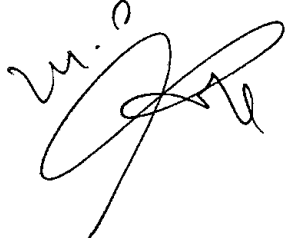


MINISTERE DE LA SANTE  
REGION LORRAINE  
ECOLE DE KINESITHERAPIE DE NANCY

ETUDE ISOCINETIQUE COMPARATIVE  
DES MUSCLES PRONATEURS ET SUPINATEURS  
DE L'AVANT-BRAS

ECOLE DE  
KINÉSITHÉRAPIE ET ERGOTHÉRAPIE  
57 bis, rue de Nabécor  
54000 NANCY

M. 04-93  


Rapport de travail écrit personnel  
présenté par **Mathieu BONHOMME**  
étudiant en 3ème année de kinésithérapie  
en vue l'obtention du diplôme d'état  
de masseur-kinésithérapeute  
1992-1993

# RESUME

Ce travail a consisté à mettre au point un protocole de test isocinétique sur Cybex 350, dans le but de réaliser une étude comparative des muscles pronateurs et supinateurs de l'avant-bras. Ce test, que nous avons soumis à trente sujets sains, droitiers, âgés de 19 à 29 ans, était composé d'une séquence à vitesse rapide (120 degrés par seconde) et d'une séquence à vitesse lente (30 degrés par seconde).

En recueillant les données du rapport numérique et en les comparant grâce au logiciel Statview, nous avons pu constater :

- que les supinateurs étaient plus forts que les pronateurs à vitesse rapide, mais que cette différence de force n'était pas significative à vitesse lente.
- que le rapport de force pronateurs / supinateurs se rapprochait de 1 (1,01 à vitesse lente et 0,87 à vitesse rapide).
- que l'angle moyen d'efficacité maximum des supinateurs, à vitesse lente comme à vitesse rapide, se situait en course externe, alors que pour les pronateurs il se situait en course externe à vitesse lente et en course moyenne à vitesse rapide.
- qu'il nous était possible d'établir des corrélations entre la force de préhension, la circonférence de l'avant-bras au plus large et la force des pronateurs et des supinateurs.

Nous avons également réalisé un profil standard des courbes obtenues : courbe type des pronateurs à vitesse lente, courbe type des pronateurs à vitesse rapide, courbe type des supinateurs à vitesse lente et courbe type des supinateurs à vitesse rapide.

# SOMMAIRE

1. INTRODUCTION .....	1
2. RAPPELS DE BIOMECHANIQUE.....	1
3. MATERIEL ET METHODE.....	3
3.1. Population étudiée.....	3
3.2. Rappels sur l'isocinétisme .....	4
3.3. Matériel utilisé : le CYBEX 350.....	5
3.3.1. Un dynamomètre isocinétique .....	5
3.3.2. Un banc réglable.....	6
3.3.3. Un dispositif informatique .....	6
3.4. Méthode .....	6
3.4.1. Etalonnage du Cybex .....	6
3.4.2. Echauffement et données pédagogiques.....	6
3.4.3. Mesures préalables.....	7
3.4.4. Position du test .....	7
3.4.5. Protocole .....	8
3.4.6. Recueil et traitement des données .....	8
4. INTERPRETATION DES RESULTATS.....	9
4.1. Le pic de couple .....	9
4.1.1. Définition.....	9
4.1.2. Comparaison du pic de couple des pronateurs et des supinateurs.....	9
4.2. L'angle d'efficacité maximum .....	9
4.2.1. Définition.....	9
4.2.2. Evaluation et comparaison .....	10
4.3. Recherche de corrélation entre les différents paramètres .....	11
4.4. Aspect des courbes types.....	13
4.5. Rapport des muscles agonistes / antagonistes .....	16
5. INCIDENCES KINESITHERAPIQUES.....	16
6. CONCLUSION .....	16

## 1. INTRODUCTION

Le travail que nous nous proposons de réaliser consiste à mettre au point un protocole de test isocinétique, pour le soumettre à 30 sujets sains, de manière à réaliser une étude comparative des muscles pronateurs et supinateurs de l'avant-bras et afin de déterminer :

- Le groupe musculaire le plus fort.
- Le secteur d'amplitude (course) dans lequel nous pouvons espérer obtenir l'efficacité maximale de chacun de ces deux groupes.
- Les corrélations pouvant être établies entre la force de ces muscles, la force de préhension et la circonférence de l'avant-bras au plus large.

En outre, en fonction des résultats obtenus, nous chercherons à mettre en évidence des incidences kinésithérapiques.

Notons pour finir, qu'à notre connaissance, aucune étude similaire n'a été réalisée jusqu'alors.

## 2. RAPPELS DE BIOMECANIQUE.

La pronosupination constitue un mouvement relativement complexe mettant en jeu deux articulations : la radio-cubitale supérieure (RCS) et la radio-cubitale inférieure (RCI) (7).

A partir de la position de référence coude fléchi à 90°, pouce au zénith, on définit la supination comme étant le mouvement qui amène la paume de la main vers le haut, et la pronation comme étant le mouvement qui amène la paume de la main vers le bas. Certains parlent, pour la supination, de rotation externe, et pour la pronation, de rotation interne.

Les valeurs d'amplitude varient considérablement d'un auteur à l'autre. Kapandji donnait à la supination 90° et à la pronation 85° (6). Concrètement, il apparaît plus juste de se référer aux valeurs moyennes de 84° pour la supination et de 71° pour la pronation, et plus judicieux encore de considérer le mouvement de pronosupination dans son amplitude globale qui varie de 130° à 170°.

C'est aux articulations RCS et RCI que ce mouvement incombe. Ces articulations, mettant en jeu un cylindre plein et un cylindre creux, sont qualifiées de trochoïdes. Certains parlent même de double trochoïdes inversées (3).

Ces articulations possèdent un système ligamentaire important, permettant d'assurer une bonne congruence articulaire en maintenant les deux os en contact, et de limiter le mouvement. Parmi ces ligaments, citons le ligament carré de Denucé, le ligament annulaire et le ligament triangulaire.

Nous ne détaillerons pas ici les différentes théories qui s'opposent quant aux mouvements combinés du radius et du cubitus. En revanche, et bien que là aussi, il existe des divergences, il apparaît nécessaire de définir l'axe du mouvement : dans la position qui nous intéresse, c'est -à-dire en flexion du coude à 90° (car c'est dans cette position que l'amplitude de pronosupination est maximale), l'axe du mouvement passe par le troisième doigt.

Les muscles moteurs de la pronosupination sont principalement au nombre de quatre. Ils s'associent deux à deux, mettant en jeu pour chaque mouvement un muscle plat et court agissant par déroulement et un muscle long, s'insérant sur l'une des courbures du radius et agissant par traction. C'est sur la longue portion du biceps brachial que la littérature est la plus riche. En effet, ce muscle a donné lieu à bon nombre d'études. L'étude de son activité électromyographique par Gravel et Simard (5), puis plus tard par beaucoup d'autres (1), au cours du mouvement de supination et ce, pour différentes positions du coude et de l'épaule, donnent les résultats suivants : le long biceps apparaît avoir une activité légèrement plus élevée quand le coude est en flexion à 90° et ce, en comparaison à la position d'extention (cette différence reste peu significative) ; par contre, l'activité électromyographique de ce muscle est nettement accrue quand la supination est réalisée contre une résistance de 20 Newton.

Le long biceps apparaît donc être un muscle agissant par traction (7), possédant une efficacité maximale quand le coude est fléchi à 90° (tendon perpendiculaire au bras de levier) et étant plus sollicité lors de la supination contrariée que lors de la supination libre (3, 5, 7). Notons en outre qu'une supination en force nécessite une cocontraction du triceps pour annuler la composante de flexion du biceps (7).

Le Court Supinateur est qualifié de "muscle à tout faire" de la supination (7). Il agit par déroulement. Il est lui aussi plus fort lorsque le coude est fléchi. Il est nettement plus sollicité que le biceps lors de la supination libre.

Pour la pronation, c'est le Rond Pronateur qui agit par traction et le Carré Pronateur qui agit par déroulement.

Le Carré Pronateur est toujours actif au cours du mouvement de pronation et ce, d'autant plus que le mouvement est réalisé contre résistance.

Le Rond Pronateur possède une activité maximale quand le coude est fléchi. Comme le biceps, c'est un muscle de réserve. Il est mis en jeu plus significativement quand la pronation est réalisée en force.

Il est difficile de dire lequel de ces deux groupes musculaires est le plus fort, la bibliographie étant relativement pauvre à ce sujet.

Les seules valeurs trouvées font apparaître que le travail des muscles supinateurs est légèrement plus important que celui des pronateurs. Toutefois, cette différence apparaît peu significative (fig. 1).

Rappelons enfin qu'il existe des supinateurs accessoires, ainsi que des pronateurs accessoires.

<i>Pronation</i>	
Rond pronateur .....	0,7 kgm
Carré pronateur .....	0,2 kgm
Premier radial .....	0,2 kgm
Grand palmaire .....	0,2 kgm
	<hr/>
	1,3 kgm
<i>Supination</i>	
Biceps .....	1.1 kgm
Court supinateur .....	0.3 kgm
	<hr/>
	1.4 kgm

fig. 1 : Travail effectué par les muscles de la prono-supination (Von Lanz et Wachsmuth)

### 3. MATERIEL ET METHODE

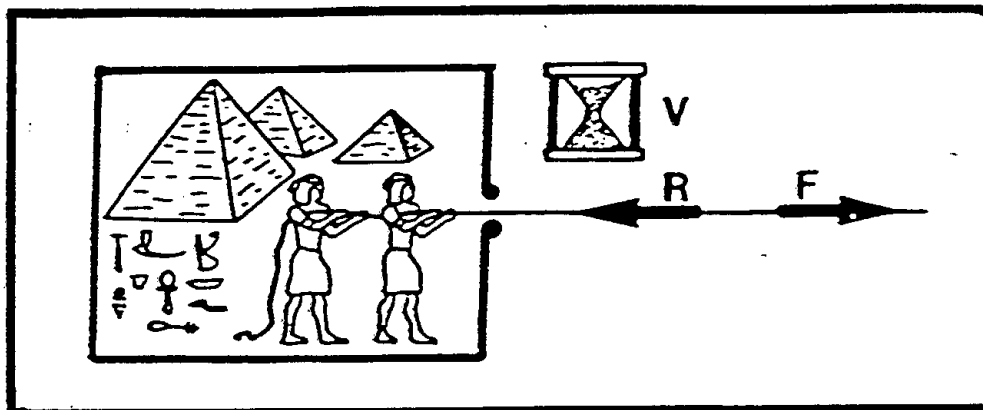
#### 3.1. Population étudiée

Notre étude est réalisée sur 30 sujets âgés de 19 à 29 ans, droitiers, ne pratiquant pas à haut niveau de sports sollicitant beaucoup la pronosupination (gymnastique, escrime, tennis, ping-pong,...) et ne présentant pas d'antécédents médicaux ou chirurgicaux susceptibles de contrarier le mouvement de pronosupination (fracture, entorse,...).

### 3.2. Rappels sur l'isocinétisme

L'isocinétisme, concept encore relativement nouveau, développé par Hislop et Perrine en 1967, constitue avant tout une méthode de bilan, mais également un type de renforcement musculaire révolutionnaire puisqu'il permet à tout moment d'asservir la résistance à la force développée par le muscle, si tant est que le mouvement s'effectue à la vitesse imposée et prédéterminée par l'opérateur.

Il regroupe tous les avantages des protocoles classiques de renforcement musculaire en supprimant les inconvénients. La résistance isocinétique permet d'oublier l'éternel problème de la variation du moment moteur au cours du mouvement en s'adaptant à tout moment à la force maximale développée par le sujet, suivant le principe physique bien connu de l'action-réaction (fig. 2), mais sur un mode dynamique, ce qui jusqu'alors n'était permis que par la main du thérapeute (4, 8). La seule différence est que le facteur humain n'entre plus en ligne de compte (humeur du jour, fatigue, etc, ...) et que la résistance isocinétique est constante, reproductible et fiable.



**fig. 2 : Illustration d'un concept isocinétique : utilisation du principe de l'action-réaction sur un mode dynamique**

Les "savants" calculs de résistance maximale (RM) deviennent inutiles puisque cette résistance est à tout moment maximale.

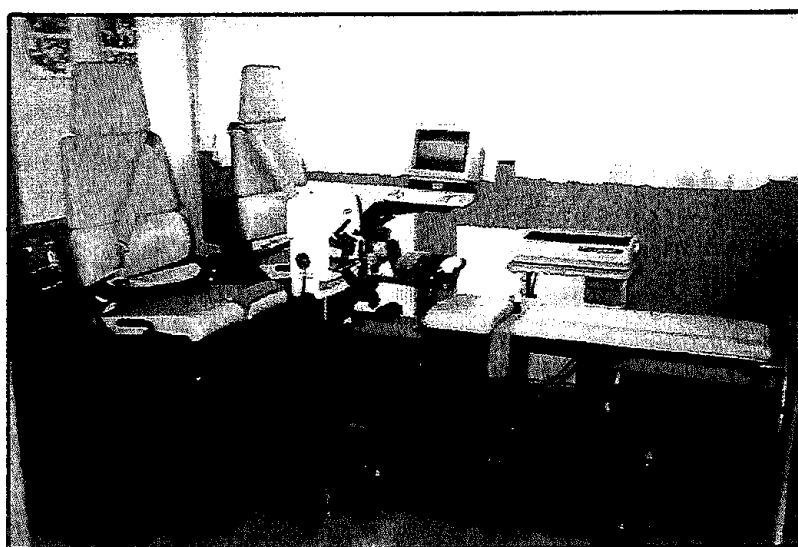
Les poids et charges additionnels n'ont plus lieu d'être puisque cette résistance est délivrée par un dynamomètre utilisant la technologie des servomoteurs électromécaniques.

Il est à noter que le bénéfice de ces avantages n'est obtenu que si le patient effectue le mouvement à la vitesse programmée (cette vitesse peut varier de 0° à 300° par seconde). Si le patient réalise son mouvement en deçà de cette vitesse, la résistance n'est plus asservie : elle devient nulle.

L'appareillage isocinétique asservi permet le développement des propriétés neuro-musculaires, soit par un travail statique quand la vitesse est réglée à 0, soit par un travail dynamique concentrique (8).

### **3.3. Matériel utilisé : le CYBEX 350**

Le Cybex 350, système évolué d'évaluation et de rééducation isocinétique des articulations périphériques, se compose de différents éléments (fig. 3) :



**fig. 3 : Appareil isocinétique CYBEX 350**

#### **3.3.1. Un dynamomètre isocinétique**

C'est cet appareil qui délivre la résistance isocinétique, grâce à la technologie des servomoteurs à laquelle s'associent un enregistreur des moments de force et un système de sélection des vitesses angulaires.

Ce dynamomètre est réglable en hauteur. Il possède un axe de rotation sur lequel nous avons adapté l'accessoire de pronosupination fourni par le constructeur. Les amplitudes du mouvement, afin d'éviter les compensations et les mouvements parasites, ont été limitées à l'aide de serre-joints fixés sur le rail circulaire gradué du dynamomètre (fig. 4).



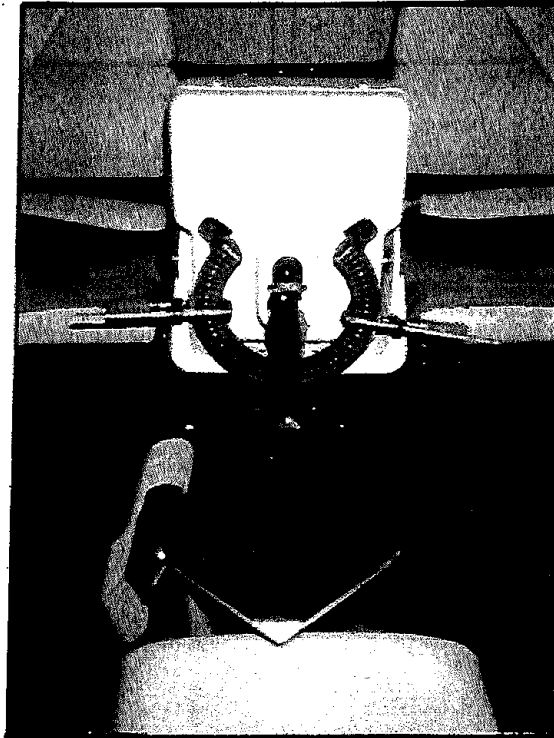


fig. 4 : Le dynamomètre isocinétique

### **3.3.2. Un banc réglable**

### **3.3.3. Un dispositif informatique**

Il permet d'établir un fichier des patients étudiés comportant toutes les données nécessaires. Il constitue le système de contrôle et de pilotage du dynamomètre.

## **3.4. Méthode**

### **3.4.1. Etalonnage du Cybex**

L'étalonnage a été réalisé en suivant le protocole fourni par le constructeur.

### **3.4.2. Echauffement et données pédagogiques**

Chacun des sujets s'est échauffé au préalable par des exercices de stretching sollicitant l'ensemble des membres supérieurs, mais surtout les muscles de l'avant-bras. Chaque étirement était maintenu dix secondes. La totalité de l'échauffement durait trois minutes.

A chacun d'eux, nous avons enseigné ce qu'était le mouvement de pronosupination et ce qu'était une résistance isocinétique. De cette façon, nous espérions éviter respectivement les compensations ou les mouvements parasites d'une part, l'effet de surprise produit par la première approche du Cybex d'autre part.

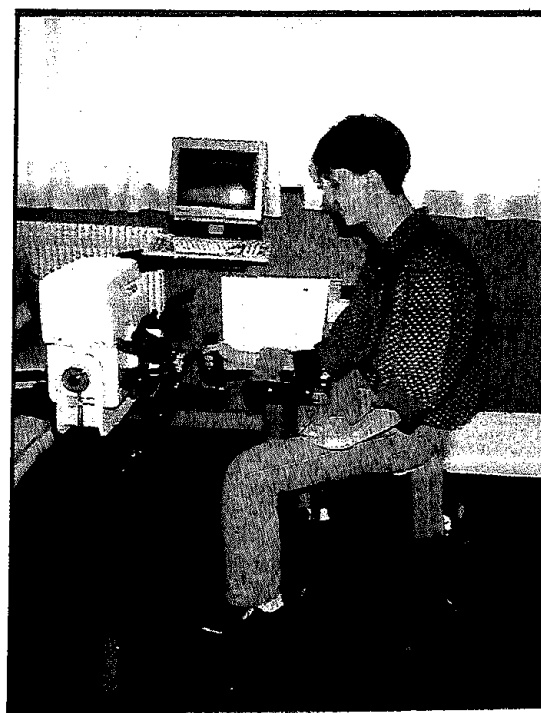
Le but de notre démarche était également de faire comprendre au sujet que le principe de l'isocinétisme les obligeait à se donner à fond : le plus vite et le plus fort possible.

### **3.4.3. Mesures préalables**

Pour chaque sujet, nous avons relevé le poids, la taille, la circonférence de l'avant-bras au plus large et la force de préhension au Jamar.

### **3.4.4. Position du test**

Le sujet, pour le test réalisé, est placé à califourchon sur le banc réglable du Cybex, face au dynamomètre. Les cuisses sont à peu près horizontales, les jambes verticales. Le tronc est droit. L'épaule droite est en légère adduction. Le coude est placé à 90° de flexion. Le troisième doigt se place en regard de l'axe du dynamomètre. L'avant-bras du sujet repose sur une sorte de selle et est fixé par deux sangles. Le sujet serre la poignée de pronosupination de manière à stabiliser le poignet (fig. 5).



**fig. 5 : Position du test**

### 3.4.5. Protocole

- 1°) Réglage de la position de départ : supination maximale.
- 2°) Réglage de la position intermédiaire.
- 3°) Test à vitesse lente : 30° par seconde.
  - 4 aller-retour d'échauffement et de prise de contact.
  - 3 aller-retour pour le véritable test : le patient doit alors réaliser le mouvement **le plus vite et le plus fort possible.**
- 4°) 15 secondes de repos.
- 5°) Test à vitesse rapide : 120° par seconde (même principe que pour le test à vitesse lente).

### 3.4.6. Recueil et traitement des données

Pour chaque sujet soumis au test, nous constituons un dossier et l'intégrons dans la mémoire de l'ordinateur pilotant le Cybex. Après les différentes épreuves de ce test, nous imprimons un rapport numérique nous permettant d'obtenir directement les résultats qui nous intéressent :

- le pic de couple des supinateurs à vitesse lente.
- le pic de couple des supinateurs à vitesse rapide.
- le pic de couple des pronateurs à vitesse lente.
- le pic de couple des pronateurs à vitesse rapide.
- l'angle d'efficacité maximum des supinateurs à vitesse lente.
- l'angle d'efficacité maximum des supinateurs à vitesse rapide.
- l'angle d'efficacité maximum des pronateurs à vitesse lente.
- l'angle d'efficacité maximum des pronateurs à vitesse rapide.

En prenant en compte également la circonférence de l'avant-bras au plus large en centimètres et la force de préhension mesurée au Jamar, nous comptabilisons pour chaque sujet dix paramètres. Pour chacun des paramètres étudiés, les résultats sont moyennés. Ils sont ensuite traités par le logiciel STATVIEW, de manière à établir d'éventuelles corrélations entre eux.

## **4. INTERPRETATION DES RESULTATS**

### **4.1. Le pic de couple**

#### **4.1.1. Définition**

Le pic de couple (peak tork) correspond à la valeur maximale du couple de force atteint lors d'un mouvement. On l'exprime en N.m.

#### **4.1.2. Comparaison du pic de couple des pronateurs et des supinateurs**

Au vu des résultats moyennés, il nous est déjà possible d'émettre deux hypothèses. Premièrement, il semblerait qu'il n'existe aucune différence entre la force des pronateurs et celle des supinateurs à vitesse lente, le pic de couple moyen des pronateurs à cette vitesse étant de 12,53 N.m., celui des supinateurs étant de 12,33 N.m.

Deuxièmement, il semblerait en revanche que les supinateurs soient plus forts que les pronateurs à vitesse rapide, le pic de couple moyen des supinateurs à cette vitesse (120° par seconde) étant de 9,23 N.m. et celui des pronateurs étant de 8,067 N.m.(cf annexe IX).

Plus sûrement, d'après l'analyse statistique et, en particulier, d'après le calcul de probabilité, pour lequel nous retenons comme seuil significatif  $p = 0,05$ , il s'avère que ces hypothèses se confirment.

On peut donc affirmer :

1°) qu'il n'existe pas de différence significative entre la force maximale des pronateurs et des supinateurs à vitesse lente.

2°) qu'en revanche, à vitesse rapide, les supinateurs sont plus forts que les pronateurs. Ceci se rapproche de ce qui a été énoncé auparavant dans les rappels de biomécanique quant au travail effectué par les muscles de la pronosupination (fig. 1).

### **4.2. L'angle d'efficacité maximum**

#### **4.2.1. Définition**

C'est l'angle pour lequel apparaît la force maximale des muscles considérés, c'est-à-dire l'angle d'apparition du pic de couple. On l'exprime en degrés.

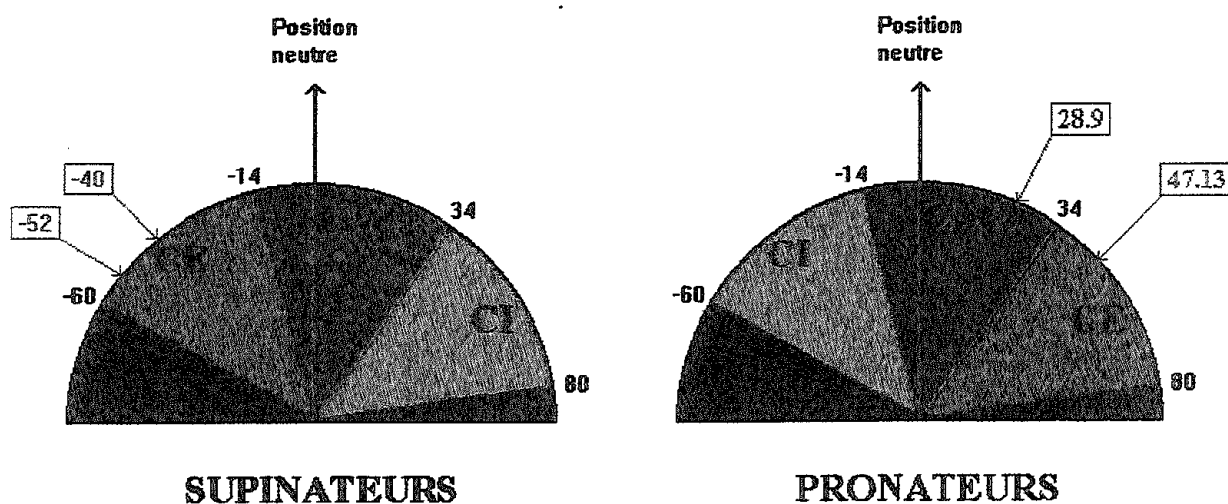
#### 4.2.2. Evaluation et comparaison

L'amplitude totale de pronosupination a été limitée à 140°. D'après les résultats obtenus :

- l'angle moyen d'efficacité maximum des pronateurs à vitesse lente est de 47,13°.
- l'angle moyen d'efficacité maximum des pronateurs à vitesse rapide est de 28,9°.
- l'angle moyen d'efficacité maximum des supinateurs à vitesse lente est de -52°.
- l'angle moyen d'efficacité maximum des supinateurs à vitesse rapide est de -40°.

La négativité de l'angle s'explique par la position neutre imposée par la machine, la position de départ et les mouvements alternés d'aller-retour (fig. 6).

Si nous divisons en trois parties le secteur angulaire représentant l'amplitude totale de pronosupination, il nous est possible de situer ces valeurs moyennes d'angle par rapport à la course des muscles considérés (course interne, moyenne ou externe) (fig. 6).



CE : course externe

CM : course moyenne

CI : course interne

**fig. 6 : Situation des angles moyens d'efficacité maximum des muscles pronateurs et supinateurs par rapport à leur course.**

Nous pouvons également le visualiser sur une représentation linéaire (fig. 7).

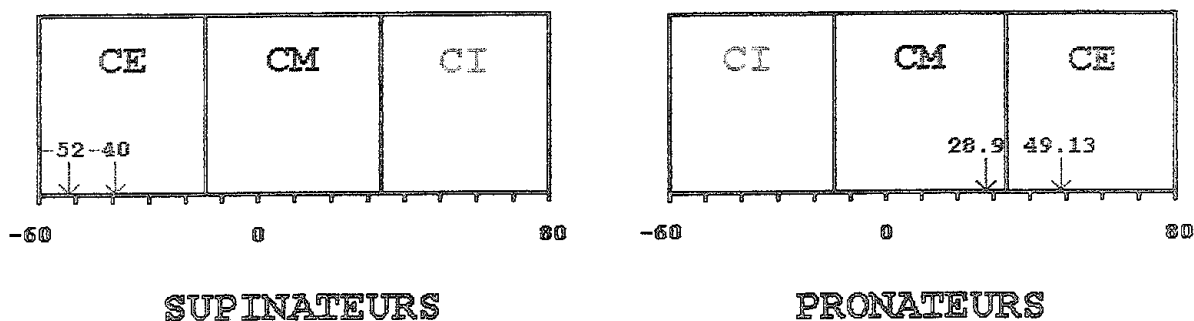


fig. 7 : Situation des angles moyens d'efficacité maximum des muscles pronateurs et supinateurs par rapport à leur course sur une représentation linéaire.

Ainsi, nous pouvons constater que dans 93,3 % des cas (28 cas sur 30), l'angle d'efficacité maximum des supinateurs à vitesse lente comme à vitesse rapide se situe en course externe.

En revanche, pour les pronateurs, nous constatons :

- qu'à vitesse lente, dans 93,3 % des cas, l'angle d'efficacité maximum se situe en course externe.
- qu'à vitesse rapide, il se situe en course moyenne, dans 56,6 % des cas (17 cas sur 30).

#### 4.3. Recherche de corrélation entre les différents paramètres

Dans l'analyse statistique, les différents paramètres ont été comparés deux à deux (exemple : circonférence de l'avant-bras / force de préhension), dans le but de trouver pour chaque couple de paramètres, une corrélation.

En effet, lorsque deux paramètres sont tels que les variations de leurs valeurs sont toujours de même sens ou de sens opposés, nous pressentons que ces deux paramètres sont liés l'un à l'autre. On dit qu'ils sont en corrélation. En statistique, on définit la corrélation comme étant "le degré de similitude en grandeur et en sens des variations entre les valeurs correspondantes à deux caractères". Il nous est alors nécessaire de mesurer le degré de lien entre ces paramètres.

Pour ce faire, le nuage statistique nous donne déjà des renseignements. Sur ce type de représentation, en abscisse sont placées les valeurs d'un paramètre et en ordonnée, les valeurs de l'autre. Nous obtenons ainsi des points dont les coordonnées sont des couples de valeurs correspondant aux différents paramètres.

Si les différents points de la représentation sont dispersés tout à fait au hasard dans le plan, nous pouvons en conclure qu'il ne nous sera pas possible de trouver un lien aux deux paramètres étudiés. C'est ce que l'on peut constater si nous recherchons un lien entre la circonférence de l'avant-bras et l'angle d'efficacité maximum des supinateurs à vitesse lente : les points sont très dispersés (fig. 8).

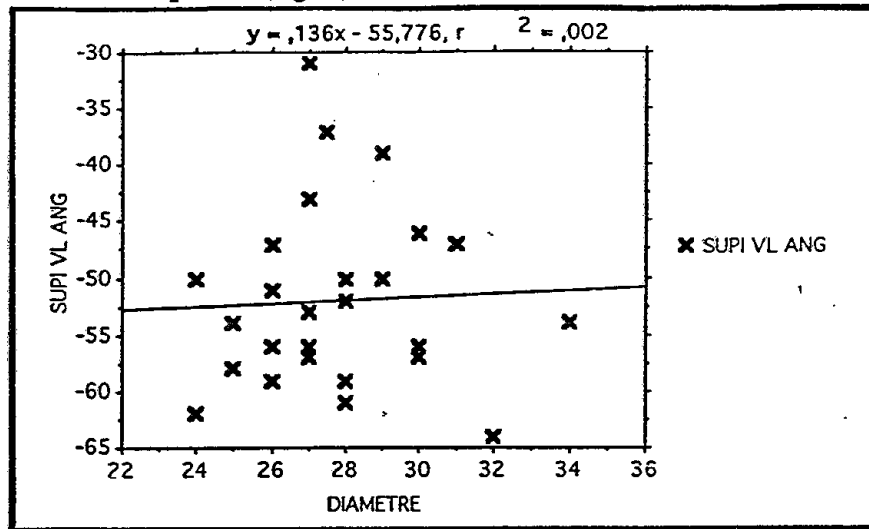


fig. 8 : Nuage statistique obtenu en utilisant l'angle d'efficacité maximum des supinateurs à vitesse lente et la circonférence de l'avant-bras comme coordonnées des différents points

Par contre, si les différents points se regroupent de façon assez serrée au voisinage d'une droite, ceci suggère l'existence d'une corrélation entre les deux paramètres. Prenons pour exemple la représentation obtenue en utilisant la force de préhension et la circonférence de l'avant-bras comme coordonnées des différents points (fig. 9).

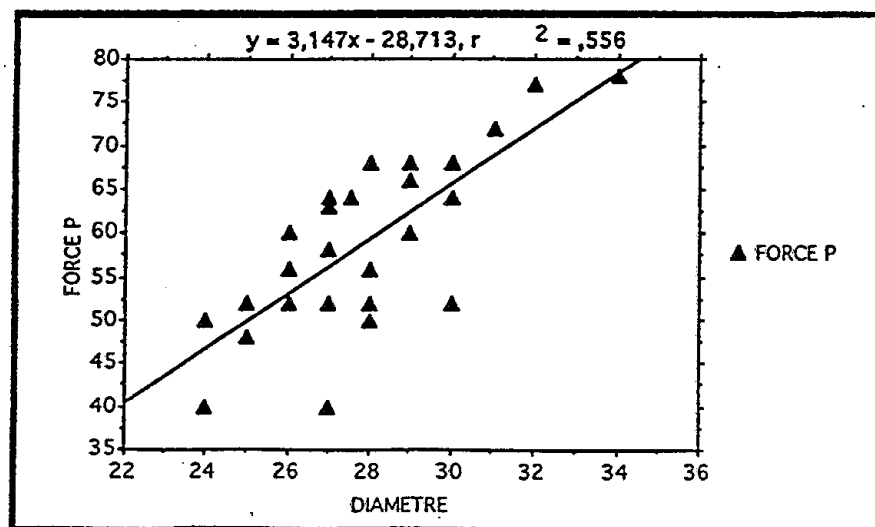


fig. 9 : Nuage statistique obtenu en utilisant la force de préhension et la circonférence de l'avant-bras comme coordonnées des différents points

Ce type de représentation graphique permet en fait de nous "mettre sur la voie". Ensuite, pour pouvoir vraiment affirmer qu'il existe une corrélation entre deux paramètres, il est nécessaire de tenir compte du coefficient de corrélation R et de la probabilité p. Plus R se rapproche des valeurs +1 ou -1 et plus les deux paramètres sont linéairement liés. On dira que la corrélation est marquée pour  $R > 0,6$  et pour  $p < 0,05$ .

Ainsi, si nous reprenons l'exemple précédent (force de préhension / circonférence de l'avant-bras), nous constatons que le coefficient de corrélation est de 0,746, donc relativement proche de 1. Nous pouvons donc affirmer qu'il existe une corrélation hautement significative entre la force de préhension et la circonférence de l'avant-bras, d'autant plus que la probabilité pour ce test est de 0,0001.

Par contre, si nous nous intéressons au deuxième exemple pris précédemment (circonférence de l'avant-bras / angle d'efficacité maximum des supinateurs à vitesse lente), nous constatons que  $R = 0,041$  et que  $p = 0,82$ , donc qu'il n'existe pas de corrélation entre ces deux paramètres.

La démarche réalisée pour chacun de ces deux exemples a été, de la même manière, appliquée à chaque couple de paramètres. Ainsi, nous avons pu mettre en évidence qu'il existait une corrélation entre :

- la circonférence de l'avant-bras et le pic de couple des supinateurs à vitesse rapide.
- la circonférence de l'avant-bras et le pic de couple des supinateurs à vitesse lente.
- la circonférence de l'avant-bras et le pic de couple des pronateurs à vitesse lente.
- la circonférence de l'avant-bras et la force de préhension.

La corrélation est moins marquée entre la circonférence de l'avant-bras et le pic de couple des pronateurs à vitesse rapide.

#### 4.4. Aspect des courbes types

Le rapport Cybex de chacun des 30 sujets contient quatre courbes :

- la courbe des pronateurs à vitesse lente.
- la courbe des pronateurs à vitesse rapide.
- la courbe des supinateurs à vitesse lente.
- la courbe des supinateurs à vitesse rapide.

En calculant la moyenne des différents points pris tous les  $10^\circ$  sur chacune de ces courbes, nous avons pu réaliser quatre courbes types :



- la courbe moyenne des pronateurs à vitesse lente présente un phase ascendante rapide. Le sommet de la courbe (pic de couple) est atteint en course externe à  $47,13^\circ$ . Ensuite, la courbe présente une phase descendante dont la pente est nettement plus faible (fig. 10).

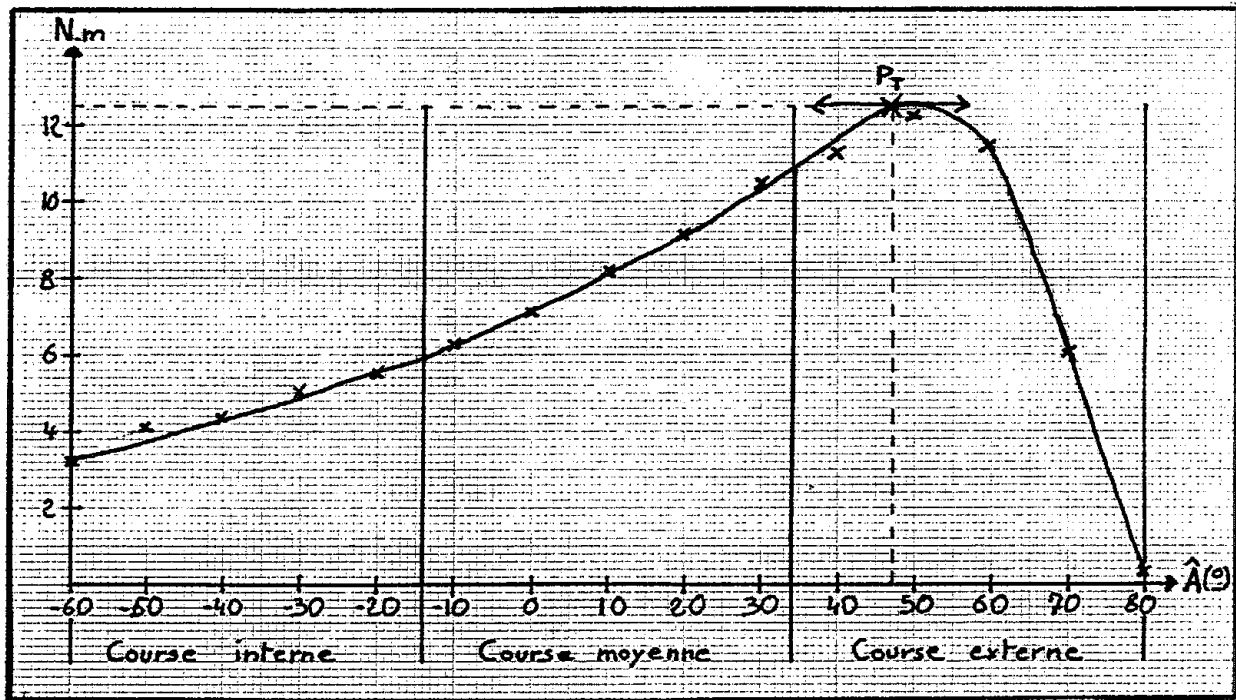


fig. 10 : Courbe type des pronateurs à vitesse lente

- la courbe moyenne des pronateurs à vitesse rapide présente une phase ascendante assez rapide, puis un plateau. Le pic de couple est atteint en course moyenne à  $28,9^\circ$ . La courbe se termine alors par une phase descendante en pente douce (fig. 11)

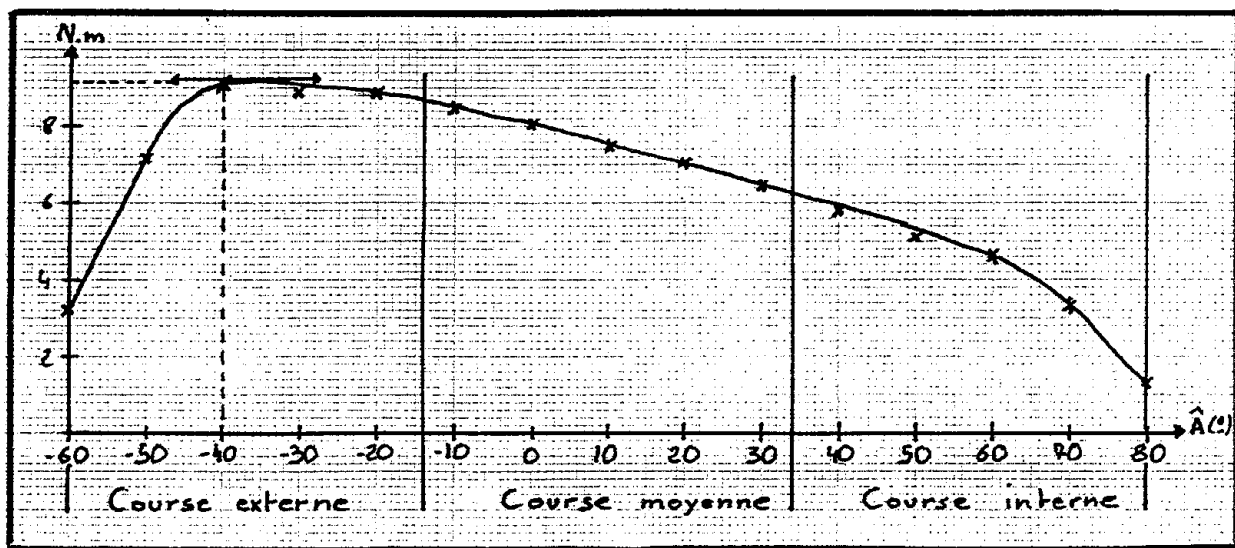


fig. 11 : Courbe type des pronateurs à vitesse rapide

- la courbe moyenne des supinateurs à vitesse lente présente une phase ascendante très rapide, puis une phase descendante de faible pente à partir du sommet qui est atteint pour un angle de  $-52^\circ$  (fig. 12).

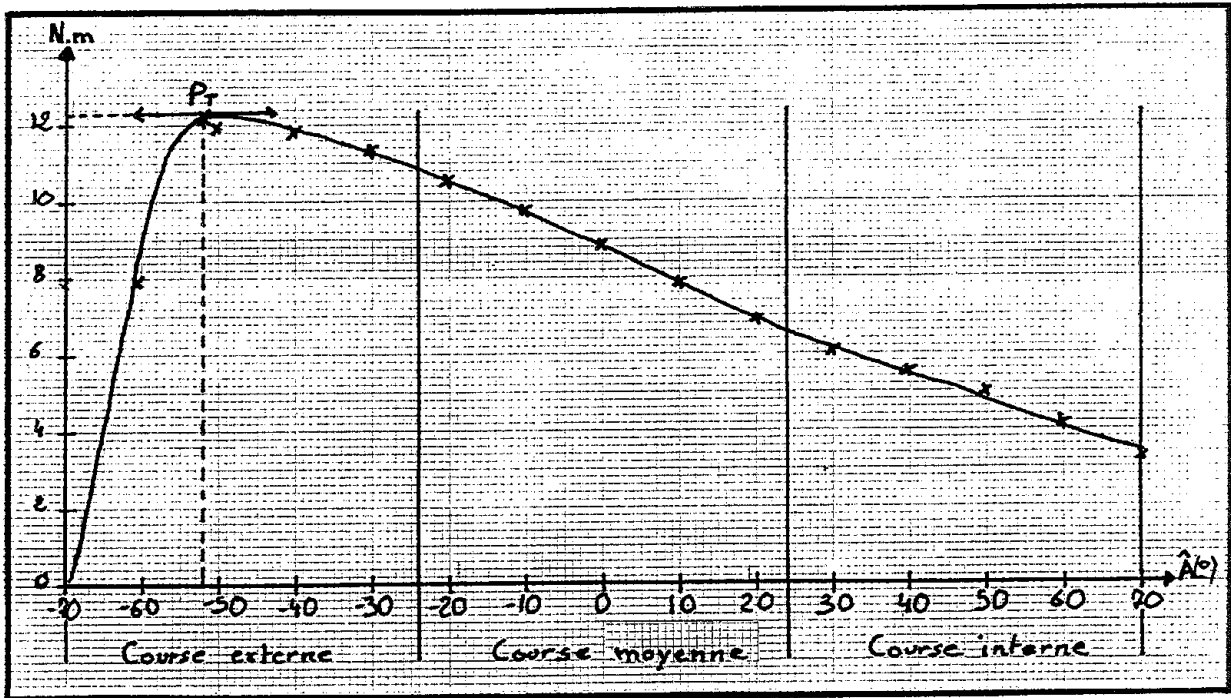


fig. 12 : Courbe type des supinateurs à vitesse lente

- la courbe moyenne des supinateurs à vitesse rapide se caractérise par une phase ascendante relativement rapide. Le sommet est atteint à  $-40^\circ$ , après quoi la courbe redescend en pente douce (fig. 13).

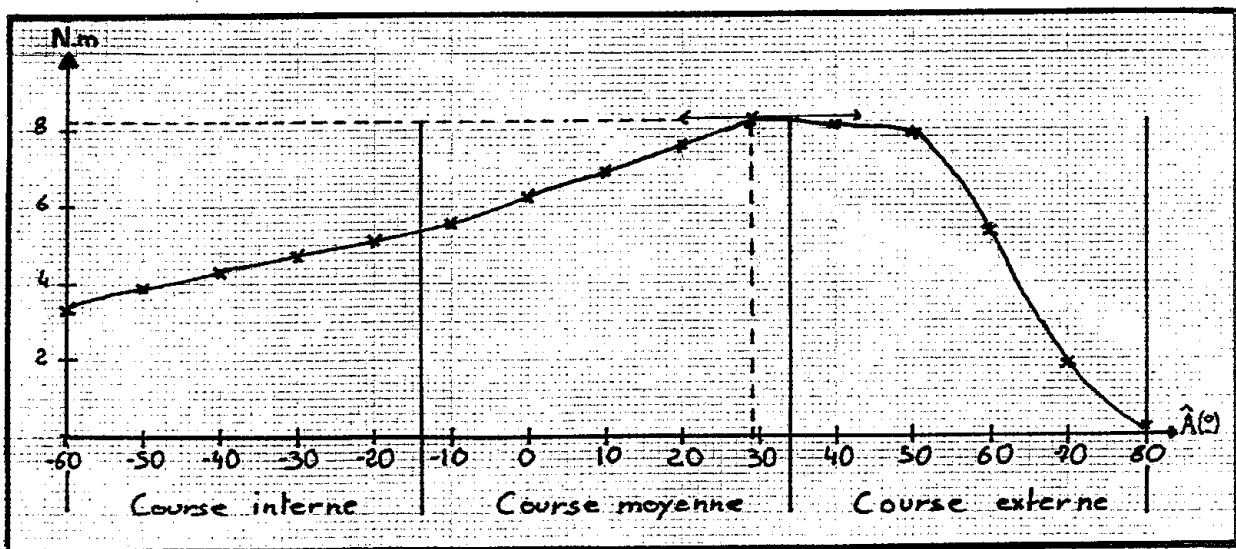


fig. 13 : Courbe type des supinateurs à vitesse rapide

#### 4.5. Rapport des muscles agonistes / antagonistes

Les muscles pronateurs et supinateurs, bien qu'ils soient les moteurs des mouvements combinés du radius et du cubitus, contribuent également à maintenir une bonne congruence entre ces deux os. Ils assurent la stabilité active des articulations RCI et RCE. Cette stabilité n'est possible que si le rapport agoniste / antagoniste est correct. D'après nos calculs, il semble qu'il soit nécessaire que ce rapport se rapproche de 1.

En effet, le rapport pronateurs / supinateurs est de 1,01 à vitesse lente et de 0,87 à vitesse rapide.

### 5. INCIDENCES KINESITHERAPIQUES

Cette étude à caractère limitatif et la population très restrictive sur laquelle elle a été effectuée, ne nous permet pas d'énoncer d'importantes incidences kinésithérapiques. Tout du moins, il faut garder à l'esprit que les incidences que nous pouvons énoncer ne sont valables que pour l'échantillon étudié.

Toutefois, au vu des résultats, on peut dire que la valeur de la circonférence de l'avant-bras constitue un élément de bilan intéressant puisque nous avons montré qu'elle est directement liée à la force de préhension ainsi qu'à la force des pronateurs et des supinateurs. Il paraît donc utile de la considérer autrement que comme un outil de quantification de l'amyotrophie comme nous le faisons la plupart du temps.

En outre, puisque les supinateurs possèdent une efficacité maximale en course externe, il serait intéressant, au cours d'un renforcement musculaire, de placer la résistance maximale dans cette course.

Pour les pronateurs, il est difficile d'être aussi affirmatif, dans la mesure où les angles moyens d'efficacité maximum sont différents suivant la vitesse d'exécution du mouvement.

### 6. CONCLUSION

Les résultats et les conclusions apportés au cours de cette étude ne sont valables, rappelons-le, que dans l'échantillon étudié. Il est donc illusoire de vouloir apporter une conclusion définitive à une étude si restrictive.

Ce travail ne constitue que le premier maillon d'une chaîne qu'il conviendrait d'allonger. En effet, il sera intéressant de réaliser le même genre d'étude sur des populations totalement différentes, prenant par exemple en compte le côté non dominant, afin de pouvoir comparer ou confirmer les résultats obtenus.

# BIBLIOGRAPHIE

**1. ARSENAULT, A. B. - GOULET, C. - HEBERT, L. J. - DE SERRES, S. J.**

Effect of pronation and supination tasks on elbow flexor muscles.

Journal of Electromyography and kinesiology. vol 2. n°1. 53-58. 1992.

**2. AUGROS, C. - GOBELET, C. - KERVOUR, K. - MEIER, J. L.**

Isocinétisme et renforcement musculaire.

Rééducation 88, Paris, Masson, 257-262, 1988.

**3. BLOTMAN, F. - BONNEL, F.**

Coude et pronosupination: principes biomécaniques.

Coude et médecine de rééducation, Paris, Masson, 7-11, 1979.

**4. DUFOUR, M. - GENOT, C. - LEROY, A. - NEIGER, H. - PENINOU, G. - PIERRON, G.**

Kinésithérapie 1 principes, bilans, techniques passives et actives de l'appareil locomoteur.

Paris, Flammarion Médecine-Sciences, 1983.

**5. GRAVEL, D. - SIMMARD, T.**

La fonction supinatrice du muscle biceps brachii.

Physiotherapie Canada, vol 34, n°1, 1982.

**6. KAPANDJI, I. A.**

La prono-supination. Physiologie articulaire.

Paris, Maloine, tome 2, 104-207, 1966.

**7. MARTINEZ, C.**

Le coude et l'avant bras: anatomie fonctionnelle de la flexion-extension et de la prono-supination.

Annales de kinesitherapie, 12/6, 273-290, 1985.

**8. NEIGER, H.**

Renforcement neuro-musculaire isocinétique asservi.

Kinésithérapie scientifique, n° 275, 51-54, 1989

# ANNEXES

**ANNEXE I : Recherche de corrélations entre la force de préhension et la circonférence de l'avant-bras : résultats des calculs et nuage statistique correspondant**

Régression Simple X 1: DIAMETRE Y g: FORCE P

Coefficient de régression

Variable :	Coefficient :	Err. Std. :	Coef. Std. :	(Valeur)-t :	Probabilité :
CONSTANTE	-28,713				
PENTE	3,147	,531	,746	5,926	,0001

Intervalles de confiance

Variable :	95% Inf. :	95% Sup. :	90% Inf. :	90% Sup. :
MOY (X,Y)	56,293	61,173	56,707	60,76
PENTE	2,059	4,236	2,244	4,051

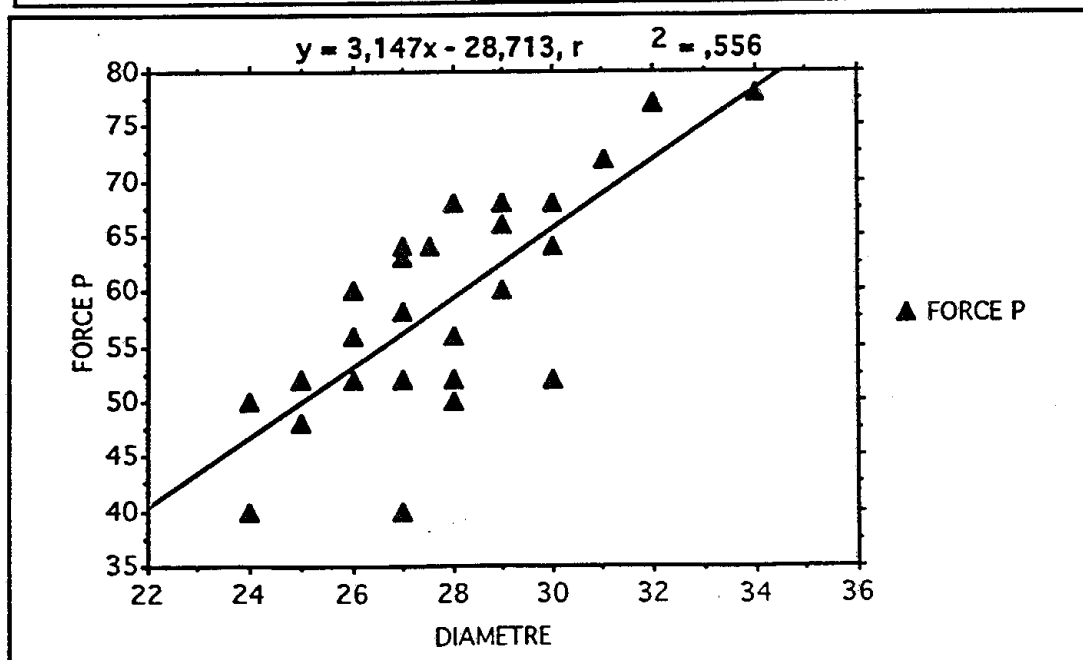
Régression Simple X 1: DIAMETRE Y g: FORCE P

Fréquence :	R :	R-carré :	R-carré ajust. :	Ec.-type Résiduel :
30	,746	,556	,541	6,523

Analyse de la variance

Source	DDL :	S. des carrés :	Carré moyen :	Test-F :
REGRESSION	1	1494,305	1494,305	35,114
RESIDUEL	28	1191,562	42,556	p = ,0001
TOTAL	29	2685,867		

Pas de statistiques sur les résidus calculées



**ANNEXE II : Recherche de corrélations entre la circonférence de l'avant-bras et le pic de couple des supinateurs à vitesse lente : résultats des calculs et nuage statistique correspondant**

Régression Simple X 1: DIAMETRE Y 5: SUPI VL PT

Fréquence :	R :	R-carré :	R-carré ajust. :	Ec.-type Résiduel :
30	,669	,448	,428	2,276

Analyse de la variance

Source	DDL :	S. des carrés :	Carré moyen :	Test-F :
REGRESSION	1	117,563	117,563	22,686
RESIDUEL	28	145,104	5,182	p = ,0001
TOTAL	29	262,667		

Pas de statistiques sur les résidus calculées

Régression Simple X 1: DIAMETRE Y 5: SUPI VL PT

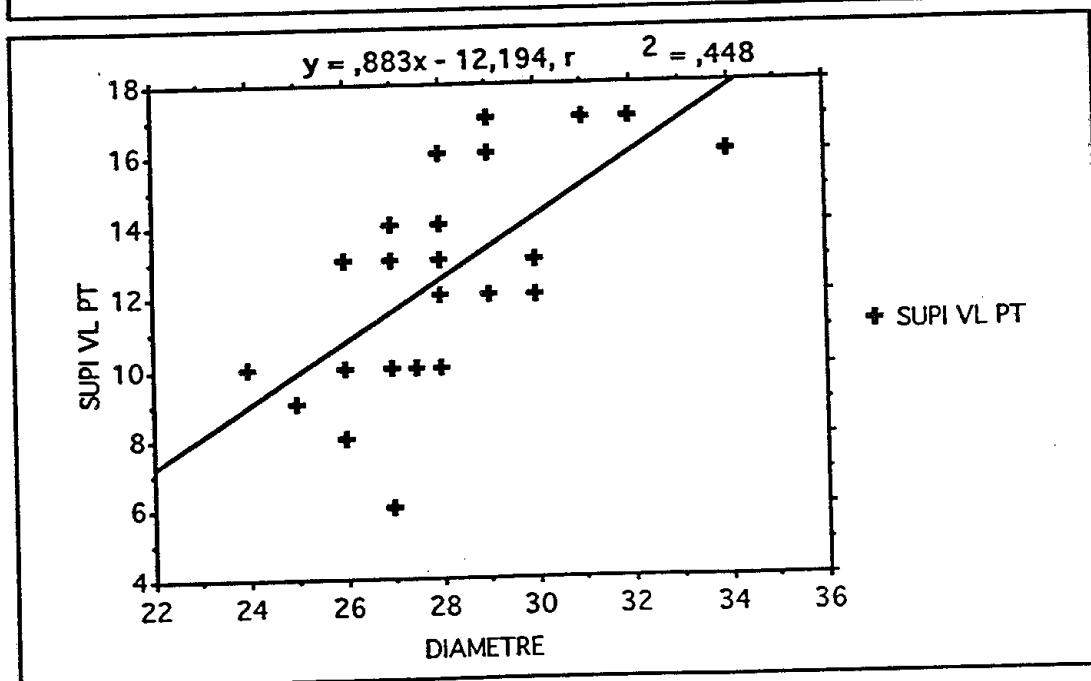
Coefficient de régression

Variable :	Coefficient :	Err. Std. :	Coeff. Std. :	(Valeur)-t :	Probabilité :
CONSTANTE	-12,194				
PENTE	,883	,185	,669	4,763	,0001

Intervalles de confiance

Variable :	95% Inf. :	95% Sup. :	90% Inf. :	90% Sup. :
MOY (X,Y)	11,482	13,185	11,626	13,04
PENTE	,503	1,263	,567	1,198



**ANNEXE III : Recherche de corrélations entre la circonférence de l'avant-bras et le pic de couple des supinateurs à vitesse rapide : résultats des calculs et nuage statistique correspondant**

Régression Simple X 1: DIAMETRE Y 7: SUPI VR PT

Coefficient de régression

Variable :	Coefficient :	Err. Std. :	Coeff. Std. :	(Valeur)-t :	Probabilité :
CONSTANTE	-5,781				
PENTE	,54	,161	,536	3,359	,0023

Intervalles de confiance

Variable :	95% Inf. :	95% Sup. :	90% Inf. :	90% Sup. :
MOY (X,Y)	8,494	9,972	8,62	9,847
PENTE	,211	,87	,267	,814

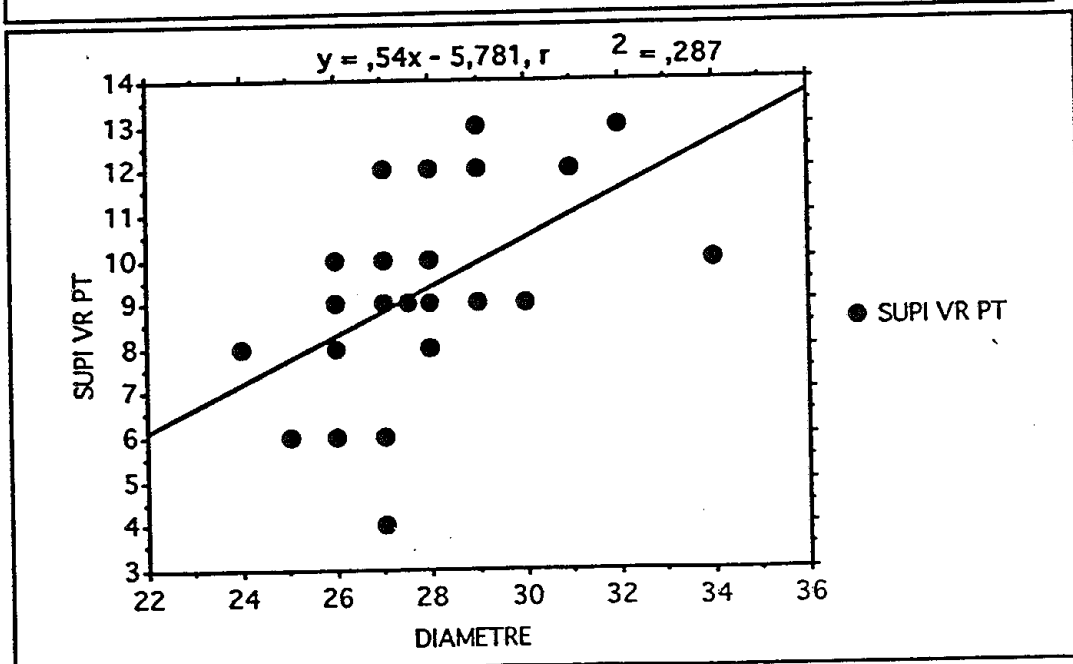
Régression Simple X 1: DIAMETRE Y 7: SUPI VR PT

Fréquence :	R :	R-carré :	R-carré ajust. :	Ec.-type Résiduel :
30	,536	,287	,262	1,976

Analyse de la variance

Source	DDL :	S. des carrés :	Carré moyen :	Test-F :
REGRESSION	1	44,053	44,053	11,284
RESIDUEL	28	109,314	3,904	p = ,0023
TOTAL	29	153,367		

Pas de statistiques sur les résidus calculées





**ANNEXE IV : Recherche de corrélations entre la circonférence de l'avant-bras et le pic de couple des pronateurs à vitesse rapide : résultats des calculs et nuage statistique correspondant**

Régression Simple X 1: DIAMETRE Y 2: PRON VR PT

Fréquence :	R :	R-carré :	R-carré ajust. :	Ec.-type Résiduel :
30	,361	,13	,099	2,084

Analyse de la variance

Source	DDL :	S. des carrés :	Carré moyen :	Test-F :
REGRESSION	1	18,226	18,226	4,195
RESIDUEL	28	121,641	4,344	p = ,05
TOTAL	29	139,867		

Pas de statistiques sur les résidus calculées

Régression Simple X 1: DIAMETRE Y 2: PRON VR PT

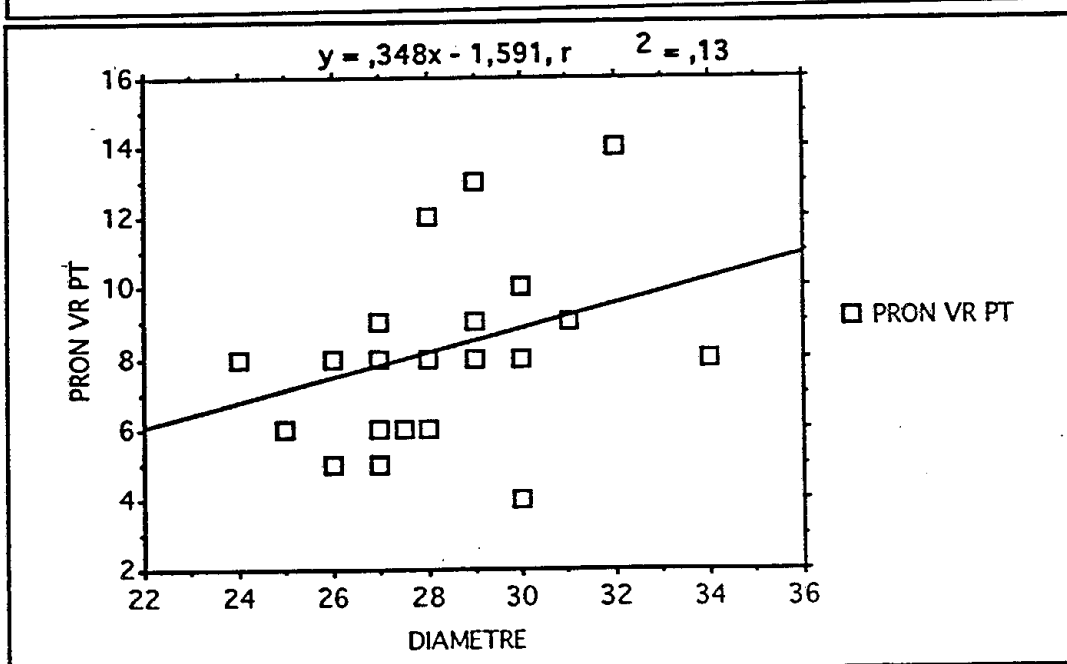
Coefficient de régression

Variable :	Coefficient :	Err. Std. :	Coef. Std. :	(Valeur)-t :	Probabilité :
CONSTANTE	-1,591				
PENTE	,348	,17	,361	2,048	,05

Intervalles de confiance

Variable :	95% Inf. :	95% Sup. :	90% Inf. :	90% Sup. :
MOY (X,Y)	7,287	8,846	7,419	8,714
PENTE	-6,005E-5	,695	,059	,636



**ANNEXE V : Recherche de corrélations entre la circonférence de l'avant-bras et le pic de couple des pronateurs à vitesse lente : résultats des calculs et nuage statistique correspondant**

Régression Simple X 1: DIAMETRE Y 1: PRON VL PT

Fréquence :	R :	R-carré :	R-carré ajust. :	Ec.-type Résiduel :
30	,502	,252	,225	2,519

Analyse de la variance

Source	DDL :	S. des carrés :	Carré moyen :	Test-F :
REGRESSION	1	59,789	59,789	9,422
RESIDUEL	28	177,678	6,346	p = ,0047
TOTAL	29	237,467		

Pas de statistiques sur les résidus calculées

Régression Simple X 1: DIAMETRE Y 1: PRON VL PT

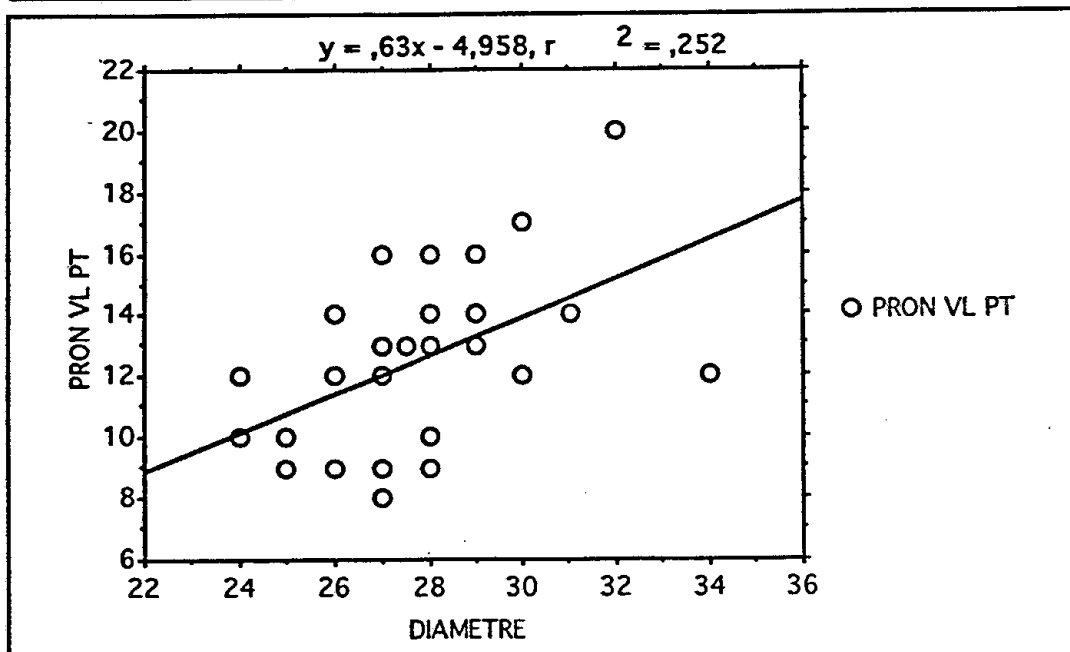
Coefficient de régression

Variable :	Coefficient :	Err. Std. :	Coeff. Std. :	(Valeur)-t :	Probabilité :
CONSTANTE	-4,958				
PENTE	,63	,205	,502	3,07	,0047

Intervalles de confiance

Variable :	95% Inf. :	95% Sup. :	90% Inf. :	90% Sup. :
MOY (X,Y)	11,591	13,476	11,751	13,316
PENTE	,209	1,05	,281	,979



**ANNEXE VI : Comparaisons des paramètres deux à deux par calculs de probabilité**

Test-t apparié X 1: PRON VL PT Y 1: SUPI VL PT			
DDL :	Moy. X - Y:	T apparié :	Prob. (bilatéral):
29	,2	,471	,6411

Test-t apparié X 2: PRON VL ANG Y 2: SUPI VL ANG			
DDL :	Moy. X - Y:	T apparié :	Prob. (bilatéral):
29	99,133	58,116	,0001

Test-t apparié X 3: PRON VR PT Y 3: SUPI VR PT			
DDL :	Moy. X - Y:	T apparié :	Prob. (bilatéral):
29	-1,167	-3,624	,0011

Test-t apparié X 4: PRON VR ANG Y 4: SUPI VR ANG			
DDL :	Moy. X - Y:	T apparié :	Prob. (bilatéral):
29	68,867	20,121	,0001

Test-t apparié X 1: PRON VL PT Y 1: PRON VR PT			
DDL :	Moy. X - Y:	T apparié :	Prob. (bilatéral):
29	4,467	12,592	,0001

Test-t apparié X 2: SUPI VL PT Y 2: SUPI VR PT			
DDL :	Moy. X - Y:	T apparié :	Prob. (bilatéral):
29	3,1	13,103	,0001

Test-t apparié X 3: PRON VL ANG Y 3: PRON VR ANG			
DDL :	Moy. X - Y:	T apparié :	Prob. (bilatéral):
29	18,233	6,135	,0001

Test-t apparié X 4: SUPI VL ANG Y 4: SUPI VR ANG			
DDL :	Moy. X - Y:	T apparié :	Prob. (bilatéral):
29	-12,033	-7,621	,0001

## ANNEXE VII : Rapport numérique CYBEX

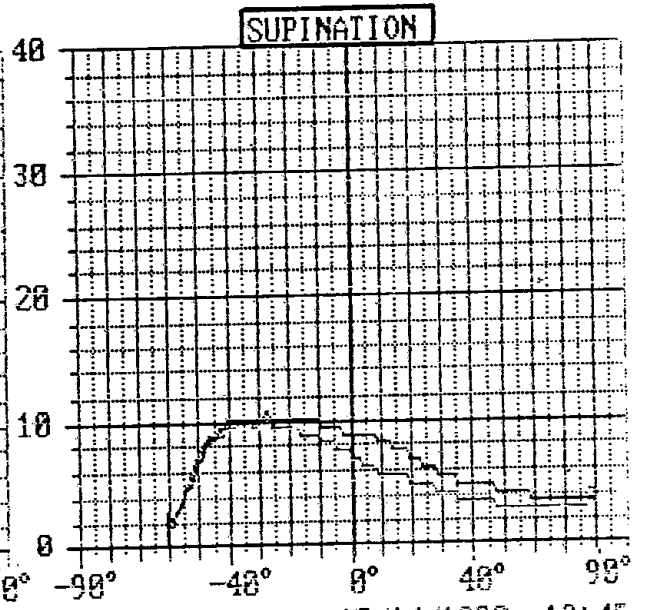
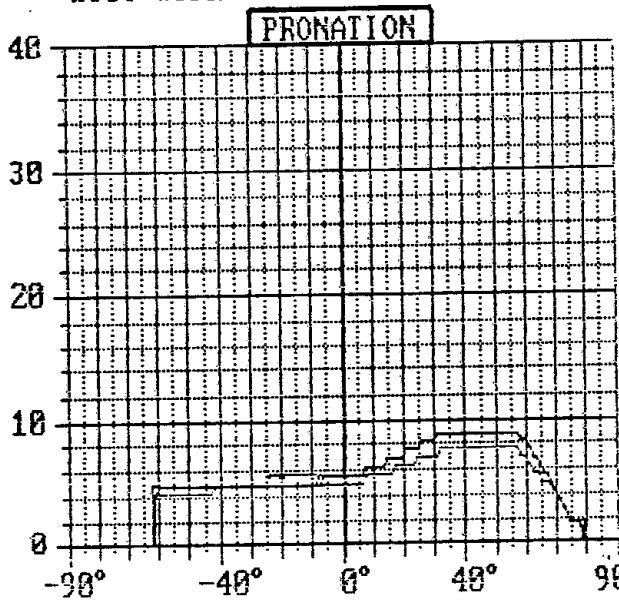
PATIENT NAME:	REMI	
PTC10 FOREARM PRONATION/SUPINATION		
CYBEX TEST DATE(S)	10/14/1992	
SIDE(S) TESTED	R UNINVOLVED	
SPEED (deg/sec)	30	120
REPETITIONS	3	3
BODY WEIGHT (Kg)	( 62)	
<b>SUPINATION</b>		
PEAK TORQ (Nm)	13	10
PEAK TORQ % BW	20%	16%
ANGLE OF PEAK TORQ	-52	-28
TORQ @ DEGREES (Nm)		
TORQ @ DEGREES (Nm)		
ACCEL. TIME (SECS)	.05	.07
TOTAL WORK (BWR, J)	17	16
TOTAL WORK (BWR) %BW	27%	25%
AVG. POWER (BWR, WATTS)	4	14
AVG. POWER (BWR) %BW	6%	22%
AVG. POINTS VARIANCE	19%	19%
TAE (J)	3.1	5.0
TOTAL WORK SET 1 (J)		
1st SAMPLE 1 (TW)		
2nd SAMPLE 1 (TW)		
ENDURANCE RATIO 1		
TOTAL WORK SET 2 (J)		
1st SAMPLE 2 (TW)		
2nd SAMPLE 2 (TW)		
RECOVERY RATIO		
<b>PRONATION</b>		
PEAK TORQ (Nm)	14	8
PEAK TORQ % BW	22%	12%
ANGLE OF PEAK TORQ	54	30
TORQ @ DEGREES (Nm)		
TORQ @ DEGREES (Nm)		
ACCEL. TIME (SECS)	.04	.05
TOTAL WORK (BWR, J)	17	13
TOTAL WORK (BWR) %BW	27%	20%
AVG. POWER (BWR, WATTS)	3	12
AVG. POWER (BWR) %BW	4%	19%
AVG. POINTS VARIANCE	13%	12%
TAE (J)	2.8	2.4
TOTAL WORK SET 1 (J)		
1st SAMPLE 1 (TW)		
2nd SAMPLE 1 (TW)		
ENDURANCE RATIO 1		
TOTAL WORK SET 2 (J)		
1st SAMPLE 2 (TW)		
2nd SAMPLE 2 (TW)		
RECOVERY RATIO		
<b>SUPINATION/PRONATION RATIO AND ROM</b>		
PEAK TORQ	92%	125%
TOTAL WORK (BWR)	100%	123%
AVERAGE POWER (BWR)	133%	116%
TOTAL WORK SET 1		
TOTAL WORK SET 2		
AVERAGE ROM (DEGREES)	141	141
MAX ROM	(142)	

**ANNEXE VIII : Exemple des courbes obtenues chez l'un des sujet**

**LEGEND:**

maximum points,  
average points,  
best work

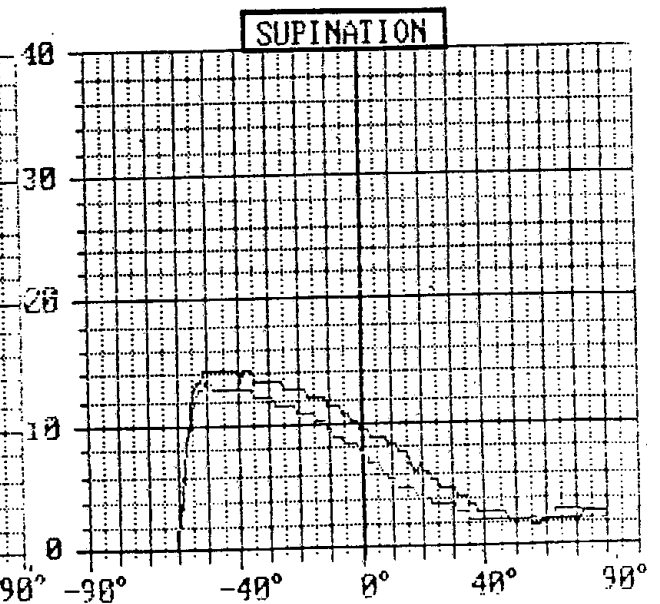
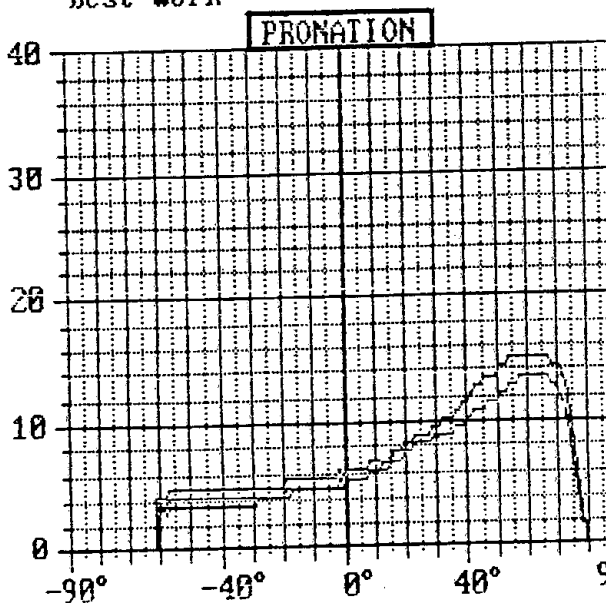
test date - 10/14/1992 13:45  
right side - uninvolved  
test speed - 120 deg/sec  
test reps - 3



test date - 10/14/1992 13:45  
right side - uninvolved  
test speed - 30 deg/sec  
test reps - 3

**LEGEND:**

maximum points,  
average points,  
best work



**ANNEXE IX : Classement des données et calcul des moyennes**

1	PRONATEURS				SUPINATEURS				DIAMETRE	FORCE P
	VITESSE LENTE		VITESSE RAPIDE		VITESSE LENTE		VITESSE RAPIDE			
3	PT	ANGLE	PT	ANGLE	PT	ANGLE	PT	ANGLE		
4	16	48	13	30	17	-50	13	-47	29	68
5	10	43	6	40	9	-58	6	-48	25	52
6	14	65	9	-2	17	-47	12	-44	31	72
7	12	26	8	5	14	-53	10	-43	27	63
8	16	54	8	35	16	-50	12	-28	29	66
9	10	41	8	19	10	-61	9	-46	28	56
10	12	51	8	-17	16	-54	10	-38	34	78
11	20	54	14	39	17	-64	13	-50	32	77
12	12	46	10	43	12	-56	9	-49	30	64
13	14	54	8	30	13	-52	10	-28	28	52
14	16	58	9	28	13	-31	12	-11	27	58
15	13	51	9	41	14	-43	9	-38	27	64
16	17	53	8	28	13	-46	9	-34	30	52
17	13	49	6	21	10	-37	9	-36	27.5	64
18	14	57	9	44	12	-39	9	-38	29	60
19	12	45	8	38	10	-50	8	-37	24	50
20	10	43	8	31	10	-62	8	-50	24	40
21	9	41	5	39	10	-56	8	-44	26	52
22	12	42	4	15	12	-57	9	-11	30	68
23	9	38	6	31	6	-56	4	-49	27	40
24	12	40	8	20	13	-59	10	-46	26	60
25	16	44	12	34	16	-52	12	-42	28	50
26	9	34	8	32	10	-51	9	-44	26	52
27	9	42	6	29	12	-59	8	-52	28	52
28	9	40	6	16	9	-54	8	-38	25	48
29	13	70	9	48	17	-50	13	-44	29	68
30	8	25	5	36	10	-57	6	-49	27	52
31	12	47	8	13	8	-59	6	-49	24	56
32	13	55	9	39	14	-50	10	-32	29	68
33	14	58	8	40	10	-47	8	-34	24	60
34										
35	12.53	47.13	8.067	28.9	12.33	-52	9.233	-40	27.7833	58.7333