MINISTERE DE LA SANTE
REGION LORRAINE
INSTITUT DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE
DE NANCY

# INFLUENCE DE LA POSITION DE LA HANCHE SUR L'ACTIVITE ISOCINETIQUE DES MUSCLES FLECHISSEURS ET EXTENSEURS DU GENOU

Rapport de travail écrit personnel
présenté par **Caroline VINCENEUX**
étudiante en 3ème année de kinésithérapie
en vue de l'obtention du diplôme d'état
de masseur-kinésitherapeute 1999-2000

# SOMMAIRE

Page :

**RESUME**

**1. INTRODUCTION** ..... 1

**2. QUELQUES NOTIONS SUR L'ISOCINETISME** ..... 1

2.1. Historique ..... 1

2.2. Définition ..... 1

2.3. Avantages ..... 2

2.4. Inconvénients ..... 2

**3. RAPPELS** ..... 2

3.1. Rappels anatomiques ..... 2

3.2. Quelques notions de physiologie ..... 3

3.3. Quelques données cinésiologiques ..... 4

**4. MATERIEL ET METHODE** ..... 5

4.1. Matériel ..... 5

4.1.1. Population étudiée ..... 5

4.1.2. Matériel utilisé ..... 6

4.2. Méthode ..... 7

4.2.1. Accueil ..... 7

4.2.2. Echauffement ..... 8

4.2.3. Protocole et essai ..... 9

4.2.4. Installation ..... 10

4.2.5. Réalisation du test ..... 11

**5. RESULTATS**.....**12**

**6. DISCUSSION**.....**13**

6.1. Conditions pratiques de reproductibilité .....**13**

6.2. Différentes hypothèses .....**14**

6.1.1. En isométrie .....**15**

6.2.2. En isocinétisme .....**16**

6.3. La force maximale.....**16**

6.4. Les AEM..... **18**

6.5. Le ratio F/E à 60°/s ..... **18**

**7. CONCLUSION**.....**19**

**BIBLIOGRAPHIE**

**ANNEXES**

# RESUME

Cette étude a été réalisé dans le but de déterminer l'influence de la position de la hanche sur la force maximale des muscles biarticulaires de cuisse. En effet d'après Kapandji, l'efficacité d'un muscle serait fonction de son état de tension c'est-à-dire que sa force dépendrait de la position de ou des articulations qu'il croise.
Nous avons voulu savoir si cette hypothèse était vérifiée en isocinétisme. Pour cela nous avons établi un protocole de tests réalisés sur Cybex 350 à partir d'une population de 30 sujets sains, féminins, âgées de 19 à 28 ans. Après un échauffement nécessaire par rapport à l'effort demandé, chaque sujet est testé sur 2 séries de flexions/extensions de genou, la position de la hanche étant modifiée entre les deux tests.

Nous avons ainsi remarqué que la force des muscles mis en jeu était significativement augmentée sur une hanche fléchie et ceci s'observe principalement pour les fléchisseurs.
Nous avons également constaté une influence de la position de la hanche sur d'autres paramètres (angle et ratio).
La discussion se porte donc surtout sur les extenseurs de genou dont les résultats isocinétiques ne corroborent pas les résultats réalisés en statique.

Mots clés : Isocinétisme, force maximale, ratio.

# 1. INTRODUCTION

Notre étude consiste à vérifier si l'hypothèse cinésiologique de Kapandji qui est vérifiée en statique, est valable également en isocinétisme.
Ainsi, à partir d'une population de trente sujets sains, nous avons établi un protocole de tests visant à analyser l'activité des muscles fléchisseurs et extenseurs du genou dans les positions : hanche fléchie et hanche tendue. Les deux tests sont réalisés à vitesse lente et chacun d'eux consiste à effectuer une série de quatre flexions/extensions du genou en fournissant un effort maximal. A l'issue des épreuves, nous analysons trois types de données numériques :
- La force maximale.
- L'angle d'efficacité maximale.
- Le ratio flexion/extension.

Par des tests statistiques utilisant la loi normale, nous comparons pour chaque paramètre les moyennes des deux tests. Ceci nous permet de discuter sur l'influence significative ou non de la position de la hanche, et par la suite sur les éventuelles incidences kinésithérapiques.

# 2. QUELQUES NOTIONS SUR L'ISOCINETISME

## 2.1. Historique

Le concept d'isocinétisme est apparu aux Etats-Unis en 1967 grâce à Hislop et Perrine mais la commercialisation des dynanomètres n'a réellement débuté que dans les années 1980 (13). En France, c'est encore plus récent puisqu'on ne les utilise que depuis une douzaine d'années. Toutefois leur essor est freiné par leur coût élevé.

## 2.2. Définition

La contraction isocinétique n'est pas une contraction physiologique, elle est de type dynamique résistée et se différencie d'une contraction isotonique (travail avec une charge constante) par le fait d'une résistance auto-adaptée et d'une vitesse angulaire constante

(préréglée), l'utilisateur doit donc atteindre cette vitesse pour qu'il y ait une résistance. Ainsi l'isocinétisme est l'unique mode de travail permettant au muscle de développer une force maximale dans toute l'amplitude du mouvement.

### 2.3. Avantages (1)

L'isocinétisme permet d'étudier de nombreux paramètres d'un groupe musculaire (puissance, force, endurance...) et ceci d'une manière précise et reproductible. Ainsi il est très utile et fiable dans le diagnostic et l'évaluation. Mais il sert également dans le renforcement musculaire et le réentraînement à l'effort, il permet de travailler alternativement les muscles agonistes et antagonistes et ceci en contraction maximale durant tout le mouvement. Un atout certain est l'asservissement de la résistance qui est une sécurité pour les structures sollicitées : le patient contrôle à tout moment la machine, ce n'est pas la machine qui impose le mouvement.

### 2.4. Inconvénients

Les appareils d'isocinétisme sont des machines lourdes, onéreuses et qui nécessitent un apprentissage de la part de l'utilisateur et du patient.

## 3. RAPPELS

### 3.1. Rappels anatomiques (10)

Pour cette étude nous nous intéressons principalement aux muscles biarticulaires sagittaux de cuisse car ils agissent à la fois sur la hanche et sur le genou.
Ainsi un seul muscle biarticulaire réalise l'extension du genou : le droit antérieur (ou droit fémoral) qui est l'un des quatre chefs du quadriceps femoral. Il s'insère sur l'os coxal par un tendon bifurqué : le tendon direct qui s'insère sur l'épine iliaque antéro-inférieure et le tendon réfléchi qui s'insère dans le sillon supra-acétabulaire.

Il se termine à la base de la patella par le tendon rotulien et par d'autres fibres superficielles qui passent au-dessus de la patella pour former le ligament patellaire qui se fixe sur la tubérosité tibiale antérieure.

Ce muscle a donc une double action, il est principalement extenseur de la jambe et secondairement fléchisseur de la cuisse.

La flexion du genou est elle, principalement réalisée par les ischio-jambiers dont les muscles biarticulaires sont le semi-tendineux, le semi-membraneux et le long biceps.

Comme leur nom l'indique ils s'insèrent sur l'ischion et se terminent sur la partie supérieure de la jambe. Ils sont donc principalement fléchisseurs de la jambe et secondairement extenseurs de la hanche (et rotateurs du genou).

### 3.2. Quelques notions de physiologie

Il existe deux grands types de fibres musculaires (8,12) :

- Fibres de types I : ce sont des fibres rouges, lentes, à fonction tonique.

Elles contiennent de nombreuses mitochondries et ont un métabolisme aérobie.

Elles ont un mode de contraction lente et une amplitude réduite.

Elles ne sont pas fatigables et sont surtout sollicitées dans des exercices d'endurance (course de fond, sport d'équipe) ainsi que dans le maintien postural.

- Fibres de type II : ce sont des fibres blanches, rapides, à fonction phasique.

Elles contiennent beaucoup d'ATP et créatine phosphate, elles ont un métabolisme anaérobie.

Elles engendrent des contractions rapides et une tension élevée.

Elles sont fatigables et sollicitées dans les exercices brefs et intenses (sauts...).

La force maximale est en relation directe avec ce type de fibres (7).

La répartition des types de fibres est due à des facteurs génétiques ainsi qu'à l'entraînement (7) et c'est pourquoi il est intéressant de connaître l'histologie des muscles afin de savoir dans quel mode de travail ils sont le plus performant. Les muscles possèdent les deux types de fibres toutefois le droit antérieur et les ischio-jambiers seraient des muscles à prédominance toniques (les ischios possédant plus de fibres rapides), tandis que les vastes seraient plus à dominance phasiques (3).

3.3. Quelques données cinésiologiques

D'après Kapandji (11), la force que développe un muscle dépend de sa mise en tension, ainsi l'efficacité du droit antérieur et des ischio-jambiers en tant que respectivement extenseur et fléchisseurs du genou dépend de la position de la hanche.
La courbe tension/longueur expliquerait cela (2,9) : il existerait une longueur optimale du muscle correspondant à sa longueur au repos, pour laquelle les ponts actine-myosine seraient les plus efficaces (liaisons maximales) car ni trop rapprochés (chevauchement, insuffisance active), ni trop éloignés (insuffisance passive). Ainsi pour un étirement supérieur ou inférieur à cette longueur l'efficacité du muscle diminue rapidement (figure 1). Toutefois ces hypothèses ont été émises à partir de contractions isométriques, notre question est de savoir si la mise en tension ou inversement le raccourcissement d'un muscle influe de la même manière sur des contractions isocinétiques.

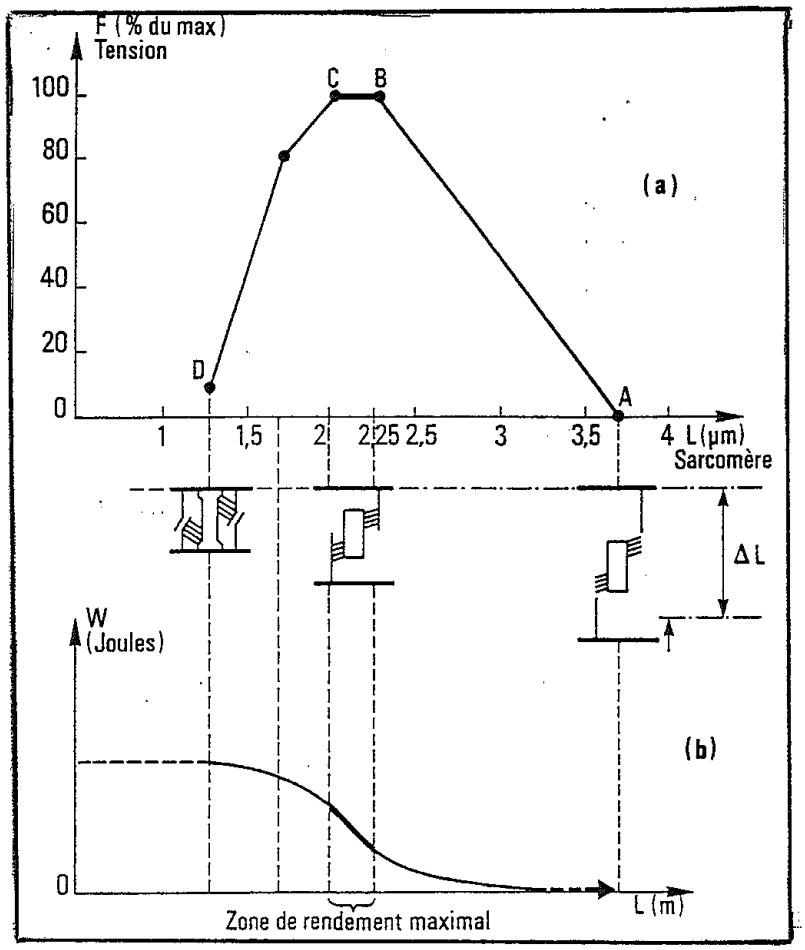



Figure 1 : Courbes T/L et W/L

# 4. MATERIEL ET METHODE

## 4.1. Matériel

### 4.1.1. Population étudiée

Nous avons réalisé nos tests sur une population de 30 étudiantes de l'IFMK (kiné et ergo). Ce sont des sujets jeunes, âgés de 18 à 28 ans, sains ce qui signifie pour notre étude n'ayant pas eu de lésion récente (entorse du genou, déchirure musculaire, syndrome fémoro-patellaire, fracture...) susceptible d'altérer la force des muscles testés. Nous avons choisit une population jeune car la force d'un sujet est maximale entre 20 et 30 ans (16). L'activité sportive de la plupart des sujets est modérée, aucun ne pratiquant un sport à haut niveau ce qui modifierait la typologie des fibres musculaires par l'effet de l'entrainement (13) et biaiserait les résultats. Le choix d'une population féminine s'explique par notre volonté d'obtenir un groupe le plus homogène possible, la force entre les sujets féminins et masculins étant significativement différente, la testostérone ayant un effet anabolisant (8). De plus les femmes seraient plus souples que les hommes (effet des œstrogènes), donc leurs muscles moins hypoextensibles ce qui est intéressant pour notre étude car nous cherchons à mesurer une force musculaire qui pour être la plus exacte ne doit pas être «parasitée » en fin de course par la résistance d'étirement du muscle antagoniste, d'autant plus que les hommes ont souvent les quadriceps et surtout ischio-jambiers rétractés.

Toutefois à part la force musculaire, il n'y aurait pas de différence notable entre hommes et femmes, en effet on retrouve une homogénéité des résultats de corrélation masse maigre (=masse musculaire) et force musculaire (15).

4.1.2. Matériel utilisé

Les données isocinétiques ont été recueillies à partir d'un dynanomètre isocinétique :

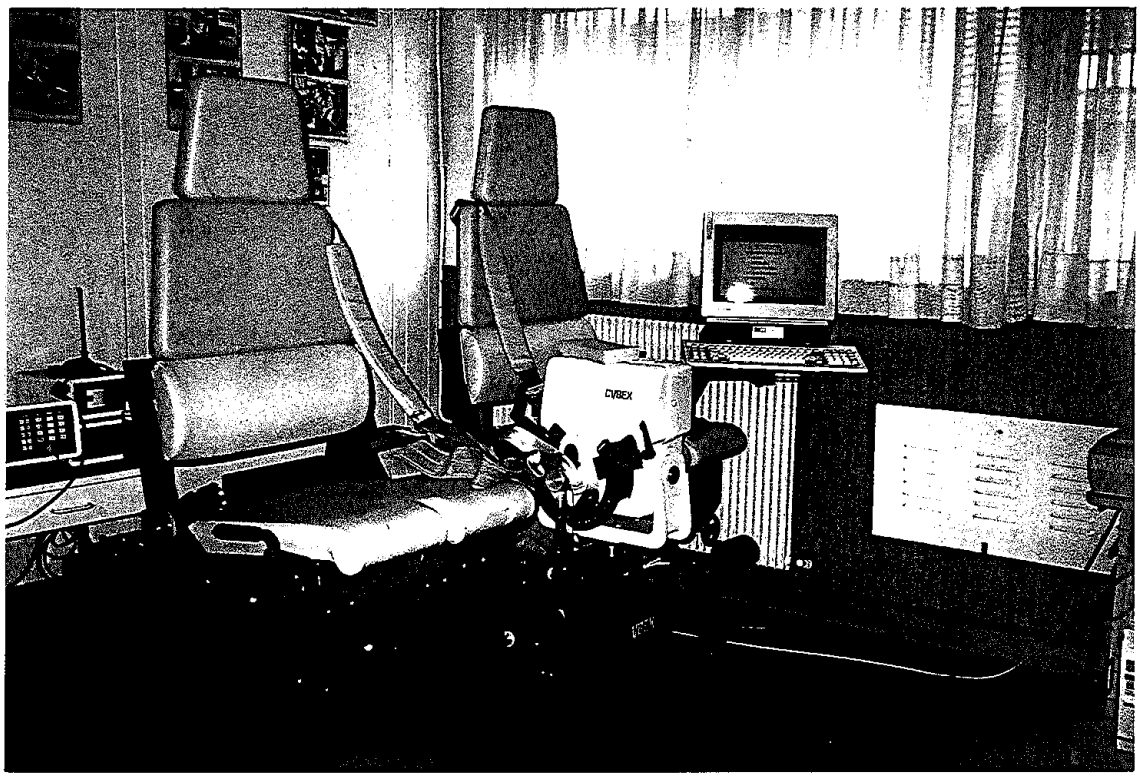



Figure 2 : Le CYBEX 350

Le CYBEX 350 se trouve au centre de réadaptation (figure 2). Il est utilisé pour les évaluations (tests de force ou d'endurance), ainsi il permet de confirmer un diagnostic, de mettre en place un programme de rééducation en isocinétisme (phase de renforcement ou de réentrainement) ou d'en connaître sa progression. Ainsi cet appareil est couramment utilisé au centre par les médecins de rééducation et les kinésithérapeutes, pour des patients à pathologies très variées (ligamentoplastie du sportif, syndrome fémoro-patellaire chez l'adolescente, lésion de la coiffe des rotateurs d'épaule...).

En général il est utilisé dans les pathologies du genou et c'est pourquoi il est intéressant de porter notre travail sur les muscles moteurs de cette articulation.

Il est constitué de (1) :

- Deux sièges ergonomiques réglables et d'un système de sanglage.

- Un dynanomètre situé entre les deux sièges (orientable dans tous les plans), et un bras de levier qui solidarise l'axe du dynanomètre à la jambe du patient (annexe I).
- Un système informatique qui gère, visualise et stocke les tests. Il est complété d'une imprimante.
- Une table multiposition permettant l'investigation des différentes articulations.

Notre évaluation isocinétique se fera en chaîne ouverte, selon un mode concentrique et à une vitesse angulaire faible (60°/s), en outre ces deux dernières conditions favorisent l'apprentissage du travail demandé (13) ; celui ci serait d'autant plus difficile à intégrer avec une vitesse élevée et selon un mode excentrique.

## 4.2. Méthode

### 4.2.1. Accueil

Pour réaliser nos tests nous avons fait venir chaque participante au centre de réadaptation durant les mois d'octobre et novembre 1999. Afin de rendre le travail le plus fiable possible, nous avons reproduit au mieux les conditions d'examen pour chacun des sujets. Pour des raisons de disponibilité des locaux et des étudiantes nous avons réalisé les tests entre 12 et 14 heures pendant la semaine. Chaque passage dure une trentaine de minutes.
Au préalable, nous avions fait remplir à chacune d'elle une fiche de renseignements identique à une demande de bilan Cybex (annexe II) afin de pouvoir enregistrer dans l'ordinateur les principales données de chaque sujet (nom, prénom, taille, poids, date de naissance...).
Ensuite à l'arrivée du sujet, nous nous assurons par l'interrogatoire qu'il ne présente pas de contre-indication au test (cf 4.1.1).

Puis nous déterminons par tirage au sort le membre inférieur à tester, en effet d'après Heuleu et Simon il n'y aurait pas de différence significative de force musculaire des quadriceps et ischio-jambiers entre les deux membres inférieurs, ceci étant vérifié par des travaux statiques et isocinétiques (9,13). Par conséquent, ceci nous permet de ne tester que l'un des deux membres inférieurs ce qui facilite la réalisation des tests.

4.2.2. Echauffement

Ensuite nous pratiquons l'échauffement, celui-ci se déroule en 2 parties (annexe II ) et il a pour but de préparer à l'effort et de prévenir toute lésion musculaire pendant le test.

Nous faisons d'abord un échauffement analytique des muscles fléchisseurs et extenseurs de genou en plaçant le sujet sur Orthotron. Cet appareil permet un travail musculaire identique à celui réalisé sur le Cybex, la différence est qu'il est utilisable par les patients dans le cadre de leur rééducation (renforcement et réentraînement à l'effort), il se trouve à leur disposition dans les salles de rééducation, ce n'est pas un outil d'évaluation. Cet échauffement permettra aussi de se familiariser avec la machine et avec le mode de travail isocinétique. Il est nécessaire pour assurer une meilleure fiabilité des mesures car une première mesure sans apprentissage donnerait des performances moindres (9). Toutefois nous plaçons les sujets dans les mêmes conditions c'est à dire qu'ils n'avaient jamais testé au préalable un appareil d'isocinétisme, mais étant jeunes et connaissant en théorie le mode de travail demandé, il n'y a pas eu de problème dans la réalisation des tests.
Après avoir installé le sujet et fixé la jambe «testée », nous lui rappelons le principe d'un travail isocinétique et nous lui faisons effectuer trois séries à vitesse rapide (180°/s) de dix flexions/extensions du genou. Nous demandons une faible résistance afin de recruter préférentiellement les fibres de type I, ce qui permet de moins solliciter les fibres de type II qui travailleront davantage pendant le test, en effet ces dernières sont activées pour des sollicitations importantes (16).
Au cours de l'exercice, nous lui demandons également une variation de son effort de contraction afin de lui faire prendre conscience que la réaction (ou résistance) de la machine dépend de sa propre poussée.

Secondairement nous réalisons un échauffement global de cinq minutes sur cycle ergométrique sans résistance afin d'éviter la fatigue musculaire. Il permet surtout de solliciter le système cardio-vasculaire.

Enfin nous terminons l'échauffement par un étirement activo-passif des deux groupes musculaires. La mise en tension est active c'est-à-dire que le muscle est placé en position

d'étirement et nous demandons une contraction excentrique (éloignement des insertions) sur un temps expiratoire, ceci pendant six secondes, durée nécessaire au déplacement du tissu conjonctif et à la mise en tension maximale. Un seul étirement alors suffit. Dans ces conditions le muscle étiré et contracté développe une tension supérieure à celle d'une contraction isotonique, ce type d'étirement prépare à l'effort (4), le muscle fournissant une force plus importante s'il est préalablement étiré, ceci par restitution d'énergie élastique.
Ainsi pour l'étirement des ischio-jambiers le sujet est debout, il pose le pied du membre à étirer sur un tabouret, son membre inférieur est ainsi tendu et surélevé. Nous lui demandons de relever la pointe du pied puis d'enfoncer le talon vers le sol tout en fléchissant le tronc.
Pour étirer le droit fémoral le sujet est aussi debout, il saisit le pied du membre à étirer, le genou étant en flexion maximale, la cuisse et le tronc en rectitude. Puis nous lui demandons de plier légèrement le membre inférieur controlatéral afin de rétroverser le bassin, dans cette position nous lui demandons alors de pousser le pied dans sa main.

#### 4.2.3.Protocole et essai

Tout d'abord nous déterminons par tirage au sort la position adoptée pour chaque test, à savoir si nous réalisons le premier test hanche fléchie et le second hanche tendue, ou inversement. Ceci exclue une éventuelle influence des positions.
Puis nous nous installons à l'ordinateur et recherchons le dossier préalablement enregistré du sujet testé. Nous établissons le protocole du premier test (identique au second) en indiquant :

- Vitesse angulaire : 60°/s.
- Nombre d'aller-retour : 4.
- Temps de repos : 6 secondes.

Nous choisissons une vitesse lente afin d'étudier la force musculaire, en effet la force développée diminue avec la vitesse de contraction (3).
Le nombre de séries est faible car la force maximale ne peut être répéter plus de 4 à 5 fois avant de diminuer (12).
Les 6 secondes correspondent au temps de repos entre la série d'essai et le véritable test. En effet, un essai précède toujours le test, il est identique à celui-ci et permet d'assurer la bonne compréhension de l'exercice demandé. Toutefois, pour ne pas entraîner de fatigue nous ne demandons pas un effort maximal pendant l'essai mais seulement d'effectuer la totalité des

amplitudes en atteignant les butées. Sur l'écran de l'ordinateur le sujet a un contrôle visuel feed-back des courbes des forces. Nous lui demandons d'augmenter progressivement leurs amplitudes afin de le préparer à l'effort maximal du test.

4.2.4. Installation

Elle devra être la plus rigoureuse possible (annexe IV). Les réglages seront à renouveler pour chaque sujet et devront être précis, car ce sont d'eux que dépendront la reproductibilité des tests intra et inter sujets. Tout d'abord, selon le membre testé (d'après le tirage au sort), nous plaçons le sujet sur l'un des deux sièges et nous réglons les paramètres suivants :

- La profondeur du siège (sur un dossier redressé).
- L'inclinaison du dossier (test hanche tendue : 0/10°, test hanche fléchie : 90°)
- La hauteur et l'axe du dynamomètre : l'axe doit être aligné avec le centre articulaire de flexion /extension du genou, il doit se trouver en face des condyles fémoraux.
- La longueur du bras de levier, celui-ci est fixé d'un bout à l'axe du dynamomètre et de l'autre est attaché à la face antérieure de la jambe par l'intermédiaire de l'appui tibial. Celui-ci doit se situer à deux travers de doigt sus-malléolaire, il est situé à la partie inférieure de la jambe pour augmenter les valeurs des forces développées par rapport à un appui proximal (utilisé dans les lésions du LCA). Une mousse est placée entre l'appui et la jambe pour éviter l'apparition d'une douleur d'appui sur la crête tibiale lors du mouvement d'extension.
- La position de la butée de limitation de l'extension de jambe que nous plaçons en demandant une extension active maximale (hanche fléchie).
- Le réglage du zéro anatomique en plaçant passivement la jambe en flexion puis extension maximale.

Tous ces paramètres sont au fur et à mesure intégrés dans l'ordinateur, ils permettent la reproductibilité des deux tests. Toutefois un autre paramètre est fondamental à prendre en compte avant chaque test, c'est la compensation de gravité qui consiste à peser la jambe afin de calculer le couple de gravité (influence du poids du membre sur la force). Pour cela nous amenons passivement la jambe en extension maximale (butée), la machine bloque alors la position, puis nous vérifions le relâchement du quadriceps par une palpation et nous demandons au sujet de laisser tomber sa jambe sans freiner le mouvement, quand il est

totalement relâché, nous débloquons la position et demandons une expiration pendant la descente qui se fait à la vitesse programmée (60°/s).

Ensuite pour stabiliser le sujet et limiter les compensations nous plaçons un sanglage au niveau de la cuisse, du bassin et du thorax du sujet.
Enfin nous demandons de croiser les bras sur le thorax. Nous choisissons de ne pas stabiliser les membres supérieurs car il était difficile d'adopter la même position pour les deux tests.
Pour le test assis nous bloquons le membre inférieur controlatéral à 90° de flexion de genou, et pour le test allongé nous demandons au sujet de placer son pied controlatéral sur le siège (hanche et genou fléchis).

4.2.5. Réalisation du test

Nous débutons le test en plaçant passivement la jambe en flexion maximale permise (contre le siège). Nous attendons le signal sonore qui nous indique la fin des six secondes de repos puis nous libérons la jambe et donnons comme consigne au sujet de pousser le plus vite et le plus fort possible en parcourant la totalité des amplitudes autorisées. L'encouragement verbal est important durant le test afin d'améliorer les performances (6). D'autre part pendant le test nous rappelons au sujet de ne pas bloquer sa respiration.

Nous n'utilisons pas le feed-back visuel car celui-ci risquerait de ne pas avoir le même impact pour les deux tests, en effet dans la position hanche tendue le sujet est éloigné de l'écran et sa position ne lui permet pas une bonne vision des courbes.

Un laps de temps de trois à cinq minutes séparent les deux tests. Il nous permet de préparer le second test (installation du sujet et renouvellement des paramètres), mais surtout ce temps de récupération permet le rétablissement des réserves de phosphagènes du muscle (ATP et CP) et d'oxygène. En effet, ces réserves sont les principales sources énergétiques utilisées dans ce type d'exercice, bref (<30secondes) et intense. Le système anaérobie est dans ce cas sollicité le premier, pendant les dix premières secondes les phosphagènes sont consommés jusqu'à épuisement puis l'énergie est fournie par la glycolyse anaérobie.

Le second test se réalise dans les mêmes conditions que le premier, seules changent la position de la hanche «testée » ainsi que celle du membre inférieur opposé.

## 5. RESULTATS

Tous les résultats sont enregistrés dans l'ordinateur après chaque passage et dans le même temps nous les imprimons en faisant apparaître les données sous deux formes :

- Chiffrée : ce sont ces données qui seront le support des statistiques mais nous n'utiliserons que certains paramètres. Elles apparaissent en deux colonnes (annexe V ).
- Graphique : deux graphes nous permettent une visualisation rapide des résultats, ils traduisent sous forme de courbes la force maximale développée au cours du mouvement (annexe VI ).

L'une concerne la courbe de flexion et l'autre celle de l'extension, les deux tests sont ainsi superposés. En général les graphes permettent d'une part de visualiser les déficits musculaires de la jambe «lésée » par rapport à la jambe saine, et d'autre part de suspecter une lésion qui ne pourrait être décelée numériquement (spécificité des «accidents » de courbes).

Parmi toutes les données numériques obtenues, nous nous intéresserons qu'à trois paramètres qui sont les plus couramment utilisés en isocinétisme :

- Le moment maximal résistant (MMR) ou peak torq : il correspond au moment de force maximal.
- L'angle d'efficacité maximale (AEM) ou angle of peak torq : il correspond à l'angle du MMR.
- Le ratio ischio-jambiers/quadriceps : il correspond au rapport des MMR IJ/MMR Q.

Pour chaque sujet nous avons relevé ces trois paramètres après chacun des deux tests.

Les résultats des trente sujets apparaissent sous forme de tableaux (annexes V, VI, VII), on y retrouve également les différences numériques entre les deux tests ainsi que leurs moyennes.

Nous avons ensuite comparé ces différences à l'aide de tests statistiques. Pour cela nous utilisons la loi de Laplace-Gauss ou loi normale (dont la condition est un nombre de sujets n supérieur ou égal à 30). Le test consiste à comparer des moyennes sur des séries appariées. En effet nos valeurs ne proviennent pas de deux échantillons de sujets mais du même échantillon.

Principe du test : l'hypothèse testée $H_0$ (hypothèse nulle) est celle de la non-influence de la position de la hanche sur le paramètre étudié.

Ensuite nous calculons la variance des différences $Sd^2$ ,ce qui nous permet de calculer l'écart-réduit du test : ε. Puis nous nous référons à la table de la loi normale et constatons que pour un risque d'erreur de 5% (α=0,05), $H_0$ est rejetée si ε est supérieur à 1,96 (écart-réduit correspondant à un risque de α=0.05). Les formules utilisées sont :

| | |
|---|---|
| $Sd^2 = \sum (X_i - M_d)^2 \ / n-1$ | $X_i$ = différence d'un paramètre entre les deux tests. |
| $\varepsilon = Md / \sqrt{(S_d^2/n)}$ | $M_d$= moyenne des différences. |

- Force maximale des fléchisseurs et extenseurs du genou : nous obtenons respectivement ε=16,1 et ε=7,5 donc $H_0$ est rejetée dans les deux cas ⇒ il y a une différence très significative des MMR en fonction de la position de la hanche.
- Angle d'efficacité maximale : de la même manière nous obtenons ε=7,5 pour les fléchisseurs, ε>1,96 donc nous rejetons $H_0$, et ε=1,2 pour les extenseurs, ε<1,96 donc nous ne rejetons pas $H_0$ ⇒ l'AEM des fléchisseurs varie significativement selon la position de la hanche tandis que la différence n 'est pas significative pour les extenseurs.
- Rapport fléchisseurs /extenseurs : ε=8,4 donc nous rejetons $H_0$ ⇒ la différence des ratios est significative.

**En conclusion, les résultats statistiques indiquent une influence très significative de la position de la hanche sur l'activité isocinétique des fléchisseurs et extenseurs du genou, cette influence étant davantage objectivée pour les fléchisseurs. Toutefois une exception concerne l'AEM des extenseurs qui ne varie pas significativement en fonction de la position de la hanche.**

## 6. DISCUSSION

### 6.1. Conditions pratiques de reproductibilité

La difficulté des tests fut d'assurer leur reproductibilité.

L'échauffement, l'apprentissage, l'installation, l'étalonnage de la machine, la prise en compte de la force de gravité, la stimulation verbale et l'absence de feed-back sont les facteurs que nous avons reproduit au mieux. D'autres conditions nous ont posé davantage de difficultés :

- L'horaire des tests, se déroulant entre 12 et 14 heures nous avions des sujets à jeun et d'autres en période post-prandiale. Le moment idéal aurait été en fin d'après-midi.
- La position du membre inférieur controlatéral. Il aurait en effet été préférable de placer ce membre dans la même position pour les deux tests mais lors de la préparation du protocole nous avions nous-mêmes testée la position c'est-à-dire en plaçant le membre controlatéral hanche tendue et genou bloqué 90°de flexion, durant le test hanche tendue. Cette position étant d'une part inconfortable, elle était surtout contre-indiquée pour la colonne lombaire qui avait tendance à se creuser à chaque flexion. C'est pourquoi nous avons décidé de changer la position et de placer le membre en flexion pied posé sur le fauteuil, ce qui d'ailleurs place le bassin en rétroversion et accentue la mise en tension du quadriceps et la détente des ischio-jambiers.
- La position des membres supérieurs : en général les tests sont pratiqués en faisant maintenir les mains à des poignées latérales mais nous ne pouvions le faire sur le test hanche tendue car les poignées étaient trop éloignées. Or il fallait adopter la même position pour les deux tests, donc nous avons choisi de stabiliser les membres supérieurs en les croisant sur le thorax, mains aux épaules. Lors des tests préliminaires, nous avions noté que les forces développées étaient augmentées (surtout pour les extenseurs) quand le sujet se tenait aux poignées .

Il est vrai que ces quelques difficultés ne nous ont pas permis de réaliser les conditions optimales d'un effort maximal, mais il faut préciser que nous analysons une **différence de force musculaire**, notre volonté étant d'obtenir, à un moment donné et pour chaque participante, un effort maximal qui soit reproduit de manière identique au cours des deux tests consécutifs.

### 6.2. Différentes hypothèses

Nous remarquons que selon les auteurs les données isométriques et isocinétiques ne sont pas systématiquement corrélées.

6.2.1. En isométrie

- Pour Kapandji, l'allongement relatif d'un muscle permet d'augmenter son efficacité soit sa puissance (11).
- D'après Duchenne de Boulogne (2), le droit antérieur serait très affaibli en position assise. Inversement les ischio-jambiers seraient plus forts sur une hanche fléchie.
- D'après Houtz le diagramme tension-longueur des fléchisseurs et extenseurs, de par leurs propriétés de muscles polyarticulaires, s'écarte du schéma classique et varie selon la position de la hanche (figure 1), la force développée en position assise serait alors supérieure à celle développée couchée (12) :

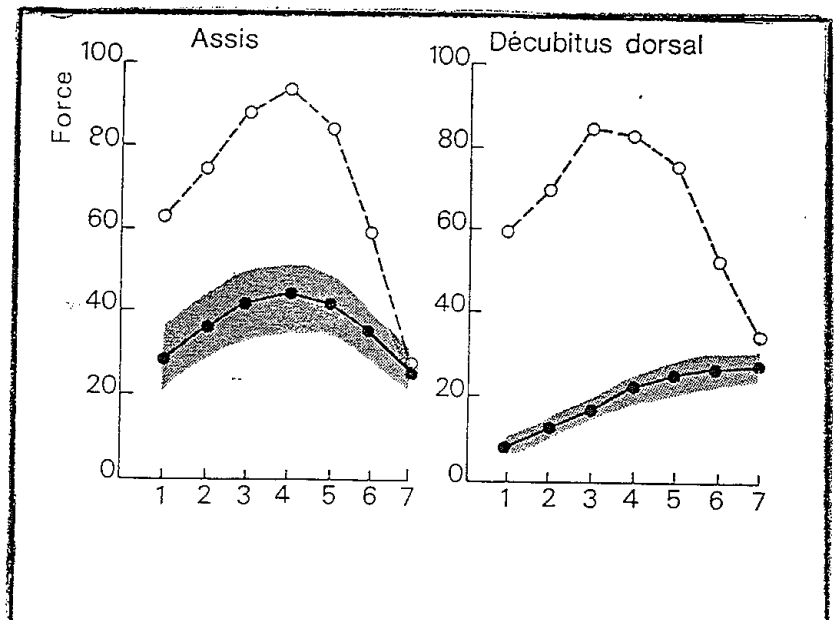



Fig. 44. – *Effet de la position du corps sur la force des muscles moteurs de la jambe.*
La force des fléchisseurs (●) et des extenseurs (○) est exprimée en livres pour des ouvertures articulaires croissantes de 15° en 15°, de 75° à 165°, dans quatre situations différentes (d'après Houtz et coll., *J. appl. Physiol.*, 1957, *II*, 475-480).

Figure 1 : diagrammes force-longueur des fléchisseurs et extenseurs du genou en position assise et en position couchée.

6.2.2. En isocinétisme

- Worrel et Hopkins ont trouvé des forces isocinétiques et des ratios plus élevés en position assise (13).
- Portero ne constate aucune différence significative pour la force isocinétique et les AEM des extenseurs, tandis qu'elle est significative pour les fléchisseurs avec des résultats supérieurs sur une hanche fléchie (14).

6.3. La force maximale

A l'issu du test nous avons demandé à chaque sujet quelle fut la position dans laquelle il se sentait le plus fort et la grande majorité s'est sentie «mieux» assis et trouvait la position allongée moins confortable et moins adaptée au développement d'un effort maximal. Les résultats objectifs corrèlent alors l'impression subjective des sujets.

Pour les deux groupes musculaires nous trouvons une force maximale supérieure en position assise, la différence étant d'ailleurs plus marquée pour les fléchisseurs (+59,3% d'augmentation pour les ischio-jambiers et +16,3% pour les extenseurs). En effet les ischio-jambiers sont très fibreux contrairement au quadriceps qui possède un corps musculaire volumineux, aussi, étant en situation d'étirement en position assise, leur grande partie tendineuse s'allonge peu et les forces élastiques passives s'emmagasinent pour engendrer des mouvements puissants et rapides lors de la contraction dynamique. Inversement en position couchée ils sont en insuffisance active et moins efficaces car leur course musculaire est nettement diminuée. Les résultats isocinétiques corrèlent alors les données statiques.

Les extenseurs quant à eux ne suivent pas la théorie, en effet la mise en tension du droit antérieur en décubitus devrait le rendre plus efficace or il est plus fort en position assise. Les deux groupes musculaires ne s'adaptent donc pas de la même manière aux différentes positions, leur état d'insuffisance et de mise en tension n 'étant pas semblable. D'autre part les mouvements avec charge sont plus difficiles à effectuer quand les articulations sont très ouvertes ou très fermées (12) or en position couchée l'articulation de la hanche est comparativement plus ouverte qu'elle n'est fermée en position assise. En se référant à la

figure 1 on remarque que le muscle s'adapte mieux et à un meilleur rendement en rapprochement qu'en éloignement des sarcomères.

La figure 3 schématise l'allongement relatif des muscles, on remarque que les ischio-jambiers ont un bras de levier de la hanche nettement supérieur à celui du genou et également plus important que celui du droit fémoral au niveau de la hanche, d'ailleurs les bras de levier de ce dernier semblent à peu près identiques entre le genou et la hanche.

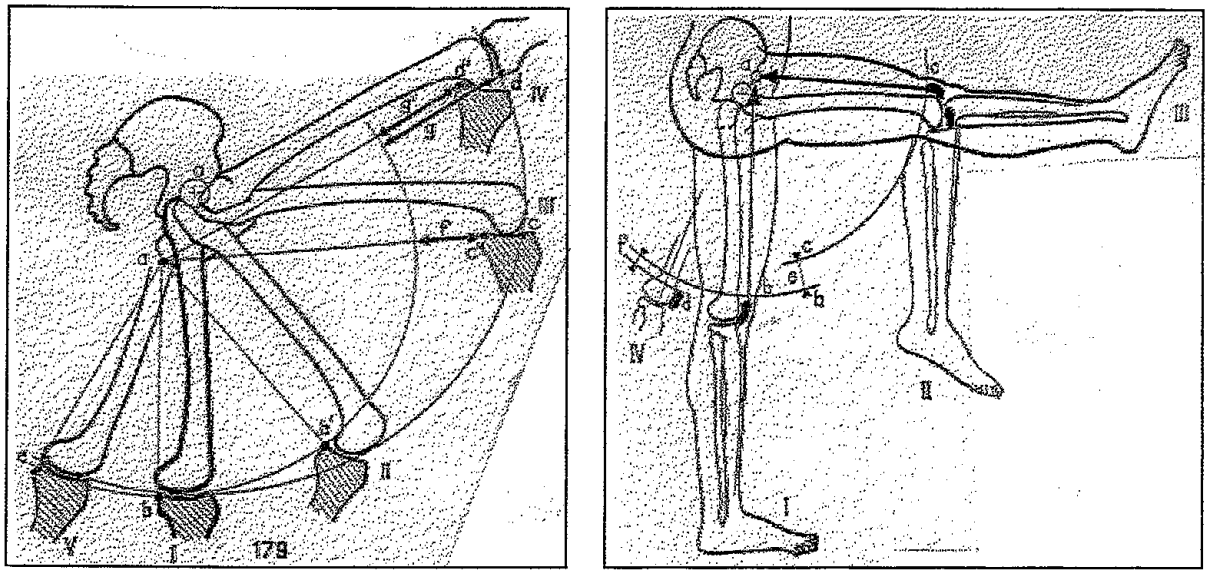


Figure 3 : variation de longueur des fléchisseurs (à gauche) et extenseurs (à droite) du genou d'après Kapandji (11).

Ainsi le changement de position du bassin influe davantage sur la longueur des ischios que sur celle du droit fémoral et c'est un des facteurs qui pourrait expliquer leur moins bonne adaptabilité aux différentes positions.

D'autre part, la différence de force qui est plus marquée au niveau des fléchisseurs pourrait aussi s'expliquer par le fait que la position de la hanche influant sur les muscles biarticulaires de cuisse influerait sur tous les fléchisseurs du genou tandis qu'elle n'agirait que sur un seul muscle extenseur : le droit antérieur. D'autant plus que d'après Kapandji, ce dernier ne représente que le cinquième de la force totale du quadriceps (11). Or nous remarquons que la différence de force des extenseurs est proche de 20%, ce qui pourrait signifier un meilleur rendement du droit antérieur en position assise.

Nous savons que les vastes sont des muscles puissants (phasiques) contrairement au droit antérieur (tonique), or dans un tel exercice les fibres de type II sont davantage sollicitées, la force d'extension pourrait alors être principalement fournie par les vastes. De plus d'après Duchenne De Boulogne(2) : « le sujet étant assis et sa jambe tombant verticalement, faradise successivement le droit antérieur, le vaste interne et le vaste externe », le droit antérieur jouerait donc le rôle de starter du mouvement, son déficit de force en décubitus dorsal pourrait être dû à la position c'est à dire à l'inclinaison du siège qui accentue l'état d'insuffisance passive sur le sujet allongé par rapport à l'insuffisance active en position assise.

6.4 Les AEM

L'angle d'efficacité maximale des extenseurs ne varie pas significativement entre la position assise de la position allongée. En effet nous trouvons un AEM proche de 60° (57,5° hanche en rectitude, 59,3° hanche fléchie) ce qui correspond à l'AEM établi en isométrie, en effet les auteurs s'accordent à situer une force maximale du quadriceps à 60° de flexion du genou (3). Les extenseurs s'adaptent donc bien à la position de la hanche, ceci pourrait s'expliquer par le relais des vastes, antagonistes du droit antérieur, dès le démarrage du mouvement.

L'AEM des fléchisseurs quant à lui est influencé par la position de la hanche. En position assise nous retrouvons un AEM proche de celui donné dans la littérature qui est de 30°, en effet nous obtenons une valeur moyenne de 35,2°. Toutefois cet angle est de 20,9° en position allongée ce qui indique que les ischio-jambiers ne s'adaptent pas au changement de position. Ils atteignent leur force maximale plus rapidement quand ils sont détendus, ceci peut s'expliquer par la figure 1 dans laquelle on remarque que la montée en force est plus rapide à partir d'un rapprochement des insertions.

6.5. Le ratio F/E à 60°/s

Nous avons remarqué que le ratio F/E varie significativement en fonction de la position de la hanche, passant de 0,59 en position assise à 0,43 en position couchée.

En effet, bien que la force maximale des deux groupes musculaires diminue en position couchée, cette diminution est proportionnellement plus marquée pour le groupe musculaire

fléchisseur. Cette notion conduirait à nuancer la valeur d'un ratio de 0,6 généralement retenue dans la littérature pour une vitesse angulaire de 60°/s (13).

Etant un bon indicateur du déséquilibre des mécanismes articulaires, le ratio F/E a un grand intérêt dans l'évaluation fonctionnelle d'une articulation. Toutefois il est préférable dans la pratique de se référer au ratio du membre sain plutôt qu'aux normes établies.

Certaines études nous indiquent que sur des sujets opérés ce rapport est quasiment toujours perturbé (>1) avec un déficit quasi constant des extenseurs et moins fréquent et moins marqué sur les fléchisseurs (9).

La diminution du ratio F/E en position couchée suggère qu'il serait préférable de travailler assis pour renforcer les muscles si le ratio est équilibré alors qu'un travail en décubitus dorsal permettrait, sur un ratio élevé, de rétablir plus rapidement l'équilibre F/E en favorisant l'activité des extenseurs.

## 7. CONCLUSION

Cette étude nous indique que dans notre groupe de sujets l'activité isocinétique des muscles biarticulaires du genou ne corrobore pas systématiquement les données isométriques établies. Toutefois il serait intéressant de réaliser les mêmes tests sur des populations différentes : hommes, patients, sportifs..., ceci pour connaître l'influence de certains facteurs (sexe, pathologie, activité...).

D'autre part il faut tenir compte des difficultés de reproductibilité des tests ainsi que celles de l'installation des sujets qui pourrait être à revoir (notamment l'inclinaison du siège).

Sur le plan pratique, dans le cadre d'un renforcement musculaire ou d'un réentrainement à l'effort, nous pourrons placer le sujet assis afin de maintenir l'équilibre du ratio et travailler au mieux la force, de façon globale et harmonieuse. Par contre pour un patient porteur d'une pathologie de genou (ex : lésion du ligament croisé antérieur) et ayant un quadriceps affaibli (traduit par un ratio élevé), nous pouvons proposer un renforcement en position couchée au profit des extenseurs. Tout ceci en tenant compte biensur du confort du patient.

Enfin, l'intérêt des récents appareils d'isocinétisme type Cybex NORM permettrait de pratiquer des tests sur le mode fonctionnel de ces muscles c'est-à-dire en concentrique et à vitesse rapide (180°/s) pour les extenseurs du genou et en excentrique à vitesse lente (30°/s) pour les fléchisseurs qui ont surtout un rôle freinateur au cours de la marche. L'étude du ratio serait alors d'autant plus intéressante, le but étant d'analyser au mieux les conditions physiologiques afin de s'en rapprocher ensuite au cours du traitement kinésithérapique.

# BIBLIOGRAPHIE


1. CHOMIKI R., BOISSEAU P., DESSAINT E., PARENT A., SOUCHON G., XENARD J.
Dynanométrie isocinétique (2) : applications à l'évaluation et à la rééducation.
Annales médicales de Nancy & de Lorraine : 1998 . p.103-118

2. DUCHENNE DE BOULOGNE G.B.
Physiologie des mouvements, 1967.
Paris : J.B. Baillière et Fils, 1967. 872p.

3. DUMOULIN J., DE BISSCHOP G., PETIT. B., RIJM CH.
8 Kinésiologie et biomécanique.
Dossier de kinésithérapie n° 8.
Paris Milan Barcelone Bonn : Masson, 1991. 80p.

4. ESNAULT M.
Etirements analytiques en kinésithérapie active.
Paris Milan Barcelone Bonn :Masson, 1992.

5. FOX et MATHEW
Bases physiologiques de l'activité physique.
Paris, Montréal : Vigat, 1984.

6. GEOFFRE B.
Influence de la stimulation verbale sur la contraction volontaire des fléchisseurs du genou.
Mémoire 1996-1997.

7. GOVAERT H.
La biomécanique. Nouvelle méthode d'analyse du mouvement.
Bruxelles : Presses universitaires de Bruxelles, 1962. 160p.

8. HEULEU J.N., CODINE P., SIMON L.
Isocinétisme et médecine de rééducation.
Paris Milan Barcelone Bonn :Masson, 1991. 146p.

9. HEULEU J.N., SIMON L
Muscle et rééducation.
Paris Milan Barcelone Mexico : Masson, 1988. 244p.

10. KAMINA P., RIDEAU V .
3. Myologie des membres inférieurs. Bilans musculaires. 2ème édition.
Paris : Maloine, 1997. 183p.

11. KAPANDJI I.A.
Physiologie articulaire du membre inférieur. Tome 2-5e édition.
Paris : Maloine S.A.,1985. 255p.

12. MONOD H., FLANDROIS R.
Physiologie du Sport- 2ème édition.
Paris Milan Barcelone Mexico : Masson, 1990. 221p.

13. POCHOLLE M., CODINE P.
Isocinétisme et médecine sportive.
Paris Milan Barcelone : Masson, 1998. 174p.

14. SIMON L., PELISSIER J., HERISSON CH.
Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation . 20ème série.
Paris Milan Barcelone : Masson, 1995. 293p.

15. SPRING H., KUNZ H.R., SCHNEIDER W., TRITSCHILER T., UNOLD E.
7. R, Gym la force- Théorie et pratique.
Paris Milan Barcelone Bonn : Masson, 1991.103p.

# ANNEXES

# ANNEXE I

# ANNEXE II

**DEMANDE DE BILAN CYBEX**

☐ *INITIAL* ☐ *DE CONTROLE*

R.D.V.

Date :

Heure :

Auprès de :

NOM du patient :

Prénom :

Date de naissance :

Profession :

DEMANDEUR :

Date de la demande :

Kinésithérapeute :

Horaire :

Taille :

Poids :

Latéralisation :

NIVEAU D'ACTIVITE PHYSIQUE :

Sédentaire : ☐
Actif : ☐
Intensif : ☐
Compétition : ☐

DIAGNOSTIC précis avec nature des lésions, date et types d'interventions :

Nature du bilan demandé :

Côté lésé : D G Côté controlatéral sain? oui non

*A remplir par le réalisateur du bilan*

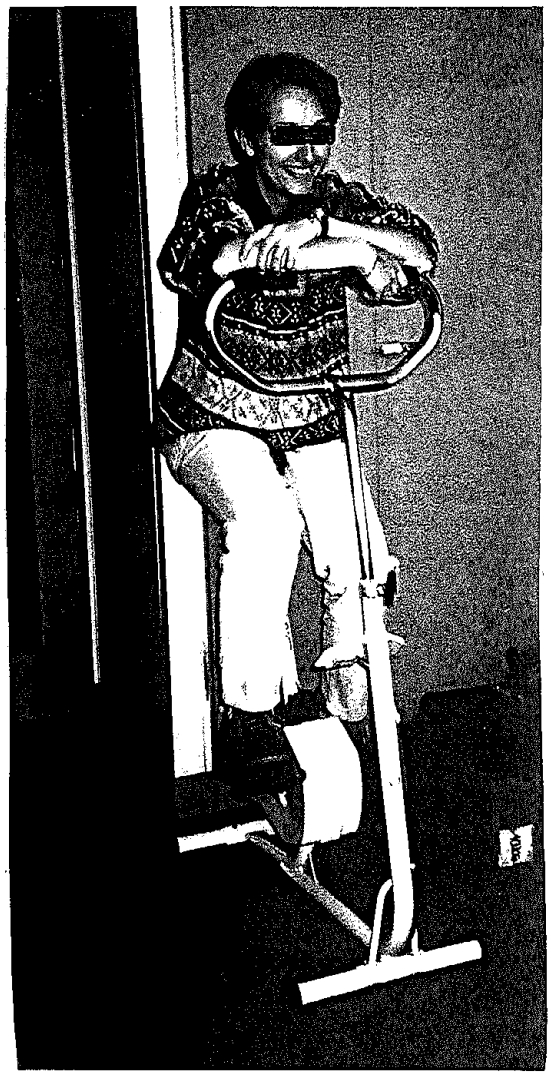
N° des protocoles réalisés :

REMARQUES sur le déroulement du test :

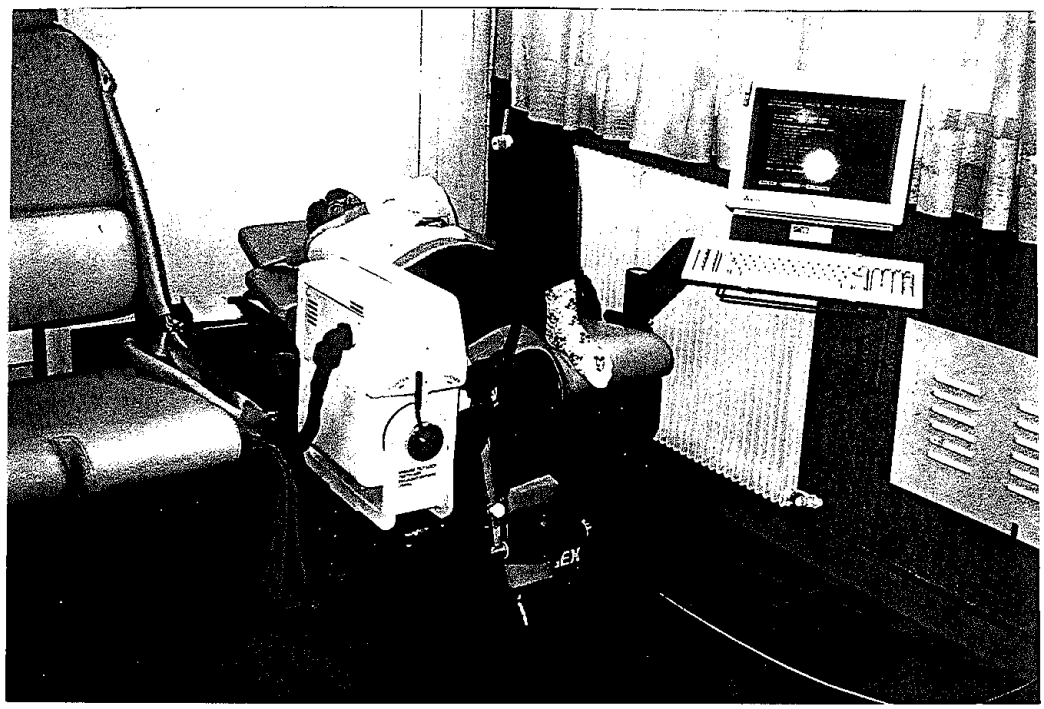
Système anti-tiroir : OUI NON

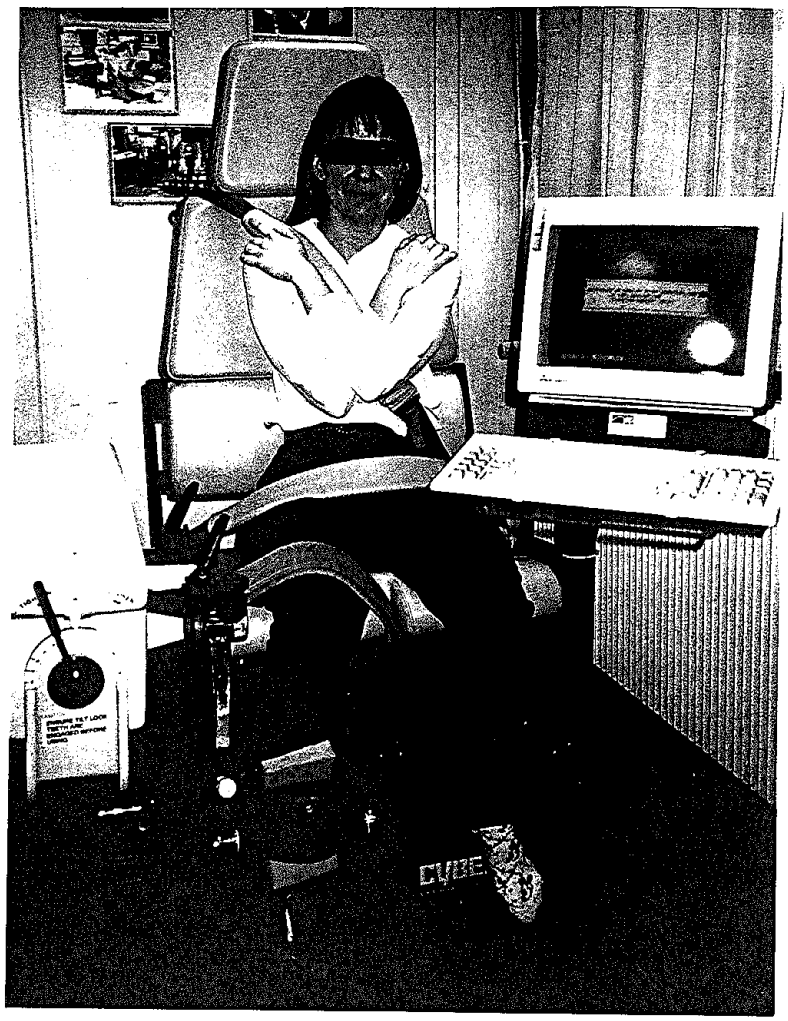
Constantes d'installation :

# ANNEXE III



# ANNEXE IV





# ANNEXE V

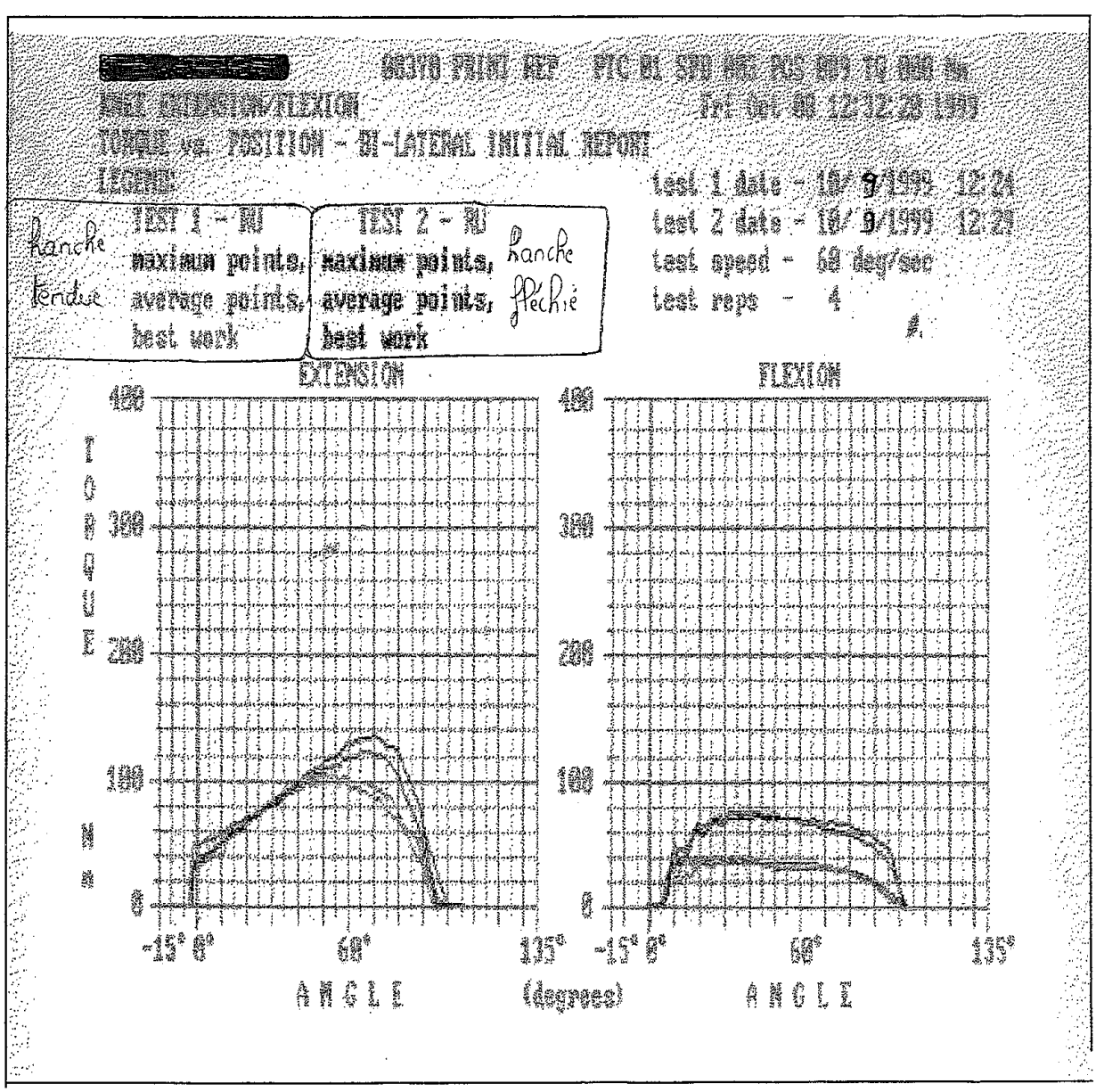
I.R.R.F. NANCY — INITIAL BI-LATERAL REPORT
PATIENT NAME: [redacted]
REPORT DATE: Tue Sep 28 20:10:48 1999
PTC 1: KNEE EXTENSION/FLEXION

| | | | |
|---|---|---|---|
| CYBEX TEST DATE(S) | 9/28/1999 | 9/28/1999 | DEFICIT % |
| SIDE(S) TESTED | R HANCHE TENDUE | R HANCHE FLECHIE | |
| SPEED (deg/sec) | 60 | 60 | 60 |
| REPETITIONS | 4 | 4 | 4 |
| BODY WEIGHT (kg) | ( 73) | ( 73) | |
| **FLEXION** | | | |
| PEAK TORQ (Nm) | 43 | 82 | -90 |
| PEAK TORQ % BW | 58% | 112% | |
| ANGLE OF PEAK TORQ | 35 | 43 | |
| TORQ @ 30 DEGREES(Nm) | 40 | 75 | -87 |
| TORQ @ 60 DEGREES(Nm) | 39 | 75 | -92 |
| ACCEL. TIME (SECS) | .08 | .08 | |
| TOTAL WORK (BWR, J) | 50 | 105 | -109 |
| TOTAL WORK (BWR) %BW | 68% | 143% | |
| AVG.POWER (BWR,WATTS) | 25 | 64 | -120 |
| AVG.POWER (BWR) %BW | 39% | 87% | |
| AVG.POINTS VARIANCE | 14% | 14% | |
| TAE (J) | 1.3 | 4.0 | -206 |
| TOTAL WORK SET 1(J) | | | |
| 1st SAMPLE 1 (TW) | | | |
| 2nd SAMPLE 1 (TW) | | | |
| ENDURANCE RATIO 1 | | | |
| TOTAL WORK SET 2(J) | | | |
| 1st SAMPLE 2 (TW) | | | |
| 2nd SAMPLE 2 (TW) | | | |
| RECOVERY RATIO | | | |
| **EXTENSION** | | | |
| PEAK TORQ (Nm) | 108 | 145 | -34 |
| PEAK TORQ % BW | 147% | 198% | |
| ANGLE OF PEAK TORQ | 70 | 67 | |
| TORQ @ 30 DEGREES(Nm) | 81 | 94 | -3 |
| TORQ @ 60 DEGREES(Nm) | 98 | 136 | -38 |
| ACCEL. TIME (SECS) | .15 | .04 | |
| TOTAL WORK (BWR, J) | 131 | 166 | -22 |
| TOTAL WORK (BWR) %BW | 179% | 219% | |
| AVG.POWER (BWR,WATTS) | 76 | 96 | -26 |
| AVG.POWER (BWR) %BW | 104% | 130% | |
| AVG.POINTS VARIANCE | 16% | 14% | |
| TAE (J) | 6.9 | 3.7 | 36 |
| TOTAL WORK SET 1(J) | | | |
| 1st SAMPLE 1 (TW) | | | |
| 2nd SAMPLE 1 (TW) | | | |
| ENDURANCE RATIO 1 | | | |
| TOTAL WORK SET 2(J) | | | |
| 1st SAMPLE 2 (TW) | | | |
| 2nd SAMPLE 2 (TW) | | | |
| RECOVERY RATIO | | | |
| FLEXION/EXTENSION RATIO AND ROM | | | |
| PEAK TORQ | 39% | 56% | |
| TOTAL WORK (BWR) | 38% | 65% | |
| AVERAGE POWER (BWR) | 38% | 67% | |
| TOTAL WORK SET 1 | | | |
| TOTAL WORK SET 2 | | | |
| AVERAGE ROM (DEGREES) | 113 | 103 | 8 |
| MAX ROM | (113) | (106) | ( 81 |

(c) COPYRIGHT LUMEX 1989,1990,1991,1992

# ANNEXE VI

Exemple de graphes obtenus chez un sujet :



# ANNEXE VII

Tableau des couples de forces maximum (Newton.mètre) des fléchisseurs et extenseurs du genou en fonction de la position de la hanche :

| | FLEXION | | | EXTENSION | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SUJET | Hanche tendue | Hanche fléchie | Différence | Hanche tendue | Hanche fléchie | Différence |
| 1 | 50 | 88 | 38 | 135 | 162 | 27 |
| 2 | 43 | 82 | 39 | 108 | 145 | 37 |
| 3 | 50 | 86 | 36 | 107 | 138 | 31 |
| 4 | 61 | 92 | 31 | 132 | 184 | 52 |
| 5 | 39 | 50 | 11 | 109 | 105 | -4 |
| 6 | 65 | 100 | 35 | 127 | 135 | 8 |
| 7 | 44 | 81 | 37 | 98 | 113 | 15 |
| 8 | 59 | 82 | 23 | 117 | 141 | 24 |
| 9 | 42 | 69 | 27 | 101 | 130 | 29 |
| 10 | 47 | 78 | 31 | 113 | 131 | 18 |
| 11 | 37 | 73 | 36 | 103 | 134 | 31 |
| 12 | 54 | 85 | 31 | 127 | 151 | 24 |
| 13 | 65 | 86 | 21 | 131 | 150 | 19 |
| 14 | 46 | 85 | 39 | 123 | 146 | 23 |
| 15 | 55 | 88 | 33 | 131 | 134 | 3 |
| 16 | 33 | 75 | 42 | 112 | 150 | 38 |
| 17 | 50 | 84 | 34 | 134 | 150 | 16 |
| 18 | 47 | 96 | 49 | 127 | 150 | 23 |
| 19 | 46 | 69 | 23 | 96 | 113 | 17 |
| 20 | 59 | 78 | 19 | 132 | 150 | 18 |
| 21 | 56 | 93 | 37 | 131 | 165 | 34 |
| 22 | 50 | 78 | 28 | 84 | 105 | 21 |
| 23 | 46 | 66 | 20 | 109 | 108 | -1 |
| 24 | 43 | 59 | 16 | 104 | 105 | 1 |
| 25 | 50 | 92 | 42 | 101 | 124 | 23 |
| 26 | 71 | 92 | 21 | 124 | 136 | 12 |
| 27 | 44 | 71 | 27 | 90 | 115 | 25 |
| 28 | 52 | 96 | 44 | 145 | 153 | 8 |
| 29 | 46 | 55 | 9 | 96 | 104 | 8 |
| 30 | 55 | 71 | 16 | 123 | 111 | -12 |
| total | 1505 | 2400 | 895 | 3470 | 4038 | 568 |
| **moy** | **50.2** | **80** | **29.9** | **115.7** | **134.6** | **18.9** |

# ANNEXE VIII

Tableau des angles d'efficacité maximale (en degrés) des fléchisseurs et extenseurs du genou en fonction de la position de la hanche :

| | FLEXION | | | EXTENSION | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SUJET | Hanche tendue | Hanche fléchie | Différence | Hanche tendue | Hanche fléchie | Différence |
| 1 | 31 | 48 | 17 | 57 | 57 | 0 |
| 2 | 35 | 43 | 8 | 70 | 67 | -3 |
| 3 | 23 | 52 | 29 | 61 | 60 | -1 |
| 4 | 15 | 24 | 9 | 53 | 62 | 9 |
| 5 | 24 | 45 | 21 | 54 | 55 | 1 |
| 6 | 13 | 31 | 18 | 45 | 53 | 8 |
| 7 | 30 | 46 | 16 | 54 | 55 | 1 |
| 8 | 20 | 16 | -4 | 52 | 53 | 1 |
| 9 | 15 | 44 | 29 | 55 | 53 | -2 |
| 10 | 44 | 37 | -7 | 67 | 67 | 0 |
| 11 | 14 | 35 | 21 | 50 | 70 | 20 |
| 12 | 15 | 50 | 35 | 43 | 52 | 9 |
| 13 | 27 | 32 | 5 | 61 | 71 | 10 |
| 14 | 13 | 31 | 18 | 68 | 68 | 0 |
| 15 | 28 | 53 | 25 | 60 | 46 | -14 |
| 16 | 22 | 20 | -2 | 66 | 65 | -1 |
| 17 | 16 | 25 | 9 | 56 | 55 | -1 |
| 18 | 29 | 36 | 7 | 59 | 61 | 2 |
| 19 | 24 | 47 | 23 | 62 | 65 | 3 |
| 20 | 13 | 32 | 19 | 55 | 63 | 8 |
| 21 | 24 | 33 | 9 | 57 | 58 | 1 |
| 22 | 24 | 33 | 9 | 56 | 56 | 0 |
| 23 | 27 | 28 | 1 | 59 | 65 | 6 |
| 24 | 14 | 43 | 29 | 52 | 65 | 13 |
| 25 | 14 | 20 | 6 | 68 | 61 | -7 |
| 26 | 11 | 33 | 22 | 50 | 52 | 2 |
| 27 | 14 | 29 | 15 | 54 | 46 | -8 |
| 28 | 18 | 32 | 14 | 56 | 49 | -7 |
| 29 | 13 | 22 | 9 | 67 | 52 | -15 |
| 30 | 13 | 35 | 22 | 58 | 77 | 19 |
| Total | 626 | 1055 | 432 | 1725 | 1779 | 54 |
| **moy** | **20.9** | **35.2** | **14.3** | **57.5** | **59.3** | **1.8** |

# ANNEXE IX

Tableau des ratios : fléchisseurs/extenseurs (%) en fonction de la position de la hanche :

| SUJET | HANCHE TENDUE | HANCHE FLECHIE | Différence |
|---|---|---|---|
| 1 | 37 | 54 | 17 |
| 2 | 39 | 56 | 17 |
| 3 | 46 | 62 | 16 |
| 4 | 46 | 50 | 4 |
| 5 | 35 | 47 | 12 |
| 6 | 51 | 74 | 23 |
| 7 | 44 | 71 | 27 |
| 8 | 50 | 58 | 8 |
| 9 | 41 | 53 | 12 |
| 10 | 41 | 59 | 18 |
| 11 | 35 | 54 | 19 |
| 12 | 42 | 56 | 14 |
| 13 | 49 | 57 | 8 |
| 14 | 37 | 58 | 21 |
| 15 | 41 | 65 | 24 |
| 16 | 29 | 50 | 21 |
| 17 | 37 | 56 | 19 |
| 18 | 37 | 64 | 27 |
| 19 | 47 | 61 | 14 |
| 20 | 64 | 52 | -12 |
| 21 | 42 | 56 | 14 |
| 22 | 59 | 74 | 15 |
| 23 | 42 | 61 | 19 |
| 24 | 41 | 56 | 15 |
| 25 | 49 | 74 | 25 |
| 26 | 57 | 67 | 10 |
| 27 | 48 | 61 | 13 |
| 28 | 75 | 62 | -13 |
| 29 | 47 | 52 | 5 |
| 30 | 44 | 63 | 19 |
| total | 1352 | 1783 | 431 |
| **moy** | **45** | **59.4** | **14.4** |