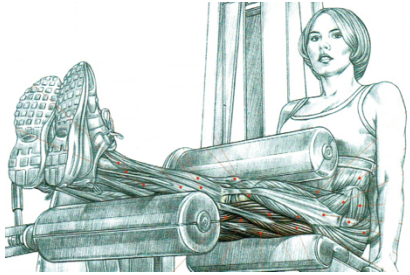


Figure 19 : Machine Leg Curl Assis (DELAVIER, 2001) : position de départ

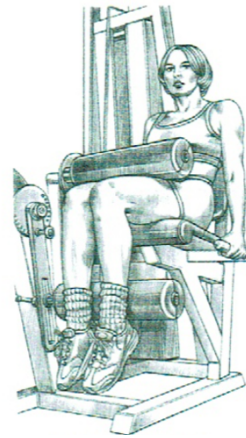


Figure 20 : Machine Leg Curl Assis (DELAVIER, 2001) : position en fin de mouvement

Sur cet appareil, le fémur est en point fixe et le tibia est en mouvement.

Il aura une action plus importante par rapport à l'exercice précédent puisqu'il y aura une tension constante et régulière du début du mouvement à la fin de ce dernier.

L'action sera malgré tout limitée à une flexion de 90°, environ jusqu'à ce que le point d'appui des chevilles touche le cadre de l'appareil.

Dans la progression des exercices efficaces, il existe le Nordic Hamstring Curl.

c. Le Nordic Hamstring Curl

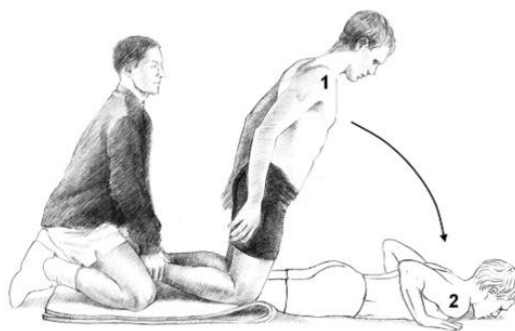


Figure 21 : Le Nordic Curl Hamstrings

Sur la Figure 21, l'exercice proposé est un renforcement des IJ de manière excentrique. Lors de la réalisation de cet exercice, le tibia est en point fixe et le fémur est en mouvement.

Le travail de la flexion concentrique est très difficile voire impossible pour un public non expert. Il s'agit de passer de la position 2 à la position 1. Il exige une force considérable afin de ramener le bassin au-dessus des genoux avec le corps aligné puisque l'athlète doit mettre en mouvement son poids de corps gainé face à la pesanteur, à la simple force des fléchisseurs des genoux.

La position du bassin et de la patella est difficilement ajustable.

En effet, lors d'un mouvement excentrique, l'accélération se fait sentir par la pesanteur à l'approche de 45° oblique voire même avant. L'athlète compense alors par une participation accrue des muscles fessiers et du dos, ce qui entraîne un travail synergique de la chaîne postérieure sans réel isolement des IJ. La patella quant à elle se trouve coincée au-dessus de la trochlée puisqu'en position de départ les genoux sont fléchis. Lors de l'extension des genoux par le mouvement vers l'avant, l'appui reste inchangé et la patella reste bloquée. Ce phénomène crée un inconfort certain et gêne le pratiquant dans le recrutement des IJ.

Sur ces trois exercices, le pratiquant peut modifier l'orientation de ses pieds afin d'optimiser le renforcement de ses IJ.

Avec un pied en adduction, le tibia se trouvera en rotation interne sous fémur ce qui permettra un renforcement de ce groupe musculaire avec une prédominance sur les SM et ST.

Avec un pied en abduction, le tibia se trouvera en rotation externe sous fémur ce qui engendrera une sollicitation des IJ avec une prédominance du BF.

Passons maintenant aux exercices réalisables sans appareils spécifiques.

d. Le Good Morning



Figure 22 : Good morning, Position de départ

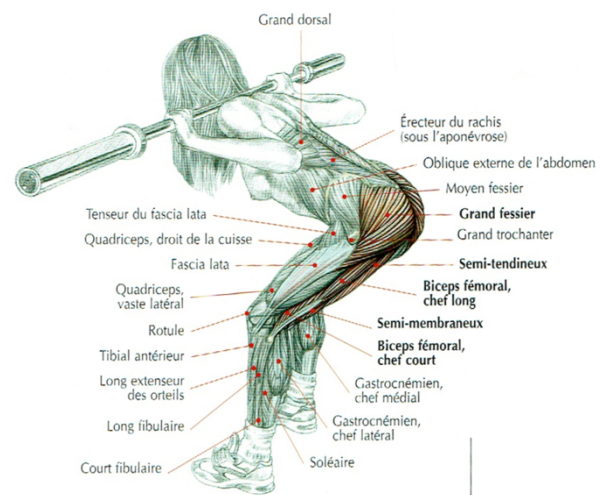


Figure 23 : Good morning, position en flexion de genoux



Figure 24 : Good morning une jambe

Dans le mouvement du Good Morning, nous renforçons les IJ avec un pied fixe (Figures 22 et 23).

D'après Frédéric Delavier ce mouvement travaille le grand fessier et l'ensemble des spinaux : « [le Good Morning] est surtout remarquable pour son action sur les IJ. Outre la flexion du genou, ce dernier participe activement à la rétroversion du bassin, redressant le buste si celui-ci est solidaire par contraction isométrique de la sangle abdominale et des muscles sacro lombaires. » (DELAVIER, 2001)

Il en est de même pour la variante à une jambe (Figure 24) qui reprend le même mouvement mais avec un membre libre qui crée un contrepoids lorsque le buste bascule vers l'avant et ainsi crée la tension des IJ.

Que ce soit à une ou à deux jambes, nous restons sur un travail en chaîne fermée. Tous les muscles de la chaîne postérieure sont mis en jeu (mollets, IJ, fessiers, rachis). Difficile donc de chercher à isoler les IJ, surtout sur un régime excentrique. De plus, ce mouvement impose une légère flexion des genoux afin d'améliorer le placement du bassin. Il est donc impossible de réaliser cet exercice dans des angles inférieurs à 90° de flexion des genoux.

Voici donc un récapitulatif de ce que nous pouvons proposer à nos athlètes afin de renforcer les IJ. Évidemment, il ne s'agit là que d'une sélection d'exercices, il en existe d'autres mais ce ne sont que des adaptations ou variantes des mouvements de base que nous venons de décrire.

2.4.4 Quel point fixe utiliser dans le renforcement des IJ ?

La littérature nous présente des études isocinétiques où le fémur est le point fixe (CROISIER, 1999). D'autres auteurs nous démontrent qu'ils arrivent à réduire de 51% les blessures aux IJ grâce notamment au Nordic Hamstring (Figure 21) avec comme point fixe le tibia (Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries: a systematic review and meta-analysis of 8459 athletes, 2019).

D'après les informations collectées dans ces différentes études, il semble que l'efficacité du renforcement avec comme point fixe le pied n'ait pas encore été évaluée.

Suite à l'analyse technique et biomécanique de la descente du skieur et ses points d'appui dynamiques, attardons-nous sur le mouvement du bassin lors du franchissement d'une bosse. En effet, au-delà de l'analyse précitée, nous devons nous pencher sur le rôle des IJ lors d'une descente en ski de bosses. Le bassin, suivant sa position, son action et son déplacement engendrera des effets sur le plan postural ainsi qu'au niveau de la stabilisation du haut du corps.

Observons le déplacement du bassin par rapport aux axes définis précédemment, à savoir les Epaules et les Pieds. Prenons comme références anatomiques l'acromion (la jonction entre la clavicule et la scapula) pour l'épaule et le médio-pied pour le pied. L'analyse qui va suivre est approximative mais

donne une idée du déplacement du bassin vis-à-vis de l'axe tracé. Il s'agit de capter un arrêt sur image à un instant T qui paraît le plus proche du plan sagittal de l'athlète sur cette piste.



Figure 25 : Déploiement suite au franchissement de la bosse



Figure 26 : Impact du pied dans le creux de la bosse



Figure 27 : Absorption de la bosse suivante



Figure 28 : Déploiement suite au franchissement de la nouvelle bosse



Figure 29 : Fin d'extension et préparation à l'impact des pieds suivant

Le trait rouge représente l'axe entre l'acromion et le médio-pied. Le rond vert représente l'axe de l'articulation coxo-fémorale (référence anatomique pour le mouvement du bassin).

Si l'on observe le déplacement du rond vert par rapport à l'axe rouge, il se trouve que ce dernier est toujours en retrait et ne vient jamais à l'alignement de l'axe Epaule/Médio-pied ou alors s'en approche mais ne le dépasse pas.

Cette observation nous indique deux choses :

- le mouvement du bassin lors de la translation du pied reste toujours en arrière des points fixes Epaules/Pieds.
- le mouvement du bassin crée une oscillation verticale en arrière de cet axe.

Bien entendu il serait judicieux de mesurer le débattement vertical du bassin afin d'en apprécier les oscillations et pourquoi pas optimiser sa trajectoire à des fins de gain de vitesse. Cette question est d'ailleurs traitée depuis de nombreuses années dans la littérature sur la biomécanique du sprint (REGA, 2001). Bien qu'indirecte, l'influence de ces oscillations va impacter le travail de renforcement des IJ.

Observations vis-à-vis de la PP et de la prophylaxie du genou :

- Nous devons trouver un renforcement des IJ avec comme point fixe le pied.
- Nous devons trouver un renforcement des IJ avec un débattement vertical du bassin.

Suite à notre observation des machines existantes ou mouvements permettant de renforcer les IJ, il apparaît que nous n'avons aucunement la possibilité d'offrir les deux fonctions dans un même exercice.

En effet, soit le fémur est fixe (Figure 18, Figure 19 et Figure 20), soit c'est le tibia (Figure 21) ; le pied est en mouvement ((Figure 18, Figure 19 et Figure 20) ou alors c'est le bassin qui se projette par-dessus le genou (Figure 21). Si le pied est fixe, les angles de travail rendent l'exercice vis-à-vis de l'activité plus pertinent (Figure 21) ; c'est ce qui a guidé notre élaboration d'une nouvelle machine : la HS2.

2.4.5 La machine HS2

Depuis 2010, une réflexion a été menée sur la création d'une machine dédiée au renforcement des IJ. En 2019, le brevet a été déposé sur un appareil de musculation nommé HS2, permettant d'associer le pied fixe et le transfert du bassin de manière linéaire dans l'axe du pied (COINT, 2019).

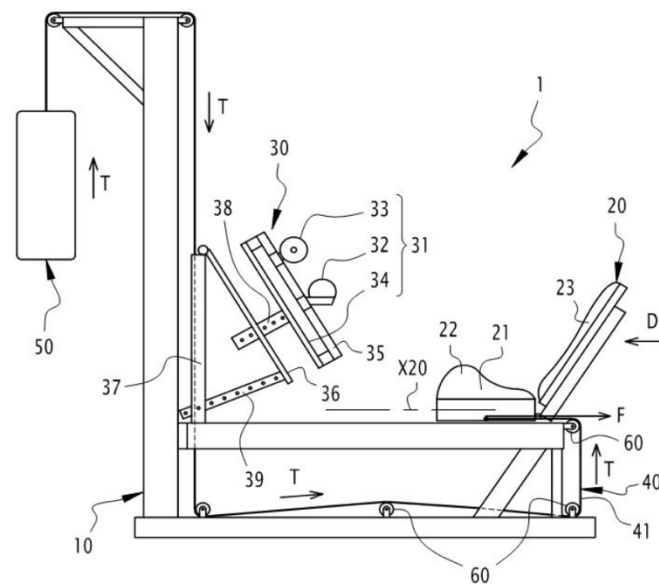


Figure 30 : Organisation de l'appareil (Image Extraite du Brevet déposé à l'INPI)

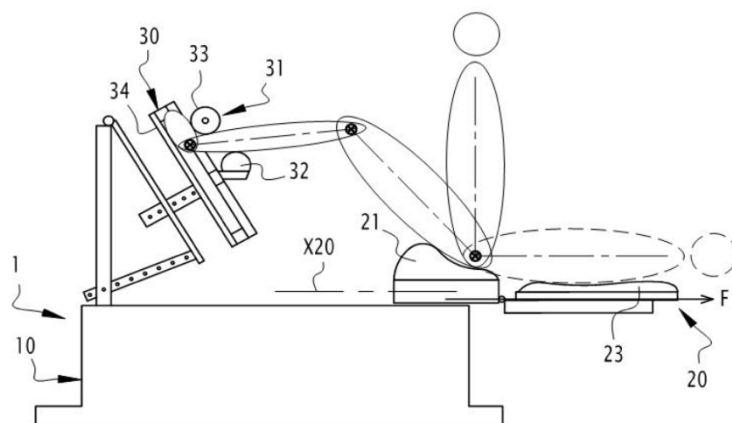


Figure 31 : Fonctionnement de l'appareil (Image Extraite du Brevet déposé à l'INPI)

Comme le montrent les Figures 30 et 31, cet appareil est composé d'un chariot (X20) qui se déplace horizontalement sur le châssis fixe (10). L'athlète cale ses pieds entre les deux boudins fixés sur le repose-pied (30). Le dossier et le repose-pied sont inclinables afin de rendre l'appareil utilisable à tous les niveaux d'expertise du pratiquant. Le pratiquant déplace le chariot (X20) en direction de ses pieds par la force des Ischios en tractant l'assise.

La particularité de cette invention réside dans le fait que le chariot peut se déplacer jusque sous le repose-pied (30) ce qui rend l'exercice très difficile dans les angles fermés du genou et pourtant si importants dans son maintien.

Nous allons détailler quelques possibilités de travail sur cette machine, de l'exercice le plus simple au plus compliqué. Tous ces exercices sont réalisables avec deux pieds accrochés comme avec un seul. Le dernier exemple est très difficile à 2 jambes.

Exercice de flexion des genoux facilitante



Figure 32 : Départ dossier relevé



Figure 33 : Fin de mouvement dossier relevé

Sur les Figures 32 et 33, l'athlète se trouve en position confortable avec un dossier relevé à 45°. Cette position permet au bassin de se retrouver facilement en rétroversion et ainsi permettre aux IJ de se renforcer en position raccourcie dès le début du mouvement.

Cet exercice est idéal pour commencer le travail, la flexion se limitant aux volumes des groupes musculaires des membres inférieurs les uns contre les autres ou à l'appui du buste sur les genoux en fin de flexion de ces derniers.

Exercice en flexion de genoux profonde



Figure 34 : Départ du mouvement dossier à l'horizontale



Figure 35 : Fin du mouvement dossier à l'horizontale

Sur les Figures 34 et 35, l'athlète passe d'une position angles ouverts (bassin, genoux) à des angles très fermés notamment au niveau des genoux. Nous pouvons constater que l'angle des genoux sur la Figure 35 a très largement dépassé les 90° de flexion. Ici, la limitation mécanique se situe au niveau de la faiblesse de l'athlète à tracter le chariot jusqu'à cet angle très fermé. L'autre limitation est celle imposée par le contact du corps avec l'appareil puisque lorsque les IJ rencontrent le boudin inférieur du repose pied, le mouvement est terminé. Notons également que lorsque les genoux fléchissent, le bassin se ferme.

Exercice de renforcement avec le bassin levé



Figure 36 : Départ du mouvement bassin levé



Figure 37 : Fin du mouvement bassin levé

Sur les Figures 36 et 37, l'athlète renforce ses IJ avec le bassin levé ce qui ajoute la composante extension de hanche à la flexion des genoux.

C'est un exercice très difficile puisqu'il faut tenir le bassin en rétroversion (qui sollicite déjà les IJ en raccourcissement) alors qu'on impose une flexion de genoux par le tractage du chariot.

Une étude japonaise nous renseigne sur les performances dynamiques entre les exercices d'extension de la hanche avec différents angles du genou et entre les exercices de flexion du genou avec différents angles de la hanche. Elle permet d'étudier le recrutement des IJ dans chaque exercice (Muscle Recruitment Pattern of The Hamstring Muscles in Hip Extension and Knee Flexion Exercises, 2020). Grâce à la HS2, nous avons la possibilité de travailler et de renforcer la double composante, ce qui n'est proposé à l'heure actuelle par aucun autre exercice de renforcement spécifique.



Figure 38 : Départ du mouvement bassin levé



Figure 39 : Fin de mouvement bassin levé

Sur les Figures 38 et 39, nous avons tracé en vert les muscles stabilisateurs et en rouge les muscles moteurs du mouvement.

Sur la Figure 38, le maintien du bassin en position haute est réalisé grâce à la contraction concentrique du tibial antérieur, des Ischios, des Fessiers et des abdominaux afin de maintenir le bassin rétroversé ; tous repérables par le tracé rouge. Sur le tracé vert, nous trouvons les muscles gastrocnémiens, les quadriceps, les psoas iliaques ainsi que les muscles érecteurs du rachis en co-contraction avec les abdominaux.

Sur la Figure 39, nous retrouvons sensiblement les mêmes groupes musculaires acteurs et stabilisateurs à la différence des muscles gastrocnémiens et des tibial antérieurs qui changent de contraction par l'appui des pieds qui évolue lors de la progression de la flexion des genoux.

Sur la Figure 38, le starter du déplacement du chariot est le tibial antérieur en venant par la dorsiflexion de cheville chercher un point d'appui avec les orteils sur la mousse supérieure du repose pieds.

Sur la Figure 39, l'objectif étant d'élever le bassin en synchronisation avec la flexion des genoux afin d'avoir un alignement Genoux/Bassin/Epaules, nous obtenons un grand droit en co-contraction isométrique avec les érecteurs du rachis.

Comme évoqué dans la section 2.4.3, l'orientation des pieds est possible sur la HS2 et va permettre d'optimiser la sollicitation des ST, MT ou BF par l'adduction ou l'abduction du pied.

Nous pouvons ainsi recouper les informations observées et analysées concernant le renforcement spécifique des IJ vis-à-vis de l'activité. Nous retrouvons un pied fixe grâce auquel nous avons différentes actions en partant du pied jusqu'au genou. Nous retrouvons également l'action verticale sans mouvement antéro postérieur par rapport au pied mais sur un plan horizontal.

Nous allons maintenant passer de la chaîne cinétique ouverte à la chaîne semi-fermée avec une majoration des mises sous tension des IJ par l'extension de hanches.

Afin de corréler les analyses et observations mécaniques ainsi que les bénéfices liés à cet appareil, tournons-nous sur des résultats de terrain.

2.5 CAS CONCRETS

Observons les résultats de deux athlètes blessés qui ont réalisé quatre séances de renforcement sur la HS2 en l'espace de deux semaines. Pour cela, nous présentons pour chacun une analyse de tests isocinétiques avant et après renforcement sur cette machine.

Le protocole est similaire pour les deux athlètes :

Test Isocinétique N°1 : échauffement général (cardio 15min, Squats, IJ sur ballon).

Test Isocinétique N°2 : dans les mêmes conditions que le premier.

Test Isocinétique appliqué par la FFS pour tous les skieurs des équipes de France sur la Machine Cybex Human2015 :

1. CONC Q / IJ à 60°/s : 2 répétitions d'échauffement suivi de 45s de récupération.
5 répétitions de test. 90sec de récupération
2. CONC Q / IJ à 180°/s : 2 répétitions d'échauffement suivi de 45s de récupération.
10 répétitions de test. 90s de récupération
3. CONC Q à 90°/s : 2 répétitions d'échauffement suivi de 45s de récupération.
5 répétitions de test. 90s de récupération
4. EXC IJ à 90°/s : 2 répétitions d'échauffement suivi de 45s de récupération.
5 répétitions de test. 90s de récupération
5. EXC Q à 60°/s : 2 répétitions d'échauffement suivi de 45s de récupération.
5 répétitions de test.
6. Changement de latéralité afin de tester l'autre membre inférieur sur le même protocole.

2.5.1 Athlète N°1

Il s'agit d'un athlète de niveau international présentant un syndrome patellaire du genou droit.

Mesures isocinétiques avant renforcement

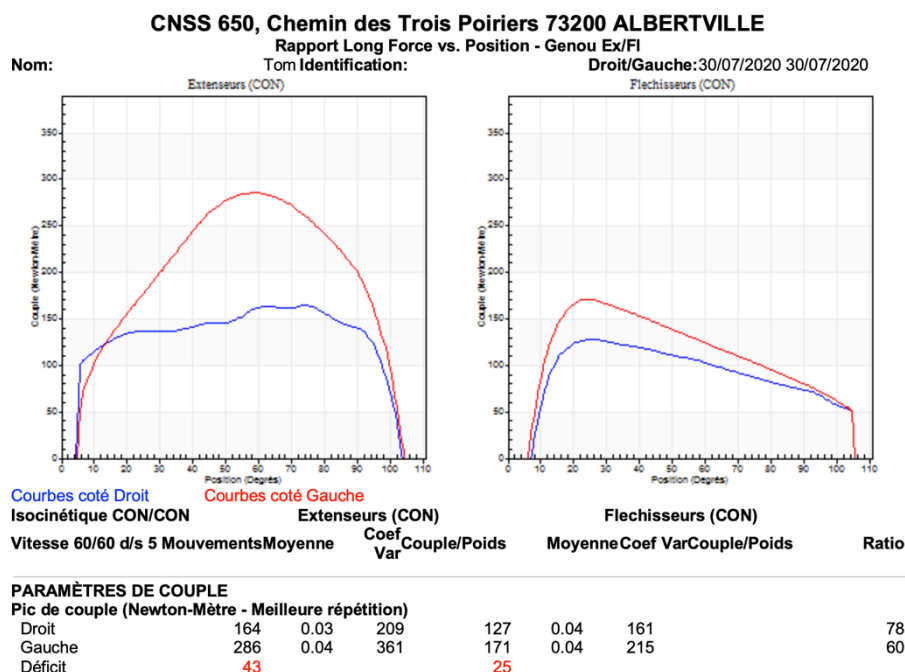


Figure 40 : Premier test datant du 30 Juillet 2020

Les courbes du test isocinétique N°1 nous fournissent les données suivantes (Figure 40) :

Observations

Nous observons très nettement un manque de recrutement (coordination intra-musculaire, soit la capacité à raccourcir toutes les fibres dans un même temps d'un chef musculaire : (PRADET, 1996)) sur la courbe bleue du Q Droit grâce aux oscillations de la courbe dès 95° d'extension jusqu'à la fin du mouvement. Nous notons également un manque de Force à 60°/s en IJ D dès le début de la flexion mais sans oscillations verticales. Les vitesses de l'ordre de 30 à 60°/s ont été déterminées comme étant des vitesses de contraction de type Force et les vitesses angulaires de l'ordre de 240 à 300°/s ont été admises comme des contractions de type Vitesse (POCHOLLE, 2001).

La pente des IJ à G est importante, signe d'un manque Force dans la course interne de la flexion.

La courbe bleue en Q décroche de la rouge à partir de 95° et ne recolle plus jusqu'à la fin de l'extension. La courbe bleue en IJ décrit les mêmes caractéristiques que le Q dès le début de la flexion

Tableau 2 : Relevés et observations des résultats du test 1

	Quadriceps	Ischios Jambiers	Ratios à 60°/s	Commentaires
Droit	164	127	78	Ratio qui montre un IJ trop fort vis-à-vis du Q lésé
Gauche	286	171	60	Ratio dans les attentes dites conventionnelles
Déficit	43%	25%		Objectif : $\leq 10\%$
Différentiels	43% avec un Q Gauche plus fort qu'à Droite	25% avec un IJ à Gauche plus fort qu'à Droite		Objectif : différentiels $\leq 10\%$

Suite à ces observations, et en ciblant l'analyse du Quadriceps, nous pouvons déduire qu'un travail de recrutement sous 90° de flexion pour le Q est à réaliser. Ceci permettra une meilleure initiation de la Force, puis un travail autour de 90° afin d'assurer la continuité de celle-ci et ainsi faciliter le passage de l'angle délicat qui correspond au coulisement de la patella dans la trochlée.

En ce qui concerne les IJ, nous pouvons proposer un travail de recrutement dès le début de la flexion et ce jusqu'à la fin de la course interne. Nous pourrions insister sur la course moyenne et interne afin d'optimiser le maintien du genou.

Pendant les onze jours qui séparent les deux tests, l'athlète a suivi le planning suivant :

Tableau 3 : Planification d'entraînement

	Jeudi 30/07	Vendredi	Samedi 1/08	Dimanche
Matin	ALIGNEMENT-EMPILEMENT	FORCE 1	REPOS	REPOS
Après midi	TEST ISO + Soins	Aérobic sur vélo		

	Lundi 3/08	M	M	J	V	S	Dimanche 9/08
Matin	Aérobic sur vélo + soins	ALIGNEMENT - EMPILEMENT	FORCE 2	ALIGNEMENT - EMPILEMENT	FORCE 3	REPOS	REPOS
Après midi	FORCE 1	Aérobic sur vélo + soins	Repos	Aérobic sur vélo + soins	Aérobic sur vélo		

	Lundi 10/08	Mardi
Matin	Aérobic sur vélo + soins	TEST ISO + Séance
Après midi	ALIGNEMENT-EMPILEMENT	Aérobic sur vélo + soins

Contenu des séances

Les méthodes de recrutement des fibres étant très large, nous n'avons sélectionné que les concepts suivants :

- Assistance avec ou sans électro-stimulation, sur la machine Leg Up, en fente avec ou sans charge sur des temps sous tension de 5s minimum. La série est terminée lorsque le mouvement a été répété 10 à 12 fois afin de venir congestionner la cuisse et ainsi provoquer un afflux de sang supplémentaire pour préparer le contenu de séance qui viendra par la suite. Cela correspondrait à des séries sous une charge équivalente à 70% de 1RM théorique.
- Isométrie de 4 à 6s à l'angle de manière répétée en squat sur la jambe droite jusqu'à tremblement important du membre inférieur visé qui correspond à un recrutement intramusculaire. 6 à 8 répétitions avec 3s de récupération entre les maintiens suivi de 2min de récupération inter séries.
- Partir sous 90° de flexion avec isométrie puis poussée en 3s pour venir juste au-dessus de 90° de flexion, répété 4 à 5 fois. Ceci correspond à un recrutement des fibres à ces angles précis. Charge équivalente à 80% de 1RM théorique de cet angle.
- Excentrique sur toute la course en insistant sur le freinage à l'approche de 90° de flexion jusqu'à la pose du plateau sous 90°. Ceci correspond à une mise en tension supérieure, en étirant les fibres et les tendons afin d'ajouter des micro lésions myofibrillaires supplémentaires.

Objectif

Le principe utilisé est la sollicitation du muscle dans tous les angles avec une pré-fatigue, de manière à ne pas surcharger le dos et le membre lésé trop tôt (vis-à-vis de son retour en PP) lors de la phase de squat monopodal.

Le but est de combiner l'isométrie (recrutement) avec le concentrique (recrutement et synchronisation), pour ensuite finir sur l'excentrique (synchronisation et étirement myofibrillaire).

Travail spécifique des quadriceps

L'athlète effectue un mouvement de squat à une jambe. L'exercice débute par une descente symétrique jusqu'à 90° de flexion de genou, bascule du poids du corps sur la jambe droite avec 1s d'isométrie à l'angle et remontée en 4s jambe tendue. Retour à la symétrie une fois en haut puis répétition du mouvement, quatre fois.

NB : Comme il sort d'une série de 6 répétitions de 12s de mise sous tension, la cuisse est congestionnée. Il récupère 1min puis s'installe pour réaliser les squats mais cette fois-ci avec une charge amoindrie puisque la cuisse est fatiguée. Nous augmentons alors le cumul de temps sous tension à 4s de descente et 1s d'isométrie (celle-ci permet la fixation de la bonne position avant la remontée) avant 4s de remontée, à répéter quatre fois. Ce travail correspond à un temps global sous tension de $9 \times 4 = 36s$ sans temps de récupération.

L'athlète poursuit avec une série de 6 répétitions en excentrique à la Presse à 45° : descente sur une jambe à charge lourde, avec freinage obligatoire au-dessus de 90° jusqu'à poser le repose pied sous 90° de flexion.

Il marque une pause d'1min entre chaque exercice puis cinq minutes en fin de tour. Il reproduit cet enchaînement d'exercices 4 à 5 fois.

Entre ces séances de Force max et d'Endurance de Force, nous développons les qualités d'alignement et d'empilement afin de rendre le mouvement plus fonctionnel.

Au travers de ces exercices d'Empilement Articulaire Dynamique (EAD : principe que vous retrouverez en annexe), l'athlète fait travailler les haut-bancs latéraux afin d'aider les extenseurs et les fléchisseurs dans leur rôle principal et ainsi faciliter le recrutement de ces derniers. En alignant les segments Fémur/Tibia, la patella coulisse plus facilement dans sa trochlée et l'athlète optimise donc directement le mouvement.

Travail spécifique des Ischios Jambiers

Suivant l'interprétation des courbes du test isocinétique N°1, il est prévu de renforcer les courses moyennes et interne de la flexion et ce pour plusieurs raisons :

- Harmonisation de la pente de la courbe du test isocinétique
- Lien entre la course moyenne et la course interne
- Augmentation de la force sur toute la contraction
- Équilibration rotatoire du genou entre le BF, les SM et ST.

Le développement de la force des fléchisseurs a été réalisé uniquement sur la HS2. Afin d'harmoniser les tensions entre les trois faisceaux des IJ, l'athlète a pivoté son pied en légère adduction afin de créer une rotation interne tibiale et ainsi renforcer les muscles impliqués.

Séance 1 : Dossier à 45°, travail à deux jambes puis une.

Le déplacement est en concentrique sur deux jambes pour la première série puis une jambe pour les séries suivantes. Réalisation de séries de 6 répétitions avec 8s de mise sous tension. 2min de récupération.

Hormis le travail musculaire, cet exercice facilite la mise en confiance de l'athlète vis-à-vis de la machine et la remise en tension plus intense sans prise de risque pour les IJ. Il permet le positionnement et le maintien du bassin en rétroversion pour raccourcir l'IJ dès le départ comme évoqué précédemment. La flexion du genou est limitée à 90° car les genoux viennent heurter la poitrine lors du déplacement.

Séance 2 : Dossier allongé, travail à une jambe.

Déplacement rapide pour venir à 90° de flexion de genou. Maintien de l'angle 3s puis venir en course interne complète sur une durée de 4s, retour à l'extension complète du membre inférieur puis repos 3s. Réalisation de séries de 5 répétitions et 4min de récupération.

L'intérêt de cette position est que le bassin est maintenu en rétroversion avec un possible double appui, ce qui laisse le choix de faire appel ou non au tibial antérieur (boudin du bas pour isoler l'IJ, ou boudin du haut pour activer la chaîne du Tibial Antérieur/IJ). Néanmoins il s'agit d'un exercice difficile, car le départ du mouvement se fait en course moyenne.

Séance 3 : Dossier allongé, travail à deux jambes.

Déplacement en concentrique, bassin posé sur l'assise avec le dossier horizontal et pieds en adduction afin de venir jusqu'en bout de course interne en 5s. L'athlète réalise alors une extension de hanches afin d'aligner le complexe Genou/Bassin/Epaule avec abduction du pied (ceci afin de solliciter le BF de manière excentrique dans le retour). Il maintient la position pendant 1s avant retour en excentrique et dépose du bassin, une fois l'extension du membre inférieur atteint.

Cette méthode permet de combiner le travail du concentrique des ST et MT suivi de l'excentrique du BF grâce à l'orientation du pied. C'est un exercice très exigeant et qui n'est réalisable que sur deux jambes de manière simultanée. Il est donc difficile de dissocier le travail des deux cuisses.

Séance 4 : Dossier allongé, travail à deux jambes.

Déplacement du chariot avec le bassin maintenu en position levée, pied en adduction à l'aller comme au retour. Avec un départ du mouvement jambes tendues, l'athlète va devoir chercher la flexion maximale des genoux sans baisser le niveau du bassin puis revenir en position initiale en l'espace de 6s. L'objectif est de conserver l'alignement parfait entre les épaules, les hanches et les genoux. Séries de 8 répétitions suivi de 4min de récupération.

L'avantage de cet exercice est qu'il permet d'associer le travail de l'extension de hanche et de la flexion du genou de manière simultanée. Ici le recrutement des muscles IJ est maximal. Son inconvénient est qu'il est extrêmement difficile et que les temps sous tension sont durs à respecter sans que l'athlète ne se désunisse.

Fin de planification

Suite aux séances de développement en musculation, l'athlète devait effectuer un travail cardio ventilatoire, avec une double séance dans la même journée. La cellule de réathlétisation de la FFS lui proposait une séance de musculation le matin puis l'après-midi des soins de kinésithérapie. Pour finir, l'athlète devait réaliser une sortie aérobie en basse fréquence de l'ordre de -10/-15% du seuil 1.

Résultats suite à cette planification

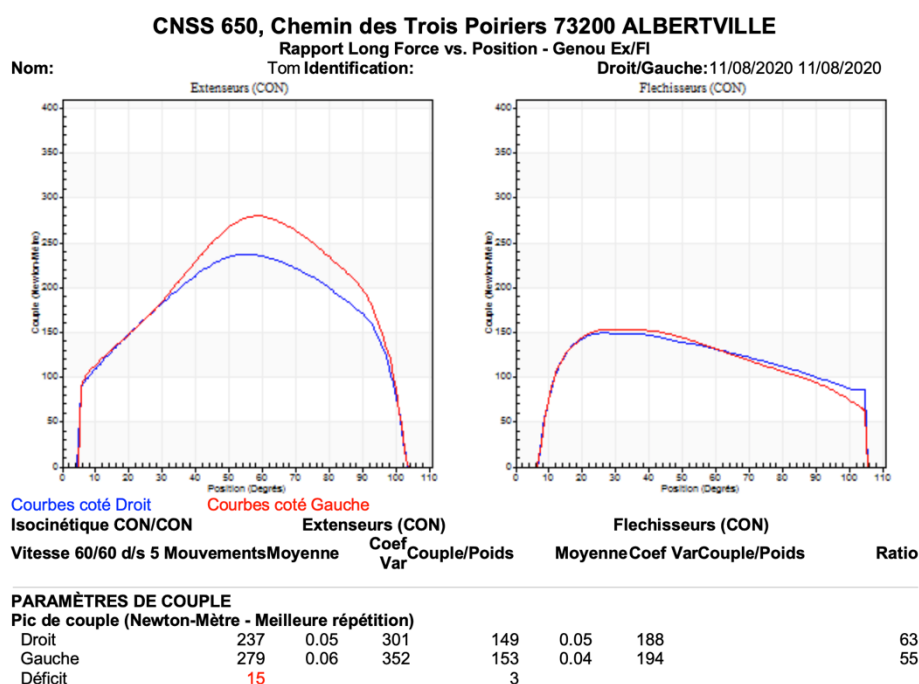


Figure 41 : Test N°2 datant du 11 Aout 2020

Tableau 4 : Relevés et observations des résultats du test 2

	Quadriceps	Ischios Jambiers	Ratios à 60°/s	Commentaires
Droit	237	149	63	Ratio dans les attentes conventionnelles
Gauche	279	153	55	Ratio qui montre un IJ trop faible vis-à-vis du Quad.
Déficit	15%	3%		Objectif : ≤ 10% pour le Quad et les IJ ont très peu de différence
Différentiels	15% avec un Q Gauche plus fort qu'à Droite	3% avec un IJ à Gauche plus fort qu'à Droite		Objectif : différentiels ≤ 10% pour les Q. Maintenir le différentiel des IJ sous 10%

La courbe des Quadriceps Droit (bleue) se détache de la rouge sous 90° de flexion. Les courbes sont progressives et sans oscillations verticales. Les courbes des IJ se superposent du début à la fin de la flexion. La pente des fléchisseurs est légèrement bombée jusqu'à la fin de la course interne.

Comparaison des 2 tests sur les Quadriceps

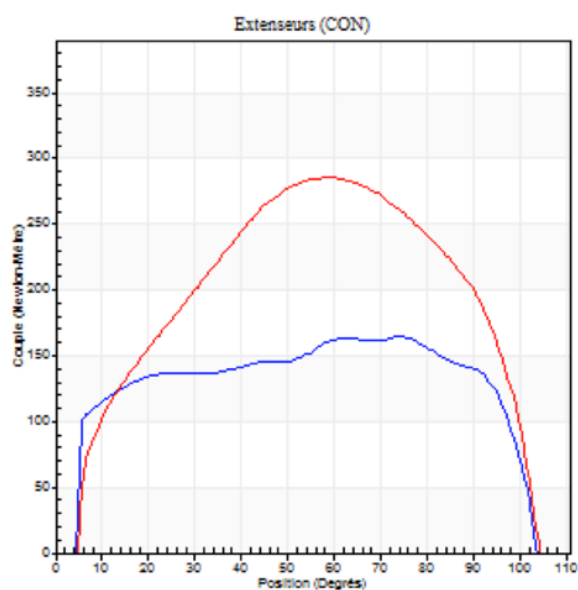


Figure 42 : Courbes CONC Quad 60°/s du 30/07/20

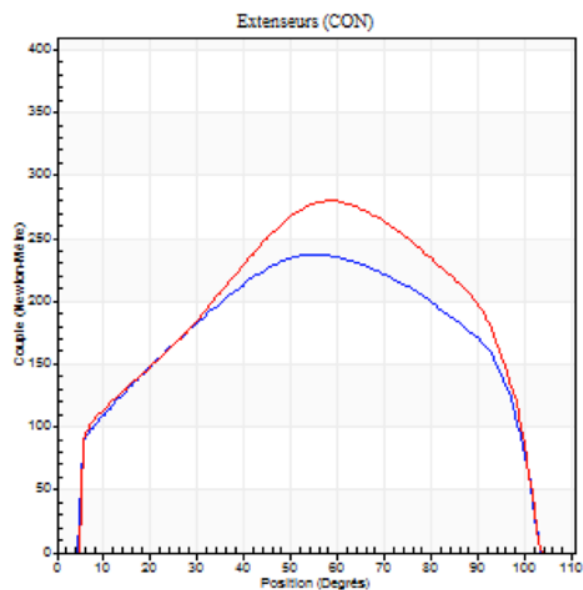


Figure 43 : Courbes CONC Quad 60°/s du 11/08/20

Tableau 5 : Comparaison des 2 tests CONC Quadriceps à 60°/s

	TEST 1	TEST 2	Différentiel	Commentaires
Quad Droit	164	237	73Nm/s	Une augmentation de 44,5% entre les 2 tests
Quad Gauche	286	279	-7Nm/s	Perte de 2,5%

Cet athlète a progressé en l'espace de 11 jours et de 4 séances de développement de la Force max. Il a eu un gain de 44,5% sur son genou présentant un syndrome rotulien. Nous pouvons considérer la perte de 7Nm comme insignifiante puisque les valeurs du coefficient de variabilité étaient de 0,03 et de 0,04 pour le premier test et de 0,05 puis 0,06 lors du second test. Cet indice nous permet de valider le test si ce dernier ne dépasse pas les 0,10.

Comparaison des 2 tests sur les Ischios Jambiers

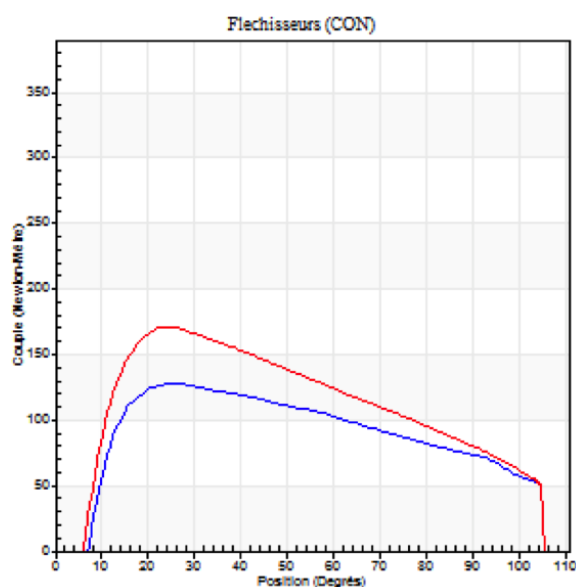


Figure 44 : Courbes CONC IJ 60°/s du 30/07/20

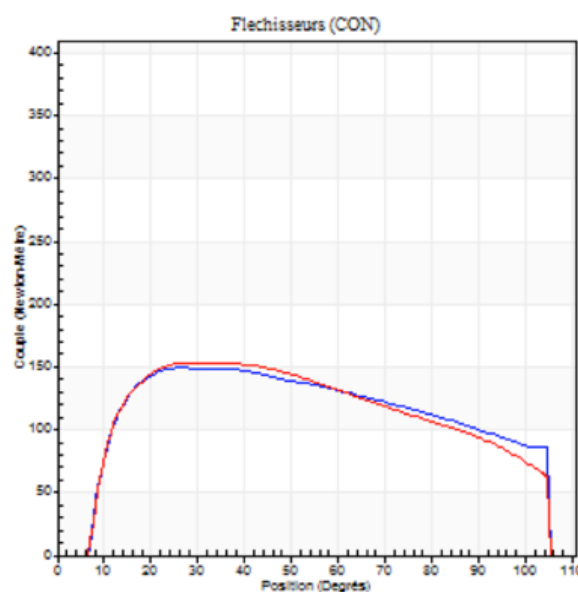


Figure 45 : Courbes CONC IJ 60°/s du 11/08/20

Tableau 6 : Comparaison des 2 tests CONC Ischios Jambiers à 60°/s

	TEST 1	TEST 2	Différentiel	Commentaires
IJ Droit	127	149	22Nm/s	Une augmentation de 17,3% entre les 2 tests
IJ Gauche	171	153	-18Nm/s	Perte de 11,7% Possible fatigue au moment du test

Bilan de progression

Cet athlète passe ainsi d'un différentiel de 43% à 15% en Quadriceps à droite et d'un différentiel de 25% à 3% en Ischios Jambiers à droite. Aussi, comme les valeurs des IJ et du Quadriceps à Droite se sont améliorées, il descend son ratio de 78 à 63. On distingue également une très nette amélioration de la courbe des IJ des deux côtés. Il se trouve que l'incidence de pente est bien moins importante sur le test 2 et bien plus « bombée » signe d'ischios plus fort dans les courses moyennes et internes. Ces muscles ont au final un bien meilleur recrutement dans tous les secteurs angulaires.

Il n'a volontairement pas travaillé sur la jambe Gauche de manière isolé afin de rattraper les niveaux de force.

Au regard du test 2 : et afin de poursuivre sa réathlétisation

Au niveau des Quadriceps :

Nous pourrions continuer le développement de l'ordre de 3 séances de Force max supplémentaires en venant équilibrer les charges de manière bilatérale. Dans ce raisonnement, nous proposerons dans une séance de Force supplémentaire sur la jambe droite pour réduire encore le différentiel puis lors des séances 2 et 3, revenir sur un travail symétrique.

Au niveau des Ischios :

Nous pouvons noter un travail particulier à réaliser sur les IJ à gauche afin de remonter le ratio qui est passé de 60 à 55. Si nous remontons le pic de force sur les IJ Gauche, nous devons également remonter les IJ Droit afin de maintenir un différentiel sous les 10%. Ce fonctionnement permettra ainsi de monter les ratios dans un premier temps puis d'équilibrer les différentiels droit et gauche dans un second temps.

2.5.2 Athlète N°2

Voyons maintenant un deuxième cas mais uniquement sur le renforcement des IJ afin de vérifier l'efficacité de ce nouvel appareil à IJ. Ce deuxième athlète est un athlète féminin de niveau international et de retour d'une opération de LCA à 4 mois 1/2 post opératoire. Nous avons réalisé un test isocinétique dans la même lignée que l'athlète N°1. La cellule de réathlétisation de la FFS l'a prise en charge à partir de 3 mois 1/2 post opération. Durant ce premier mois de prise en charge et avant le test Isocinétique, la musculation était basée sur un cycle d'hypertrophie. Dès que le volume de la cuisse lésée devenait similaire à la jambe controlatérale, nous avons procédé au test isocinétique précédemment cité.

Voici les résultats :

TEST N°1

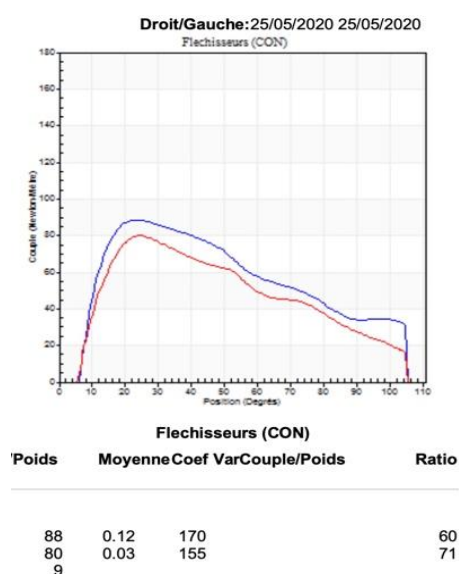


Figure 46 : Test CONC IJ à 60°/s du 25/05/2020

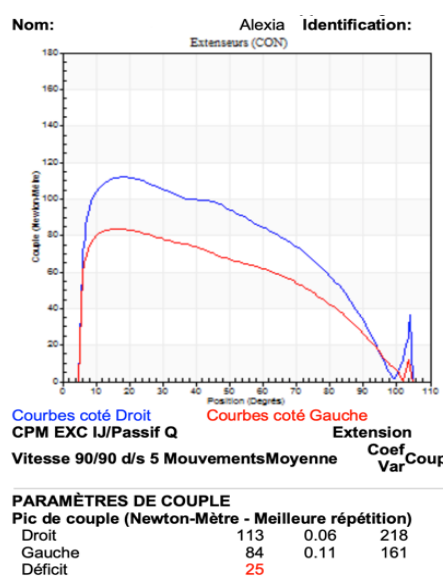


Figure 47 : Test EXC IJ à 90°/s du 25/05/2020

TEST N°2

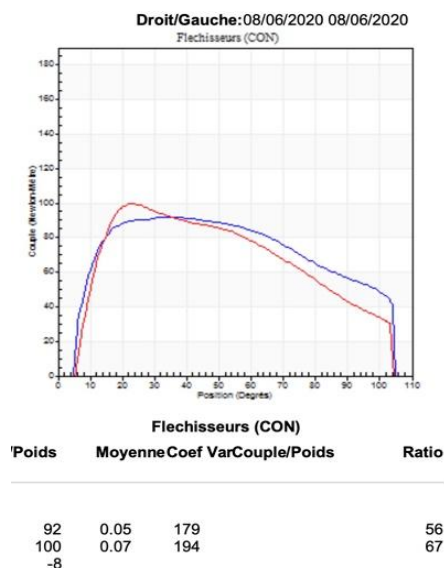


Figure 48 : Test CONC IJ à 60°/s du 08/06/2020

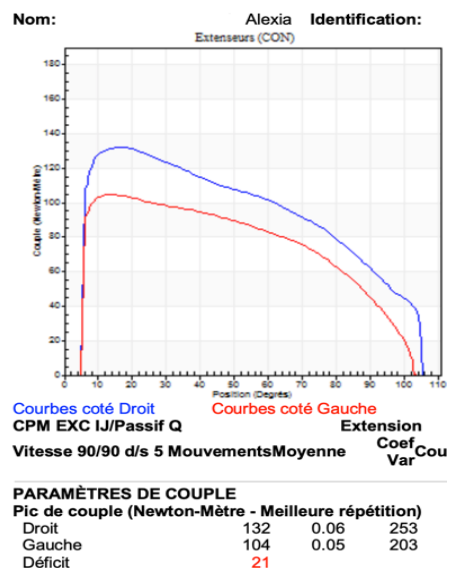


Figure 49 : Test EXC IJ à 90°/s du 08/06/2020

Comparaisons entre les courbes et données du CONC IJ à 60°/s :

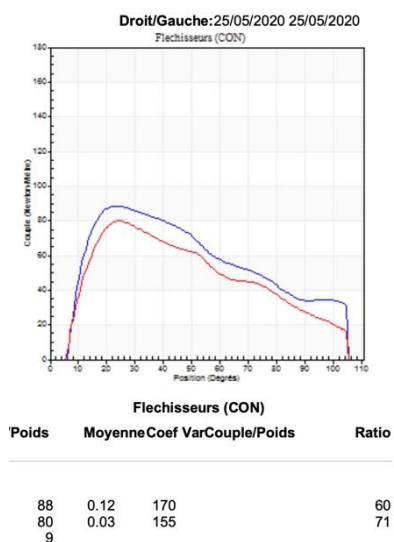


Figure 50 : Test 1 : CONC IJ à 60°/s

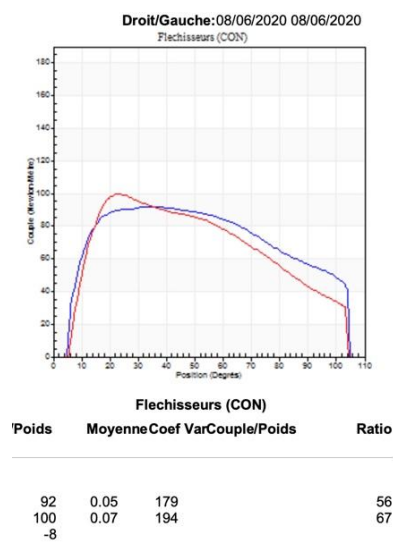


Figure 51 : Test 2 : CONC IJ à 60°/s

Nous avons procédé en l'espace de treize jours aux tests 1 puis 2. Il y a eu quatre séances de Force sur la machine HS2 dans ce micro-cycle. À la forme des courbes du test 1 (Figure 50), nous observons quelques oscillations verticales signe d'un mauvais recrutement surtout en course moyenne. Un différentiel de 9% entre les deux IJ en faveur des IJ D sur la courbe bleue. Nous ne prenons pas en considération les ratios puisque nous cherchons l'efficacité du renforcement sur la HS2. Puisqu'au moment de l'analyse du Test 1, les IJ se trouvaient sous les 10% non pathologique, nous avons cherché

à renforcer les 2 groupes musculaires postérieurs avec une attention particulière sur l'IJ G et ce de manière concentrique seulement. L'objectif de départ était d'augmenter les valeurs du 60°/s afin d'ajuster les ratios.

Cette athlète a réalisé le même protocole de séance sur la HS2 que l'athlète N°1. En comparaison au test 2 (Figure 51), nous observons une très nette évolution en termes de pic de couple et des valeurs qui se sont inversées. Les deux IJ montrent une différence entre eux de l'ordre de 8%. Nous observons également un gain de 4,4% sur la jambe D du test 1 au test 2 mais surtout une augmentation de 20% sur la jambe G ce qui a permis de justifier cet écart entre les 2 tests.

Comparaisons entre les courbes et données de l'EXC IJ à 90°/s :

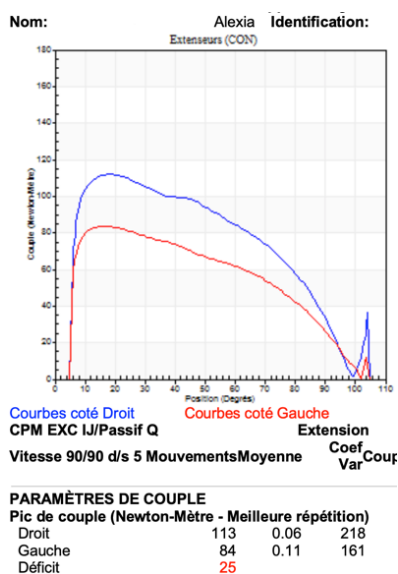


Figure 52 : Test 1 : EXC IJ à 90°/s

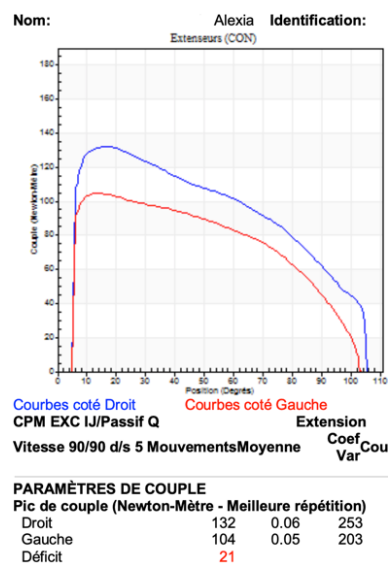


Figure 53 : Test 2 : EXC IJ à 90°/s

Comme précisé auparavant, nous venons par cette dernière comparaison vérifier les effets de la machine HS2 et ce de manière concentrique. La comparaison sur l'EXC semblait tellement surprenante qu'elle valait la peine d'être analysée. Nous observons un différentiel de 25% entre les deux IJ sur le Test 1 (Figure 52) et un autre de 21% sur le test 2 (Figure 53) ainsi qu'une courbe bleue (Genou D) toujours plus forte.

Si nous ne nous focalisons sur les différentiels, on pourrait croire que l'athlète n'a pas progressé, or, si nous regardons les valeurs de plus prêt nous obtenons une différence de 15% sur la jambe D et de 20% sur la jambe G entre les 2 tests. La forme des courbes est en faveur d'un meilleur recrutement dès le début de la course interne et une montée progressive jusqu'à l'extension du genou.

La littérature nous dit qu'il est conseillé de renforcer les IJ de manière EXC afin de voir le concentrique augmenté (Isokinetic Eccentric Exercise, 1995) or sur la HS2, il en sort l'inverse sur ce cas précis. Cela viendrait-il du renforcement en chaîne semi-ouverte semi-fermée avec comme point fixe le pied ? Cela viendrait-il plutôt d'un manque d'activation des IJ avant blessure ?

2.6 MISE EN PERSPECTIVE

En se questionnant de la sorte, il conviendrait de faire une étude scientifique avec des mesures des actions entre les différents faisceaux des IJ via des ElectroMyoGramme (EMG) afin de relever des données concernant les contractions musculaires. Le goniomètre numérique nous permettrait d'apprécier les angles testés par rapport à un angle de référence.

Cette étude composée d'une population cible parmi une population d'athlètes valides pourrait être composée d'un groupe contrôle en renforcement spécifique des IJ sur le Leg curl et un sur la HS2. Dans les deux cas, nous utiliserions un régime de contraction CONC. La comparaison devrait être réalisable puisque dans les deux cas, le bassin serait en position fermée et fixe (sur la HS2 le dossier devra être réglé à 90° par rapport au chariot). Il resterait à se concentrer sur les tensions des câbles et des plaques de charge des deux appareils afin de rendre une comparaison lisible d'un point de vue protocolaire. Nous pourrions penser à remplacer ces câbles par le système iso-inertiel qui rejoint le principe du Yoyo. En réalisant le mouvement de flexion du genou, le câble de l'iso-inertiel se déroule et entraîne en inertie un disque d'une masse X et en fin de course, le câble se ré-enroule dans le sens inverse. Ce système permettrait de rendre identique la tension du câblage lié à l'exercice sur la phase CONC et permettrait par la même occasion d'obtenir quelques données sur le régime EXC lors du retour du mouvement en position de départ... Il suffirait alors déterminer les vitesses angulaires de contraction à l'aller comme au retour et ainsi de relever les données.

Nous pourrions envisager une autre étude pour vérifier les actions des IJ de manière EXC entre la HS2 et l'exercice du Nordic Curl. Nous pourrions nous concentrer sur les effets du renforcement tel qu'il vous l'a été présenté dans la section 2.4.5 mais également d'observer la mise en tension des BF, SM et ST suivant la vitesse et le degré de flexion. Nous aurions sur cette étude le même positionnement du corps sur les deux mouvements. Le tibia serait fixe et le bassin aligné entre les épaules et les genoux. Nous pourrions alors mesurer les différences de mises sous tension entre le premier qui propose une accélération du régime EXC due à une charge additionnelle et l'autre due aux bras de levier vis-à-vis de la pesanteur. L'exercice devrait être comparé grâce à une vitesse angulaire déterminée plutôt qu'à une contrainte de charge. Ces résultats pourraient être comparés avec l'activation de ces mêmes muscles lors de l'extension de hanches comme l'ont présenté Mrs Yanagisawa et Fukutani dans leur étude sur la machine isocinétique (Muscle Recruitment Pattern of The Hamstring Muscles in Hip Extension and Knee Flexion Exercises, 2020).

Serions-nous alors, sur la HS2, en capacité de développer la force concentrique des IJ grâce à la contraction isotonique EXC que propose Mr Kaminski dans son étude ? (Concentric Versus Enhanced Eccentric Hamstring Strength Training: Clinical Implications, 1998). Dans cette étude, le fémur était fixe et le tibia mobile, qu'advierait-il si le pied devenait fixe ? Pourrions-nous dans la même configuration déterminer une vitesse EXC des IJ sans les inhibitions des unités motrices lorsque la vitesse augmente en isocinétique ? (Isokinetic Eccentric Exercise, 1995)

Au final, nous pourrions observer et comparer les résultats des différentes méthodes sur divers engins de renforcement, les activations des différents faisceaux selon les amplitudes et le régime de contraction. Ces études permettraient également d'être plus cohérent vis-à-vis d'un renforcement recherché à des fins de gain de temps dans le développement de la Force des IJ. Cela permettrait d'optimiser en PP suivant les faiblesses des rotateurs tibiaux sous fémur mais orienterait la PP suite à une rupture du LCA et reconstruction de ce dernier par prélèvement du Droit Interne et Demi Tendineux (DIDT).

En effet, lorsque le Droit Interne (Gracile) et Demi Tendineux (ou ST dans la nomenclature actuelle) sont prélevés, cela crée une faiblesse au regard du plan interne du genou.

Faut-il stimuler cette zone de prélèvement et comment ? Dans quels délais suite à l'opération ? Sous quel régime de contraction ?

Tant de questions pourraient être élucidées suite à ce genre d'études. Reste à développer un cadre d'étude précis, spécifique, et d'en faire sortir des vérités.

2.7 CONCLUSION

Lors de la progression de ce dossier, nous avons pu constater l'importance des analyses descriptives, techniques et biomécaniques de l'activité. De ces analyses découlent un certain nombre de formes de travail musculaire.

Si l'on se base uniquement sur l'analyse technique, nous ne pouvons observer que l'importance de la phase excentrique du quadriceps. Aussi en analysant en profondeur, nous voyons d'autres aspects importants comme la prophylaxie. Celle-ci va dans le sens de la prévention des blessures notamment du LCA en jouant sur les rôles des Agonistes/Antagonistes et sur la fixation du complexe Pied/Genou/Hanche. Le rôle et la fonction du pied, des orientations segmentaires tibia sous fémur puis fixation de ce dernier au niveau de la hanche nous permettent de venir empiler et aligner le squelette de la meilleure des manières afin d'optimiser la biomécanique et le rendement musculaire. Nous ne pouvons pas résumer toutes les causes de la blessure sur ce simple constat mais celui-ci fait partie de la prophylaxie dans ce sport. La mise en place des EAD puis des différents ratios, des différentiels Q / Q et IJ / IJ ou bien encore de l'équilibration latérale notamment du tibia sous fémur nous permettent de rassurer l'athlète et d'optimiser la performance : il s'agit là d'un constat de terrain.

En cherchant à optimiser la performance quotidiennement avec des athlètes de haut niveau, je me suis posé et je me pose encore des questions qui mériteraient d'être coordonnées, réfléchies et sur lesquelles nous devrions trouver des axes de travail.

Sommes-nous en capacité de travailler sur la sphère mentale dans la prophylaxie ? Intégrer le fait que la blessure fasse partie de la vie du sportif est une chose mais pourquoi attendre la blessure pour réagir en est une autre...

2.8 BILAN PERSONNEL - INTROSPECTION

Dans le cadre d'une remise en question eu égard à mon niveau d'étude et à ma capacité de suivre des étudiants stagiaires en Master II, je me suis sérieusement penché sur mon réel niveau d'expertise. Elle est avérée sur le terrain depuis de nombreuses années à la Fédération Française de Ski, mais pas en ce qui concerne la théorie scientifique. En effet, j'ai énormément travaillé dans le passé sur des « essais-erreurs » et sur des sensations kinesthésiques personnelles. Je testais lors de mes séances des formes de travail en musculation sur les 3 mouvements (Squat, Développé Couché et Soulevé De Terre) beaucoup guidées aux sensations personnelles. (le nombre de séries et de répétitions, la récupération, les informations kinesthésiques, le temps entre les séances, l'alimentation, la qualité du sommeil, etc...). Avec ces sensations, observations et ma formation BEES HACUMESE, j'ai mis en place des protocoles d'entraînement qui fonctionnent. Les partager avec d'autres professionnels du milieu m'a aidé à compléter ma vision des choses.

Aujourd'hui, avec mon inscription à cette VAE, j'ai beaucoup travaillé sur mon parcours et les raisons qui m'ont amené à réaliser ce dossier. L'accompagnement de l'Université de Grenoble a été pour moi fondamental dans la construction de mes idées et leur développement. Sans cet accompagnement je serais parti dans une bibliographie complète de mon parcours, sans jamais m'être penché sur un sujet précis : le pourquoi et le comment. Pourquoi ce parcours ?

J'estime être heureux de ma place dans la FFS aujourd'hui. Il a fallu franchir de nombreuses embûches, des échecs, des remises en question, des doutes, des réflexions, des partages, etc... Comment ? Avec beaucoup de « feeling », d'élaboration aussi grâce aux retours pertinents des athlètes ainsi qu'une conviction certaine dans le choix de mes axes de travail, etc...

Aujourd'hui, je suis capable de planifier des entraînements, d'accompagner physiquement et psychologiquement des athlètes de haut niveau. Je suis en capacité de faire un choix très précis de contenus de séances, de m'autoévaluer et de me remettre en question afin d'améliorer tous les jours mes analyses, et mes directions de travail.

Avec cette VAE, j'ai pris conscience de l'importance de la validation scientifique de tout ce qui peut être mis en place sur le terrain. Au final, j'ai fait le chemin inverse d'un étudiant STAPS. J'ai développé sur le terrain une multitude de formes de travail, accompagné un très grand nombre d'athlètes internationaux et ce au plus haut niveau sans jamais être allé voir à quoi ressemble une publication scientifique... L'étudiant d'aujourd'hui, se forme grâce à cela pour avoir un cadre d'intervention et être pertinent directement sur le terrain, mais la pratique paraissait insuffisante pour ceux que j'ai pu croiser.

J'ai donc passé d'innombrables heures à faire des recherches scientifiques afin d'étayer mes propos tout au long de ce dossier ; ce qui m'a permis d'apprendre encore et encore !

Je peux donc aujourd'hui comparer mon expérience à celle d'une toile de tableau.

Un tableau est terminé lorsque le peintre a décidé de poser le pinceau et de ne plus le toucher. Lorsqu'un autre peintre regarde ce même tableau, lui, ajouterait sûrement une touche de rouge dans un coin ; un arbre dissimulé en arrière-plan ; une ombre supplémentaire, et bien d'autres choses...

J'ai choisi cette image afin de décrire mon état d'esprit actuel. J'ai débuté un tableau il y a 16 ans maintenant, je me suis servi d'une multitude d'instruments, de gammes de peintures différentes, bougé mon tableau dans les différentes luminosités afin de voir les ombres qui pouvaient lui rendre une âme, et je le complète encore aujourd'hui.

Grâce à cette VAE, j'ai trouvé de nouveaux instruments afin d'ajouter une touche supplémentaire à mon tableau. Je vais enfin pouvoir lui donner une nouvelle profondeur !

2.9 BIBLIOGRAPHIE

- ALHAMMOUD, M. (2020). On-Field Ski Kinematic According to Leg and Discipline in Elite Alpine Skiers. *Volume 2 Article 56*.
- BISHOP, K. N. (1991). The effect of eccentric strength training at various speeds on concentric strength of the quadriceps and hamstring muscles. *vol. 13, no 5, p. 226-230*.
- BRIGAUD, F. (2011). *La Marche & la performance sportive*. Désiris.
- CANADA, F. (Freestyle Canada 2017). *Freestyle Canada*. Récupéré sur https://www.freestylecanada.ski/files/resources/Moguls%20Module%202017%20FR_R.pdf
- COINT, J. (2019, 05 20). *FRANCE Brevet n° FR1905273*.
- CROISIER Jean Louis, C. P. (2009). *Exercice Musculaire Excentrique*. Masson.
- CROISIER, J.-L. e.-M. (1999). *Exploration isocinétique: analyse des paramètres chiffrés*. Elsevier Masson.
- CROSS, M. R. (2020). *Force Production In Alpine Skiers : On & Off Snow Assessment & Relationship With Performance*.
- DELAVIER, F. (2001). *Guide des mouvements de musculation*. Vigot.
- DUFOUR, M. e. (2005). *Biomécanique fonctionnelle: rappels anatomiques, stabilités, mobilités, contraintes: membres, tête, tronc*. Elsevier.
- DYK, V. N. (2019). Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries: a systematic review and meta-analysis of 8459 athletes. *Vol. 53*.
- FFS, S. J. (2021). *Jugement FFS*. Récupéré sur FFS: <http://www.ffs.fr/ski-freestyle/les-disciplines-du-ski-freestyle>
- KAMINSKI Thomas W., W. C. (1998). Concentric Versus Enhanced Eccentric Hamstring Strength Training: Clinical Implications. *Volume 33*.
- KELLIS Eleftherios, B. V. (1995). Isokinetic Eccentric Exercise.
- KRÖLL, J. (2015). Kinetic And Kinematic Comparison Of Alpine Ski Racing Disciplines As a Base For Specific Conditioning Regimes. Floren Colloud, Mathieu Domalain & Tony Monnet.
- LAURIN-LANDRY, D. (2019). *Le développement de l'expertise et du talent en ski de bosses: de la pratique délibérée à l'activité privée*.
- POCHOLLE. (2001). *L'isocinétisme aujourd'hui: les tests*. Masson.
- PRADET. (1996). *La Préparation Physique*. Paris: INSEP-PUBLICATIONS.
- REGA, F. N. (2001). *Analyse Cinétique et cinématique : du départ de sprint en starting-blocks et de la foulée de course à vitesse maximale*. Paris: INSEP.
- SKIMIUM.FR. (2021). *Skimium*. Consulté le 2021, sur Skimium: <https://www.skimium.fr>

YANAGISAWA Osamu, F. A. (2020). Muscle Recruitment Pattern of The Hamstring Muscles in Hip Extension and Knee Flexion Exercises. *volume 72*.

2.10 ANNEXES

2.10.1 Rappels sur L'EAD

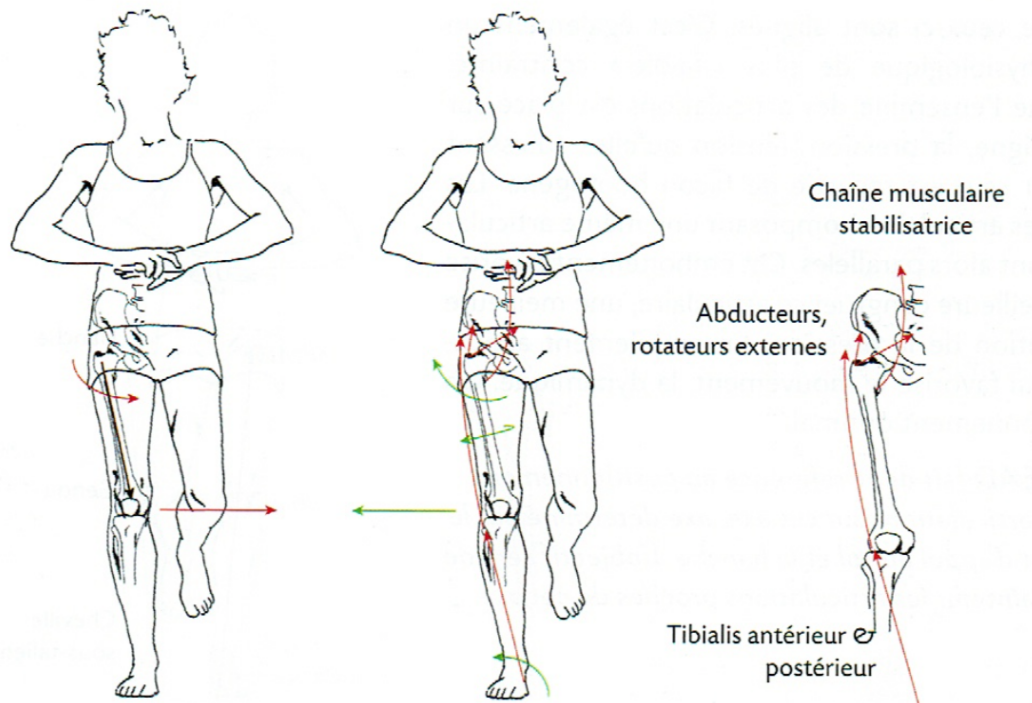


Fig : Système du complexe pied/cheville/genou/hanche

« Les déficits de maintien de l'organisation du corps sous contraintes, se traduisent au niveau de la jambe en appui par une perte d'alignement des articulations (hanche, genou, cheville, sous-talienne). Fréquents et peu pris en compte alors qu'ils sont déterminants dans le cadre de la rééducation, des tests spécifiques permettent d'identifier et travailler sur ces dysfonctionnements causes d'échecs dans le traitement des troubles musculo-squelettiques. » (BRIGAUD, 2011)