

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

**LE CALIBRAGE DE L'HALTEROCHAISE
ET SON APPLICATION EN
KINESITHERAPIE**

Rapport de travail écrit personnel
présenté par **Valéry VIEILLARD**
étudiant en 3^{ème} année de kinésithérapie
en vue de l'obtention du diplôme d'état
de masseur-kinésithérapeute
1996-1997

sommaire

RESUME	page
1. Haltérochaise et calibrage	1
1.1 Découverte de l'haltérochaise.....	1
1.2 Notion de couple, couple maximum.....	3
1.3 La position du coussin.....	6
1.4 Notion de travail « dynamique ».....	9
1.5 Aspect cinématique du mouvement en fonction de la course musculaire et du réglage de l'angle α	10
1.5.1 Pour le quadriceps.....	12
1.5.2 Pour les ischio-jambiers.....	13
1.6 La notion de travail musculaire.....	14
1.6.1 exemple n°1.....	15
1.6.2 exemple n°2.....	15
2. Application kinésithérapique	15
2.1 Rappel sur le fonctionnement du muscle et ses qualités.....	16
2.1.1 Eléments histologiques.....	16
2.1.2 Qualités du muscle.....	17
2.1.2.1 L'excitabilité.....	18
2.1.2.2 L'élasticité.....	18

2.1.2.3 La contractilité.....	18
2.2. Les buts de la rééducation face à un déficit musculaire.....	18
2.3. Rééducation et haltérochaise.....	19
2.3.1. Conditions d'applications générales.....	19
2.3.1.1. Confort d'utilisation.....	19
2.3.1.2. Sécurité.....	19
2.3.1.3. Efficacité.....	20
2.3.2. Conditions d'applications particulières.....	20
2.3.2.1. La rééducation découle d'un bilan précis et personnalisé.....	20
2.3.2.2. Les abaques permettent de déterminer le couple maximum.....	21
2.3.2.3. Haltérochaise et bilan.....	21
3. EXEMPLE PRATIQUE DE L'UTILISATION DE L'HALTEROCHAISE.....	21
3.1. Installation du patient sur l'haltérochaise.....	21
3.2. Choix du type de courbe.....	22
3.3. Détermination du couple maximum.....	22
3.4. Réglage des paramètres de l'haltérochaise.....	22
3.5. Utilisation de l'haltérochaise.....	23
4. Discussion.....	23
5. Conclusion.....	24

Résumé

L'haltérochaise est un appareil de mécanothérapie destiné au renforcement ou à la musculation des muscles de la cuisse. Ce mémoire a pour but d'apporter un support chiffré, permettant une utilisation pratique, précise, et reproductible de cette machine.

Il a été nécessaire de déterminer les éléments à graduer et effectuer cette graduation. Ceci, a permis la création d'abaques, de courbes en fonction des différents paramètres. On peut utiliser l'haltérochaise comme outil de bilan, et chiffrer les progrès effectués par le patient. Le kinésithérapeute peut également choisir le type de travail avec précision (statique, concentrique, excentrique, constant (sur environ 30°), progressif, dégressif) et ce, sur la course articulaire déterminée.

Outre la réalisation de ces abaques, nous proposons une méthode pour quantifier le travail fourni par le muscle (ceci exprimé en joules), ainsi qu'un exemple de l'application pratique de l'haltérochaise calibrée.

Le calibrage de l'haltérochaise et son application en kinésithérapie

1. HALTEROCHAISE ET CALIBRAGE.

1.1. découverte de l'haltérochaise.

L'haltérochaise (fig. 1) est un appareil (1) destiné au renforcement musculaire de deux groupes de muscles. Les fléchisseurs du genou (les ischio-jambier) et les extenseurs du genou (le quadriceps) . Pour se faire, l'appareil est constitué de différents éléments tel que :

Un fauteuil: avec possibilité de régler la profondeur du support de la cuisse permettant de s'adapter à la morphologie du patient (notamment la longueur du fémur).

Un système d'amarrage de la cuisse : utile pour le travail des ischio-jambier

Une barre reliée à un axe et permettant de fixer une masse : « m » à une distance : « Dm » de l'axe. (Nous appellerons cette barre : « barre des masses »). Il y en a une à gauche et une à droite.

Une barre reliée à un axe et permettant de fixer un coussin (qui est l'appui résistant) à une distance : « Dc » de l'axe. (Nous appellerons cette barre : « barre du coussin ».) Il y en a une à gauche et une à droite. Il existe également une petite sangle rattachée au coussin permettant de maintenir le segment jambier contre celui-ci.

L'axe reliant les deux barres (des masses et du coussin) permet, de régler un angle : « a », entre ces deux barres. Il y en a un à gauche et un à droite.

Les pieds de l'haltérochaise sont réglables permettant une augmentation de la surface au sol du polygone de sustentation ,et d'augmenter ainsi la stabilité de l'appareil.

Les masses : sous forme de disques en métal plein de 1 Kg , 2Kg , 5Kg , 10Kg.

Une barre de préhension permettant de faciliter ou de contrôler le déplacement de la charge.

La machine se présente à première vue comme un simple appareil de musculation, dépourvue de tout calibrage interdisant une utilisation précise, chiffrée et reproductible, indispensable au rééducateur ainsi qu'à l'ensemble des utilisateurs de la machine.

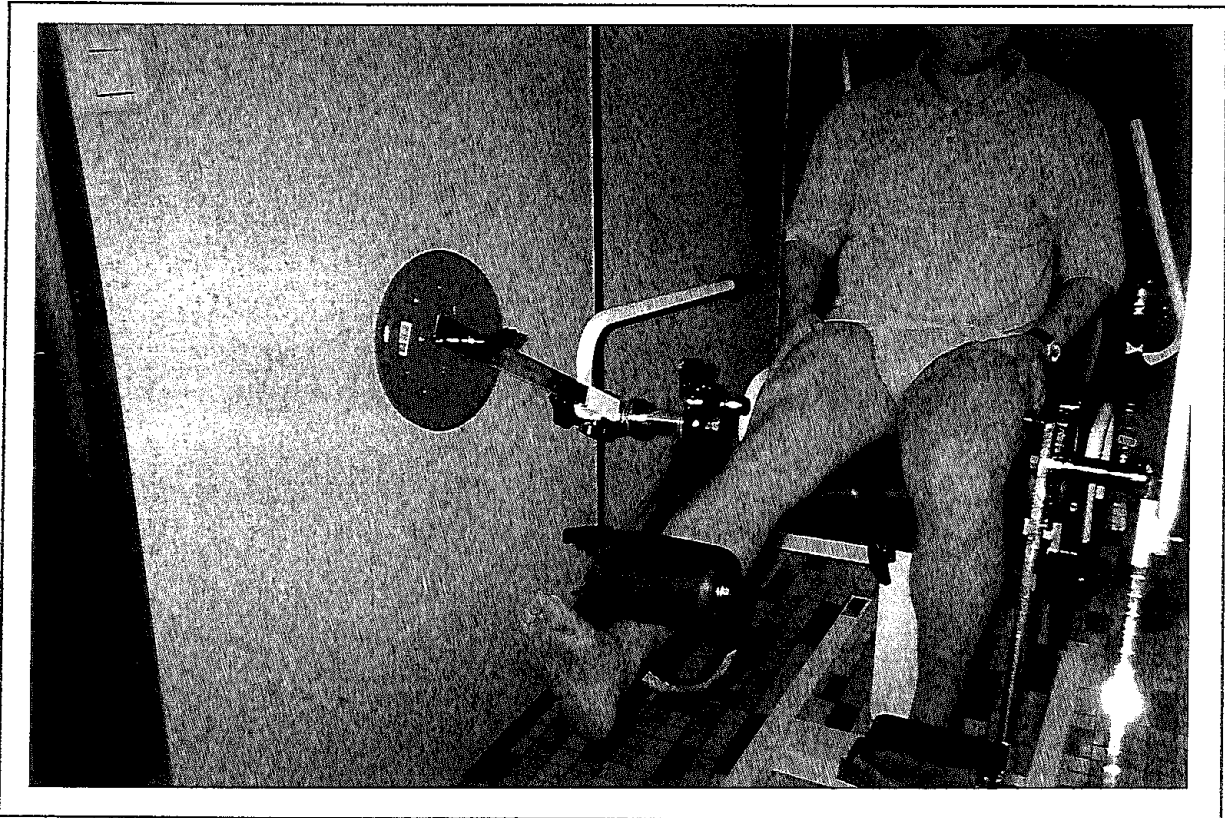


Figure 1 : l'haltérochaise

Nous proposons un calibrage de l'haltérochaise à trois niveaux :

- *la barre des masses
- *la barre du coussin
- *l'angle « a » (entre ces deux barres)

pour différentes raisons :

- * reproduire d'une séance sur l'autre le même

exercice avec ses paramètres propres (malgré l'utilisation du même matériel par d'autres patient) ainsi que de contrôler la progression.

*connaître grâce à l'angle « a » le type de travail pour telle course musculaire permettant de s'adapter aux exigences d'un renforcement musculaire précis.

*chiffrer le travail fourni

Les paramètres de l'haltérochaise sont au nombre de quatre :

*Dm : six graduations

*Dc : six graduations

*a : dix graduations

*m : vingt possibilités

L'utilisateur a donc : $6 \times 6 \times 10 \times 20 = 7200$ possibilités et ce en statique. Si l'on prend en compte l'aspect dynamique on obtient 7200 courbes possibles .

Dans un souci de simplification permettant une utilisation quotidienne par le plus grand nombre nous allons utiliser la notion de couple et plus simplement encore la notion de couple maximum. Ceci nous permet de réduire le nombre de paramètres à deux : Dm et m.

1.2. Notion de couple, couple maximum

Le couple d'une force F est défini (5) par rapport à un axe par le produit de la distance de cette force à l'axe de rotation (exprimé en mètre) et la valeur de la force (4) (exprimée en newton) appliqué orthogonalement à la droite passant par le point d'application de F et l'axe.

Le moment ou couple de F par rapport à l'axe = $\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{F})$

Df = distance du point d'application de force F à l'axe de rotation .

D'où : $\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{F}) = \vec{F} \cdot Df \cdot \cos \alpha'$

(voir annexe 2, schéma 1)

Le couple que le patient aura à fournir est déterminé par la barre des masses.

Le couple tient compte de trois paramètres : - Dm

- masse : m

- l'angle « α » : que fait la barre des masses par

rapport à la verticale (voir annexe 2, schéma 2)

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} \quad (g = \text{accélération de la pesanteur})$$

$$\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{p}) = \vec{P} \cdot Dm \cdot \cos \alpha$$

$$= m \cdot g \cdot Dm \cdot \cos \alpha$$

Une fois les paramètres (m, Dm) réglés on constate que le couple est proportionnel à $\cos \alpha$

Or, $\cos \alpha$ varie entre 0 et 1. Lorsque la barre des masses se trouve à la verticale,

$$\cos \alpha = \cos 90$$

$$= 0. \text{ D'où, } \mathcal{M}(\text{axe}, \vec{p}) = 0.$$

Lorsque la barre des masses se trouve à l'horizontale (parallèle au sol)

$$\cos \alpha = \cos 0$$

$$= 1$$

$$\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{p}) = m \cdot g \cdot Dm$$

On notera (m. g. Dm) : « \mathcal{M}_{max} ».

Le couple varie entre 0 et \mathcal{M}_{max} .

Nous allons raisonner en fonction du couple maximum que le patient pourra développer et celui-ci sera atteint lorsque la barre des masses sera parallèle au sol.

En fixant m (20 possibilités), Dm (6 possibilités) on obtient $6 \times 20 = 120$ valeurs possibles du couple maximum.

La position 1 correspond à une distance de m par rapport à l'axe : $Dm = 0,08$ mètre

La position 2 : $Dm = 0,16$ mètre

La position 3 : $Dm = 0,24$ mètre

La position 4 : $D_m = 0,32$ mètre

La position 5 : $D_m = 0,40$ mètre

La position 6 : $D_m = 0,48$ mètre

(voir fig.2)

Exemple : on prend $g = 10 \text{ m. s}^{-2}$, $m = 15 \text{ kg}$ et la position 6

$$\begin{aligned} \text{on a } \mathcal{M}_{\text{max.}} &= m \cdot g \cdot D_m \\ &= 15 \cdot 10 \cdot 0,48 \\ &= 72 \text{ Nm} \end{aligned}$$

valeur du couple maximal exercé sur le genou en N. m						
masse en kg	repère de position sur la barre					
	1	2	3	4	5	6
1	0,8	1,6	2,4	3,2	4	4,8
2	1,6	3,2	4,8	6,4	8	9,6
3	2,4	4,8	7,2	9,6	12	14,4
4	3,2	6,4	9,6	12,8	16	19,2
5	4	8	12	16	20	24
6	4,8	9,6	14,4	19,2	24	28,8
7	5,6	11,2	16,8	22,4	28	33,6
8	6,4	12,8	19,2	25,6	32	38,4
9	7,2	14,4	21,6	28,8	36	43,2
10	8	16	24	32	40	48
11	8,8	17,6	26,4	35,2	44	52,8
12	9,6	19,2	28,8	38,4	48	57,6
13	10,4	20,8	31,2	41,6	52	62,4
14	11,2	22,4	33,6	44,8	56	67,2
15	12	24	36	48	60	72
16	12,8	25,6	38,4	51,2	64	76,8
17	13,6	27,2	40,8	54,4	68	81,6
18	14,4	28,8	43,2	57,6	72	86,4
19	15,2	30,4	45,6	60,8	76	91,2
20	16	32	48	64	80	96

Figure 2 : Tableau du couple maximum

On remarque que sur le tableau de la figure 2, il y a de nombreux couples identiques. Par conséquent, il y a 65 possibilités de couples différents allant de 0,8 Nm à 96 Nm.

Nous pouvons proposer sur une base de 100, de répertorier les résultats successifs du patient. Ceci permettra de chiffrer de manière parlante les progrès du patient ou de l'utilisateur de la machine.

1.3. La position du coussin.

A l'équilibre (en statique ou bien à vitesse angulaire constante) on a :

La somme des moments appliqués au solide est nulle. Les forces en présence sont, \vec{R} : la résistance de la barre sur la jambe et \vec{F} : la force de la jambe contre la barre des coussins (fig. 3) \vec{F} et \vec{R} sont perpendiculaires à la barre des coussins.

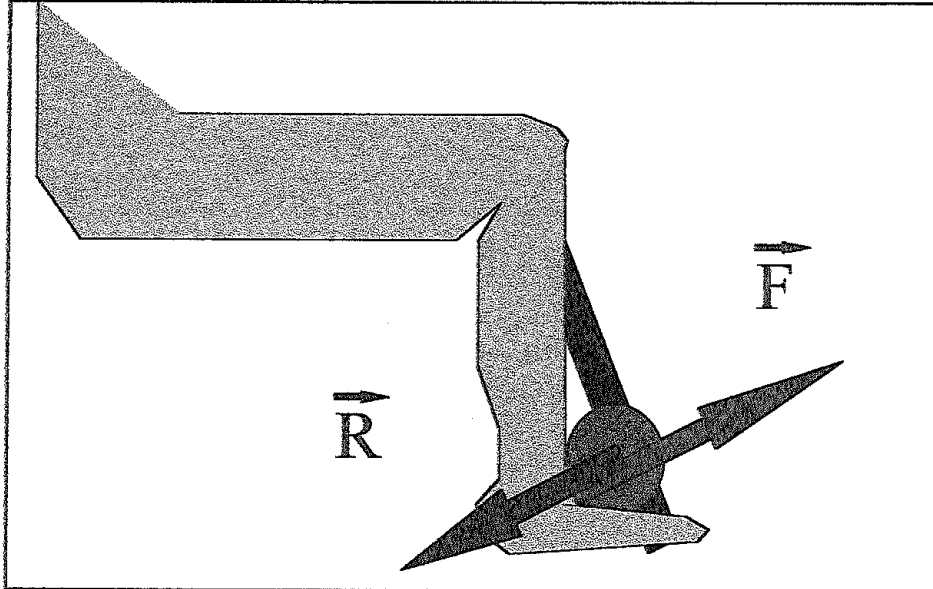


Figure 2 : Equilibre des forces

Nous avons $\mathcal{M}_{(\text{axe}, \vec{F})} + \mathcal{M}_{(\text{axe}, \vec{R})} = 0$

$$\mathcal{M}_{(\text{axe}, \vec{F})} = - \mathcal{M}_{(\text{axe}, \vec{R})}$$

Cela signifie qu'il y a un moment moteur (\vec{F}) et un moment résistant (\vec{R}) opposé à ce dernier (expliqué par la présence du signe négatif). D'autre part, la barre des coussins et la barre des masses sont fixées au même axe, le moment résistant contre lequel doit lutter le muscle est celui exercé par la barre des masses.

$$\text{D'où : } \mathcal{M}_{(\text{axe}, \vec{p})} = \mathcal{M}_{(\text{axe}, \vec{R})}$$

$$\begin{aligned} \text{En valeur absolue } |\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{F})| &= |\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{R})| \\ &= |\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{p})| \end{aligned}$$

$$\text{Donc : } R \cdot D_c = m \cdot g \cdot D_m \cdot \cos \alpha$$

$$R = \frac{m \cdot g \cdot D_m \cdot \cos \alpha}{D_c}$$

Lors d'un exercice, m et Dm sont fixés ,g étant une constante seul varie Cos α

On remarque que \vec{F} (la résistance appliquée par le coussin sur la jambe) est inversement proportionnelle à la position du coussin. La force F sera d'autant plus forte que le coussin sera proche de l'axe.

Exemple : prenons Cos $\alpha = 1$

$$F = \frac{m \cdot g \cdot D_m}{D_c}$$

$$R = \frac{\text{constante}}{D_c}$$

Pour $D_c = 0,5$ mètres on a : $R = 2$ fois la constante

$D_c = 0,25$ mètres on a : $R = 4$ fois la constante

Pour le même couple maximum fixé au départ : $R = 2$ fois R

Au niveau de la jambe, la sensation perçue par le patient (pour un même couple maximum) est d'autant plus importante que le coussin est placé de façon proximale. De plus, si l'on isole le système comprenant la jambe et la cuisse (fig. 3) , par définition celui-ci est en équilibre.

Les forces extérieures appliquées à ce système sont :

_ L'appui du coussin sur la jambe : \vec{R}

_ Le contre appui de la chaise sur la cuisse : \vec{R}'

$$\text{D'ou, } \vec{R} + \vec{R}' = \vec{0}$$

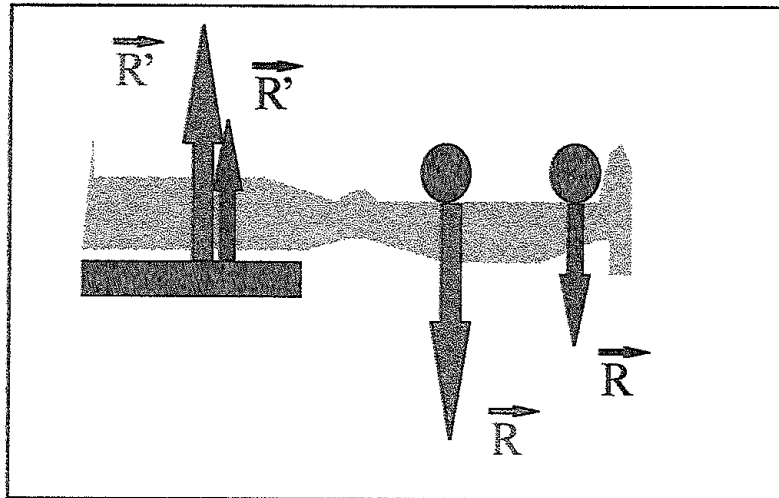


Figure 3 : Système isolé de la cuisse et de la jambe

Nous avons vu que lorsque D_c augmente, R augmente, et qu'en valeur absolue $R' = R$. En conséquence, plus le coussin est placé proche de l'axe, plus la cuisse est comprimée sur la chaise. Ceci contribue à un confort encore diminué. Mais pour le quadriceps, sa force de traction ne varie pas, si l'on fait varier seulement la position du coussin (fig. 4). En effet, l'axe du genou étant superposé à celui des deux barres, et le couple développé par le quadriceps est donné par $Q \cdot D$ (distance entre la rotule et l'axe du genou).

$$\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{Q}) = Q \cdot D$$

$$\mathcal{M}(\text{axe}, m) = \mathcal{M}(\text{axe}, \vec{R}).$$

Et D étant invariable, la force de traction \vec{Q} ne varie pas également.

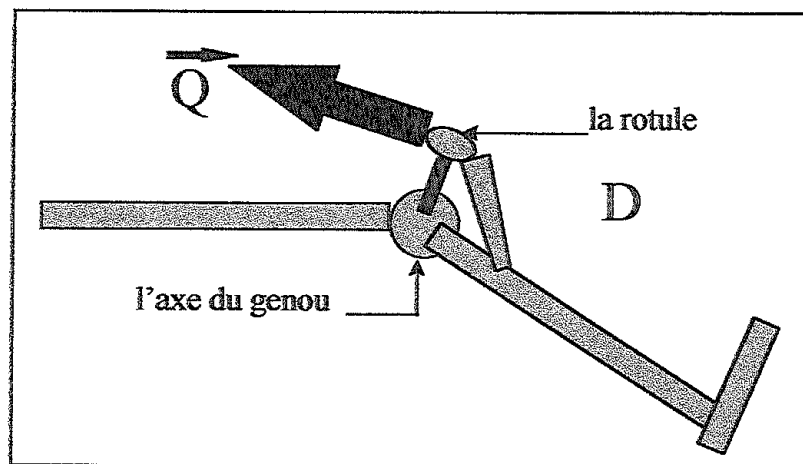


Figure 4 : Le couple développé par le quadriceps

Mis à part les contres indications telles que, les plasties du ligament croisé antérieur où il est d'usage d'utiliser des leviers courts (proche de l'axe du genou) (2), ou lors d'une fracture distale du tibia gênant l'application du coussin. La position de celui-ci n'ayant aucune influence sur le travail du muscle (quadriceps), il est préférable pour une questions de confort de placer le coussin le plus loin possible de l'axe du genou.

1.4. Notion de travail « dynamique ».

Il faut différencier le terme « dynamique » au sens physique de celui couramment utilisé en kinésithérapie. Le concept de « dynamique » au sens physique tient compte de l'accélération. Partons du principe que le mouvement s'effectue à vitesse constante pour un point fixe sur la barre. (fig. 5). L'accélération d'un point fixe (ayant un mouvement circulaire) : \vec{a} , possède deux composantes. Une accélération tangentielle : \vec{a}_t , et une accélération centripète : \vec{a}_c . Par définition : $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_c$. \vec{a}_t représente la dérivée de la vitesse par rapport au temps ($\vec{a}_t = \frac{d\vec{v}}{dt}$). La vitesse étant constante, \vec{a}_t est donc nulle.

L'accélération centripète est non négligeable mais compensée par la réaction de l'axe (\vec{r}).

$$(\vec{a}_c + \vec{r} = \vec{0}, \text{on a donc } a_c = -\vec{r})$$

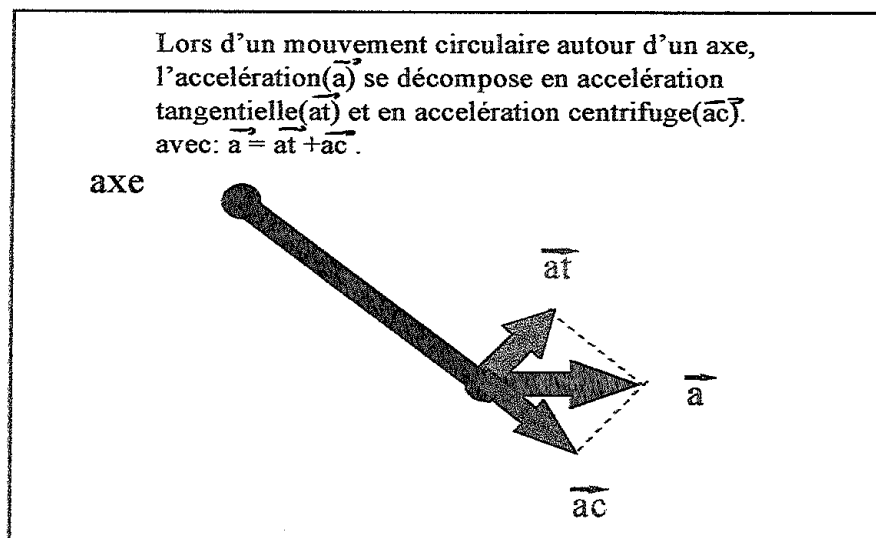


Figure 5 : décomposition du vecteur accélération

Pour l'haltérochaise a est négligeable car $\frac{d\vec{v}}{dt} \ll g$. A chaque instant, le mouvement peut être considéré comme « statique » au sens physique du terme.

Le sens kinésithérapique se place au niveau des membres et qualifie de « dynamique » tout mouvement entraînant un balayage articulaire : il s'agit d'un abus de langage. ceci correspond au terme physique de « cinématique ».

1.5. Aspect cinématique du mouvement en fonction de la course musculaire et du réglage de l'angle a .

Le référentiel utilisé est : _ L'origine correspond à : l'axe de rotation de la barre des coussins

_ L'abscisse correspond à l'horizontale.

_ L'ordonnée correspond à la verticale.

Il faut également déterminer la position de référence qui est l'extension du genou (la jambe étant à l'horizontale). soit b , l'angle entre la barre des coussins et l'horizontale, le sens positif de rotation est déterminé de façon arbitraire vers le bas (fig. 3).

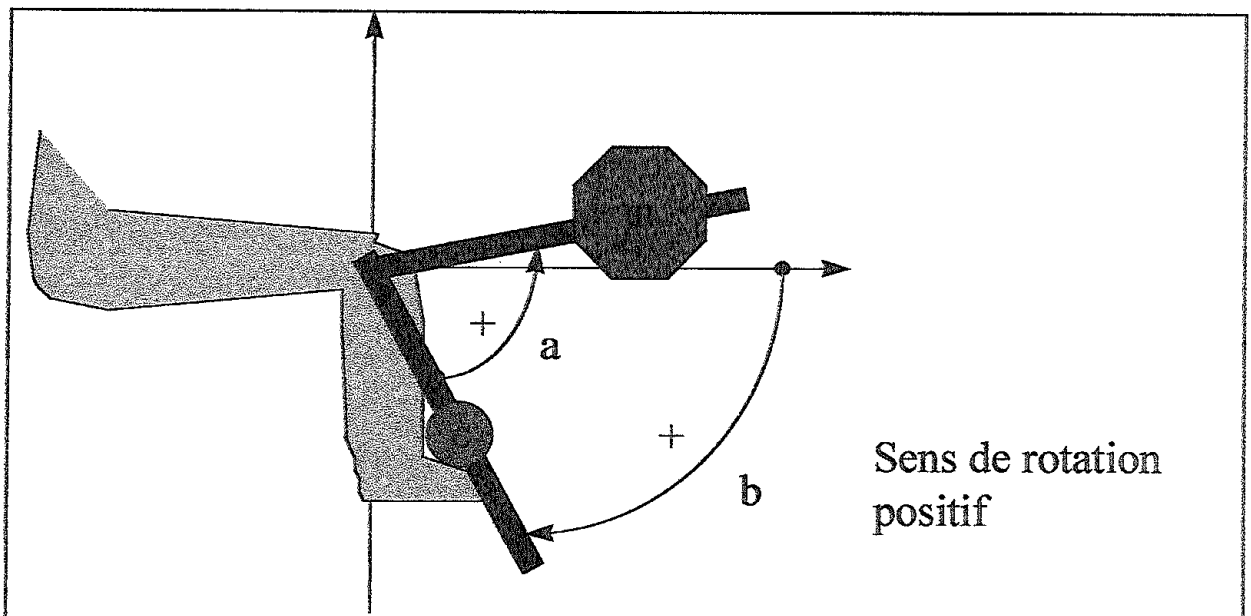


Figure 3 : Sens de rotation

Remarque : ce choix se justifie non pas pour faciliter les calculs physiques, mais pour

favoriser l'utilisation des abaques ainsi qu'une harmonie de langage. b est égale à l'angle de flexion du genou (langage couramment utilisé en kinésithérapie).

Puisque l'on peut raisonner en statique, à chaque instant : $\mathcal{M}(\text{axe}, m) = \mathcal{M}(\text{axe}, \vec{F})$.

F étant la force exercée par la jambe sur le coussin. Par définition $\mathcal{M}(\text{axe}, m) = m \cdot g \cdot Dm \cdot \cos \alpha$.

α étant l'angle entre l'horizontale et la barre des masses).

Nous pouvons dire que : $\alpha = b - a$ (voir annexe 3)

$$\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{p}) = m \cdot g \cdot Dm \cdot \cos(b - a)$$

$$\text{D'où } \mathcal{M}(\text{axe}, \vec{F}) = m \cdot g \cdot Dm \cdot \cos(b - a)$$

Les points remarquables d'une courbe vont être, le moment (ou couple) maximum atteint et le moment minimum.

Le couple maximum est obtenu pour: $\cos(b - a) = 1$

$$b - a = 0$$

$$b = a$$

Le couple minimum est obtenu pour: $\cos(b - a) = 0$

$$b - a = 90 \text{ ou } -90$$

$$b = 90 + a \text{ ou } b = a - 90$$

avec $0 < b < 130$ degrés.

Il suffit de régler l'angle a pour déterminer le couple à exercer par le muscle en fonction de sa course musculaire (b)

Le $\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{F})$ doit être positif, la force s'exerce d'arrière en avant: ainsi seul le quadriceps travaille. lorsque le moment devient négatif, la jambe perd le contact avec le coussin (la jambe étant placée en arrière du coussin).

Pour le travail des ischio-jambier, la jambe sera placée en avant du coussin et le moment de

F devra être négatif pour que le contact de la jambe sur le coussin soit possible.

1.5.1. Pour le quadriceps :

$$\begin{aligned} \mathcal{N}(\text{axe}, \vec{F}) &= m. g. Dm. \cos(b - a) \\ &= \mathcal{N}_{\text{max.}} \cos(b - a) \end{aligned}$$

et $\mathcal{N}(\text{axe}, \vec{F})$ doit être supérieur ou égal à 0 donc, $0 < \cos(b - a) < 1$

$\cos(b - a)$ correspond à un pourcentage : « x » de $\mathcal{N}_{\text{max.}}$. On obtient ce pourcentage en faisant l'opération suivante : $x = 100 \cdot \cos(b - a)$. (voir annexe 4)

L'on peut ainsi réunir sur un même graphique les différentes courbes de couples en fonction du pourcentage du couple maximum, du débattement articulaire, ainsi que le réglage de l'angle a (voir annexe 5). Le travail du quadriceps est dit concentrique lorsque les insertions de ce muscle se rapprochent, donc lorsque b décroît (de 90 à 0 par exemple) ceci correspond à l'action d'extension du genou. Le travail du quadriceps est dit excentrique lorsque (malgré la contraction opposée au mouvement) les insertions de ce muscle s'éloignent, lorsque b croît (de 0 à 90 par exemple), ceci correspond à une activité freinant la flexion du genou réalisée par le quadriceps.

Pour a = 0 : les deux barres sont parallèles. En mode concentrique, l'on constate que le couple part de 0 jusqu'à obtenir 100 pour 100 du couple maximum lors de l'extension complète (c'est à dire en course interne du quadriceps). L'effort à fournir par le muscle croît progressivement jusqu'à devenir maximal. En mode excentrique (b croît), on constate que le couple part de 100 pour 100 du couple maximum jusqu'à devenir nulle.

L'effort à fournir par le muscle décroît progressivement jusqu'à devenir égale à 0. Remarque : grâce à la barre de préhension, on peut utiliser le mode concentrique seul, le mode excentrique seul, et on constate alors en mode concentrique une augmentation progressive de

l'effort et en excentrique, le maximum de l'effort est demandé aux premiers instants du mouvement puis décroît. Le premier mode de contraction correspond plus à un recrutement progressif des unités motrices. Le second mode de contraction correspond plus à un travail « explosif ». Les deux modes pouvant être utilisés successivement dans un même mouvement de flexion - extension.

__ Pour $a = 45$: Les deux barres sont séparées d'un angle de 45 degrés. En concentrique, le couple croît progressivement jusqu'à devenir maximal pour $b = a = 45$, puis décroît jusqu'à l'extension complète du genou ($b = 0$). En excentrique, le couple croît pour $0 < b < 45$ et devient maximal pour $b = 45$ puis décroît jusqu'à la flexion complète ou il devient nul ($b = a + 90 = 135$ degrés). Remarque : pour une course musculaire du quadriceps de 90° ($0 < b < 90$) on remarque que le couple varie relativement peu et est toujours supérieur à 70% du couple maximum.

_ Pour $a = 90^\circ$: les deux barres sont séparées d'un angle de 90° . En concentrique, le couple croît jusqu'à ce que $b = 90^\circ$ (durant une faible course du muscle (la course externe)) puis décroît pour $0 < b < 90$ et devient nul pour $b = 0$. En excentrique : le couple croît progressivement pour $0 < b < 90$ et est maximum pour $b = 90^\circ$ puis décroît sur la course externe du muscle.

Remarque : En mode concentrique (sur la course $0 < b < 90$) on a plutôt un travail « explosif », et en mode excentrique plutôt un recrutement progressif des fibres.

1.5.2. Pour les ischio-jambier.

La jambe doit être placée en avant du coussin, et la force F doit s'exercer d'avant en arrière (pour obtenir une flexion du genou). Soit, en sens inverse à celui utilisé pour le quadriceps (déterminé arbitrairement comme étant positif). D'où, pour maintenir le contact entre le genou

et le coussin, $\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{F})$ doit être négatif. Or $\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{F}) = m \cdot g \cdot Dm \cdot \cos(b - a)$.

$$= \mathcal{M}_{\text{max}} \cdot \cos(b - a)$$

D'où, $-1 < \cos(b - a) < 0$. Avec $\cos(b - a)$ correspondant (tout comme pour le travail des ischio-jambier) à un pourcentage du couple maximum : « x », $x = 100 \cos(b - a)$. On peut réunir sur un même graphique les différentes courbes des couples en fonction de x, et des angles a et b. $\cos(b - a) < 0$ donc, $90^\circ < (b - a) < 270^\circ$. Pour garder un débattement articulaire suffisant (supérieur à 90°), l'on prendra $-180^\circ < a < -90^\circ$. On prendra comme valeurs pour a, -90° , -112.5° , -135° , -157.5° , -180° . (voir annexe 6). On remarque qu'en valeur absolue, les tableaux du pourcentage du couple maximum (des ischio-jambier, et du quadriceps) sont exactement superposables.

a = -180° correspond à a = 0 pour le quadriceps.

a = -157.5° correspond à a = 22.5° pour le quadriceps.

a = -135° correspond à a = 45° pour le quadriceps.

a = -112.5° correspond à a = 67.5° pour le quadriceps.

a = -90° correspond à a = 90° pour le quadriceps.

Les courbes du couple en fonction de a et b, sont identiques à celui du quadriceps.

1.6. La notion de travail musculaire.

Le travail effectué par le muscle utilisé (quadriceps ou ischio-jambier) correspond à une énergie (l'unité internationale étant le joule). Ce travail correspond en physique au déplacement d'un objet, d'un point « A » à un point « B ». Le travail effectué pour amener cet objet de masse « m », de « A » en « B » est : $W(A, B) = m \cdot g \cdot (h_B - h_A)$. (annexe 7)

Pour un mouvement circulaire on peut exprimer le travail en fonction, du couple exercé par le muscle et de « b ». Par définition : $W = \mathcal{M}(\text{axe}, \vec{F}) \cdot x \cdot b$. Or le couple $\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{F})$ varie en

fonction de « b » (le couple n'est pas constant lors du mouvement). Remarque : le travail correspond à l'aire située sous la courbe du couple compris entre les angles de départ et d'arrivée.

$$\begin{aligned} \text{Le travail (W)} &= \int_{b_1}^{b_2} F \cdot db \\ W &= \mathcal{N} \max. \int_{b_1}^{b_2} -\text{Cos}(b-a) db \\ W &= \mathcal{N} \max. [\text{Sin}(b-a)]_{b_1}^{b_2} \\ W &= \mathcal{N} \max. [\text{Sin}(b_2-a) - \text{Sin}(b_1-a)] \end{aligned}$$

Il s'agit là, d'un travail élémentaire pour un aller ou un retour. Pour « n » passages (aller ou retour) : $W_n = n \cdot \mathcal{N} \max. [\text{Sin}(b_2-a) - \text{Sin}(b_1-a)]$

1.6.1. exemple n°1

Pour travailler le quadriceps d'un patient dans l'amplitude de flexion $45^\circ < b < 90^\circ$, avec un couple maximum de 20 Nm (m=5Kg, position 5) et $a = 45^\circ$. On obtient pour une contraction : $W = 20 \cdot [\text{Sin}(45-45) - \text{Sin}(90-45)]$

$$W = 20 \cdot [0 - 0.707]$$

$$W = 14,14 \text{ joules}$$

1.6.2. exemple n°2

Pour travailler les ischio-jambier d'un patient dans l'amplitude de flexion $0^\circ < b < 90^\circ$, avec un couple maximum de 24 Nm (m=5Kg, en position 6) et $a = -135^\circ$. On obtient pour une contraction : $W = 24 \cdot [\text{Sin}(0+135) - \text{Sin}(90+135)]$

$$W = 24 \cdot [0.707 + 0.707]$$

$$W = 33.94 \text{ joules}$$

2. Applications kinésithérapiques.

2.1. Rappels sur le fonctionnement du muscle et ses qualités.

2.1.1. éléments histologiques :

Le muscle est constitué de nombreuses cellules musculaires regroupées elles même en unité motrice, c'est à dire qu'un certain nombre de fibres musculaires sont innervées par un même motoneurone .L'organisation du muscle en unités motrices implique que toute les fibres d'une unité motrice possède les mêmes propriétés physiologique ,histochimique , etc puisqu'il est actuellement admis que ses propriétés s'établissent sous le contrôle du système nerveux.

L'élément contractile de la cellule musculaire est la myofibrille. Chaque myofibrille est constituée d'une succession de sarcomères (entité de mécanique élémentaire) eux-mêmes formés de deux sortes de myofilaments (les molécules de myosine (filaments primaires) et les molécules d'actine F (filaments secondaires)). Les filaments secondaires sont disposés à la périphérie des filaments primaires. La contraction musculaire est obtenue par le coulisement de la molécule de myosine entre les molécules d'actine ceci à pour effet le rapprochement de deux stries Z consécutives (le sarcomère se raccourcit).La disposition des myofilaments dans le sarcomère explique qu'un sarcomère, une fibre ou un muscle dans son entier ne peut pas développer la même force sur toute la longueur du muscle. En effet, la force est maximale lorsque le sarcomère possède le maximum de ponts actine-myosine . De part et d'autre de cette course optimale, la force maximale du muscle décroît .Il existe différents types de fibres musculaire : _ Les fibres type 1 :sont des fibres rouges ayant un métabolisme essentiellement oxydatif (riche en glycogène , triglycérides et en mitochondries). Elle sont entourées d'un réseau capillaire très important, pour une augmentation des échanges respiratoires. Ce sont donc des fibres lentes peu fatigables permettant l'exécution d'exercices prolongés. Ces fibres sont activées par des motoneurones à vitesse de conduction réduite , à seuil d'activation

bas de telle sorte qu'elles se trouvent utilisées de façon préférentielle lors de contraction de faible niveau. On les trouve chez des personnes ayant un entraînement dit en « endurance ».

_Les fibres type 2 : ce sont des fibres blanches ayant un métabolisme essentiellement glycolitique (riche glycogène, peu de triglycérides et peu de mitochondries). Le réseau capillaire est peu développé .Ces fibres sont activées par des motoneurones à vitesse de conduction rapide. Ce sont donc fibres rapides, fournissant une tension élevée mais vite fatigable. Elle permettent l'exécution d'exercices brefs et intenses . On les trouve plus chez les personnes ayant un entraînement dit en « résistance ». Il faut faire la distinction entre plusieurs types de fibres 2 : 2b = se sont les plus rapides et les plus fatigables

2a = sont les moins rapides et moins fatigables que les fibres 2b (elles se rapprochent plus des fibres 1).

Il existe également des fibres de transition :

_2ab : les fibres de type elles se situent par leurs caractéristiques entre les fibres 2a et les fibres 2b, pouvant en fonction du type d'entraînement évoluer vers un profil correspondant aux fibres 2b (résistance) ou aux fibres 2a (endurance).

_les fibres de type 2c : correspondraient au passage de fibres 1 à des fibres 2a. Certains auteurs, pensent qu'il s'agit de fibres qui correspondraient à des formes en décomposition évoluant vers la mort (suite à un traumatisme musculaire).

2.1.2. Qualités du muscle.

Le muscle possède trois propriétés essentielles qui sont : l'excitabilité, l'élasticité, et la contractilité.

2.1.2.1. L'excitabilité :

est la possibilité qu'à un muscle suite à une stimulation de type électrique, portée sur le muscle ou le nerf moteur, de donner une réponse mécanique.

2.1.2.2. L'élasticité :

est la capacité qu'à la cellule de se déformer sous l'influence d'une force extérieure et de revenir à sa position initiale à l'arrêt de celle-ci.

2.1.2.3. La contractilité :

est la capacité qu'à le muscle de se contracter. Ceci peut s'effectuer selon différents modes :

_ Le mode isométrique : les deux extrémités du muscle sont fixes (la longueur du muscle ne varie pas). La stimulation du muscle crée une force qui tend à les rapprocher sans y parvenir.

_ Les modes anisométriques : une des deux extrémités du muscle est libre. Il y aura mouvement (variation de longueur du muscle). Soit la stimulation crée une force supérieure à la force extérieure, le muscle se raccourcira (ira vers la course interne) : c'est le mode concentrique. Soit la stimulation crée une force inférieure à la force extérieure, le muscle sera, malgré la contraction de celui-ci, allongé (il ira vers la course externe du muscle) : c'est le mode excentrique. Remarque : la pliométrie est la succession d'une contraction excentrique et d'une contraction concentrique.

L'étirement du muscle préalablement à la contraction concentrique augmente le rendement musculaire (on se sert de l'élasticité musculaire que l'on emmagasine sur le mode excentrique, puis que l'on restitue lors du mode concentrique).

2.2. Les buts de la rééducation face à un déficit musculaire.

La rééducation, face à un muscle traumatisé, insuffisant, sidéré, etc, se doit de rétablir le

muscle dans sa fonction et les capacités qui étaient les siennes antérieurement au traumatisme (ou identique au côté sain). Il faut redonner au muscle toutes ses qualités élastiques et contractiles, permettant à celui-ci de développer force, puissance et endurance .Il faut éviter la spécificité : pour cela, le muscle doit travailler de façon diversifiée. Utiliser les différents modes de contraction (concentrique, excentrique, statique), les différentes filières énergétiques (aérobie pour l'endurance et anaérobie pour le travail en « résistance »).

2.3. Rééducation et haltérochaise.

2.3.1. Conditions d'applications générales.

2.3.1.1 confort d'utilisation :

_ Pour le patient : Le siège est confortable , l'assise étant réglable en profondeur ceci permet que le maximum de surface de la cuisse du patient soit en contact avec le fauteuil .

_ Pour le kinésithérapeute : Rapidité de mise en place de l'installation d'un patient à l'autre. Les réglages s'effectuent en vissant et dévissant des poignées. Précision : tout peut être réglé(profondeur de cuisse, le point d'appui du coussin, l'axe de rotation des barres(au niveau de l'axe du genou), l'angle α (suivant le travail musculaire désiré), le couple maximum(en fonction de l'intensité du travail désiré) permettant de s'adapter au mieux à la morphologie du patient quelque soit celle-ci. Permettre au kinésithérapeute comme au patient de régler la machine, de manière identique à la fois précédente grâce aux graduations des barres et de l'angle entre celles-ci.

2.3.1.2. .sécurité.

_La stabilité de la machine : le socle est pourvue de barres stabilisatrices escamotables pouvant augmenter le polygone de sustentation de l'haltérochaise , ce qui permet d'éviter sa chute lorsqu'une grosse charge est utilisée.

_ Choisir l'arc du débattement articulaire que l'on désire utiliser et ainsi condamner le débattement que l'on trouve inutile voir dangereux pour le patient. Ceci peut se faire grâce à un jeu de clips (deux pour chaque axe de rotation des barres) faisant office de butées déterminant le début et la fin du débattement articulaire choisis.

_ Il y a une poignée reliée à la barre des masses qui doit être placée à proximité du patient(à portée de main) pour qu'il puisse le cas échéant soulager(ou annuler) le couple s'exercent sur sa jambe(permettant au patient d'éviter de se blesser ou de réveiller un processus douloureux.

_ Le coussin étant réglable(Dc) ,on peut éviter une contre-indication(exemple : greffe, fracture non consolidée, etc) en plaçant le coussin en amont de celle-ci.

2.3.1.3. Efficacité :

La fixation du segment fémoral par l'intermédiaire d'un coussin concave cintré par une tige métallique venant s'arrimer à la chaise lors de la sollicitation des ischio-jambier permet une augmentation des performances.

2.3.2. conditions d'applications particulières.

2.3.2.1. La rééducation découle d'un bilan précis et personnalisé.

Nous permettant de déceler : _ les contre-indications : Le passage d'un arc douloureux, la position de la fracture(le coussin doit être placé en amont), arthrose(on privilégiera le travail statique), etc

_ les indications : suivant les activités du sujet, on privilégiera un travail plutôt en endurance, en force, etc

Remarque : Il faut que le muscle (quadriceps, ischio-jambier) soit capable de travailler contre la pesanteur(à la cotation 3, voir 4 de testing) pour que l'haltérochaise soit utilisable.

La somme de ses indications et ses contre-indications , permet au kinésithérapeute de faire

des choix et de régler la machine en fonction de ceux-ci.

2.3.2.2. Les abaques permettent de déterminer le couple maximum développé par le muscle. Les courbes permettent de connaître en fonction de l'angle b et de l'angle a , le pourcentage de ce couple maximum. Ceci nous permet de choisir le type d'effort fourni (progressif, dégressif, ou le plus stable possible) ainsi que le travail fourni par le patient.

2.3.2.3. Haltérochaise et bilan.

L'utilisation de l'haltérochaise peut et doit faire suite à un bilan précis, mais celle-ci peut également compléter le bilan par un apport chiffré très intéressant et ce, à plusieurs niveaux : le couple maximal permet de montrer les progrès du muscle dans le domaine de la puissance. Le travail, quantifié en joules, permet de donner une idée globale de la qualité du muscle et de sa progression. Pour la notion de couple, on utilise le newton-mètre (N. m) qui est l'unité du système international utilisée également par les appareils d'isocinétisme. Suite à un bilan isocinétique, on peut déterminer les capacités de travail du muscle en fonction de la course articulaire. Ceci permet en superposant le travail avec l'haltérochaise à ce bilan, de se rapprocher des exigences du muscle et de le faire travailler dans sa course articulaire déficiente ou de l'éviter si il s'agit par exemple d'un arc douloureux.

3. EXEMPLE PRATIQUE DE L'UTILISATION DE L'HALTEROCHAISE.

3.1. Installation du patient sur l'haltérochaise.

Le patient est assis sur le fauteuil de l'appareil, les lombaires bien plaquées contre le dossier, l'assise doit être réglé (grâce à une vis) de façon à ce que les trois-quarts proximaux du segment fémoral soit en contact avec le fauteuil. Il faut régler l'axe de rotation des barres de façon à ce que celui-ci se situe exactement en regard de l'axe du genou.

Le coussin doit être placé en fonction de la pathologie (traumatique, ligamentaire,.....) tout en

se souvenant que pour un même effort musculaire le confort d'utilisation est maximum lorsque le coussin est placé le plus distalement possible.

3.2. Choix du type de courbe.

A l'aide des courbes de l'annexe 5, l'on choisit à quelle course de flexion du genou (b) appliquer le couple maximum et l'amplitude de la course articulaire (b).

Prenons comme exemple le travail du quadriceps pour un renforcement musculaire dans la course articulaire $0^\circ < b < 90^\circ$, et que le couple maximum soit appliqué de façon à reproduire la physiologie : 60° de flexion, nous prenons donc $a = 60^\circ$.

3.3. Détermination du couple maximum.

_ On utilise un statergomètre ou un pèse personne, le patient doit pousser très fort contre celui-ci, on note, la distance « d » entre le point d'appui sur la jambe et l'axe du genou (exprimée en mètres) ainsi que la force appliquée en kilogramme « m' » (équivalant à une masse). On a : $\mathcal{M}_{\max} = m' \cdot g \cdot d$ ($g = 10 \text{ m. s}^{-2}$) exprimé en newton-mètre.

_ On peut déterminer la « 1Rm » qui sera exprimée en newton-mètre par la méthode d'essais-erreur. On prend une masse de départ, que l'on place à une position donnée, puis on demande au patient d'exercer le mouvement dans toute l'amplitude du mouvement. On augmentera soit la charge, soit la position de la masse sur la barre d'un ou plusieurs crans. Par exemple, la masse obtenue est 3 kg, en position 3, ceci correspond à 24 newtons-mètres (lu sur le tableau de l'annexe 3)

3.4. Réglage des paramètres de l'haltérochaise

_ Pour régler l'angle « a » : on laisse la barre des masses à la verticale, on dévisse la barre des coussins que l'on place en avant de la barre des masses pour obtenir $a > 0$. On amène la barre des coussins en arrière de la barre des masses pour obtenir $a < 0$. Dans le cas présent on place la barre des coussins en avant de la barre des masses avec un angle de 45° .

_ Pour la masse « m », et « Dm » : le couple de travail est choisi par exemple (2) pour la

première série de 10 mouvements avec $\frac{1}{2}$ de la 1Rm soit , 12 Nm, on placera 15 Kg en position 1. Pour la deuxième série on prendra les $\frac{2}{3}$ de la 1Rm soit 16 Nm, on placera alors 20 kg en position 1. Pour la troisième série on prendra les $\frac{3}{4}$ de la 1Rm, soit 18 Nm, on placera 11 Kg en position 2 correspondant à 17,6 Nm qui est le plus proche de 18.

3.5. Utilisation de l'haltérochaise

Avant le début du travail il faut s'assurer que celui-ci sera exercé avec le maximum de sécurité : - Impossibilité d'aller dans les arcs articulaires que le thérapeute estime dangereux grâce à la fixation de clips limitant ainsi l'amplitude « b » (débattement articulaire du genou)

- Que la poignée fixée à la barre des masses soit placée à portée de main du patient (pour permettre à celui-ci de la saisir en cas de dangers).

Lors de la première utilisation de l'haltérochaise, on note le couple maximum obtenu (nous l'appellerons « x »)

La progression sera constatée au cours des semaines d'utilisation par comparaison des 1Rm successivement obtenu. A la dernière utilisation, on note le couple maximum obtenu (nous l'appellerons « x' »), par exemple : on obtient $x' = 60\text{Nm}$.

On peut ainsi quantifier la progression du muscle en faisant $((x' - x) / x) \times 100 =$

$$((60 - 24) / 24) \times 100 = 150$$

La progression a donc été de 150%.

4. Discussion.

L'utilisation d'une machine avec des patients par des professionnels ne peut être laissé au hasard, il fallait donc redonner à l'haltérochaise la place qu'elle mérite en la rendant exploitable dans sa fonction de bilan et d'outil de rééducation des muscles de la cuisse. Ceci grâce aux graduations, aux abaques, aux courbes, à la formule permettant le calcul du travail en joules, ainsi qu'à la mise au point concernant les propriétés de l'haltérochaise qui font

l'objet de ce travail écrit.

Par le libellé même du sujet, ce travail est basé sur les notions de physique, les calculs, les démonstrations qui composent principalement ce mémoire et qui sont nécessaires à la compréhension de l'haltérochaise. Intérêt pour certains (les passionnés de biomécanique et de physique) et fastidieux pour d'autres, c'est à la fois la force et la faiblesse de ce travail. Les conclusions et les abaques peuvent être utilisés par un grand nombre d'utilisateurs (patients, praticiens, profs de musculation).

Les obstacles rencontrés furent nombreux, le premier d'entre eux fut le terme « dynamique », car le sens couramment utilisé en kinésithérapie s'oppose au sens physique.

Le second obstacle fut le manque d'habitude de manier les newtons-mètres (par rapport au kg), puis les confrontations quant au rôle de la position du coussin. En effet, l'haltérochaise est souvent comparée dans un premier temps à l'application de charge directe, et le coussin directement comparé à la charge placée sur la barre des masses. Ceci pouvant amener à penser que la position du coussin influe sur le travail développé par le quadriceps ou les ischio-jambiers. Ce mémoire a permis de démontrer qu'il n'en est rien.

Pour compléter cette étude il serait intéressant de développer un protocole en newtons-mètres pour l'haltérochaise, ceci nécessitant un travail écrit complet qui sera peut être le sujet d'un prochain mémoire.

5. Conclusion.

L'apport de graduations sur la barre des masses de l'haltérochaise permet d'utiliser celle-ci avec une plus grande précision, en effet, le calibrage a permis de calculer en fonction de différents paramètres (m et Dm), le couple maximum (exprimé en newton-mètre, l'unité du système international) atteint lorsque la barre des masses est parallèle au sol. Le réglage de

l'angle α , permet de choisir différents types de courbes donnant la possibilité de choisir différents types de travaux (progressifs, dégressifs, ou plus constants) en fonction de l'angle β et du couple maximum. Tout ceci peut fournir grâce aux formules établies des éléments chiffrés pouvant servir de bilan et d'évaluation globale du muscle (le quadriceps ou les ischio-jambiers). L'haltérochaise, grâce à son point d'appui mobile sur la jambe permet une grande adaptabilité aux sujets et aux contre-indications éventuelles (fractures notamment), tout en préservant un travail (en joule) identique quelque soit le point d'appui et ce, avec une grande reproductibilité (la position du coussin n'ayant d'influence que sur le confort du patient). L'haltérochaise calibrée, munie des abaques et des courbes passe du statut de simple appareil de musculation à celui d'outil thérapeutique pouvant être utilisé de manière fiable, chiffrée, reproductible en kinésithérapie.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 . G. EFTER – Principes et moyens de kinésithérapie active analytique :
E.M.C. Kin. 1979. 26045 A10.
- 2 . J. PEYRANNE (1989) – Technique de renforcement musculaire :
Ann. Kinésithérapie, 16, p. 296.
- 3 . F. PONZO, J.-L. LECLERC , O. RACHET– La résistance en tubérosité
tibiale Oui – Mais !!! : Ann. Kinésithérapie, 1992, t. 19, n°4, pp. 209-213.
- 4 . J. WOESTYN. Les forces. In étude du mouvement. La mécanique T.1.
Bruxelles : PRODIM, 1970, pp. 11-19.
- 5 .J. WOESTYN. Les machines simples in étude du mouvement. La mécanique
T.1. Bruxelles : PRODIM, 1970, pp. 81-91.

Annexe 1

abréviations utilisées:

«Dc»: distance comprise entre l'axe de rotation de la barre du coussin et le point d'application du coussin sur la barre.

«Dm»: distance comprise entre l'axe de rotation de la barre des masses et le point d'application de ces masses sur la barre.

«g»: accélération de la pesanteur (que l'on a arrondi à 10 m. s)

«m»: la masse.

« \mathcal{M} (axe, \vec{F})»: est le moment exercé par la force F par rapport à l'axe.

« \mathcal{M} (axe, \vec{P})»: est le moment exercé par le poids P par rapport à l'axe.

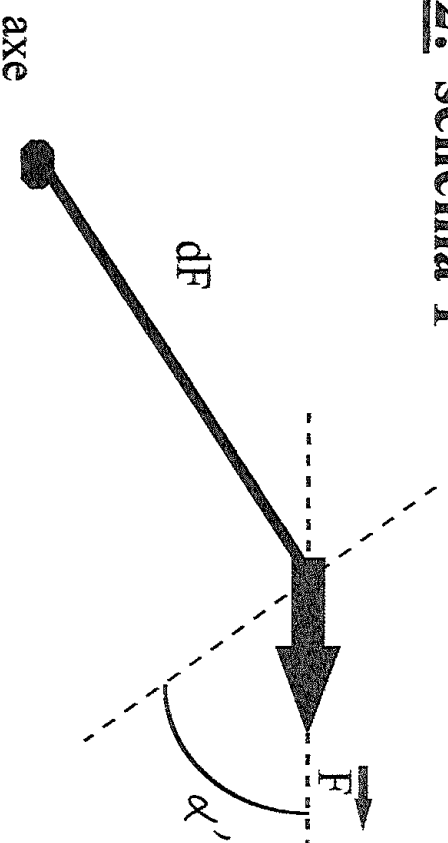
« \mathcal{M} max»: est le couple maximum.

«N.m»: Le Newton-mètres correspond à l'unité internationale du couple.

« \vec{P} »: correspond au poids.

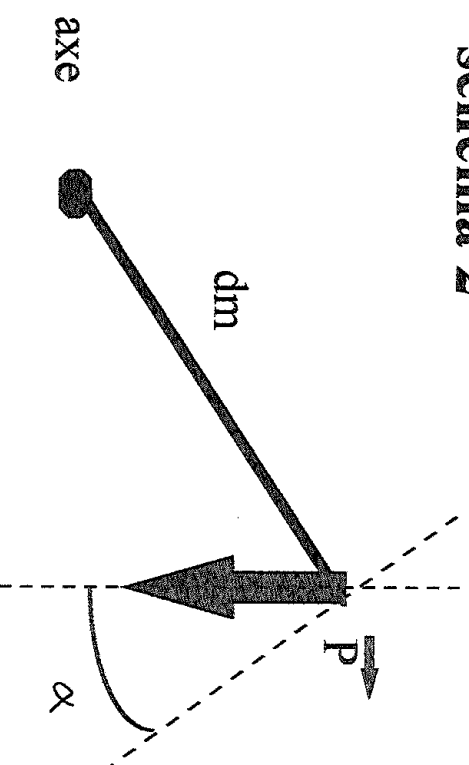
«w»: correspond au travail fourni.

annexe 2: schéma 1



$\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{F}) = \vec{F} \cdot dF \cdot \text{Cos}(\alpha')$
avec α' , l'angle compris entre \vec{F}
et la perpendiculaire à la droite
 dF .

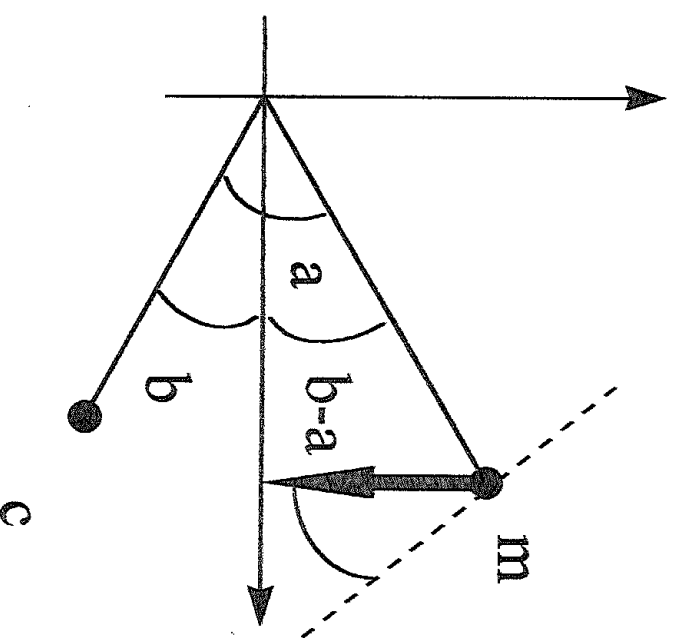
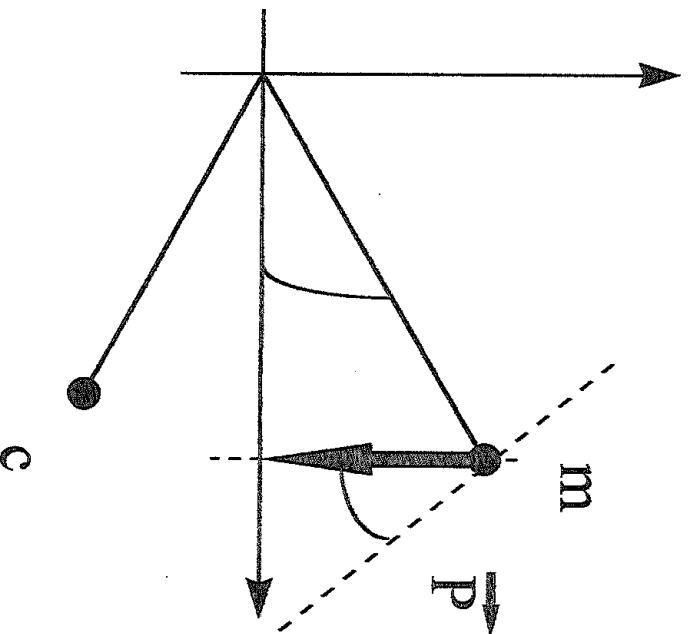
schéma 2



$\mathcal{M}(\text{axe}, \vec{P}) = \vec{P} \cdot dm \cdot \text{Cos}(\alpha)$
avec α , l'angle compris entre \vec{P}
et la perpendiculaire à la barre
des masses

annexe 3

correspond également à l'angle compris entre la barre des masses et l'horizontale. Or cet angle est aussi égal à « $b-a$ ».
D'où, $\theta = b-a$.



annexe 4

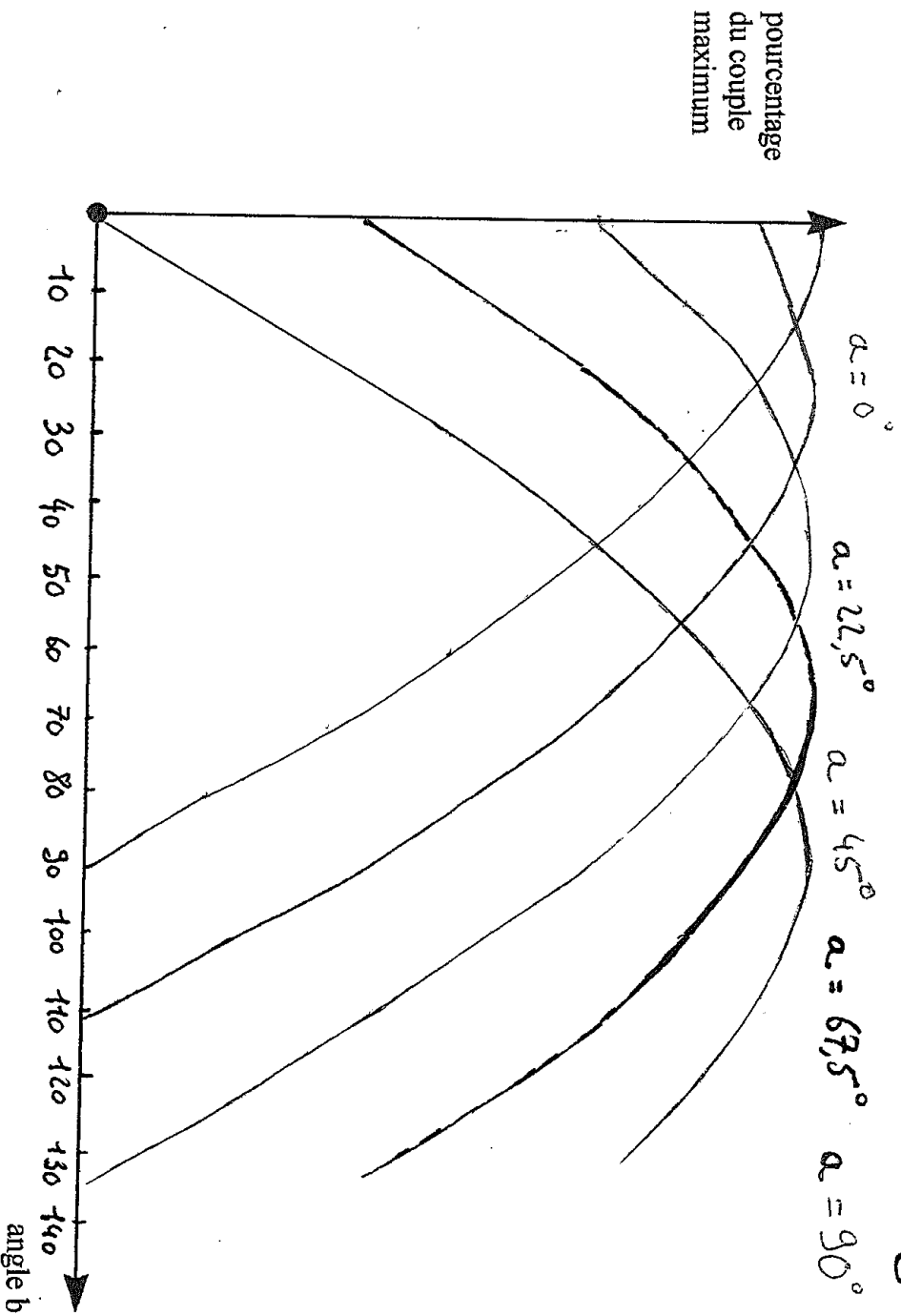
Le pourcentage du couple maximum obtenu en fonction de deux paramètres: «a» et «b».

$\begin{matrix} b \\ \backslash \\ a \end{matrix}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
0	100	98.5	94	86.6	76.6	64.	50	34.2	17.4	0				
22.5	92.4	97.6	99.9	99.1	95.4	88.7	79.3	67.6	53.7	38.3	21.6	4.4		
45	70.7	81.9	90.6	96.6	99.6	99.6	96.6	90.6	81.9	70.7	57.4	42.3	25.9	8.3
67.5	38.3	53.7	67.6	79.3	88.7	95.4	99.1	99.9	97.6	92.4	84.4	73.7	60.9	46.2
90	0	17.4	34.2	50	64.3	76.6	86.6	94	98.5	100	98.5	94	86.6	76.6

Pour le travail du quadriceps

annexe 5

Pourcentage du couple maximum en fonction de l'angle α et de l'angle de flexion du genou b



annexe 6

Le pourcentage du couple maximum obtenu en fonction des deux paramètres «a» et «b»: pour les ischio-jambier.

$\alpha \backslash \beta$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
-180	100	98.5	94	86.6	76.6	64	50	34.2	17.4	0				
-157.5	92.4	97.6	99.9	99.1	95.4	88.7	79.3	67.6	53.7	38.3	21.6	4.4		
-135	70.7	81.9	90.6	96.6	99.6	99.6	96.6	90.6	81.9	70.7	57.4	42.3	25.9	8.3
-112.5	38.3	53.7	67.6	79.3	88.7	95.4	99.1	99.9	97.6	92.4	84.4	73.7	60.9	46.2
-90	0	17.4	34.2	50	64.	76.6	86.6	94	98.5	100	98.5	94	86.6	76.6

annexe 7

Le travail nécessaire pour amener la masse
«m» d'un point A à un point B est:

$$W = m \cdot g \cdot (h_B - h_A)$$

