

MINISTERE DE LA SANTE
REGION LORRAINE
ECOLE DE KINESITHERAPIE DE NANCY

**EVALUATION DE LA FORCE
ET DE L'ENDURANCE
DES MUSCLES
DE L'AUTOGRANDISSEMENT
RACHIDIEN**

Rapport de travail écrit personnel
présenté par **Hélène MARQUES DOS SANTOS**
étudiante en 3ème année de kinésithérapie
en vue de l'obtention du diplôme d'état de
masseur-kinésithérapeute
1994 - 1995

SOMMAIRE

	Page
RÉSUMÉ	
1. INTRODUCTION	1
1. 1. Revue des techniques apparentées existantes et critiques.....	1
1. 2. Bases physiologiques	2
1. 2. 1. Anatomie	2
1. 2. 2. Biomécanique	2
1. 2. 2. 1. Autograndissement	2
1. 2. 2. 2. Biomécanique	3
1. 2. 2. 2. 1. Au niveau lombaire et sacré	3
1. 2. 2. 2. 2. Au niveau thoracique	3
1. 2. 2. 2. 3. Au niveau cervical	4
1. 2. 2. 2. 4. Conclusion de la biomécanique	4
1. 2. 3. Physiologie musculaire	4
1. 2. 3. 1. Les différents types de fibres musculaires	4
1. 2. 3. 2. Les métabolismes musculaires	5
1. 3. Déduction d'application et objectif de ce travail	6
2. MATERIEL ET METHODE	6
2. 1. Matériel	6
2. 1. 1. Population	6
2. 1. 1. 1. Critères de sélection	6
2. 1. 1. 2. Caractéristiques de la population	6
2. 1. 2. Matériel expérimental	7
2. 1. 2. 1. Composition de l'installation	7
2. 1. 2. 2. L'appareil de mesure lui-même et son fonctionnement	8
2. 2. Protocole	10
2. 2. 1. Remplissage du questionnaire	10
2. 2. 2. Positionnement du sujet	10
2. 2. 2. 1. Position des pieds	10
2. 2. 2. 2. Position du rachis	11
2. 2. 2. 3. Position de la tête	11
2. 2. 3. Choix de la position	11
2. 2. 4. Consignes pour le mouvement d'autograndissement	12
2. 2. 5. Mesure de l'amplitude de l'autograndissement	12
2. 2. 6. Réglage de la mise en tension du capteur	12
2. 2. 7. Mesure de la force maximale	12
2. 2. 7. 1. Échauffement	12
2. 2. 7. 2. Force maximale	13

	Page
2. 2. 8. Mesure de l'endurance	13
2. 2. 9. Recueil des commentaires	14
3. RÉSULTATS	14
3. 1. Présentation des résultats	14
3. 2. Traitement statistique des résultats	14
3. 2. 1. Statistiques descriptives	14
3. 2. 1. 1. A un seul critère	14
3. 2. 1. 2. A plusieurs critères	17
3. 2. 2. Tests statistiques	17
3. 2. 3. Les données subjectives	17
4. DISCUSSION	17
4. 1. La population	17
4. 2. L'autograndissement	18
4. 2. 1. Analyse des résultats	18
4. 2. 2. Critiques et modifications	18
4. 3. Le test de force	18
4. 3. 1. Analyse des résultats	18
4. 3. 2. Validité du test.....	19
4. 3. 3. Améliorations	19
4. 4. Le test d'endurance	20
4. 4. 1. Analyse des résultats	20
4. 4. 2. Validité du test d'endurance	21
4. 4. 3. Améliorations	21
4. 5. Les cas particuliers	21
5. CONCLUSION	22

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

RÉSUMÉ

Le bilan musculaire est une partie importante du bilan d'un kinésithérapeute, mais au niveau des muscles du dos, il est difficile à réaliser. Plusieurs auteurs ont cherché une méthode objective pour les évaluer et l'ont fait de manière isocinétique. Nous avons recherché une autre méthode qui permet de cibler l'action musculaire sur les spinaux profonds. Nous avons réalisé notre test à l'aide d'un appareil ressemblant assez à une toise. La mesure est statique : le sujet fait un autograndissement qui se bloque puis la force est enregistrée à l'aide d'un capteur. Nous avons réalisé trois essais de force maximale et un essai d'endurance à 50% de cette force.

Nous observons que le test de force est tout à fait valable puisqu'il évite les compensations, qu'il est reproductible et que les résultats obtenus sont assez homogènes. Par contre le test d'endurance aboutit à des résultats très inconstants et étalés car le positionnement des membres inférieurs est douloureux à la longue et vient perturber le temps de maintien. Après adaptation de la position pour l'endurance, ces tests pourraient être appliqués en rééducation comme méthode d'évaluation et de tonification dans les problèmes de colonne vertébrale.

1. INTRODUCTION

1.1. Revue des techniques apparentées existantes et critiques

En 1991 K. Kerkour, G. Terazzi et J.L. Meier mesurent la force des muscles extenseurs du tronc (8) de manière isocinétique à l'aide d'un Cybex. Les individus sont en décubitus ventral, les mains sur la nuque et doivent faire une extension de tronc. D'autres équipes avant eux ont cherché à mesurer cette force.

Or la mesure de la force musculaire est un élément très important du bilan du kinésithérapeute. Cette mesure est aisée pour les muscles des membres, elle est beaucoup plus délicate pour ceux du dos. D'où l'intérêt de trouver une méthode la plus simple possible pour ce faire.

K. Kerkour a utilisé l'isocinétisme. Le problème de cette méthode est qu'elle nécessite un matériel coûteux et complexe d'utilisation. De plus, cette méthode, étant donné la position de départ et le mouvement demandé, mesure la force des muscles longs du dos, des muscles superficiels et son action se limite aux muscles lombaires et dorsaux. Les muscles courts profonds à fonction plutôt posturale sont laissés de côté. Enfin, les mesures sont faites de manière dynamique alors que la fonction de ces muscles du rachis est essentiellement statique en assurant la posture ; et le mouvement d'extension du tronc sur les membres inférieurs est peu physiologique et va à l'encontre de ce que l'on recherche en kinésithérapie puisqu'il va dans le sens de l'hyperlordose. Or dans la pathologie, le travail musculaire est surtout centré sur le maintien de la colonne lombaire en position physiologique et le travail du caisson abdominal.

En 1993, deux étudiantes en kinésithérapie à Grenoble (1) et (3) ont cherché une autre méthode pour mesurer la force et l'endurance des muscles spinaux. Elles l'ont réalisée à partir d'un mouvement d'autograndissement en position assis par terre, les membres inférieurs fléchis, ce qui bloquait le travail des muscles de la colonne lombaire.

Nous cherchons donc une manière de mesurer la force et l'endurance des muscles profonds de tout le rachis dans une position physiologique. Nous cherchons une méthode qui pourrait être appliquée sans dommage par la suite à des patients porteurs de pathologies rachidiennes et nous avons repris pour ce faire le principe de l'autograndissement.

1. 2. Bases physiologiques

1. 2. 1. Anatomie

Les muscles spinaux sont l'ensemble des muscles innervés par les branches postérieures des nerfs rachidiens. Ce sont les muscles profonds du dos.

On peut distinguer deux groupes principaux dans ces muscles (4) :

- Un tractus latéral superficiel qui comprend des muscles longs (qui vont du bassin au crâne) : ilio costal, long dorsal, splénius.
- Un tractus médial profond qui regroupe les muscles spinaux profonds, c'est-à-dire ceux qui nous intéressent dans ce travail. Ce sont des muscles courts. Nous allons les citer rapidement sans entrer dans les détails car ce sont des muscles très complexes et que de plus les auteurs divergent fort dans la description de leurs insertions et de leur trajet. On distingue à nouveau deux groupes dans ce tractus médial (4) :

- Un système longitudinal qui comprend :

- les muscles interépineux,
- les muscles intertransversaires,
- le muscle épineux.

- Un système oblique qui comprend :

- les muscles transversaires épineux,
- le muscle multifide,
- les muscles demi-épineux.

1. 2. 2. Biomécanique

1. 2. 2. 1. Autograndissement

Il existe plusieurs synonymes pour exprimer le même mouvement : autograndissement, érection du rachis, extension axiale active.

Tous ces termes sont assez explicites : le mouvement consiste à allonger sa colonne vertébrale, à se grandir. Nous donnerons donc cette définition à l'autograndissement : c'est le mouvement qui augmente l'écart existant entre la base du crâne et la ligne des têtes fémorales et qui par conséquent augmente la taille du sujet.

1. 2. 2. 2. Biomécanique

D'après (2) : "l'extension axiale active entraîne une diminution des courbures cervicale, dorsale et lombaire. Cette diminution des courbures implique la contraction des spinaux profonds et des remparts convexitaires aux niveaux des lordoses cervicale et lombaire".

Au niveau ostéo-articulaire, l'autograndissement correspond donc à une diminution des courbures, donc à un redressement des lordoses et de la cyphose.

1. 2. 2. 2. 1. Au niveau lombaire et sacré

Classiquement, on dit que le redressement de la lordose correspond à une rétroversion partielle du bassin qui tend à rapprocher l'angle d'inclinaison sacrée de l'horizontale et donc à diminuer la lordose lombaire. De plus les abdominaux, en particulier les grands droits, agissent dans le sens de la flexion du rachis lombaire, donc du redressement puisque leur action est associée à une rétroversion de bassin. La colonne lombaire étant ainsi rigidifiée, l'action des muscles postérieurs, des spinaux profonds, obtient la traction vers l'arrière des vertèbres lombaires (5). C'est du moins ce qui se passe lors du redressement conscient de la lordose lombaire, comme dans la méthode des réflexes posturaux.

Une autre théorie assimile l'ensemble du rachis à une flèche de grue en porte-à-faux antérieur, dont la station debout est contrôlée inconsciemment par un réflexe ne nécessitant que la contraction tonique des muscles postérieurs. Quand une charge est ajoutée sur le rachis, comme ce sera le cas dans notre étude, le porte-à-faux antérieur augmente légèrement, la lordose lombaire diminue et le tonus des spinaux augmente pour limiter le porte-à-faux. Les abdominaux ne participent donc pas à cette statique inconsciente (5).

Mais aucune théorie n'explique réellement l'action spécifique des muscles spinaux profonds. Or les spinaux profonds étant des muscles courts, à partir d'un point fixe caudal : le sacrum et L5, ils peuvent emmener vers l'arrière chaque vertèbre sus-jacente l'une après l'autre, chacune devenant successivement point fixe pour les vertèbres supérieures. Et ainsi ils peuvent redresser la lordose lombaire.

1. 2. 2. 2. 2. Au niveau thoracique

Le redressement de la cyphose correspond à l'action des muscles spinaux profonds.

1. 2. 2. 2. 3. Au niveau cervical

Le rachis cervical est une structure complexe car il comprend deux parties :

- le rachis cervical inférieur qui s'étend de C7 à C3,
- le rachis cervical supérieur qui s'étend de C2 aux condyles occipitaux (donc au crâne).

La lordose cervicale n'est donc pas une lordose vraie (12) contrairement à la lordose lombaire. La lordose cervicale est composée d'une projection antérieure de la partie basse du rachis cervical et d'une extension relative compensatoire de la partie supérieure sur l'inférieure pour permettre de conserver le regard à l'horizontale. L'axe de gravité de la tête passe donc en avant de la colonne vertébrale (5).

Étant donné cette composition de la colonne cervicale, le mouvement d'autograndissement nécessite l'association d'une rigidification de l'ensemble du rachis cervical réalisée par les muscles prévertébraux (essentiellement le long du cou) et d'une action des spinaux pour ramener l'ensemble vers l'arrière (5).

1. 2. 2. 2. 4. Conclusion de la biomécanique

Le mouvement d'autograndissement ne peut prétendre faire travailler uniquement les spinaux profonds. C'est un travail de chaîne musculaire des érecteurs du rachis. Le rôle des spinaux profonds, même si tous s'entendent pour dire que l'autograndissement est essentiellement réalisé par eux (2), est mal expliqué dans la littérature au niveau des lordoses. Mais étant donné que ce sont des muscles courts, à partir d'un point fixe caudal, ils peuvent ramener les vertèbres une par une vers l'arrière, chacune devenant à son tour point fixe pour les supérieures.

1. 2. 3. Physiologie musculaire

1. 2. 3. 1. Les différents types de fibres musculaires

- Les fibres I ou ST : leur contraction est lente, elles développent une force peu élevée mais sont peu fatigables. Elles contiennent de nombreuses mitochondries et de nombreux capillaires (11).

- Les fibres II ou FT : leur contraction est rapide, elles développent une force élevée mais sont très fatigables. Elles comptent peu de mitochondries, peu de capillaires et ont un métabolisme essentiellement anaérobie. Elles sont divisées en deux catégories principales :

- les IIa qui ont une contraction moins rapide, moins de force et sont moins fatigables que les b,
- les IIb qui ont la contraction la plus rapide, le plus de force et sont très fatigables (11).

Les muscles érecteurs du rachis possèdent une majorité de fibres de type I de l'ordre de 60% (6). Ce pourcentage est plus élevé dans les spinaux superficiels et moins dans les profonds. Or le patient lombalgique présente une atrophie des fibres I et II mais plus marquée sur les fibres b (7), d'où l'intérêt de mesurer une force de manière à recruter ces fibres.

1. 2. 3. 2. Les métabolismes musculaires

- L'aérobie : il repose sur la glycolyse et le cycle de Krebs. Il développe une puissance faible mais sur un temps très long. C'est le mode de fonctionnement des fibres I.

- L'anaérobie lactique : il repose sur l'utilisation du glycogène du muscle et du glucose sanguin, qui aboutit à la formation d'acide lactique. Son accumulation dans le muscle limite la durée d'utilisation de ce mécanisme : il est épuisé en environ une minute (fig. 1). Le lactate est ensuite rapidement métabolisé. Ce mécanisme développe une puissance plus importante que le précédent.

- L'anaérobie alactique : il repose sur l'hydrolyse de l'ATP et des phosphocréatines (PC). Le stock de PC est présent dans le muscle et s'épuise à 90-95% en 20 à 30 s. La reformation du stock est presque complète en 4 minutes et de 25% en 25 s. Ce mécanisme développe la plus grande puissance : c'est celui des fibres IIb.

Les fibres IIa ont un métabolisme mixte anaérobie lactique et aérobie.

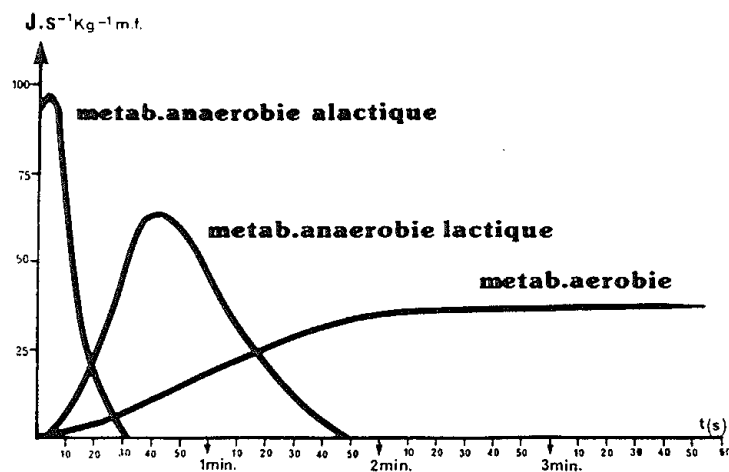


Figure 1 : Illustration du mode d'intervention dans le temps des trois métabolismes sources immédiates de l'énergie de la contraction musculaire. (Puissance en joules par secondes et par Kg de muscle) (11).

1. 3. Déduction d'application et objectif de ce travail

L'étude de la force et de l'endurance sous forme d'autograndissement nous permet donc de mesurer la force des muscles spinaux profonds (cf 1. 2. 2. 2.) de tout le rachis dans une position physiologique et dans un mouvement non traumatisant. Et cela grâce à un appareil que nous avons adapté. La mesure se fait en position debout, de manière statique, donc en respectant le mode de contraction physiologique des muscles spinaux profonds. Nous mesurons la force maximale, c'est-à-dire celle qui correspond au travail des fibres IIb qui sont les plus lésées dans la lombalgie chronique (7), et l'endurance, c'est-à-dire le travail des fibres IIa. Nos mesures sont réalisées sur des sujets sains de façon à évaluer la validité de ces tests de force et d'endurance.

2. MATERIEL ET METHODE

2. 1. Matériel

2. 1. 1. Population

2. 1. 1. 1. Critères de sélection

La population est composée d'individus dits "sains", c'est-à-dire ne se trouvant pas en période aiguë d'une pathologie de la colonne vertébrale. La période aiguë est en effet une période où les douleurs sont importantes et où la colonne vertébrale et les éléments péri-vertébraux (ligaments, disques vertébraux...) sont plus fragiles et vulnérables. Faire le test dans ces conditions risquerait de provoquer une recrudescence de la douleur et de la pathologie, sachant que ce test demande d'aller au bout de ses possibilités pour faire une endurance ou une force maximales. Seront donc éliminées toutes les personnes se trouvant en phase aiguë de rachialgie, de hernie discale, de fracture de vertèbres...

Les anomalies de courbure de type attitude scoliotique, hyperlordose ou cyphose, scoliose, séquelles de maladie de Scheuermann ne contre-indiquent pas le test, pas plus que les rachialgies et autres qui ne sont pas en phase aiguë.

D'autre part, le test nécessite une intégrité des membres inférieurs.

2. 1. 1. 2. Caractéristiques de la population (tab. I)

Le test a été effectué sur une population de 30 personnes, soit 15 femmes et 15 hommes, âgés de 20 à 47 ans. Cette population a été recrutée essentiellement parmi le personnel de

rééducation de Sancellemoz et comprend 15 kinésithérapeutes, 5 stagiaires en kinésithérapie, 6 ergothérapeutes, 2 patients et 2 brancardiers donc surtout des individus qui sont censés avoir une bonne connaissance de leur corps et de son fonctionnement.

Tableau I : Caractéristiques de la population

	nombre	âge	taille	poids
hommes	15	moyenne = 27.7 ans 20 à 47 ans (ET = 7.42)	moyenne = 177.07cm 168 à 187 cm (ET = 5.69)	moyenne = 70.8kg 55 à 88 kg (ET = 8.89)
femmes	15	moyenne = 30.9 ans 20 à 46 ans (ET = 6.69)	moyenne = 166.10 cm 154 à 174 cm (ET = 6.29)	moyenne = 58.9 kg 48 à 80 kg (ET = 8.60)
Total	30	moyenne = 29.3 ans 20 à 47 ans (ET = 7.24)	moyenne = 171.60 cm 154 à 187 cm (ET = 8.12)	moyenne = 64.9 kg 48 à 88 kg (ET = 10.6)

2. 1. 2. Matériel expérimental

2. 1. 2. 1. Composition de l'installation

- L'appareil de mesure lui-même, qui est fixé au mur.
- Un écran de contrôle relié à l'appareil de mesure : MYOSTATIC.

Sur cet écran s'affichent les résultats. L'écran permet aussi de passer du travail de force maximale au travail d'endurance (ANNEXE I).

- Un marchepied fixé au mur par un système de vis comprenant deux marches : l'une de 13 cm et l'autre de 26 cm de hauteur. Ce marchepied permet aux personnes plus petites de faire également le test car le débattement en hauteur de l'appareil est limité à 22 cm.

- Un système de cales :

- une de 13 cm de large, placée entre le mur et les talons du sujet,
- une de 4 cm de haut, placée sous l'avant-pied du sujet pour l'amener en flexion dorsale,
- une autre de 1,5 cm d'épaisseur, placée en biais par rapport à la précédente

pour que l'arête de celle-ci ne blesse pas les pieds du sujet.

- Un antidérapant pour éviter le glissement des cales.
- Une feuille de papier véléda fixée au mur et un crayon fin correspondant pour repérer le débattement d'autograndissement.
- Une toise murale pour faciliter les réglages.
- Une planche fine placée entre le bassin du sujet et le mur.
- Un chronomètre.

2. 1. 2. 2. L'appareil de mesure lui-même et son fonctionnement (fig. 2)

Il comprend un guide creux fixé au mur, dans lequel coulisse une tige métallique qui se termine à son extrémité inférieure par une plaque horizontale recouverte de mousse à très haute densité qui vient au contact de la tête du sujet. A son extrémité supérieure la tige métallique est reliée à une tige filetée et une chaîne à maillons au capteur de force.

Lorsque le sujet fait son autograndissement, il fait coulisser la tige métallique vers le haut, ce qui met en tension le capteur de force. A partir du moment où le capteur est en tension, la tige métallique ne peut plus coulisser : nous faisons donc une mesure statique.

Tige filetée et chaîne servent à régler l'endroit précis à partir duquel le capteur sera en tension et la tige bloquée.

Il existe de plus un système de sécurité qui limite le débattement vers le bas de la tige et de la plaque.

Le débattement de l'appareil en hauteur est de 22 cm, ce qui nécessite l'emploi d'un marchepied pour que tous puissent effectuer le test.

L'appareil est fixé au mur de façon à ce que la plaque remontée au maximum soit à 2m de hauteur.

Donc le système permet d'effectuer le test pour des personnes mesurant entre 152 et 200cm (tab. II).

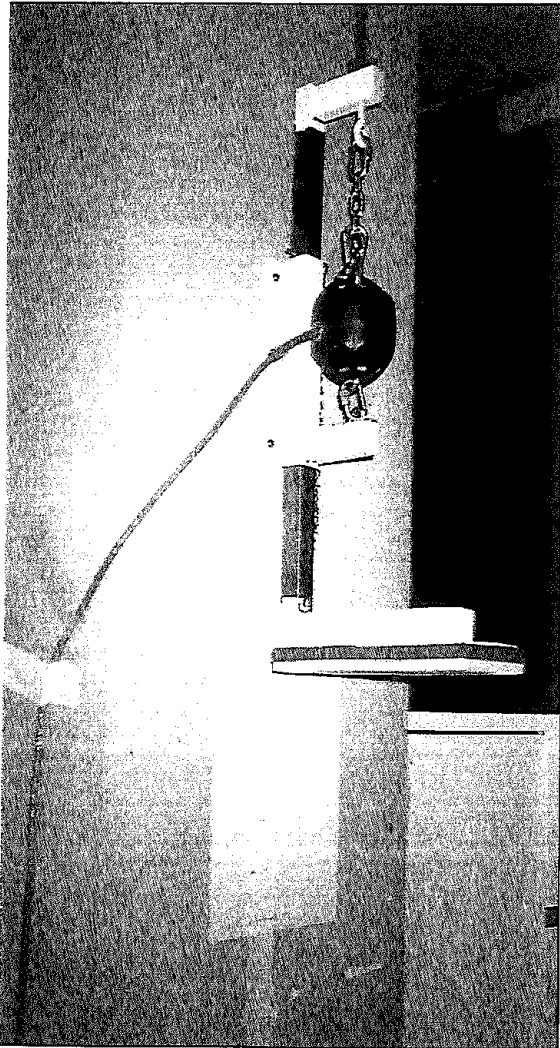


Figure 2: l'appareil de mesure



Figure 3: positionnement du sujet

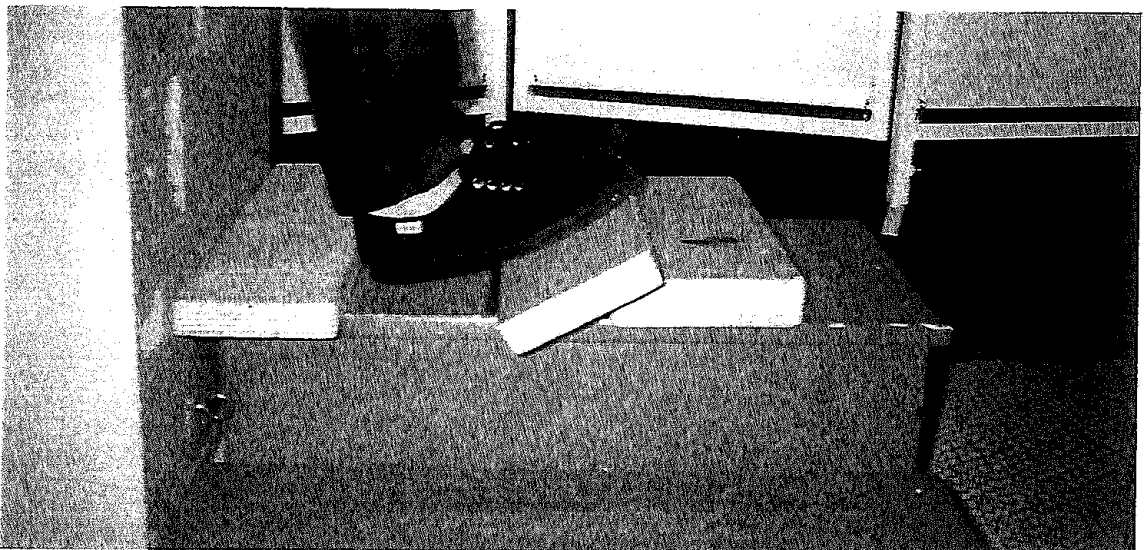


Figure 4 : position des pieds

Tableau II : taille des sujets et marche pied.

	pas de marchepied	première marche	deuxième marche
hauteur maximale des sujets	200 cm	187 cm	174cm
hauteur minimale des sujets	178 cm	165 cm	152 cm

Enfin il faut savoir que la personne en position test supporte le poids de la plaque et de la tige, soit environ 2 kg.

2. 2. Protocole

2. 2. 1. Remplissage du questionnaire (ANNEXE II)

Ce questionnaire est noté sur la fiche individuelle de chaque personne qui participe aux mesures. Il permet de déceler des contre-indications à la pratique du test et de recueillir des données pour l'étude statistique.

2. 2. 2. Positionnement du sujet (fig. 3)

Selon sa taille, le sujet est installé à même le sol ou sur une des marches de l'estrade sous l'appareil de mesure.

2. 2. 2. 1. Position des pieds (fig. 4)

Les pieds sont avancés par rapport au mur de la largeur de la cale de 13 cm de large. Les talons du sujet viennent buter contre cette cale qui sert à standardiser l'écart entre le mur et les talons.

La cheville est placée en flexion dorsale par les deux autres cales placées sous les avant-pieds du sujet. L'installation est adaptée selon la souplesse en flexion dorsale des individus : les cales peuvent être plus ou moins inclinées pour obtenir plus ou moins de flexion dorsale. Les membres inférieurs sont tendus pour ne pas pousser avec les quadriceps.

2. 2. 2. 2. Position du rachis

Le sujet vient s'adosser au mur sous l'appareil de mesure, de façon à avoir deux points de contact entre son dos et le mur : un au niveau du bassin et l'autre au niveau dorsal. Une fine planche est interposée entre le bassin du sujet et le mur. Le sujet a alors sa lordose physiologique.

2. 2. 2. 3. Position de la tête

Rien n'est imposé à ce niveau : la tête ne vient pas obligatoirement en contact avec le mur, car pour les personnes hypercyphosées ou qui ont une projection de la tête en avant, la position serait très inconfortable et non physiologique. La tête est donc placée dans une position naturelle.

Puis la plaque est amenée en contact avec le sommet de la tête du sujet.

La position est donc : debout adossé au mur, les pieds légèrement en avant maintenus en flexion dorsale, le rachis en position physiologique en veillant à maintenir un contact au niveau dorsal.

2. 2. 3. Choix de la position

Nous avons choisi cette position pour être proche d'une position physiologique : la position debout. Cependant en position debout simple, lors des essais de force et d'endurance, il est pratiquement impossible d'éviter de compenser en se surélevant sur ses pointes de pieds. Or dans ce cas, c'est plus la force des triceps que celle des muscles de l'autograndissement qui serait mesurée. C'est pour éviter cette compensation que les pieds du sujet sont avancés et que le triceps sural est placé en course externe.

C'est pour empêcher le sujet de compenser en décollant les fesses du mur et en poussant donc sur le système en faisant tout autre chose qu'un autograndissement, qu'une planche est interposée entre son bassin et le mur : si la planche tombe c'est qu'il y a eu compensation.

Un contact est maintenu au niveau dorsal pour bien faire un autograndissement dans le plan vertical et non en poussant en avant.

Le rachis est en position physiologique au départ pour pouvoir obtenir toutes les composantes du mouvement d'autograndissement.

2. 2. 4. Consignes pour le mouvement d'autograndissement

Nous imposons au sujet :

- de partir genoux déjà en extension,
- de ne pas se surélever sur les pointes de pieds,
- de ne pas décoller le bassin du mur,
- de garder un contact au niveau dorsal.

Nous lui demandons simplement de se grandir au maximum comme s'il portait une charge sur la tête en lui conseillant de faire le double menton et de délordoser légèrement en lombaire.

2. 2. 5. Mesure de l'amplitude de l'autograndissement

Le sujet positionné supporte le poids de la plaque sur sa tête. Nous lui demandons de faire un autograndissement maximal. Nous marquons un repère sur la plaque de papier véléda. Puis le sujet doit se relâcher en gardant toujours les genoux tendus. Nous marquons un nouveau repère. Une nouvelle tentative permet de vérifier les repères. Nous mesurons alors la différence entre les deux repères, ce qui nous donne l'amplitude d'autograndissement.

2. 2. 6. Réglage de la mise en tension du capteur

Elle est réglée de façon à ce que le système se bloque et soit en tension 5mm en-dessous de la hauteur maximale d'autograndissement. De cette façon, le sujet est en autograndissement lors de la mesure sans être au maximum de celui-ci, il n'est donc pas en bout de course où il perdrait de sa force. La mesure se fait donc en statique 5mm en-dessous de l'autograndissement maximal.

2. 2. 7. Mesure de la force maximale

2. 2. 7. 1. Échauffement

Le sujet réalise plusieurs essais de force sans exercer une poussée maximale ; cela pour échauffer les muscles et éviter de réaliser un effort maximal à froid, pour se familiariser avec l'appareil et s'exercer à réaliser un autograndissement optimal en trouvant la position de tête qui lui convient le mieux.

2. 2. 7. 2. Force maximale

Le sujet réalise trois essais de force maximale espacés à chaque fois par deux minutes de repos. En effet nous demandons de faire un effort maximal, donc dans le mode anaérobie alactique. Les deux minutes sont nécessaires pour régénérer 75% des phosphocréatines en moyenne.

La consigne est de pousser le plus fort possible sur la plaque. nous ne fixons pas de limites dans le temps pour la contraction. Chacun le gère comme il l'entend : soit une poussée très rapide, soit lente ; selon son profil neurologique, il faut plus ou moins de temps pour recruter le maximum d'unités motrices.

Durant les essais, le sujet est stimulé par biofeedback car il voit sa force s'inscrire sur l'écran de contrôle.

2. 2. 8. Mesure de l'endurance

Elle se fait trois minutes après la fin des mesures de force maximale. Ce laps de temps a été choisi arbitrairement pour permettre au sujet de se reposer. Nous en profitons pour exposer les modalités de cet essai d'endurance et le fonctionnement de l'appareil pour cette mesure :

- Un seul essai d'endurance sera réalisé.
- Le chronomètre se met en route lorsque la force développée passe au-dessus du seuil d'endurance. Le sujet peut repasser en-dessous du seuil. Ce passage est signalé par un bip sonore. Si le sujet repasse au-dessus du seuil avant que cinq secondes ne se soient écoulées, l'essai se poursuit, le chronomètre continue à défiler. Si ce n'est pas le cas, au bout de cinq secondes le chronomètre s'arrête et l'essai est terminé.
- Le sujet voit la force qu'il développe sur la partie gauche de l'écran. Par contre nous cachons le chronomètre qui s'inscrit sur la partie droite de l'écran. De cette façon, le sujet ne se fixe pas d'objectif dans le temps comme "je tiens deux minutes puis je laisse tomber".
- Le sujet doit tenir le plus longtemps possible.

Le seuil d'endurance est calculé en prenant 50% de la force maximale réalisée. Cette mesure a été choisie par référence au travail effectué sur les muscles des membres de façon à obtenir un travail de type anaérobie lactique.

A la fin de l'essai, nous notons le temps que le sujet a tenu : c'est le TME 50 et nous dénombrons les différents passages sous le seuil.

2. 2. 9. Recueil des commentaires

Nous demandons au sujet ce qu'il a ressenti au niveau de son dos pendant ces essais, la cause de l'arrêt de l'essai d'endurance et ce qu'il pense de la position du test.

3. RESULTATS

3. 1. Présentation des résultats (tab III)

3. 2. Traitement statistique des résultats

3. 2. 1. Statistiques descriptives

3. 2. 1. 1. A un seul critère

- Sexe : la population est équilibrée, elle comporte autant d'hommes que de femmes.
- Caractéristiques de la population (cf 2. 1. 1.) : elle est jeune et assez homogène.

73,33% des individus ont une activité sportive de loisir. 26,67% ont eu un antécédent aigu au niveau du rachis quelques années auparavant ou sont sujets à des rachialgies assez importantes et répétitives. Nous avons exclu les douleurs faibles occasionnelles car rares sont les gens qui n'ont jamais eu de légers maux au niveau du rachis ne serait-ce que par un torticolis de posture.

- Amplitude d'autograndissement : la moyenne globale est de 1,14 cm (tab. IV). Elle est légèrement supérieure pour les garçons et inférieure pour les filles.

Tableau IV : tableau des moyennes

		autograndissement (cm)	force maximale (FM) (kg/f)	FM en excluant le cas particulier n° 10	endurance TME 50 (secondes)
hommes	moyenne extrêmes Écart Type (ET)	1,22 0,5 à 2,0 0,40	25,7 15 à 49 9,07	24,04 15 à 36,5 6,83	257,5 60 à 540 160,7
femmes	moyenne extrêmes E T	1,07 0,5 à 2,3 0,44	21,1 13 à 28 4,59	21,1 13 à 28 4,59	164,1 32 à 360 88,20
global	moyenne extrêmes E T	1,14 0,5 à 2,3 0,42	23,4 13 à 49 7,55	22,52 13 à 36,5 5,97	210,80 32 à 540 137,8

Tableau III : Récapitulatif des résultats

HOMMES	AGE	POIDS (Kg)	TAILLE (cm)	AMPLITUDE D'AUTOGRANDISSEMENT (cm)	FORCE MAXIMALE (Kgf) 1 ^{er} essai	FORCE MAXIMALE (Kgf) 2 ^{em} essai	FORCE MAXIMALE (Kgf) 3 ^{em} essai	TEMPS MAXIMAL D'ENDURANCE A 50% DE LA FORCE MAXIMALE (secondes)	NOMBRE DE PASSAGES SOUS LE SEUIL D'ENDURANCE	SEUIL D'ENDURANCE (Kgf) ($\frac{FM}{2}$)	ANTÉCÉDENTS AU NIVEAU DU RACHIS	SPORT
1	24	70	174	0,8	10,5	15	20	275	71	10	non	oui
2	47	66	169	2,0	13,5	15	10,5	115	27	7,5	non	oui
3	25	76	184	1,6	26,5	25	25,5	540	43	13	non	non
4	26	88	182	1,2	24,5	21,5	25,5	102	36	12,5	oui	non
5	21	81	178	1,0	18	17	17	244	8	9	non	oui
6	20	70	174	0,5	21	24,5	31	340	106	15,5	non	oui
7	39	55	168	1,4	12	15,5	13	244	92	7,5	non	oui
8	27	75	176	1,4	19	19,5	23,5	114	37	11,5	non	oui
9	36	60	170	1,2	19,5	20,5	20	271	35	10	non	non
10	30	67	174	1,3	49	42,5	48	499	9	24,5	oui	oui
11	25	73	184	1,5	22	33,5	33,5	322	32	16,5	non	oui
12	30	71	187	0,7	9,5	18	19,5	540	14	9,5	non	oui
13	25	65	178	1,3	20,5	33	25	60	12	16,5	non	oui
14	20	85	183	1,7	23,5	28,5	36,5	83	16	18	non	oui
15	21	61	175	0,7	13	18,5	16	108	19	9	non	non
FEMMES												
16	31	60	165	1,2	18,5	20	19,5	229	/	10	oui en 1990	oui
17	29	48	168	1,3	22,5	27	18	196	36	13,5	non	non
18	28	65	170	2,3	11,5	14	23	64	33	11,5	oui de 1991 à 93	non
19	25	80	173	1,0	18	21,5	18	137	13	10,5	non	oui
20	28	62	166	1,2	24	19	21,5	72	23	12	oui en 1993	oui
21	22	53	164	1,0	18,5	25	23,5	360	36	12,5	non	oui
22	35	64	172	0,7	16,5	21	19,5	304	52	10,5	non	oui
23	30	48	158	0,5	14	13	9,5	234	20	7	oui ancien	oui
24	26	52	158	1,4	10	15,5	17	158	12	8,5	non	oui
25	37	47	154	1,1	14,5	16,5	17	141	14	8,5	non	oui
26	46	61	170	0,5	11,5	15,5	25	164	40	12,5	oui en 1992	oui
27	41	54	158	1,3	12	16	13,5	87	10	8	non	oui
28	34	68	168	0,5	19,5	16,5	25	95	12	12,5	non	oui
29	32	58	174	1,0	10,5	11	13	32	22	6,5	oui	non
30	20	64	174	1,0	23	28	24	188	29	14	non	non

- Les essais de force : les moyennes des trois essais successifs sont croissantes : 18,21 kg/f pour le 1er, 20,9 kg/f pour le 2ème et 21,71 kg/f pour le dernier. Les valeurs de la force maximale, c'est-à-dire le meilleur des trois essais de force, s'étalent de 9,5 à 49 kg/f. Cependant cette valeur de 49 est remarquable car elle est isolée : elle devance de 12,5 kg/f le deuxième meilleur score. Nous allons donc la traiter comme un cas particulier.

La moyenne globale de la force maximale (cas particulier exclu) est de 22,52 kg/f, soit 24,04 kg/f pour les hommes et 21,1 kg/f pour les femmes. Nous remarquons que le fait d'écarter le cas particulier atténue grandement la différence qui existait entre les écarts-types des hommes et ceux des femmes (tab. IV).

La répartition des valeurs est montrée par le graphique (fig. 5) qui nous montre une forte concentration entre 18 et 25 kg/f.

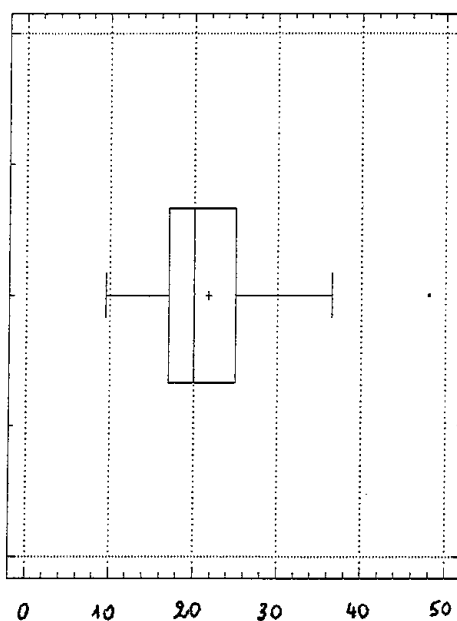


Figure 5 : Dispersion des forces maximales

- Le TME 50 : la moyenne globale est de 210 secondes avec un écart-type de 137 secondes ce qui est énorme. La moyenne est nettement différente suivant le sexe : 164 s pour les femmes, 257 s pour les hommes et toujours des écarts-types très importants. En effet les résultats sont très dispersés (fig. 6) puisqu'ils s'étendent de 32 à 540 secondes !

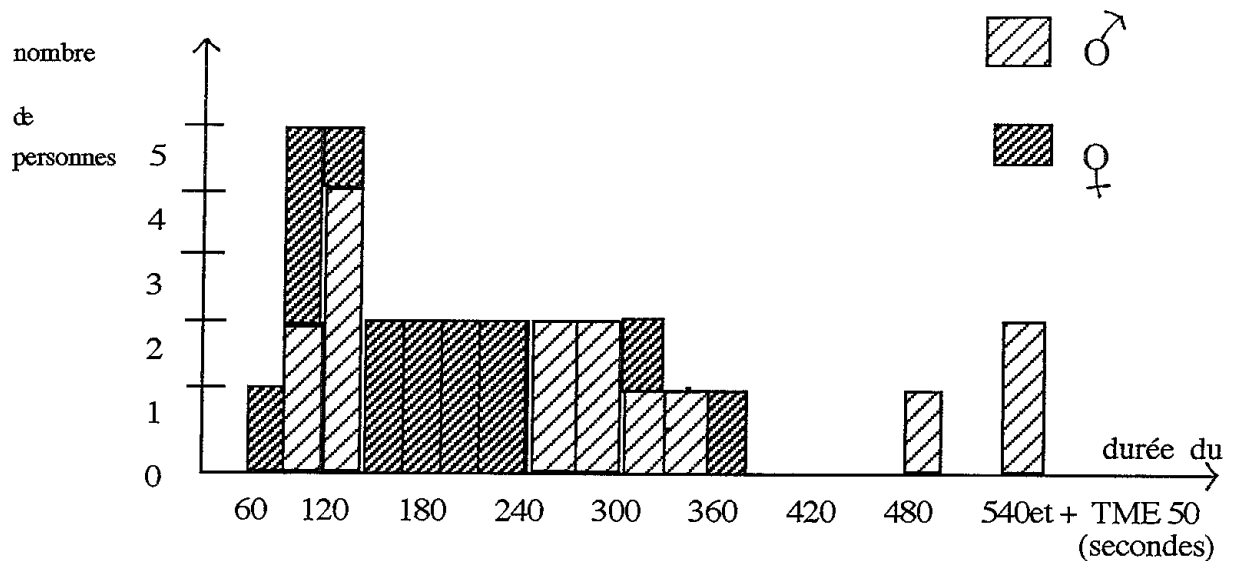


Figure 6 : Histogramme de la répartition par intervalles du TME 50 en fonction du sexe

3. 2. 1. 2. A plusieurs critères

Nous avons réalisé des nuages de points (ANNEXES III et IV) montrant la force et l'endurance en fonction du poids et de la taille.

3. 2. 2. Tests statistiques

Nous avons cherché des coefficients de corrélation liés aux différentes courbes réalisées. Ils ne sont pas concluants : il n'existe pas de corrélation suffisante entre les données.

3. 2. 3. Les données subjectives

Nous avons eu très peu de plaintes à propos de l'appui du sommet de la tête sous la partie horizontale de l'appareil. Par contre pendant l'essai d'endurance, qui s'est prolongé plus que nous ne l'avions prévu, nous avons eu de nombreuses plaintes de douleurs au niveau des membres inférieurs.

4. DISCUSSION

4.1. La population

C'est une population jeune, ce qui nous met à l'abri des complications dues au vieillissement du rachis. Elle est sportive à 73,33% au sens où les individus pratiquent des exercices

physiques de loisir pendant au moins deux heures par semaine. Notre population est donc saine.

4. 2. L'autograndissement

4. 2. 1. Analyse des résultats

L'autograndissement moyen observé dans ce travail est de 1,14 cm ce qui est légèrement inférieur à ce que trouvait Le Roux (9), c'est-à-dire un autograndissement de 1,4 cm. Mais sa mesure se faisait dans des conditions différentes, sans contact du dos avec le mur, donc sans contact extéroceptif pour guider le mouvement. Les compensations étaient peut-être plus importantes que dans notre étude, ce qui expliquerait la différence entre les deux moyennes.

4. 2. 2. Critiques et modifications

Le point délicat de notre test est que tout repose sur cette première mesure qu'est l'amplitude d'autograndissement. Il fallait donc y prêter une attention particulière, ce qui n'était pas aisé compte tenu du côté artisanal de l'appareil. Avec un système plus perfectionné, la mesure et le réglage auraient été plus rapides et plus faciles.

De plus pour des sujets non entraînés à l'autograndissement, il faudrait inclure un apprentissage de ce mouvement avant de pratiquer le test. Nous n'avons pas eu de problème de ce côté car les individus étaient majoritairement des kinésithérapeutes et ergothérapeutes.

4. 3. Le test de force

4. 3. 1. Analyse des résultats

Nous ne trouvons aucune corrélation statistique entre la force maximale et l'âge, la taille, le poids, le sport, l'autograndissement, le TME 50... Ce résultat contraire à nos espérances est identique à celui de K.Kerkour (8). Sur les nuages de points cependant (ANNEXE III), il semble se dessiner une relation entre la force maximale et le poids, la force augmentant avec le poids. Cette tendance refléterait le fait que les individus les plus musclés sont les plus lourds ou bien elle peut être la conséquence du fait que plus un homme est lourd plus il est nécessaire d'avoir des muscles puissants pour assurer la statique du rachis.

Au point de vue quantitatif, nous observons une force maximale moyenne (en excluant le cas particulier) de 22.52 kg/f des muscles érecteurs du rachis chez une population saine. C'est

une force instantanée, isométrique. Nous ne pouvons, hélas, la comparer avec les mesures isocinétiques.

Nous observons que la moyenne des tests de force successifs tend à augmenter, ce qui signifie que l'entraînement joue un rôle. Cela nous permet de dire qu'avec un plus grand nombre d'essais de force, nous aurions certainement constaté encore une progression de la force maximale et notre évaluation aurait été plus précise. Mais cela aurait été trop long dans le cadre de ce travail écrit. Cependant si la moyenne globale des essais augmente, ce n'est pas le cas pour chaque individu :

- 13 augmentent leur performance avec les essais,
- 5 diminuent leur performance avec les essais,
- 12 sont mixtes, c'est-à-dire inclassables dans les catégories précédentes.

On obtient donc deux profils principaux :

- celui des sujets qui profitent de la répétition de l'essai et chez lesquels se déroule un apprentissage neuro-moteur,
 - celui des sujets qui fournissent leur effort maximal au premier essai et qu'ils ne peuvent plus égaler par la suite. Chez eux domine l'insuffisance de la régénération des phosphocréatines.
- Chez les mixtes, les deux profils se mêlent.

4. 3. 2. Validité du test

Étant donné que :

- nous n'avons eu aucune plainte subjective des participants à propos de ce test,
 - nous n'avons pas eu de mouvements parasites ni de compensations (que nous avons prévenues pour les éviter par la position du test),
 - le test est bien défini dans sa position de départ et tous ses paramètres (ce qui permet de le reproduire aisément),
 - les résultats que nous obtenons sont homogènes entre hommes et femmes avec des écarts-types assez faibles,
- nous pouvons considérer que le test de force est valable.

4. 3. 3. Améliorations

Pour augmenter la précision, il faudrait prévoir comme on l'a vu précédemment

(cf 4. 3. 1.) une dizaine d'essais au lieu des trois qui ont été effectués dans ce travail.

4. 4. Le test d'endurance

4. 4. 1. Analyse des résultats

Nous observons une moyenne de 210 secondes mais un écart-type très important de 137 secondes, ce qui montre bien que les résultats sont très inconstants et étalés, et donc peu significatifs. Pourquoi ces écarts ? Plusieurs réponses sont possibles :

- Notre seuil d'endurance était mal ciblé : nous avons pris comme valeur limite 50% de la force maximale dans l'espoir de tester le mode anaérobie lactique et les fibres IIa des érecteurs du rachis. Ce mode de fonctionnement s'épuise en un peu moins de deux minutes (11).

Or 19 individus sont passés au-dessus des deux minutes. Ils sont donc passés à un mode de métabolisme mixte, voire en aérobie pure pour 3 d'entre eux qui ont dépassé les 8 minutes. Ce pourcentage avait été établi arbitrairement. Nous pouvons donc conclure que pour tester l'endurance sur le mode anaérobie lactique des muscles érecteurs du rachis, il faut utiliser un seuil d'endurance supérieur à 50% de la force maximale. Dans notre étude, il semble que nous nous trouvions dans une zone de transition des différents métabolismes. Il semble de plus qu'il existe des différences individuelles importantes puisque pour un seuil évalué de la même façon pour tous, certaines personnes fonctionnent en anaérobie lactique et d'autres en aérobie complète.

- La motivation est aussi un facteur qui a pu contribuer à provoquer des écarts aussi importants. En effet, étant donné que notre seuil était mal calculé, le temps d'endurance avait tendance à être augmenté. Or plus la durée est longue, plus il est nécessaire d'être motivé pour tenir encore, aller au bout de ses possibilités et ne pas se laisser gagner par la lassitude. Les individus de notre étude avaient peut-être des degrés de motivation différents.

- Le problème lié à la position est aussi une explication : la majorité des personnes s'est plainte de l'inconfort de la position des membres inférieurs lors de ce test. Les plaintes étaient de deux types :

- Celles qui sont à type d'"étirement" : les membres inférieurs sont en hypertension de genou et flexion dorsale de cheville. Cette position étire donc à la longue le triceps sural en particulier les gastrocnémiens. 13 individus se sont plaints de cet étirement. C'est un facteur qui a limité leur performance.

- Celles qui sont à type de “crispation” : elles concernent 9 sujets et sont la conséquence d’une irradiation : les muscles spinaux faiblissant, tout le corps (en particulier les membres inférieurs) se crispe pour tenter de résister plus longtemps. C’est un phénomène inévitable.

4. 4. 2. Validité du test d’endurance

Étant donné les critiques précédentes, à savoir que les résultats sont très inconstants, que le seuil d’endurance était mal défini et que le maintien de la position durant plusieurs minutes a provoqué des douleurs et donc limité les performances de certains, ce test tel que nous l’avons fait n’est pas valable, pas fiable.

4. 4. 3. Améliorations

Il faut redéfinir le seuil de l’endurance. Il faudrait prendre 60% de la force maximale et faire une présérie pour constater si l’on se trouve dans l’échelle de temps d’endurance à laquelle on s’attend lors d’un test en métabolisme anaérobie lactique. Si cette valeur ne suffisait pas, il serait possible de l’augmenter encore.

D’autre part le contrôle de la fréquence cardiaque juste avant l’essai devrait être un bon témoin de la motivation du sujet.

Enfin, il est impératif de trouver une adaptation de la position actuelle du test de façon à éliminer tout problème parasite, au niveau des membres inférieurs, qui pourrait perturber l’essai. Une solution qui semble intéressante serait de positionner le sujet assis sur un siège en forme de selle de vélo, de façon à ce que seuls ses ischions reposent sur l’assise et que son bassin soit à la même hauteur que dans la position que nous avons adoptée. De cette manière, la personne serait placée exactement comme dans notre travail si ce n’est que son poids reposerait sur la selle et non sur ses pieds, d’où une détente de la chaîne postérieure des membres inférieurs.

4. 5. Les cas particuliers

Le cas n° 10 : c’est l’individu qui a la plus grande force : 49 kg/f, ce qui est plus de deux fois la moyenne de force maximale ! Il devance de 12,5 kg/f la deuxième meilleure force maximale. On pourrait penser que son essai a été surévalué ou que cet homme a triché, mais pas

du tout ! Pour preuve, il suffit de regarder ses autres essais qui sont de 42,5 et 48 kg/f et son endurance qui est de 499 secondes soit 8 minutes et 19 secondes ! Il a donc bien une force largement supérieure à celle des autres. Pourtant aucun élément de sa fiche de renseignements n'explique ce résultat exceptionnel : il se situe près des moyennes d'âge, de poids et de taille, n'est pas un sportif de haut niveau et est sujet à des cervicalgies. Ses problèmes de cou ne sont certainement pas dus à une insuffisance musculaire ! Peut-être cette force est-elle une compensation développée pour parer à ces difficultés ?

Dans les cas n° 4, 18, 20 et 29, il existe des antécédents rachidiens qui n'étaient pas en phase aiguë. Ils comprennent :

- lombalgies répétées,
- une lombalgie qui a été chronique pendant trois ans,
- une hernie discale L5 S1 et des lombalgies un peu plus d'un an avant ce test,
- lombalgies et cervicalgies répétées.

Ces cas sont trop peu nombreux pour pouvoir annoncer une conclusion, mais nous remarquons que toutes ces personnes ont ressenti une nette impression de fatigue musculaire des spinaux durant le TME 50 qui pour chacune d'elles est inférieur à 110 secondes. Sur les 9 sujets dont le TME 50 n'atteint pas 110 secondes, 4 ont des antécédents rachidiens dans un passé proche. Par conséquent un traumatisme assez récent peut se manifester par une diminution de l'endurance des muscles érecteurs du rachis.

5. CONCLUSION

Nous avons donc élaboré un test de force isométrique des muscles érecteurs du rachis. Ce test est tout à fait valable car il est reproductible et fiable en ce sens qu'il prévient les compensations qui pourraient intervenir. Il est simple à réaliser et non traumatisant pour la colonne vertébrale et les éléments péri-vertébraux. De plus ce test mesure la force des muscles profonds du dos, c'est-à-dire des muscles qui font partie de la poutre composite du rachis et qui le soutiennent à longueur de journée.

Par contre le test d'endurance n'est pas applicable tel qu'il a été élaboré. Il est nécessaire d'y apporter des modifications, en particulier de réévaluer le seuil d'endurance et d'adapter la

position en faisant asseoir le sujet sur un siège-selle.

Nous avons travaillé sur une méthode destinée à tester les muscles spinaux profonds et, pour pouvoir la retenir ou l'invalider, nous l'avons appliquée sur des sujets sains. Mais l'intérêt de cette technique est de l'intégrer par la suite dans le traitement de pathologies de la colonne.

K. Kerkour (7) a montré que les sujets lombalgiques chroniques présentent une diminution de la force des spinaux. Il serait donc intéressant de faire travailler ces personnes, une fois passée la phase aiguë douloureuse, de la même façon que dans ce test mais en visant une tonification musculaire.

Ce traitement pourrait s'appliquer également à la phase de renforcement musculaire de la rééducation des fractures de vertèbres.

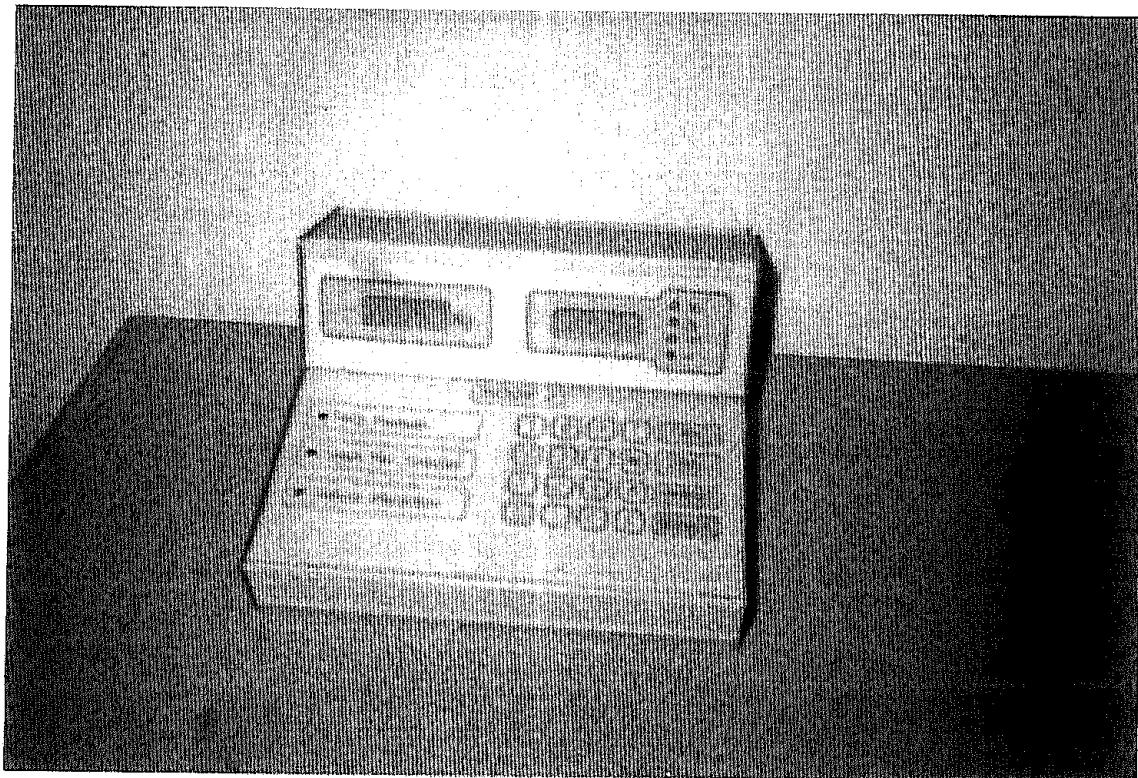
BIBLIOGRAPHIE

1. **BOUVET G.** - Mesures expérimentales de la force des muscles érecteurs du rachis sous forme d'autograndissement chez 30 sujets sains. - Diplôme d'Etat de Masso-kinésithérapie Grenoble : 1993-1994. - 21 p.
2. **DUFOUR M., PENINOU G., NEIGER H., GENOT C., LEROY A., PIERRON G., DUPRE J.M.** - Kinésithérapie 4 : tronc et tête. - Paris : Flammarion, 1987. - p. 246
3. **JOUVE I.** - Mesures expérimentales de l'endurance des muscles érecteurs du rachis sous forme d'autograndissement chez 30 sujets sains. - Diplôme d'Etat de Masso-kinésithérapie : Grenoble : 1993-94. - 19 p.
4. **KAHLE W., LEONHARDT H., PLATZER W.** - Atlas commenté d'anatomie humaine pour étudiants et praticiens : tome 1, appareil locomoteur. - Paris : Flammarion, 1978. - 426 p.
5. **KAPANDJI I.A.** - Muscles de la paroi abdominale : le redressement de la lordose lombaire. - Physiologie articulaire : tome 3 : tronc et rachis. - Paris : Maloine SA, 1982. - p. 106. p. 216. p. 220, p. 228, p. 242.
6. **KERKOUR K.** - Place de l'électro-stimulation neuromusculaire (ESNM) programmable dans la hernie discale lombaire opérée. - Delémont : Hôpital Régional : 13 p.
7. **KERKOUR K., MEIER J.L.** - Evaluation comparative isocinétique des fléchisseurs et extenseurs du tronc de sujets sains et de lombalgiques. - Pr. DESEZE. - Rééducation 93. - Paris : Expansion Scientifique Française, 1993. - p.345-351.
8. **KERKOUR K., TERAZZI G., MEIER J.L.** - Mesure de la force des muscles extenseurs du tronc. - Rééducation 93. - Paris : Expansion Scientifique Française, 1991. - p. 59-66.
9. **LE ROUX P., DESMARETS J.J.** - Influence de l'autograndissement sur les courbures rachidiennes - Les Annales de Kinésithérapie, 1990, t.17, n° 6, p. 339-341.

10. **MAYOUX, BENHAMOU M.A., VALLEE C., REVEL M.** - Étude tomодensitométrique des muscles paravertébraux lombaires : influence de l'âge. - Le rachis. - Masson, 1992. - p. 58-62.
11. **RIEU M.** - Bioénergétique musculaire. - **HEULEU J.M., SIMON L.** - Muscle et rééducation : techniques de récupération de la force et du volume musculaires. - Paris : Masson, 1988. - p. 42-67. - Problèmes en médecine de rééducation ; 12.
12. **VIEL E., CLARIJS J.** - Biomécanique du rachis cervical et implications en rééducation. - Annales de kinésithérapie, 1984, 11, 3, p. 57-67.

ANNEXES

ANNEXE I



Ecran de contrôle

ANNEXE II

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

* QUESTIONNAIRE

- NOM, PRENOM:
- SEXE:
- AGE:
- TAILLE:
- POIDS:
- SPORTS PRATIQUES(nombre d'heures par semaine):
- ANTECEDENTS DE RACHIALGIE OU DE TRAUMATISME DE LA COLONNE:
- PARTICULARITES MORPHOLOGIQUES DU RACHIS(scoliose, attitude scoliotique, hyperlordose, hypercyphose):

* MESURES

- MESURES PRELIMINAIRES:

amplitude d'autograndissement en cm	
-------------------------------------	--

- MESURE DE LA FM:

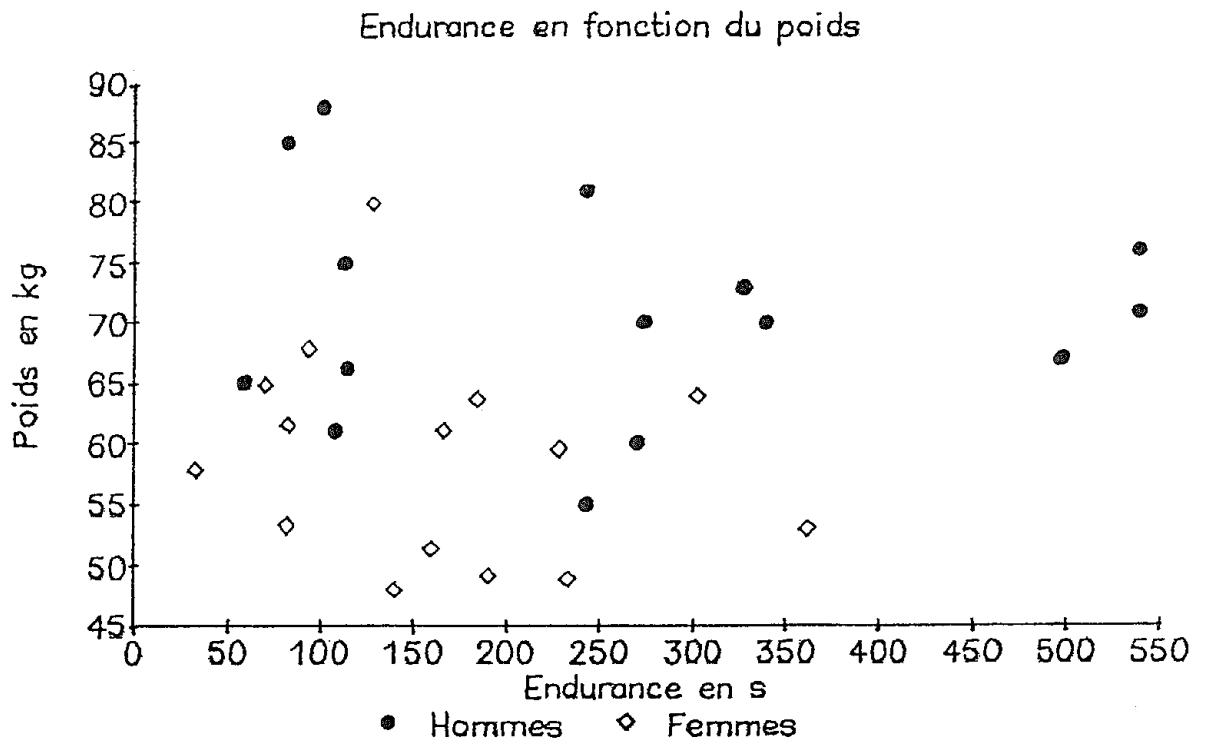
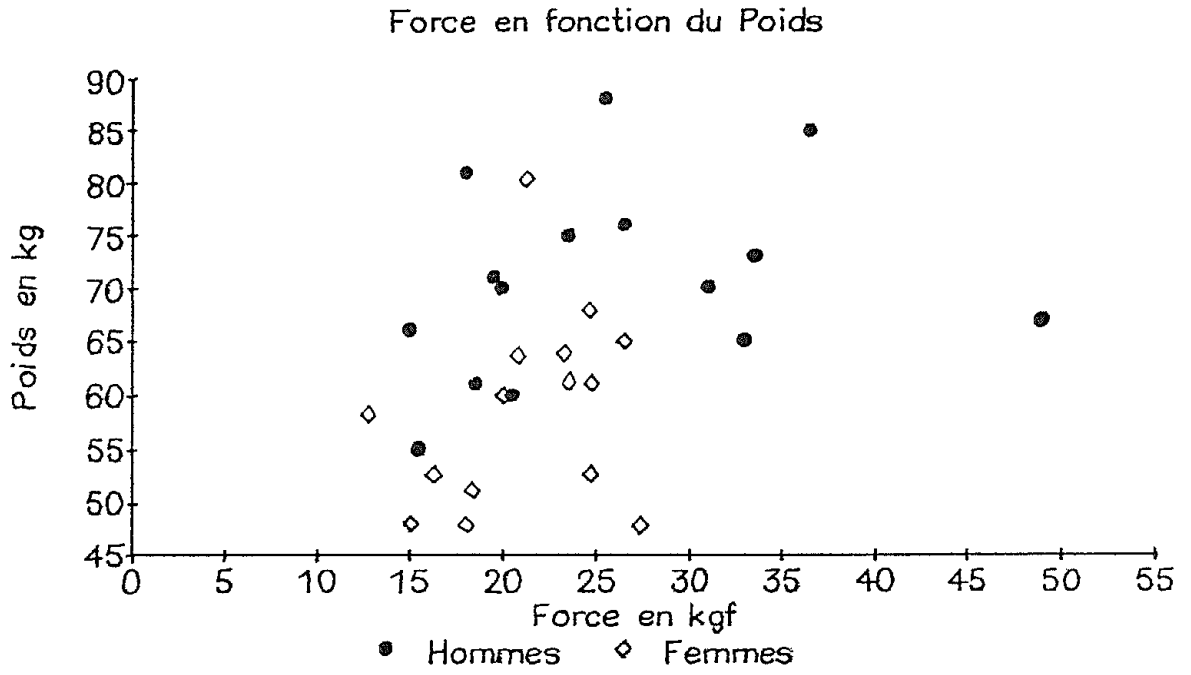
échauffement kgf	FM1 kgf	FM2 kgf	FM3 kgf

- MESURE DE L'ENDURANCE:

FM max kgf	seuil d'endurance kgf	TME 50	nombre de passages sous le seuil

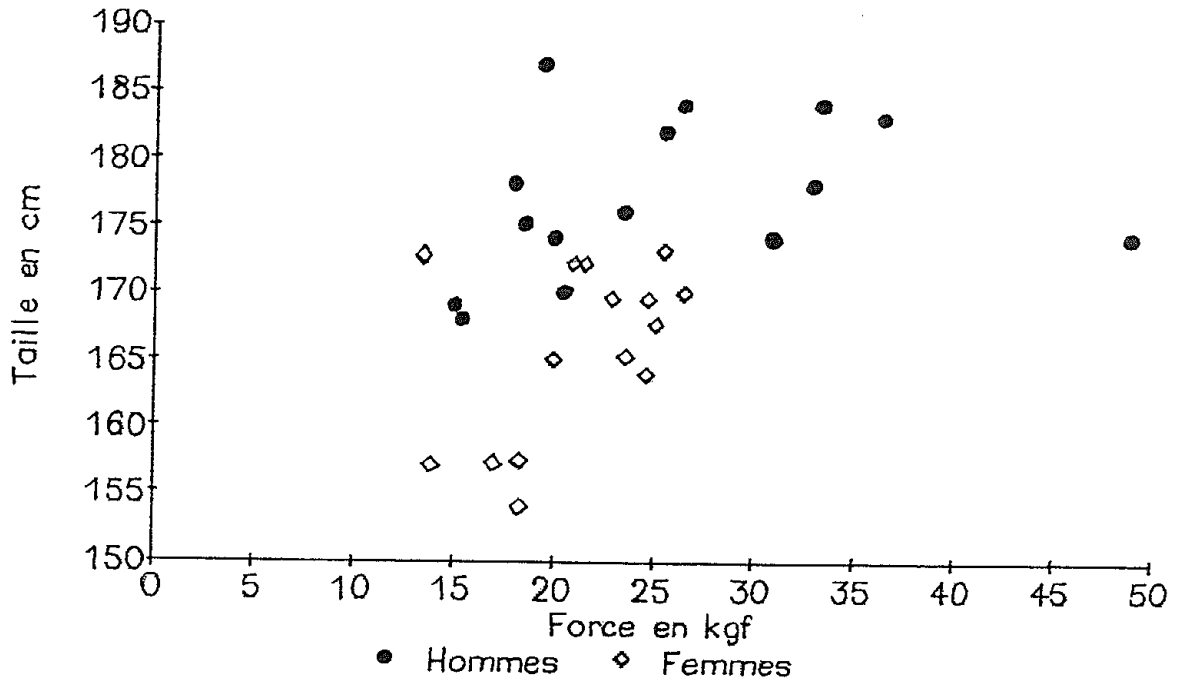
* COMMENTAIRES

ANNEXE III



ANNEXE IV

Force en fonction de la taille



Endurance en fonction de la taille

