

# L'isocinétisme dans l'évaluation et dans l'entraînement

Ph.D. Philippe GERMAIN  
UFR-ST UO et CBM CNRS

# La base conceptuelle: La relation entre la force et la vitesse de contraction (rappels)

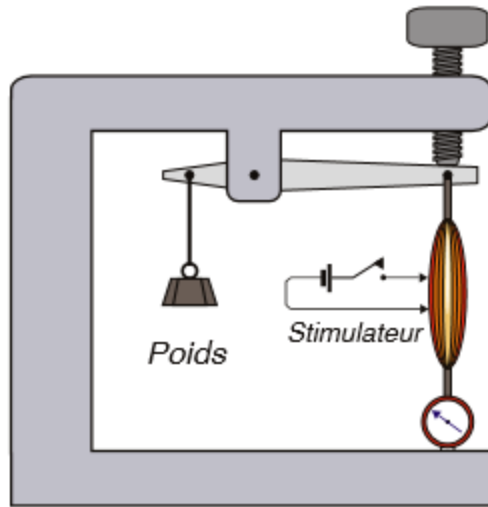
Premier temps sur muscle isolé

# La relation force/vitesse

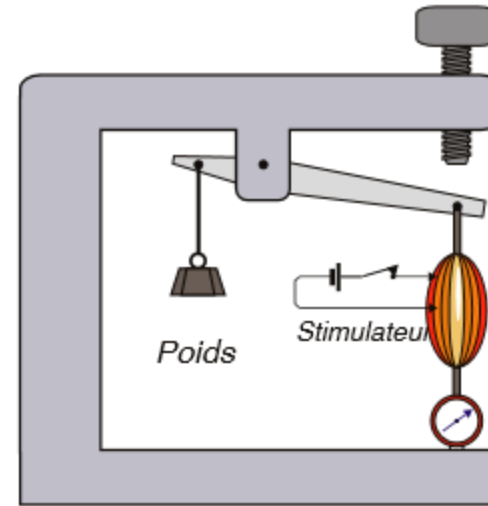
L'aptitude d'un muscle à **développer une force** dépend de sa **vitesse de contraction**. Ainsi, il est possible de déterminer **une relation entre la force et la vitesse de contraction** où **F0** est la force maximale isométrique et **V0** la vitesse maximale de contraction lors de raccourcissement (contraction concentrique).

- V0 est obtenue pour une charge nulle (théorique)
- F0 est obtenue lorsque la vitesse de contraction est nulle, c'est-à-dire lors de contraction isométrique.

# Les valeurs retenues



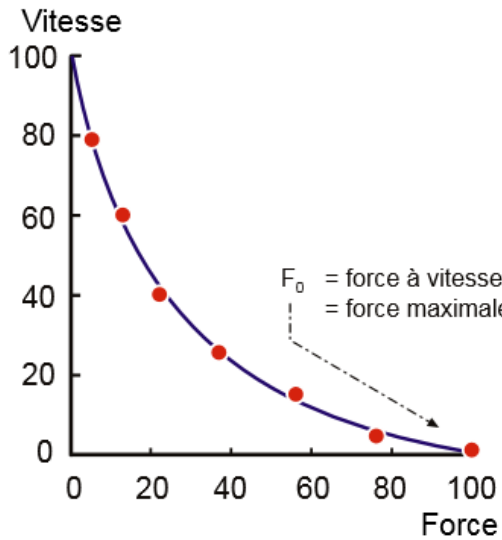
Il est possible de faire varier la valeur des poids que le muscle soulève.



En faisant varier les poids, il est possible de déterminer une relation entre la force et la vitesse de raccourcissement.

La valeur maximale de force produite est retenue  
Pour chaque poids et donc  
pour chaque vitesse de raccourcissement du corps musculaire

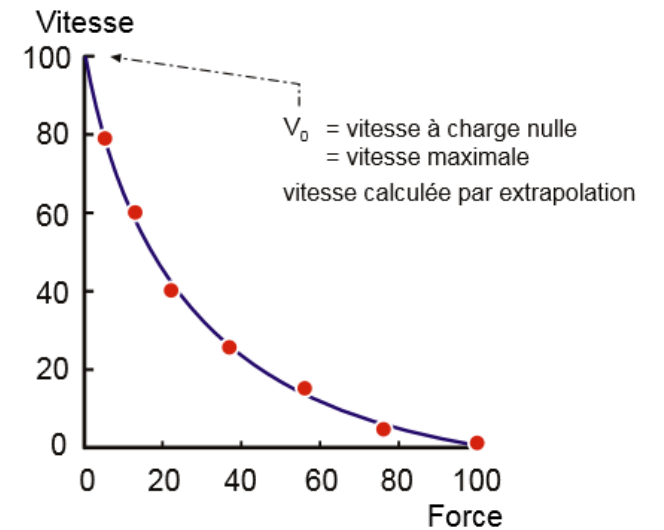
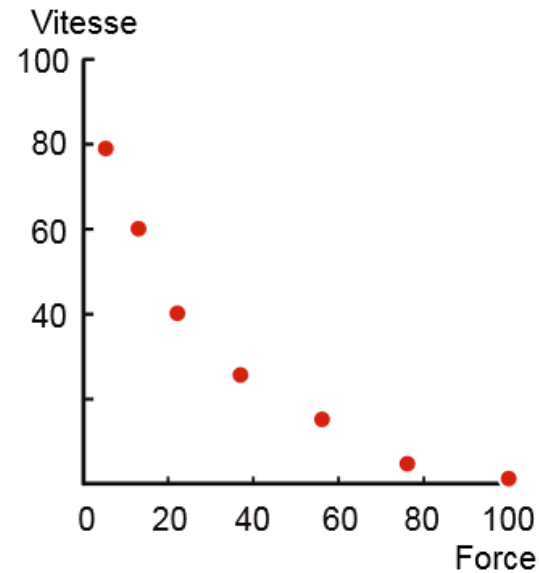
# Représentation de la mesure de la force en fonction de la vitesse de contraction



$F_0$  = force à vitesse nulle  
 = force maximale isométrique

Force nulle  
 Force maximale isométrique

Force  
 Force



$V_0$  = vitesse à charge nulle  
 = vitesse maximale  
 vitesse calculée par extrapolation

# Relation entre la vitesse de contraction et la puissance mécanique produite

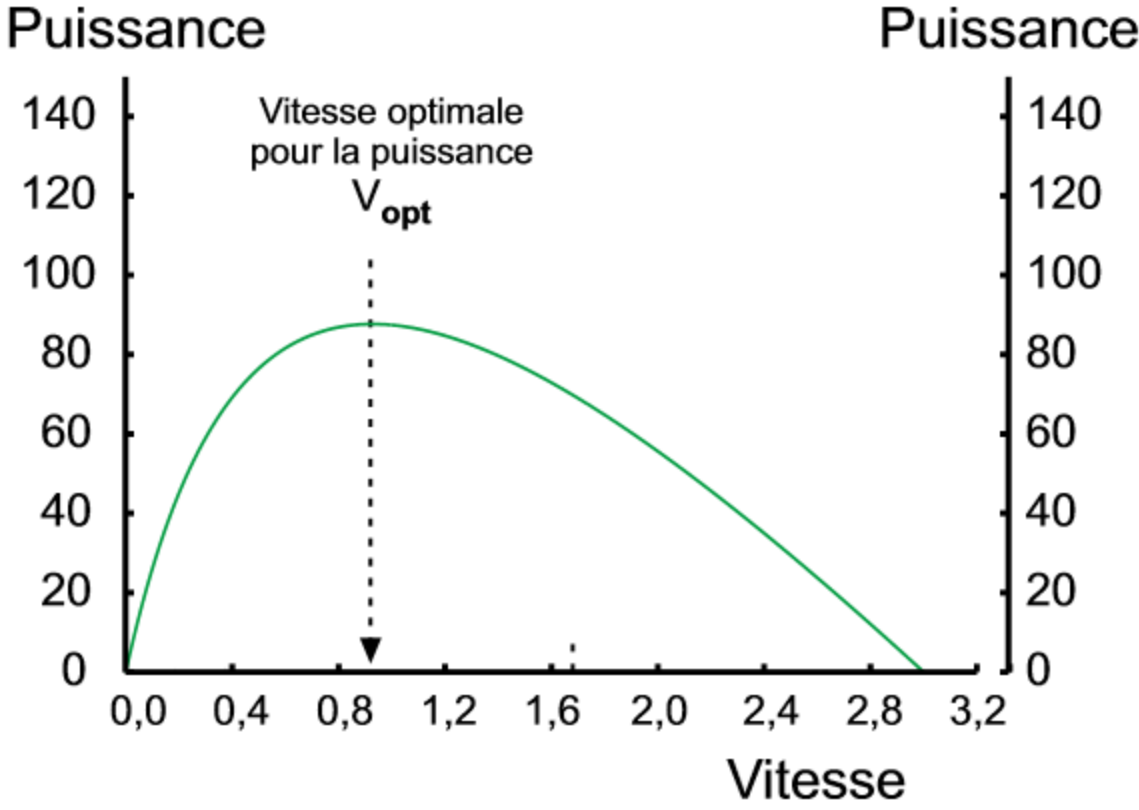
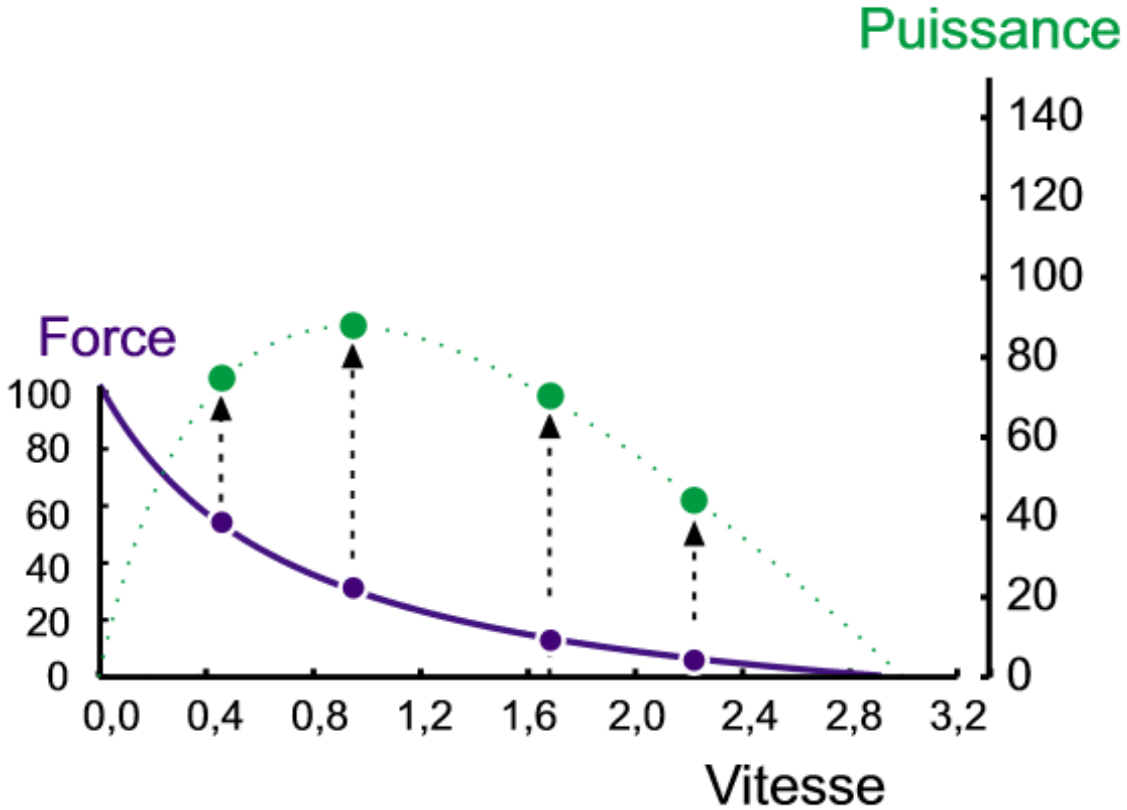
En physique, la puissance reflète la vitesse à laquelle un travail est fourni. C'est la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre. **C'est donc une grandeur scalaire** et elle a pour **unité le WATT (W)**.

## Puissance d'une force

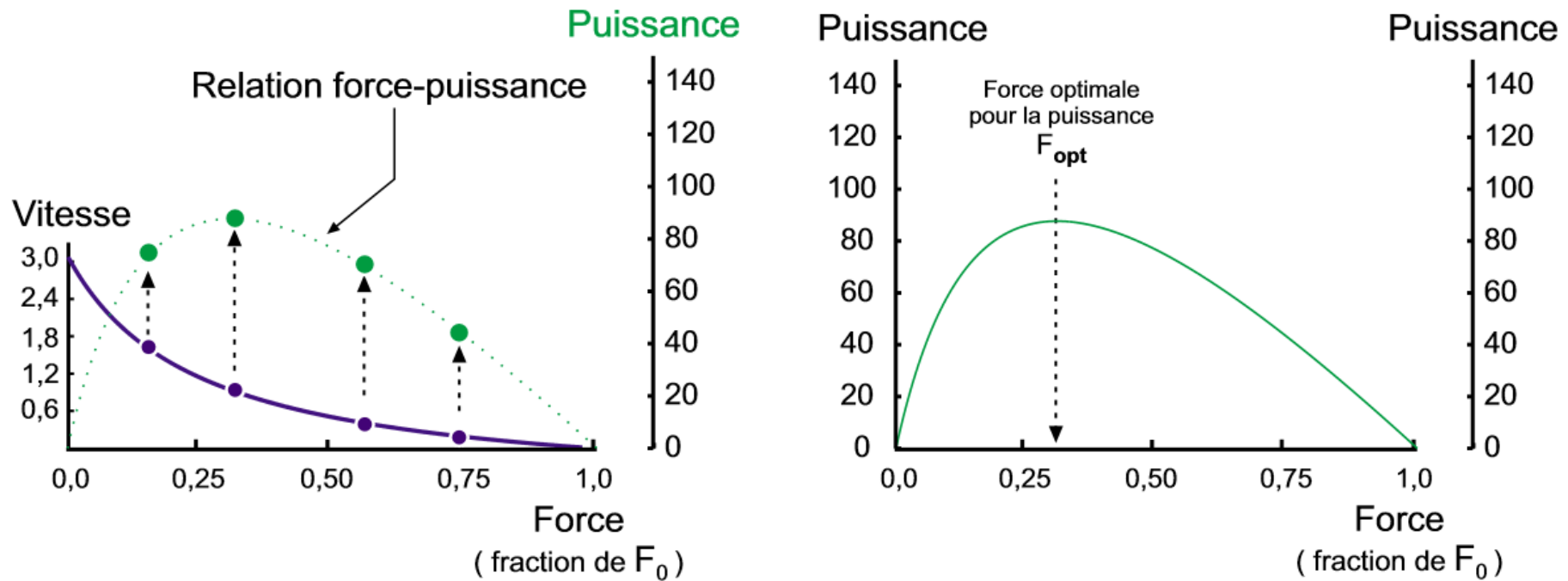
La puissance mécanique d'une force est l'énergie que l'on peut acquérir ou perdre avec cette force sur un temps donné.

Si le point d'application d'une force  $F$  (en N) se déplace à la vitesse  $v$  (en m/s) alors la **puissance vaut :  $F \times v$**

# Construction de cette relation



# Construction de cette relation et notion de force optimale



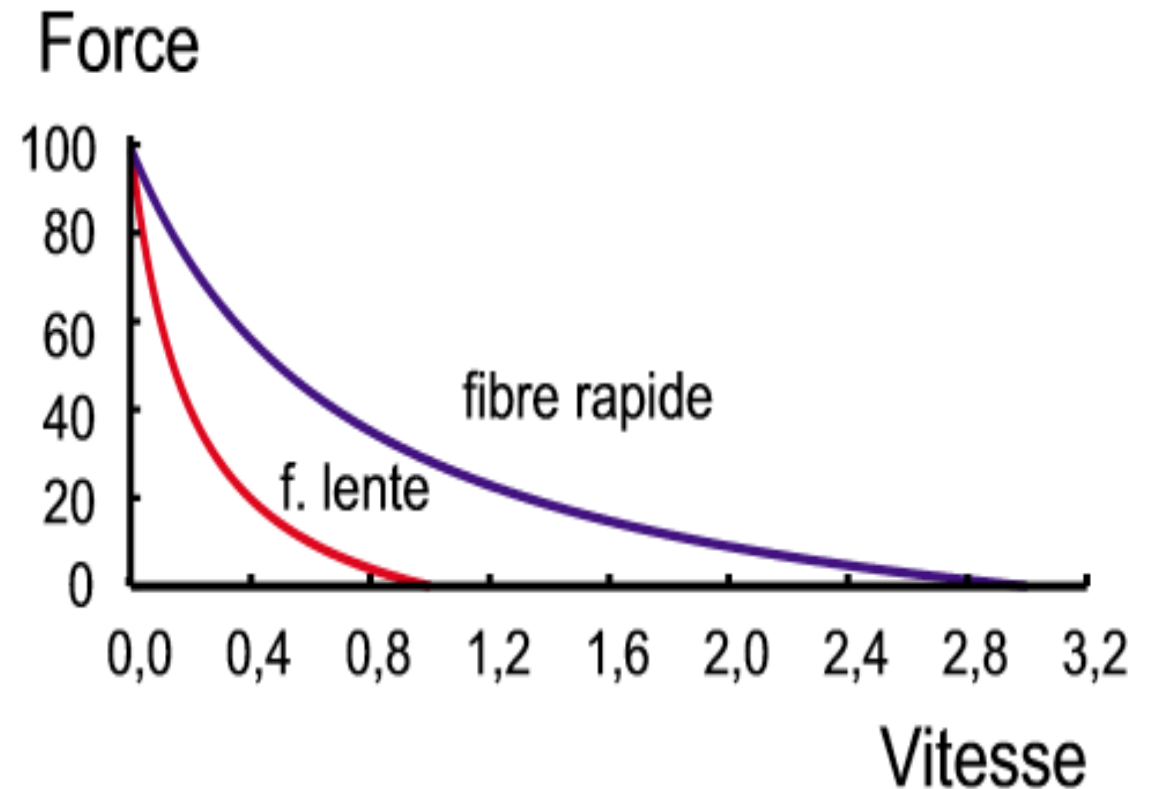
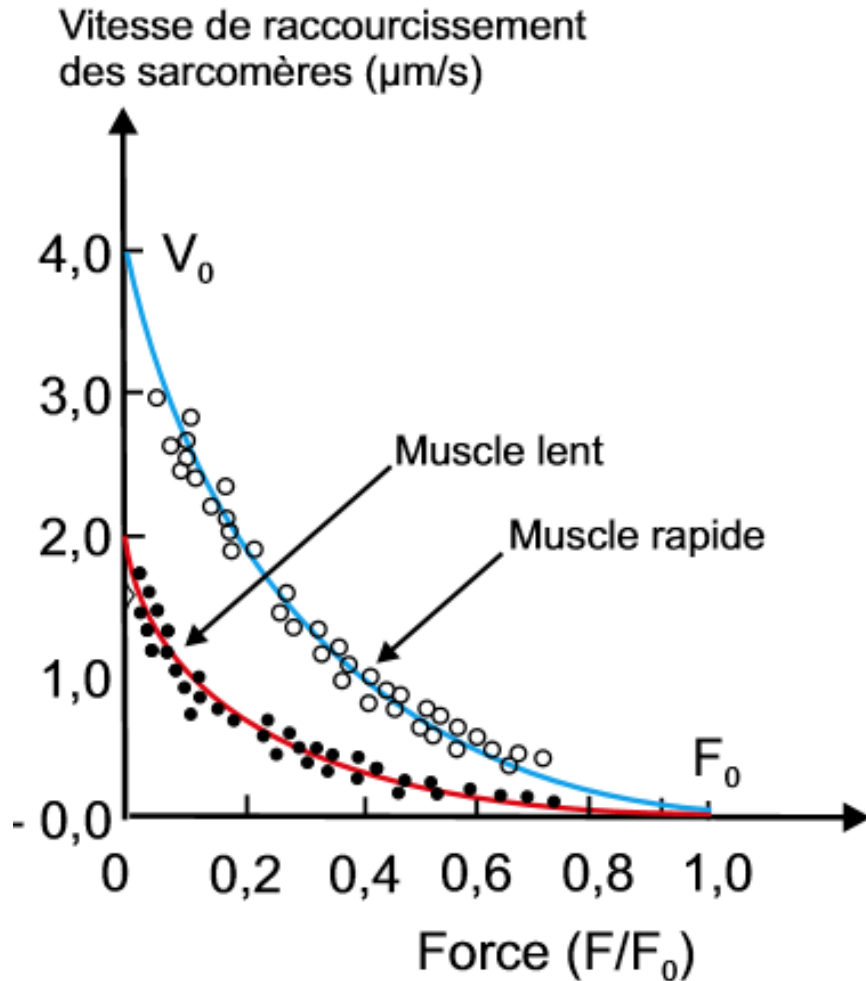


# Effet du type de fibre musculaire sur ces relations

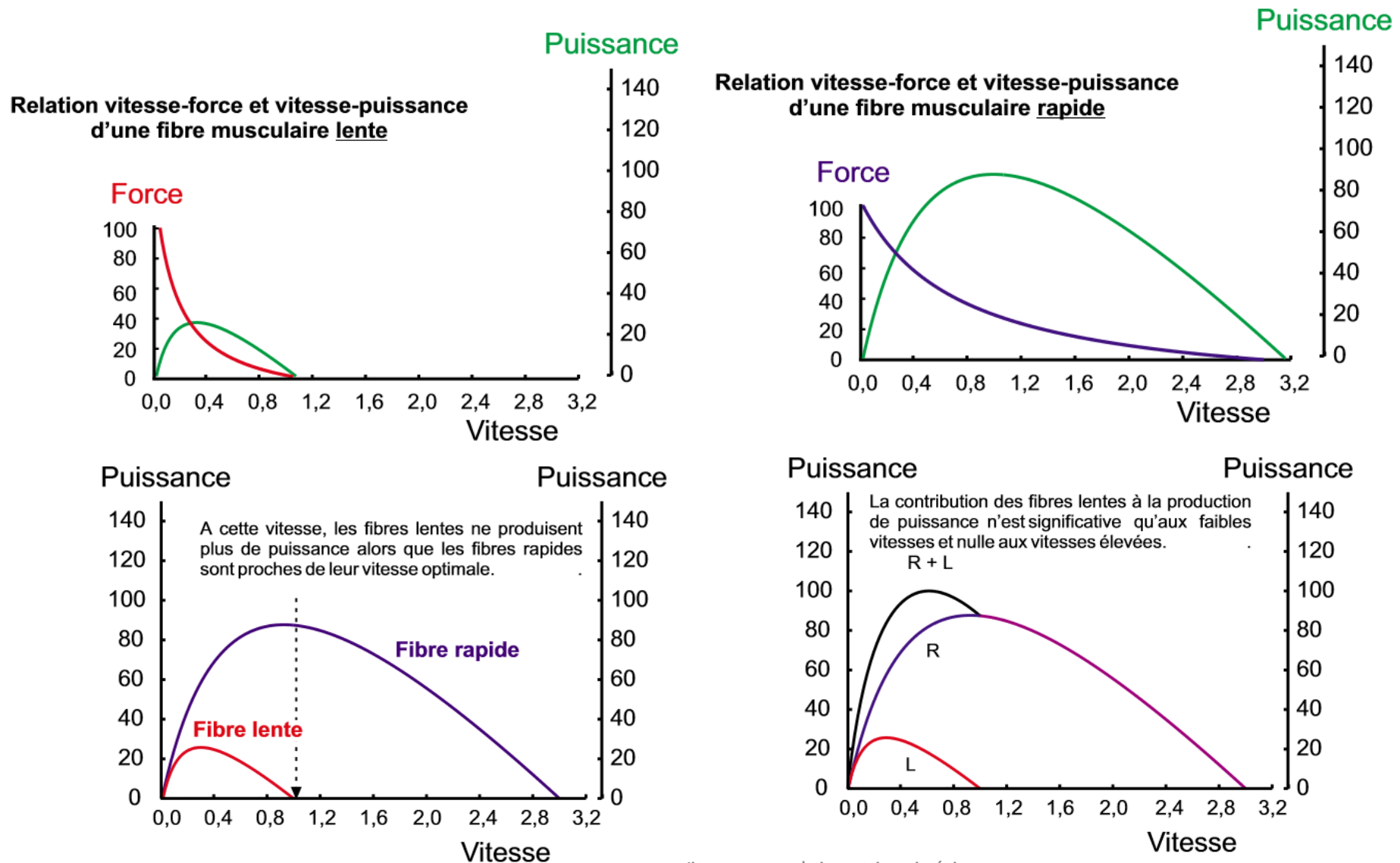
V/F

ou

F/V



# Et déclinaison sur le plan de la puissance musculaire



# La relation entre le moment de la force musculaire et la vitesse angulaire (rappels)

Second temps sur muscle inséré

# la relation moment de la force/vitesse angulaire

**Reflet périphérique** des variations de F des muscles  
en fonction de leur vitesse de raccourcissement

## Dans ce cadre : l'Évaluation par dynamométrie isocinétique

Le concept isocinétique a été proposé en 1967 par Hislop et Perrine. Il est né de la recherche d'un mode d'évaluation et de réentraînement musculaire adapté pour lutter contre les effets de l'apesanteur, notamment l'amyotrophie musculaire observée chez les astronautes. La contraction musculaire isocinétique est une contraction anisométrique pendant laquelle la vitesse angulaire est maintenue constante au cours du mouvement par un moteur auto-asservi (boucle de rétrocontrôle).

# Dans ce cadre :

## l'Évaluation par dynamométrie isocinétique

### Modèle de Régulation de la Vitesse en Isocinétique

#### 1. Système en boucle fermée

- L'ergomètre isocinétique fonctionne comme un **système asservi** où la vitesse de mouvement est contrôlée par un mécanisme de rétroaction :
- **Consigne de vitesse**  $V_c$  : vitesse cible imposée par l'ergomètre (ex.  $60^\circ/s$ ).
- **Vitesse mesurée**  $V_m$  : vitesse réelle du mouvement, captée par un capteur.
- **Erreur de vitesse**  $e(t) = V_c - V_m$ : différence entre la consigne et la mesure.
- **Action corrective** : le système ajuste le **couple résistant**  $T_r$  pour maintenir la vitesse cible.

# Dans ce cadre : l'Évaluation par dynamométrie isocinétique

## 2. Équation de dynamique du mouvement

La dynamique articulaire peut être modélisée par :  $J(d\omega/dt)=T_m-T_r$  où

- J est le moment d'inertie du segment corporel,
- $\omega$  est la vitesse angulaire (i.e.,  $V_m$ ),
- $T_m$  est le couple musculaire produit par le sujet,
- $T_r$  est le couple résistif appliqué par l'ergomètre.
- En **mode isocinétique**,  $V_m=V_c$ (stabilité de la vitesse), donc le système ajuste  $T_r$  pour équilibrer  $T_m$ .

## Dans ce cadre : l'Évaluation par dynamométrie isocinétique

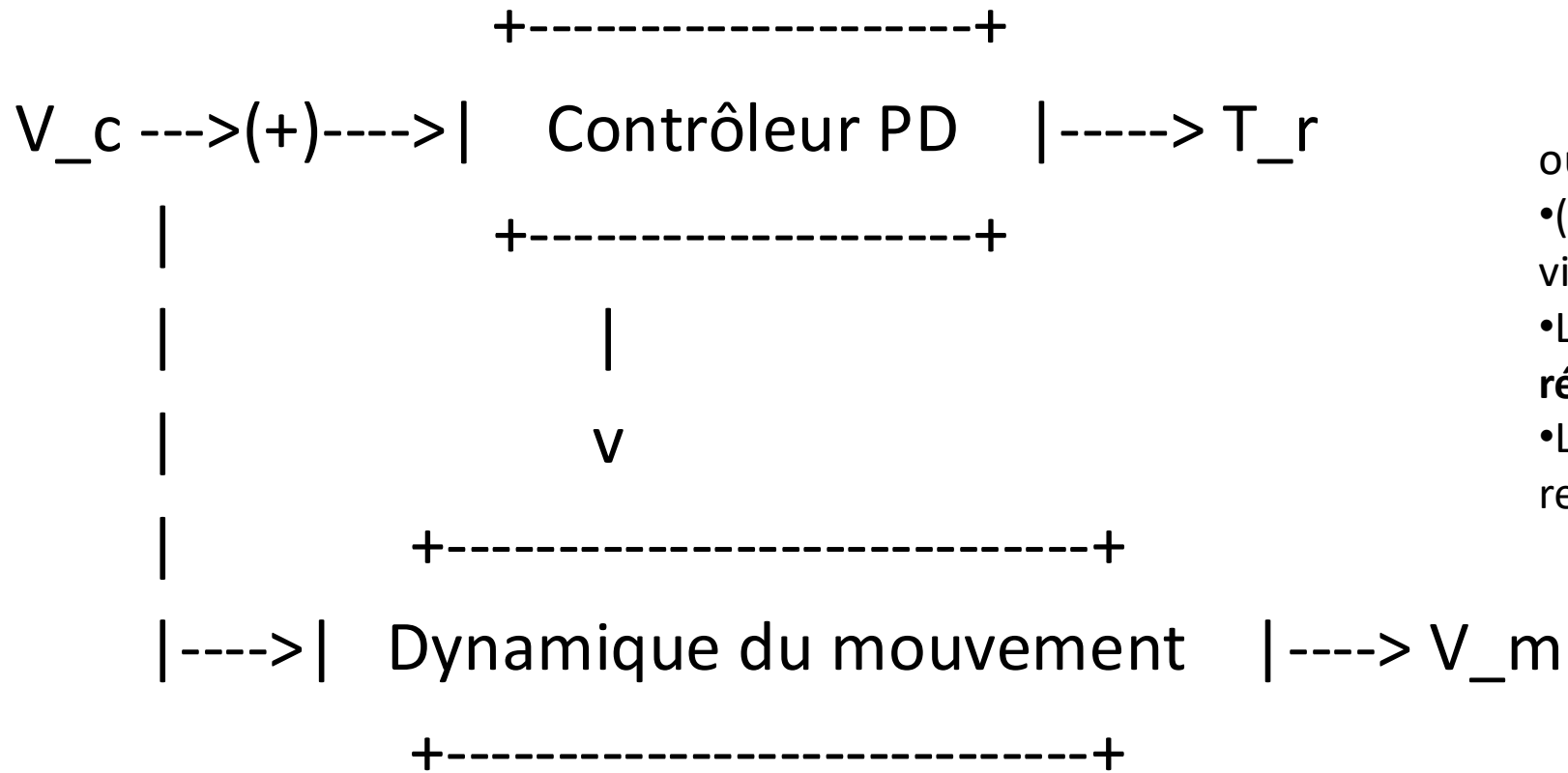
### Loi de commande de l'ergomètre

L'ergomètre utilise une **loi de régulation proportionnelle-différentielle** :

- $Tr = Kp e(t) + Kd (de)$  où :
- $Kp$  est un gain proportionnel (corrige l'erreur),
- $Kd$  est un gain dérivé (stabilise les oscillations).
- Le système ajuste dynamiquement  $Tr$  en réponse aux variations de  $Tm$ , maintenant ainsi  $Vm \approx Vc$ .



# Dans ce cadre : l'Evaluation par dynamométrie isocinétique



où :

- (+) représente le calcul de l'erreur de vitesse.
- Le **contrôleur PD** ajuste le **couple résistif** en fonction de  $e(t)$ .
- La **dynamique du mouvement** traduit la relation entre  $T_r$ ,  $T_m$  et  $V_m$ .

# Evaluation par dynamométrie isocinétique

Aujourd'hui, les dynamomètres isocinétiques permettent d'évaluer de nombreux paramètres de la fonction musculaire, y-compris la **force en régime de contraction concentrique et excentrique**. De plus, ces dispositifs **peuvent également être utilisés pour l'évaluation musculaire isométrique**.

# Evaluation par dynamométrie isocinétique

L'ergomètre

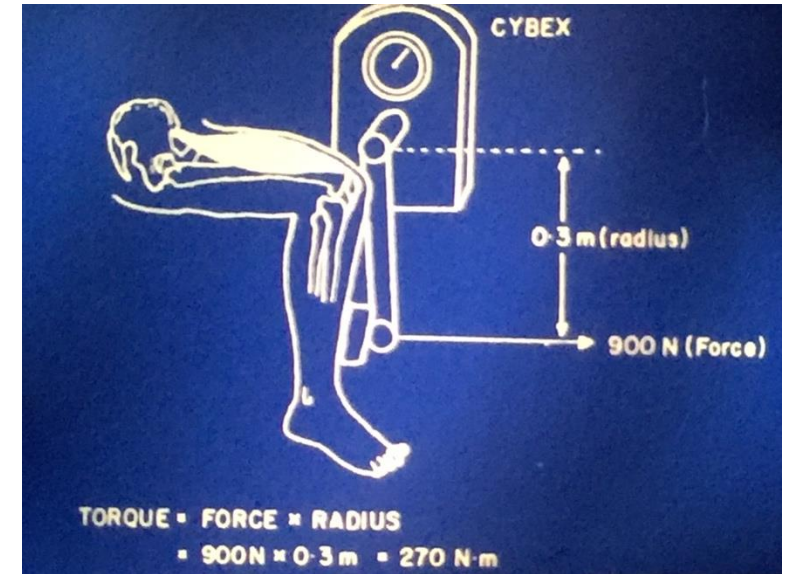
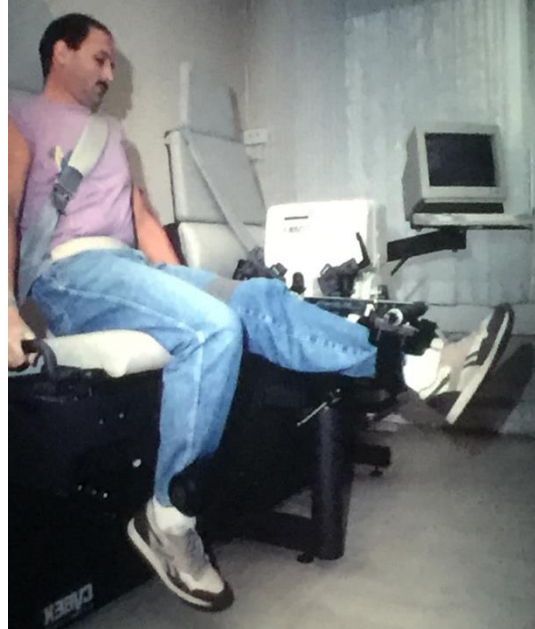


# Evaluation par dynamométrie isocinétique

Le fonctionnement de ces appareils repose sur deux principes biomécaniques: **l'imposition de la vitesse angulaire et l'auto-asservissement de la résistance mécanique.**

La résistance est donc **ajustée en tout point du mouvement** pour maintenir constante la vitesse angulaire préalablement choisie. Cet auto-asservissement **permet alors au sujet de développer un moment de force musculaire maximale sur toute l'amplitude du mouvement,** contrairement aux évaluations inertielles.

# Principe mécanique lié à l'isocinétisme



- Production d'un moment de force musculaire
- Production d'un moment de force résistant (machine)
- Alignement des axes de rotation et équilibre des moments
- Autorégulation de la résistance mécanique de la machine

Si l'accélération est nulle ( $V$  constante)  
Le principe fondamental de la dynamique s'applique et le moment des forces internes (Moteur) est égal au moment des forces externes (résistant)

# Evaluation par dynamométrie isocinétique

- Appelé « **peak torque** » (PT) dans la littérature anglo-saxonne il est généralement traduit par moment de force maximal (MFM) par les francophones.
- Le MFM est un paramètre très reproductible. Il est le plus souvent associé à l'angle auquel cette valeur maximale est atteinte ; angulation définie comme l'angle d'efficacité maximale.

# Evaluation par dynamométrie isocinétique

- Les mouvements articulaires et la stabilisation des articulations étant dues au travail de plusieurs groupes musculaires, c'est la **résultante de plusieurs MF et non un seul MF** qui est mesurée dans le cadre d'une évaluation isocinétique.

# La relation moment de force – vitesse angulaire

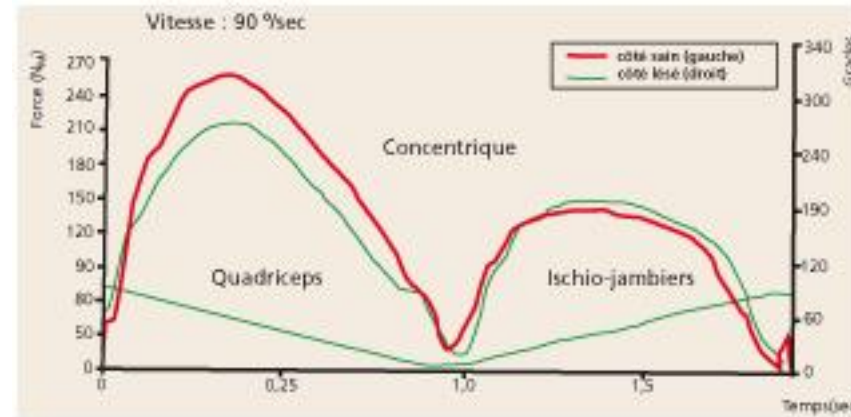
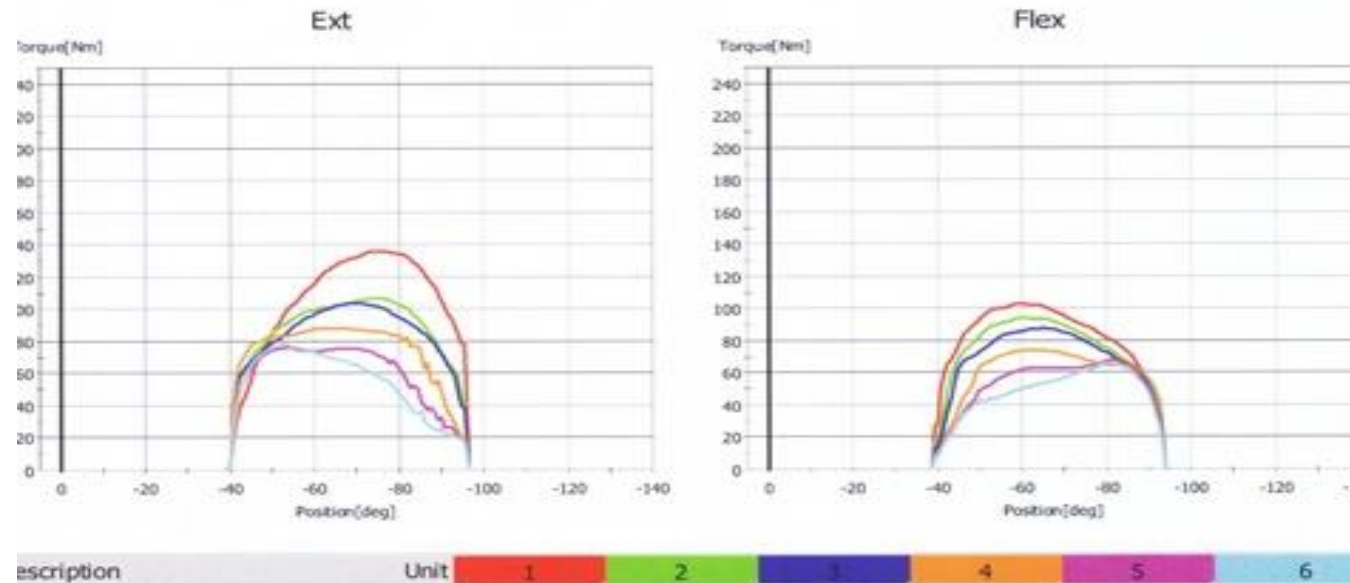


Figure 7 - La récupération du joueur 1 est quasi parfaite 6 semaines plus tard.

Pour une vitesse

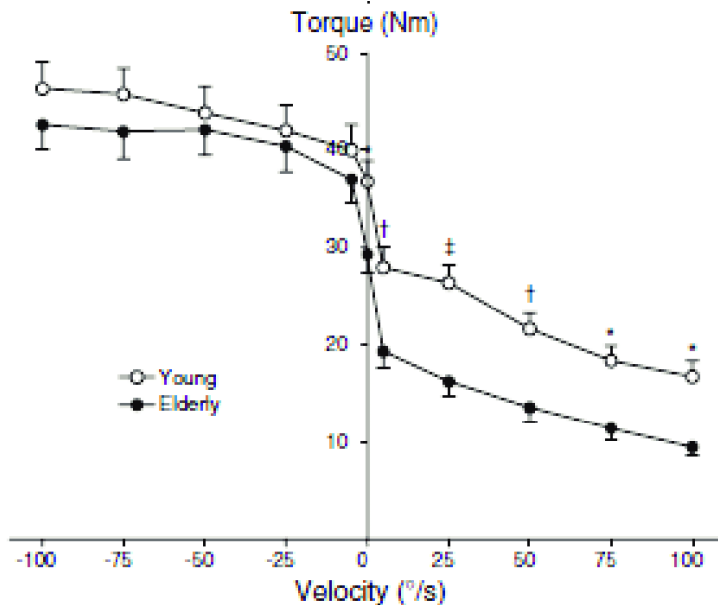


Pour 6 vitesses

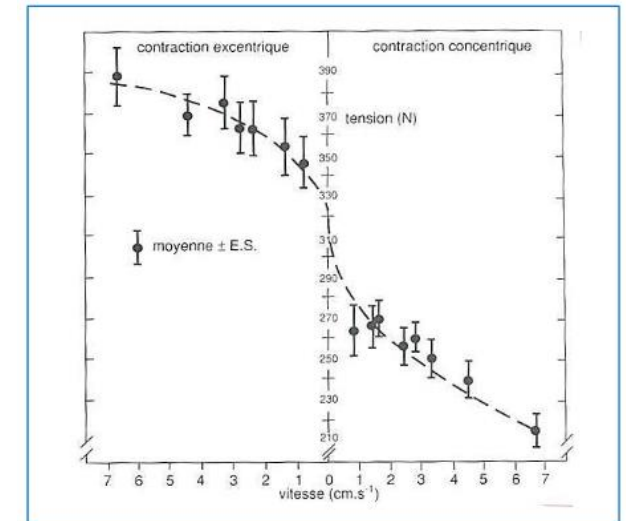


# La relation Moment de force/ vitesse angulaire

L'établissement de cette relation permet de constater que **la force développée par un muscle est très différente en fonction du mode de contraction** (Bouisset et Maton, 1995). En effet, la force maximale développée en **concentrique** est plus faible que lors d'une contraction **isométrique**, par contre, lors de contraction **excentrique** (en allongement), la force développée est plus importante que lors d'une contraction isométrique.



Relation entre le moment de force et la vitesse angulaire pour les fléchisseurs de cheville évalué par la méthode de surimposition chez des 17 personnes jeunes (o) et 19 âgées (•) (d'après Klass, et al (2005))



Relation force/vitesse (D'après Bouisset et Maton, 1995)

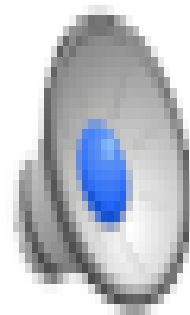
# Premier exercice

# Utilisation de l'isocinétique pour établir un profile

Durée du TP : approximativement 2 heures

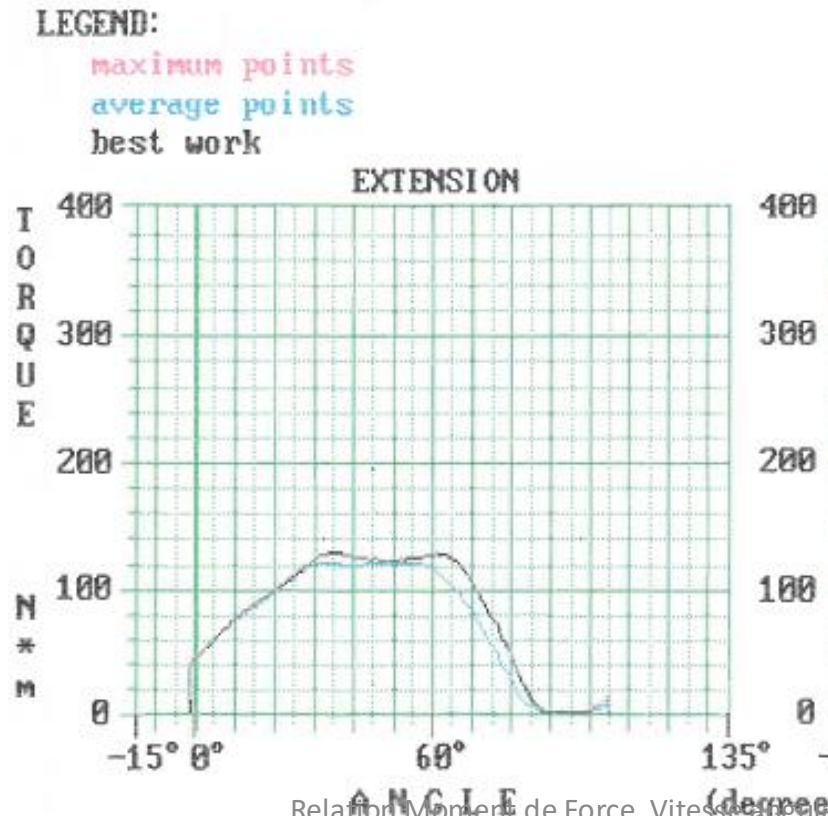
Les représentations graphiques ci jointes correspondent à l'enregistrement du moment des forces des extenseurs et fléchisseurs lors de l'extension et lors de la flexion de la jambe/cuisse.

les vitesses de 30, 60, 105, 120, 180, 210, 240 et 300° /s ont été paramétrées (sur l'ergomètre isocinétique) pour les mesures. Cliquez sur l'image pour avoir une animation.



## Attention

Ces données provenant d'un individu, sans traitement mathématique, il se peut que des artéfacts soient présents ou que l'individu n'ait pas complètement respecté les consignes. De ce fait, si pour une relation Moment de Force / Angle articulaire un double pic se présente, extrapolez la parabole théorique et considérez les valeurs de l'angle et la valeur du moment de force comme celles issues de cette extrapolation.



Exemple :

Angle de 140°

Moment de force de 140 N.m

Enregistrement N°1

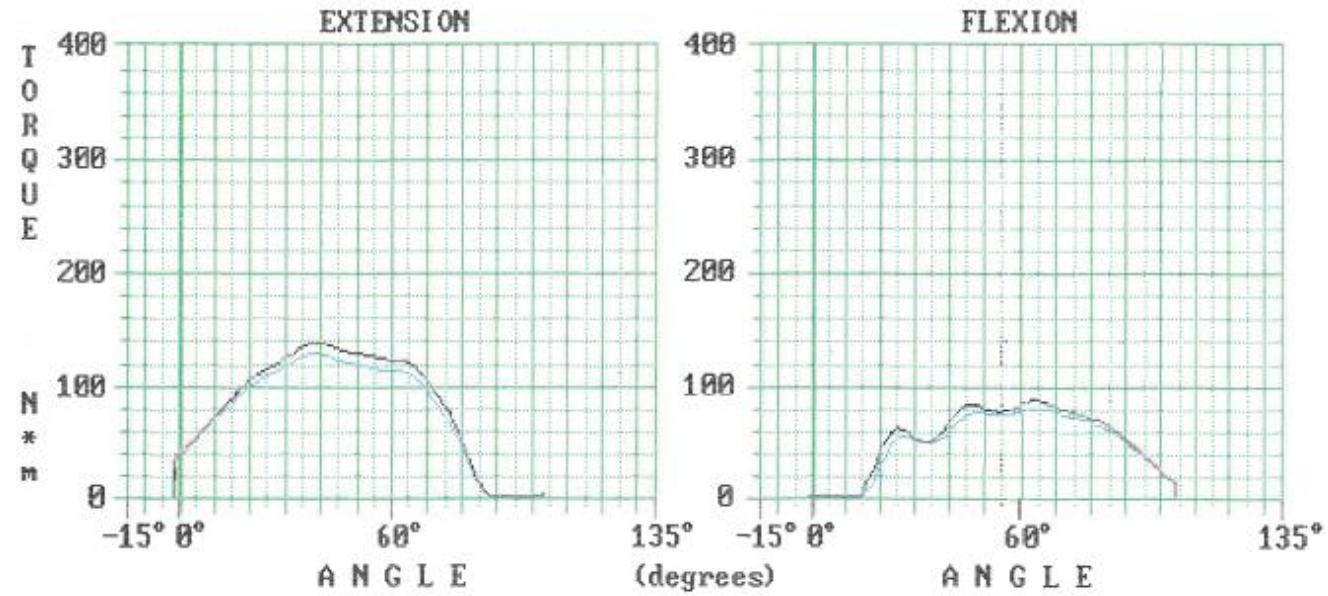
KNEE EXTENSION/FLEXION  
TORQUE vs. POSITION - INITIAL REPORT

Mon Dec 09 11:58:05 1991

LEGEND:

maximum points  
average points  
best work

test date - 12/ 9/1991 10:15  
right side - uninvolved  
test speed -  
test reps - 3



?

## Enregistrement N°2

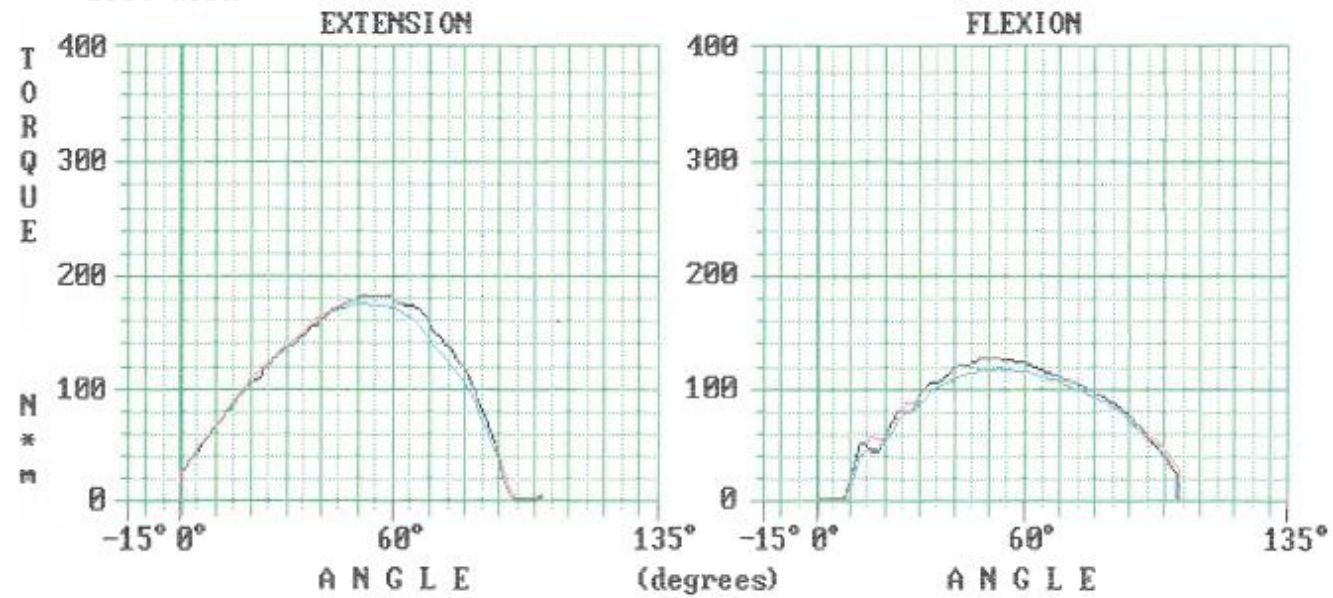
KNEE EXTENSION/FLEXION  
TORQUE vs. POSITION - INITIAL REPORT

Mon Dec 09 11:58:34 1991

LEGEND:

maximum points  
average points  
best work

test date - 12/ 9/1991 10:15  
right side - uninvolved  
test speed -  
test reps - 3



?

?

## Enregistrement N°3

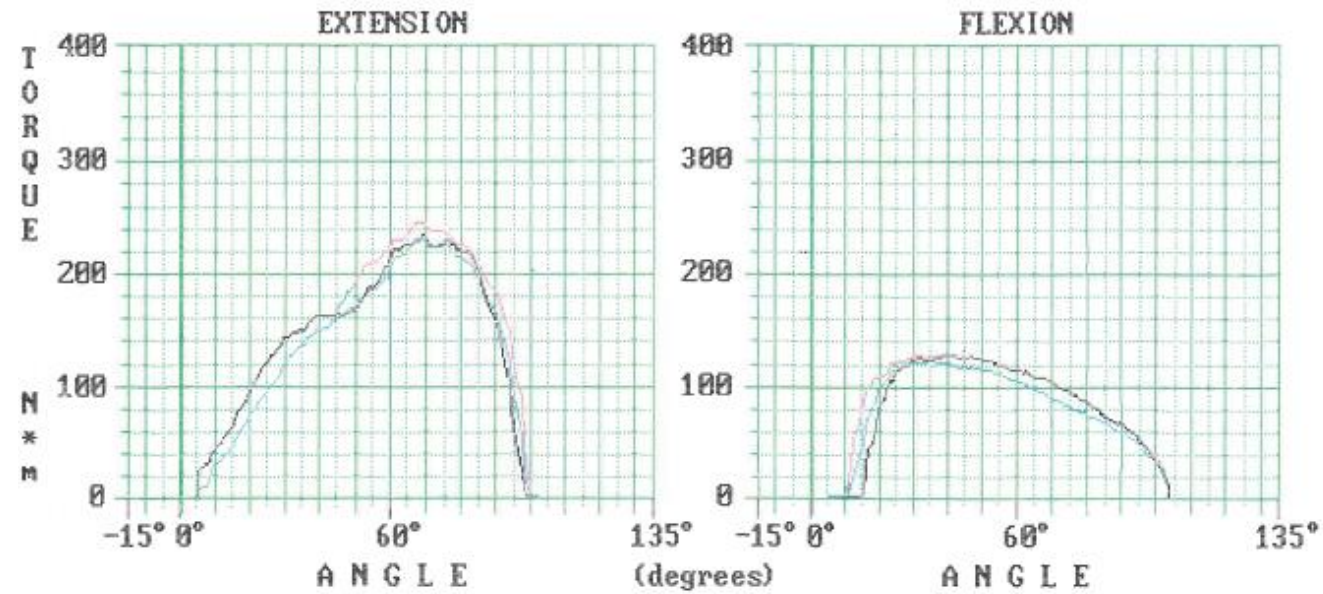
KNEE EXTENSION/FLEXION  
TORQUE vs. POSITION - INITIAL REPORT

Mon Dec 09 11:24:26 1991

LEGEND:

maximum points  
average points  
best work

test date - 12/ 9/1991 09:58  
right side - uninvolved  
test speed -  
test reps - 3



?



Enregistrement N°4

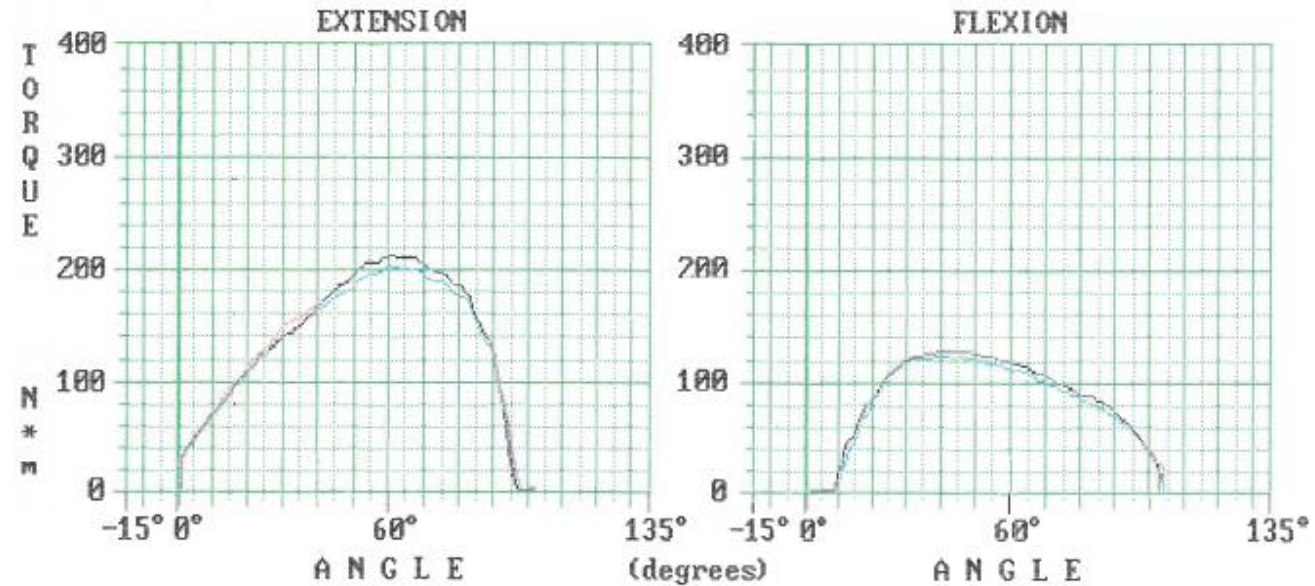
KNEE EXTENSION/FLEXION  
TORQUE vs. POSITION - INITIAL REPORT

Mon Dec 09 11:23:55 1991

LEGEND:

maximum points  
average points  
best work

test date - 12/ 9/1991 09:58  
right side - uninvolved  
test speed -  
test reps - 3



Enregistrement N°5

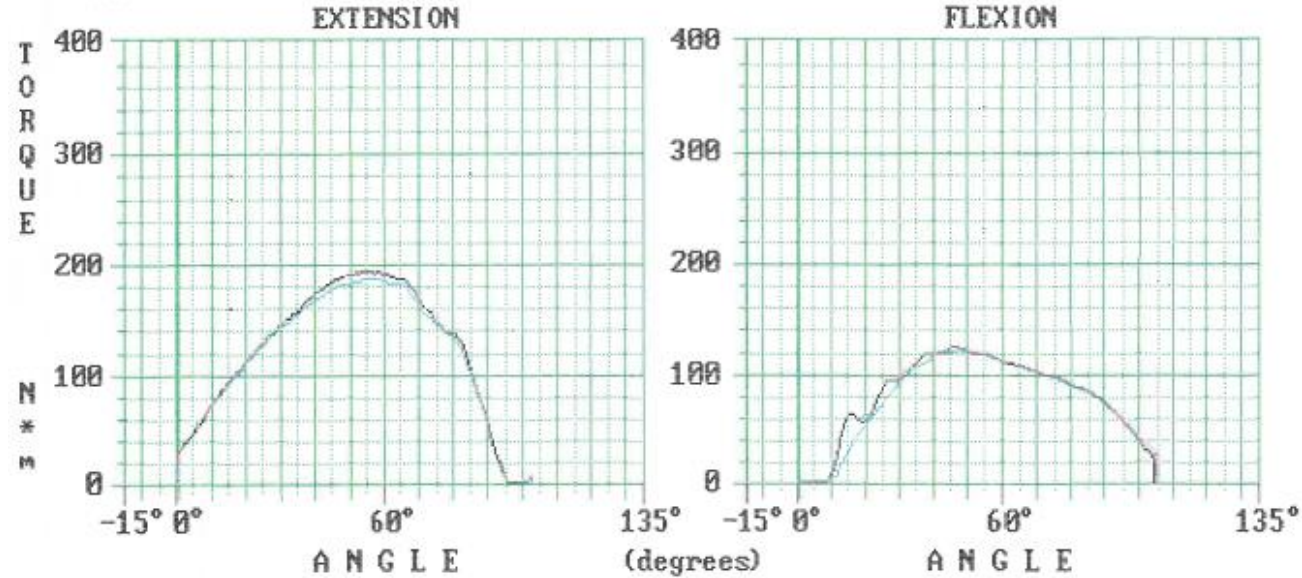
KNEE EXTENSION/FLEXION  
TORQUE vs. POSITION - INITIAL REPORT

Mon Dec 09 11:23:25 1991

LEGEND:

maximum points  
average points  
best work

test date - 12/ 9/1991 09:58  
right side - uninvolved  
test speed -  
test reps - 3



## Enregistrement N°6

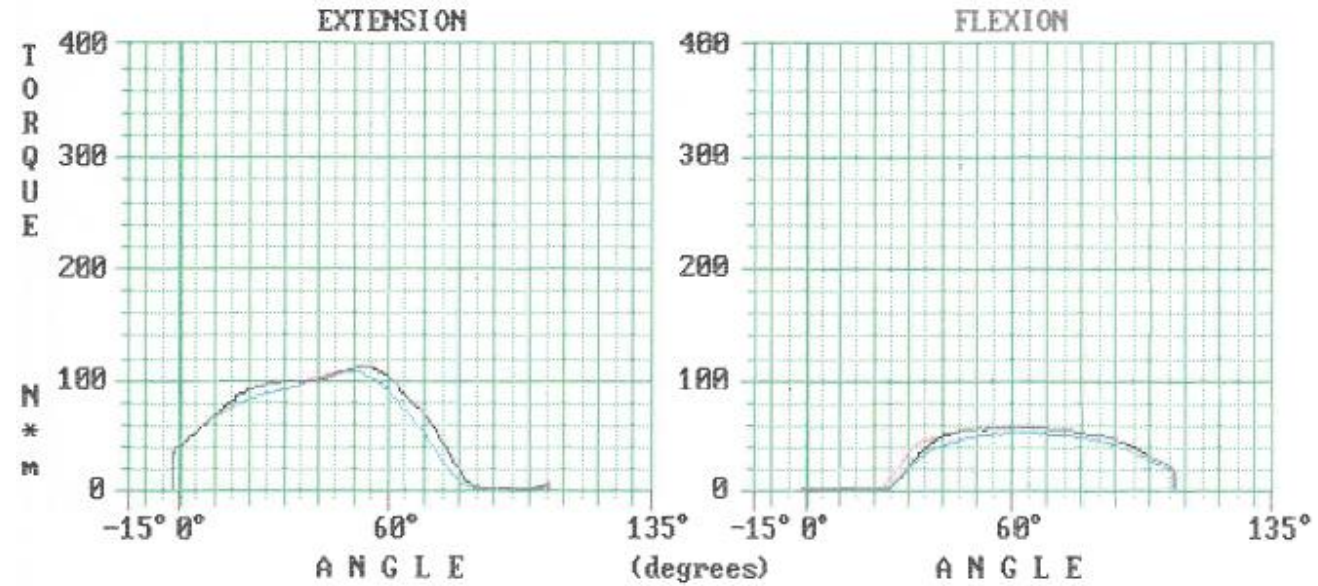
KNEE EXTENSION/FLEXION  
TORQUE vs. POSITION - INITIAL REPORT

Mon Dec 09 11:22:55 1991

LEGEND:

maximum points  
average points  
best work

test date - 12/ 9/1991 09:58  
right side - uninjured  
test speed -  
test reps - 3



## Enregistrement N°7

KNEE EXTENSION/FLEXION  
TORQUE vs. POSITION - INITIAL REPORT

Mon Dec 09 11:22:26 1991

LEGEND:

maximum points

average points

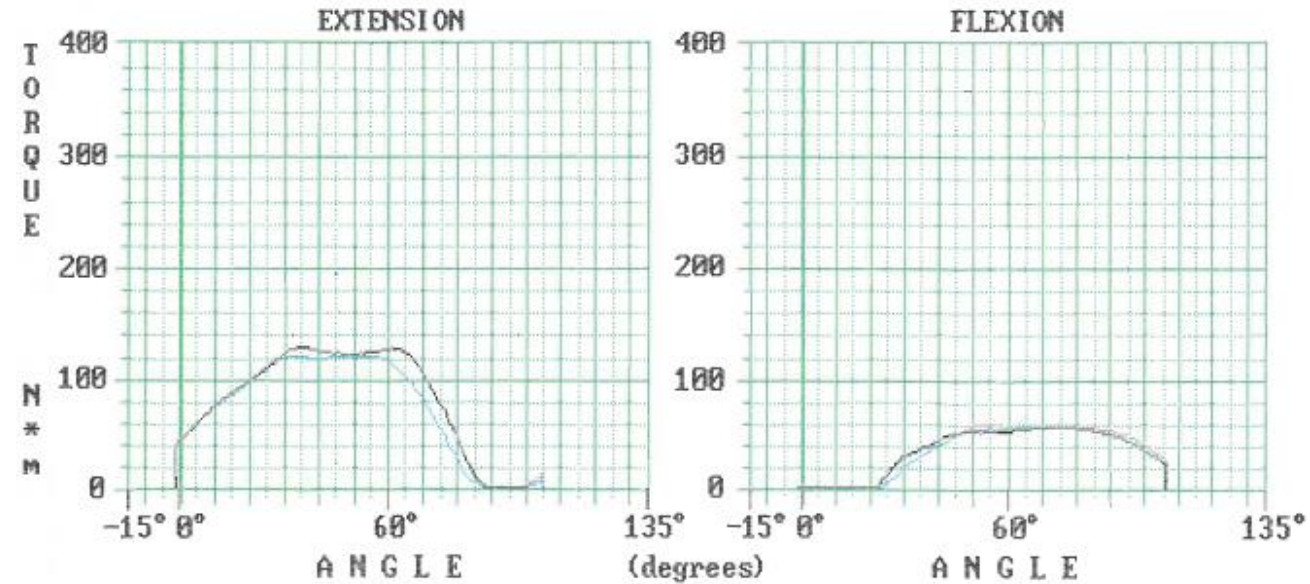
best work

test date - 12/ 9/1991 09:58

right side - uninjured

test speed -

test reps - 3



## Enregistrement N°8

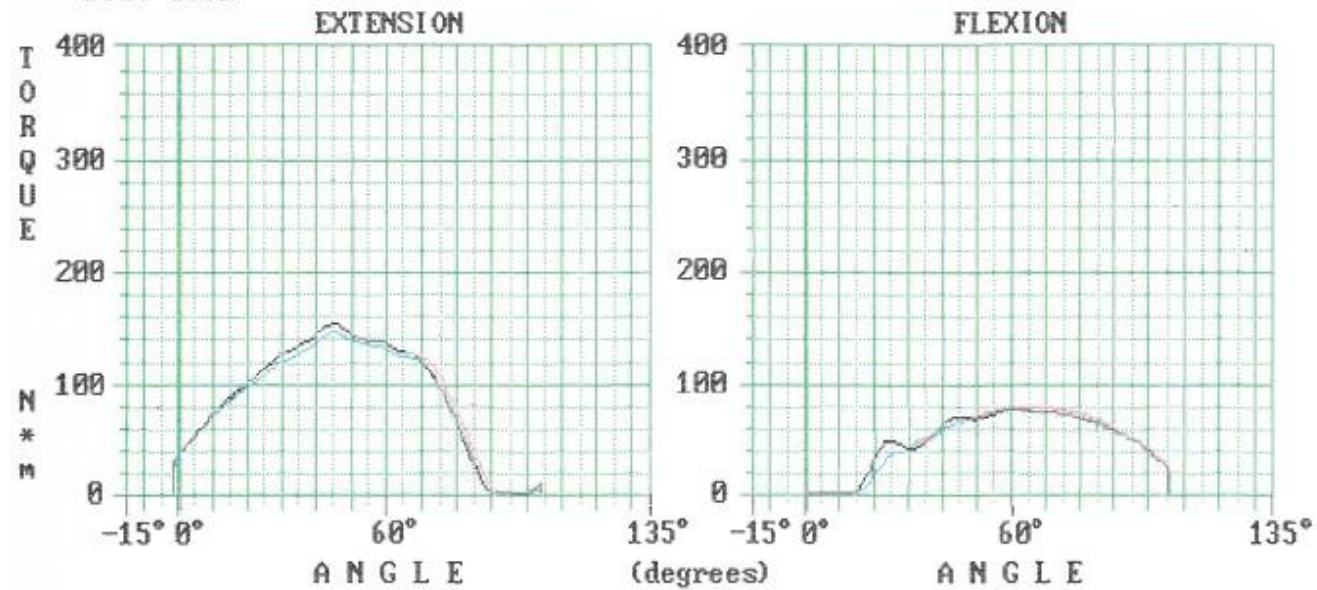
KNEE EXTENSION/FLEXION  
TORQUE vs. POSITION - INITIAL REPORT

Mon Dec 09 11:21:57 1991

LEGEND:

maximum points  
average points  
best work

test date - 12/ 9/1991 09:58  
right side - uninvolved  
test speed -  
test reps - 3



?

Quels enregistrements correspondent à chacune de ces vitesses ?

Question :  
Comment évolue l'angle où est mesuré le moment maximal en fonction de la vitesse sachant que  $0^\circ$  sur la machine correspond à  $90^\circ$  d'ouverture articulaire jambe cuisse pour l'extension

## Question

Mesurez le moment maximum (peak torque) produit pour chacune des vitesses.



Question

Construire une relation moment maximum des forces des extenseurs / vitesse angulaire.

Question:  
Extrapoler le moment maximal  
(correspondant à la force maximale).

# Question

En déduire la courbe de Puissance /  
Vitesse angulaire.

# Question

Quelle utilisation peut-on peut faire de ces enregistrements et quel intérêt ce genre de données peut il présenter lors du suivi biomécanique d'une population ?

# Evaluation par dynamométrie isocinétique

- A partir des MFM obtenus pour les muscles agonistes et antagonistes, **il est possible de générer différents rapports** (entre les muscles agonistes et antagonistes, en fonction des différents régimes de contraction musculaire). **Appelés ratios**, ces rapports **permettent d'étudier la balance musculaire de l'articulation testée**.
- L'évaluation isocinétique correspond à une **évaluation articulaire isolée** (mouvement mono-articulaire).

# Second exercice

Les données ci jointes correspondent à des investigations biomécaniques, in situ, des relations moments maximaux de force/vitesse angulaire des fléchisseurs et des extenseurs de la jambe dominante de cosmonautes, avant et après période d'apesanteur simulée, avec ou sans programme de contremesure par entraînement (démarche prophylactique).

Sont mesurées les moments des forces des fléchisseurs et des extenseurs en novembre (pré-apesanteur) puis en décembre (post-apesanteur). Les vitesses d'investigations sont de 30, 60, 120, 180, 240 et 300°/seconde.

# Cosmonaute non entraîné

PTC1 KNEE EXTENSION/FLEXION						
	FLEXION			EXTENSION		
CYBEX TEST DATE	11/ 6/1991			12/ 9/1991		
SPEED	180	240	300	180	240	300
PEAK TORQ (Nm)	92	92	84	77	58	55
PEAK TORQ % BW	103	103	94	90	68	64
ANGLE OF PEAK TORQ	65	65	59	62	52	62
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TAE (J)	17	26	28	14	18	20
AVG POWER (BWR) (Watts)	191	243	288	152	146	176
AVG POWER % BW	214	273	323	178	171	207
TOTAL WORK (BWR) (J)	112	109	103	88	63	62
TOTAL WORK (BWR) % BW	125	122	115	103	74	72
APV (SET)	14	12	11	9	11	18
TOTAL WORK SET 1						
1st SAMPLE 1 (TW) (J)						
2nd SAMPLE 1 (TW) (J)						
ENDURANCE RATIO 1						
TOTAL WORK SET 2						
1st SAMPLE 2 (TW) (J)						
2nd SAMPLE 2 (TW) (J)						
ENDURANCE RATIO 2						
RECOVERY RATIO						
PEAK TORQ (Nm)	157	130	127	150	127	109
PEAK TORQ % BW	176	146	142	176	149	128
ANGLE OF PEAK TORQ	41	30	56	44	34	51
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TAE (J)	26	35	42	20	30	36
AVG POWER (BWR) (Watts)	303	340	399	275	345	331
AVG POWER % BW	340	382	448	323	405	389
TOTAL WORK (BWR) (J)	178	154	138	160	146	117
TOTAL WORK (BWR) % BW	200	173	155	188	171	137
APV (SET)	8	21	16	10	19	23

PTC 1 KNEE EXTENSION/FLEXION						
	FLEXION			EXTENSION		
CYBEX TEST DATE	11/ 6/1991			12/ 9/1991		
SPEED	120	60	30	120	60	30
PEAK TORQ (Nm)	120	136	145	123	124	126
PEAK TORQ % BW	134	152	162	144	145	148
ANGLE OF PEAK TORQ	51	37	33	47	38	39
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TAE (J)	10	3	1	10	3	1
AVG POWER (BWR) (Watts)	164	96	53	168	90	45
AVG POWER % BW	184	107	59	197	105	52
TOTAL WORK (BWR) (J)	145	168	177	142	151	143
TOTAL WORK (BWR) % BW	162	188	198	167	177	168
APV (SET)	7	6	10	9	6	12
TOTAL WORK SET 1						
1st SAMPLE 1 (TW) (J)						
2nd SAMPLE 1 (TW) (J)						
ENDURANCE RATIO 1						
TOTAL WORK SET 2						
1st SAMPLE 2 (TW) (J)						
2nd SAMPLE 2 (TW) (J)						
ENDURANCE RATIO 2						
RECOVERY RATIO						
PEAK TORQ (Nm)	206	234	244	191	211	244
PEAK TORQ % BW	231	262	274	224	248	287
ANGLE OF PEAK TORQ	49	69	63	53	60	68
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TAE (J)	14	6	1	11	4	1
AVG POWER (BWR) (Watts)	277	160	84	259	146	77
AVG POWER % BW	311	179	94	304	171	90
TOTAL WORK (BWR) (J)	238	273	286	215	241	245
TOTAL WORK (BWR) % BW	267	306	321	252	283	288
APV (SET)	14	8	8	8	6	16



## PTC1 KNEE EXTENSION/FLEXION

	FLEXION			11/ 4/1991		
CYBEX TEST DATE	12/ 7/1991			11/ 4/1991		
SPEED	180	240	300	180	240	300
PEAK TORQ (Nm)	112	98	86	92	93	97
PEAK TORQ % BW	140	122	107	115	116	121
ANGLE OF PEAK TORQ	62	69	64	64	67	64
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TORQ @ DEGREE (Nm)						

TAE (J)	21	29	34	13	23	33
AVG POWER (BWR) (Watts)	236	247	244	182	220	297
AVG POWER % BW	295	308	305	227	275	371
TOTAL WORK (BWR) (J)	128	103	84	107	97	107
TOTAL WORK (BWR) % BW	160	128	104	133	121	133
APV (SET)	12	8	17	10	5	15

TOTAL WORK SET 1						
1st SAMPLE 1 (TW)(J)						
2nd SAMPLE 1 (TW)(J)						
ENDURANCE RATIO 1						
TOTAL WORK SET 2						
1st SAMPLE 2 (TW)(J)						
2nd SAMPLE 2 (TW)(J)						
ENDURANCE RATIO 2						
RECOVERY RATIO						

	EXTENSION			11/ 4/1991		
PEAK TORQ (Nm)	149	132	119	143	130	123
PEAK TORQ % BW	186	165	148	178	162	153
ANGLE OF PEAK TORQ	49	40	55	45	45	37
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TORQ @ DEGREE (Nm)						

TAE (J)	23	34	43	23	35	45
AVG POWER (BWR) (Watts)	293	352	388	302	383	407
AVG POWER % BW	366	440	485	377	478	508
TOTAL WORK (BWR) (J)	161	147	131	162	155	149
TOTAL WORK (BWR) % BW	201	183	163	202	193	186
APV (SET)	14	11	14	13	14	13

## PTC 1 KNEE EXTENSION/FLEXION

	FLEXION			11/ 4/1991		
CYBEX TEST DATE	12/ 7/1991			11/ 4/1991		
SPEED	120	60	30	120	60	30
PEAK TORQ (Nm)	122	145	145	123	135	135
PEAK TORQ % BW	152	181	181	153	168	168
ANGLE OF PEAK TORQ	47	40	30	42	48	32
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TORQ @ DEGREE (Nm)						

TAE (J)	13	5	1	11	4	1
AVG POWER (BWR) (Watts)	171	100	51	180	100	49
AVG POWER % BW	213	125	63	225	125	61
TOTAL WORK (BWR) (J)	139	157	161	153	164	158
TOTAL WORK (BWR) % BW	173	196	201	191	205	197
APV (SET)	14	9	7	11	7	10

TOTAL WORK SET 1						
1st SAMPLE 1 (TW)(J)						
2nd SAMPLE 1 (TW)(J)						
ENDURANCE RATIO 1						
TOTAL WORK SET 2						
1st SAMPLE 2 (TW)(J)						
2nd SAMPLE 2 (TW)(J)						
ENDURANCE RATIO 2						
RECOVERY RATIO						

	EXTENSION			11/ 4/1991		
PEAK TORQ (Nm)	166	203	222	178	199	225
PEAK TORQ % BW	207	253	277	222	248	281
ANGLE OF PEAK TORQ	66	66	67	61	61	70
TORQ @ DEGREE (Nm)						
TORQ @ DEGREE (Nm)						

TAE (J)	13	4	1	15	5	1
AVG POWER (BWR) (Watts)	228	138	70	245	141	73
AVG POWER % BW	285	172	87	306	176	91
TOTAL WORK (BWR) (J)	185	211	218	210	231	234
TOTAL WORK (BWR) % BW	231	263	272	262	288	292
APV (SET)	9	9	12	7	7	9

## Travail à réaliser :

Déterminer le pourcentage d'évolution des moments de forces pour chacune des vitesses aussi bien en flexion qu'en extension.

## Répondre aux questions

- Quelle est l'incidence de l'apesanteur sur les extenseurs et pourquoi ?
- Quelle est l'incidence de l'apesanteur sur les fléchisseurs et pourquoi?
- Quelle est l'incidence de l'entraînement sur l'évolution attendu des caractéristiques biomécaniques.
- Quelle a été selon vous l'incidence physiologique de l'entraînement.

# La Relation Moment de force/vitesse Angulaire

Le moment maximal de la force maximale dépend du diamètre du muscle, la vitesse angulaire maximale dépend de la longueur du muscle et de la proportion des différents types de fibres.

Pour un muscle donné la relation moment de force/vitesse angulaire dépend également d'autres facteurs, notamment la commande nerveuse, la température ou la fatigue (Le Page, 2016).

# L'évaluation de la balance musculaire par dynamométrie isocinétique

**Les ratios comme indicateurs** de la balance musculaire

Deux ratios sont utilisés pour évaluer l'équilibre musculaire : le ratio **conventionnel** et le ratio **fonctionnel**.

# L'évaluation de la balance musculaire par dynamométrie isocinétique

Le ratio conventionnel est aussi appelé ratio physiologique et sert à comparer le potentiel des muscles agonistes à celui des muscles antagonistes dans un même mode de contraction, le plus souvent en régime de contraction concentrique. Il est calculé comme le rapport suivant : *MFM antagoniste concentrique / MFM agoniste concentrique*

Il a été développé sur l'ensemble des articulations testées par dynamométrie isocinétique. le rachis cervical (Olivier et Du Toit, 2008, 2015), l'épaule (Dauty et coll., 2005 ; Gozlan et coll., 2006), le coude (Ellenbecker et Roetert, 2003 ; Song et coll., 2016), le poignet (Ellenbecker et Roetert, 2006 ; Song et coll., 2016), le rachis lombaire (Bernard et coll., 2014 ; Song et coll., 2016), la hanche (Sugimoto et coll., 2014 ; Diamond et coll., 2016), le genou (Busnel et coll., 2006 ; Andrade et coll., 2012, et la cheville (Gerodimos et coll., 2006 ; Edouard et coll., 2011a).

# Troisième exercice

## Travail à réaliser :

Déterminer l'évolution du ratio conventionnel (physiologique) pour :

- Chacune des vitesses angulaires
- Global

suite à la microgravité simulée pour les sujets entraînés et pour les sujets non entraînés

## Analyse:

Puis interprétez les résultats



# L'évaluation de la balance musculaire par dynamométrie isocinétique

A la différence du ratio conventionnel, le ratio fonctionnel prend en compte l'action réciproque des muscles agonistes/antagonistes. Il s'agit de comparer le potentiel du groupe musculaire agoniste en concentrique par rapport au potentiel de son antagoniste en excentrique : *MFM antagoniste excentrique MFM agoniste concentrique*.

Le ratio fonctionnel a été principalement développé pour étudier l'équilibre musculaire des rotateurs de l'épaule (Noffal, 2003), des fléchisseurs/extenseurs du genou (Araujo Ribeiro Alvares et coll., 2015) et des éverseurs/inverseurs de la chevi

L'exploration de ce ratio est particulièrement intéressante chez le sujet sportif dans le cadre de la **recherche de performance et de la prévention des blessures**

Dauty et Potiron-Josse, 2004 ; Edouard et coll., 2014). Par exemple, dans les mouvements de type **armer/lancer**, les ratios fonctionnels permettent d'apprécier la force des muscles rotateurs internes dans leur rôle freinateur (modalité excentrique) pendant la phase d'armer, et celui des rotateurs externes dans leur rôle moteur (modalité concentrique) pendant la phase de lancer (Andrade et coll., 2010 ; Saccol et coll., 2010 ; Edouard et coll., 2013a).

Ile (Yildiz et coll., 2004).

# L'évaluation de la balance musculaire par dynamométrie isocinétique

D'autres auteurs ont développé des ratios fonctionnels mixtes, l'idée étant de comparer le potentiel des agonistes en régime de contraction concentrique à vitesse rapide, par rapport aux antagonistes en régime de contraction excentrique à vitesse lente. Ce ratio est souvent utilisé dans la littérature comme un indicateur musculaire du risque de blessure.

Par exemple pour l'articulation du genou, le ratio mixte entre les fléchisseurs en mode excentrique à  $30^{\circ}.s^{-1}$  et les extenseurs en mode concentrique  $240^{\circ}.s^{-1}$  peut être un indicateur de déséquilibre musculaire et une donnée prédictive du risque lésionnel de blessure (lésion des ischio-jambiers).