



Centre d'Expertise de la Performance Gilles Cometti

Le muscle : générateur de force responsable de nos mouvements

Nicolas BABAULT

nicolas.babault@u-bourgogne.fr
<http://www.u-bourgogne.fr/EXPERTISE-PERFORMANCE/>



Ecole d'été de physique 



Le Muscle



Le muscle : mécanismes de la contraction

Adenosine triphosphate (ATP) structure showing Adenine, Ribose, and Phosphate groups. The last two phosphate groups are labeled as High-energy bonds.

Diagram illustrating the contraction mechanism of a muscle fiber, showing Actin and Myosin filaments.

Photograph showing three individuals performing a barbell squat, demonstrating muscle contraction in a practical setting.

Le muscle : mécanismes de la contraction



Faisceaux de fibres

Fibres :

- Lentes
- Rapides

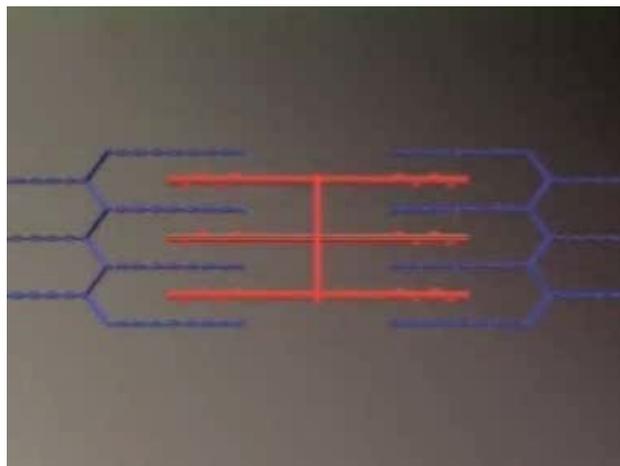
Myofibrilles

Myofilaments :

- Actine
- Myosine

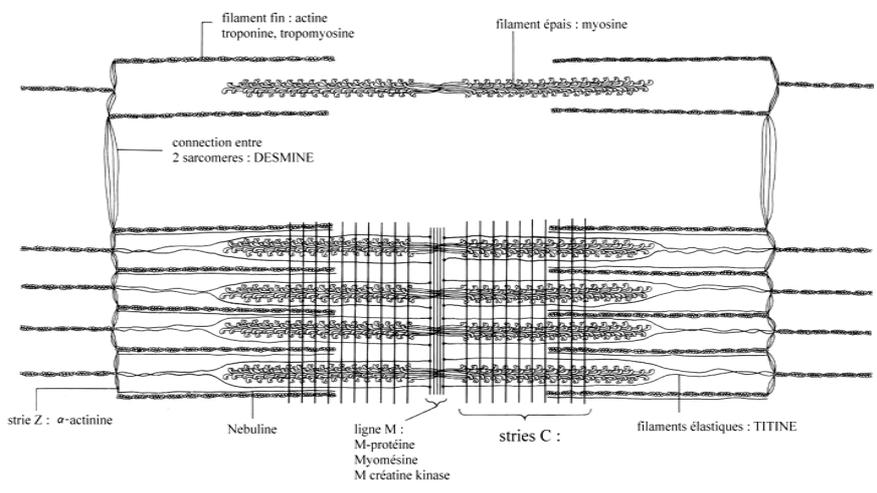
Sarcomère = unité fonctionnelle du muscle

Le muscle : mécanismes de la contraction



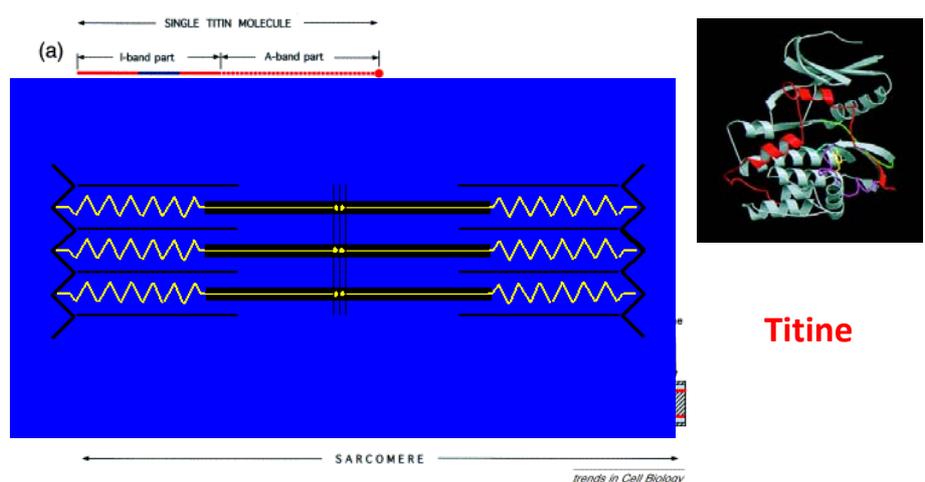
Théorie des filaments glissants de **Huxley** AF (1957)

Le muscle : autres structures



De nombreuses protéines responsables de la production de force

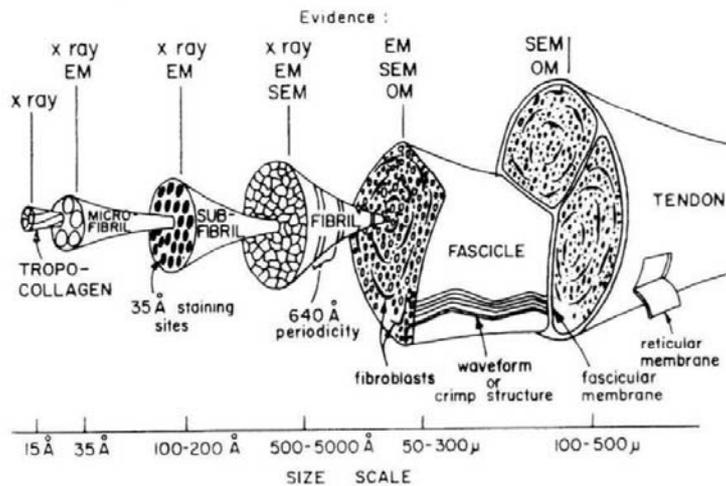
Le muscle : autres structures



Titine

De nombreuses protéines responsables de la production de force

Le muscle : autres structures



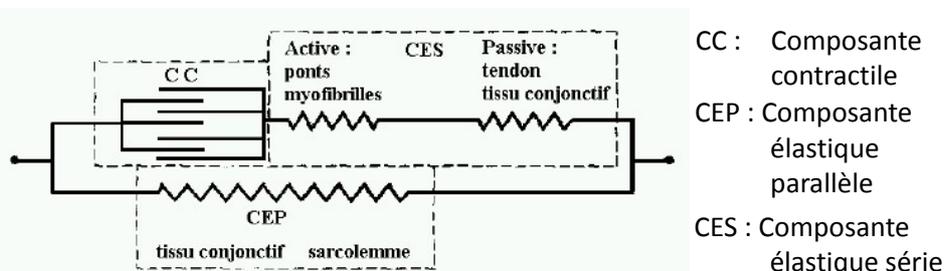
Ne pas oublier le tendon !!!

Le muscle : modélisation

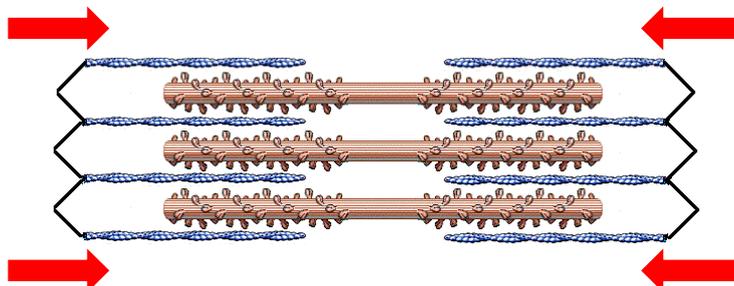
Rend compte des **propriétés mécaniques** du muscle

Création de la force
Propriétés élastiques

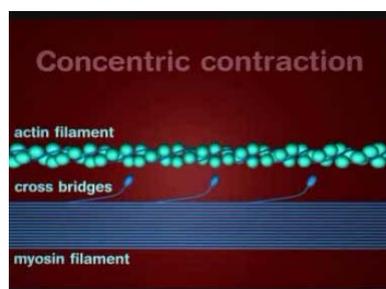
Modèle à **trois composantes** (Hill AV, 1951)



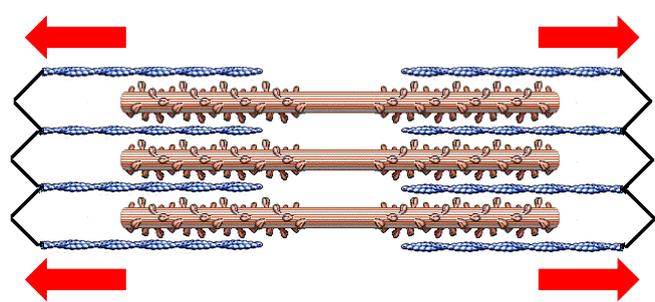
Le muscle : modes d'action



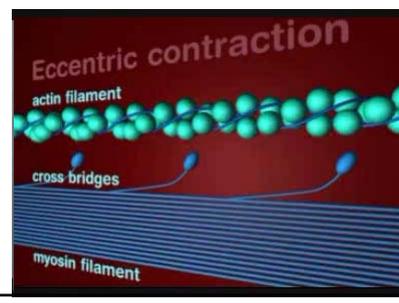
1. Concentrique



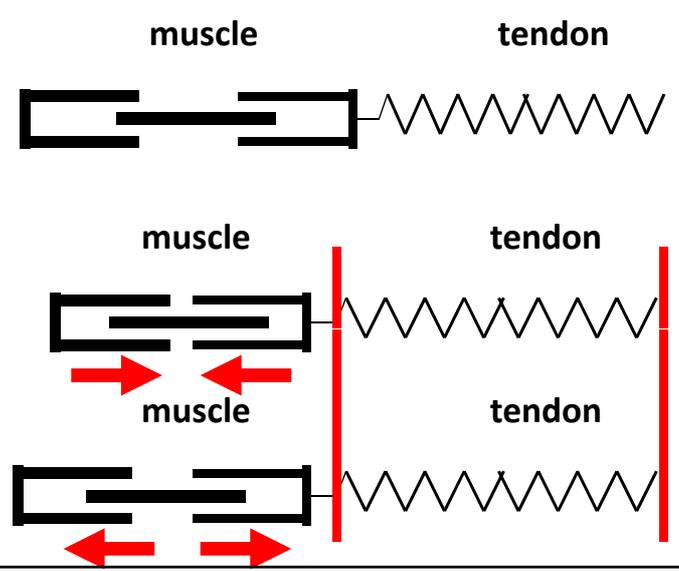
Le muscle : modes d'action

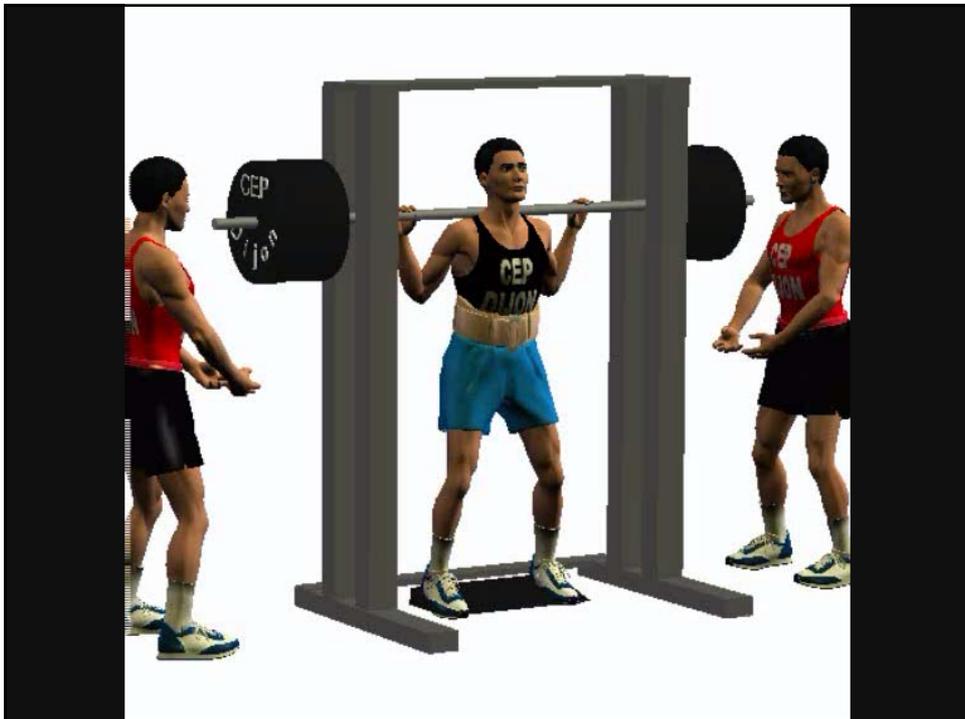


- 1. Concentrique
- 2. Excentrique

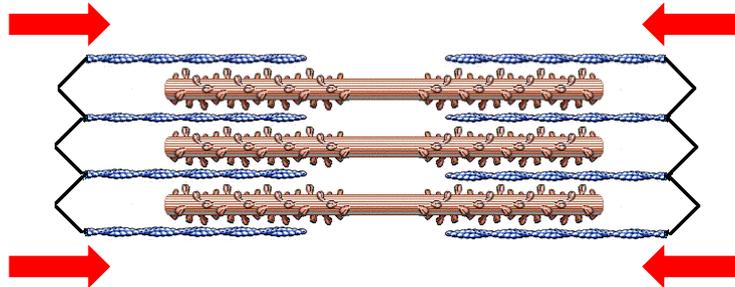


Le muscle : modes d'action

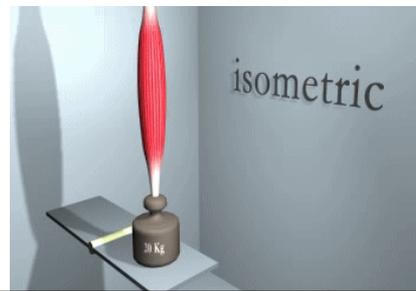




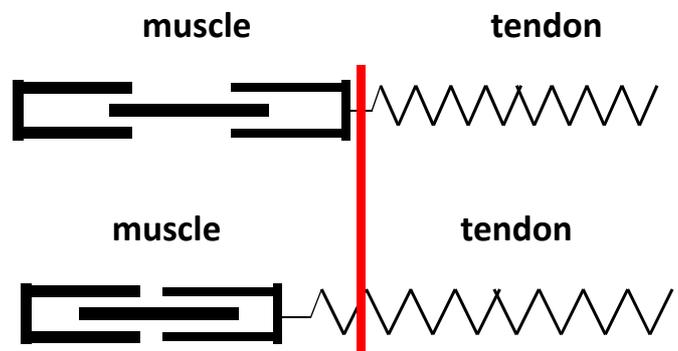
Le muscle : modes d'action

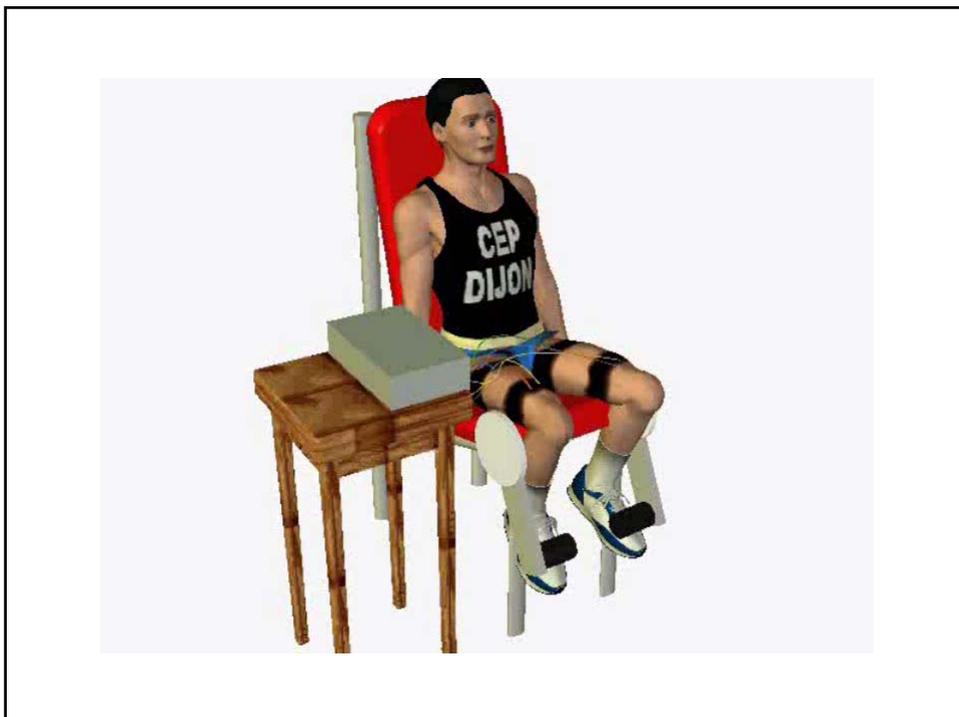


1. Concentrique
2. Excentrique
3. Isométrie

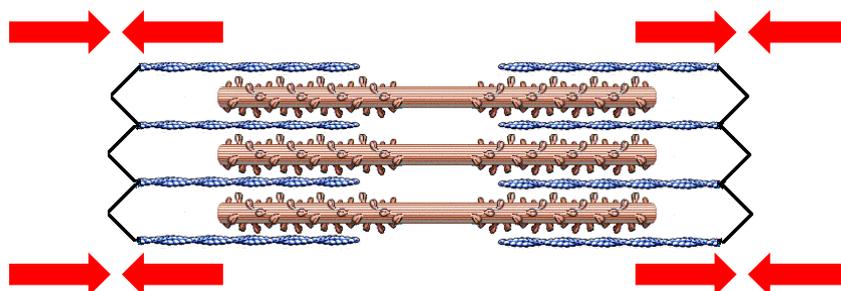


Le muscle : modes d'action



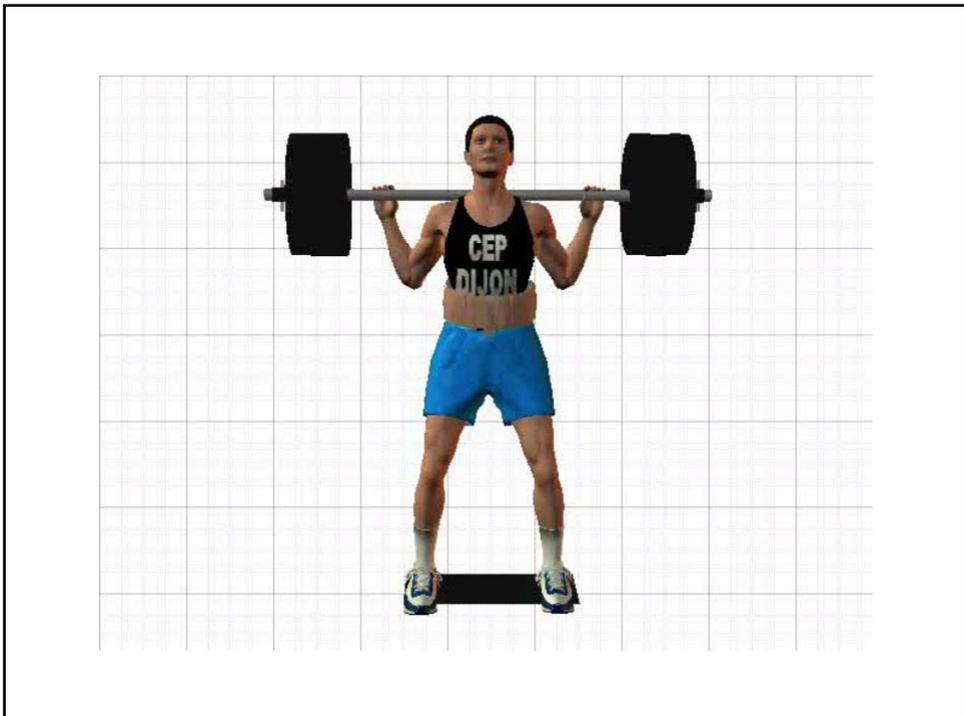
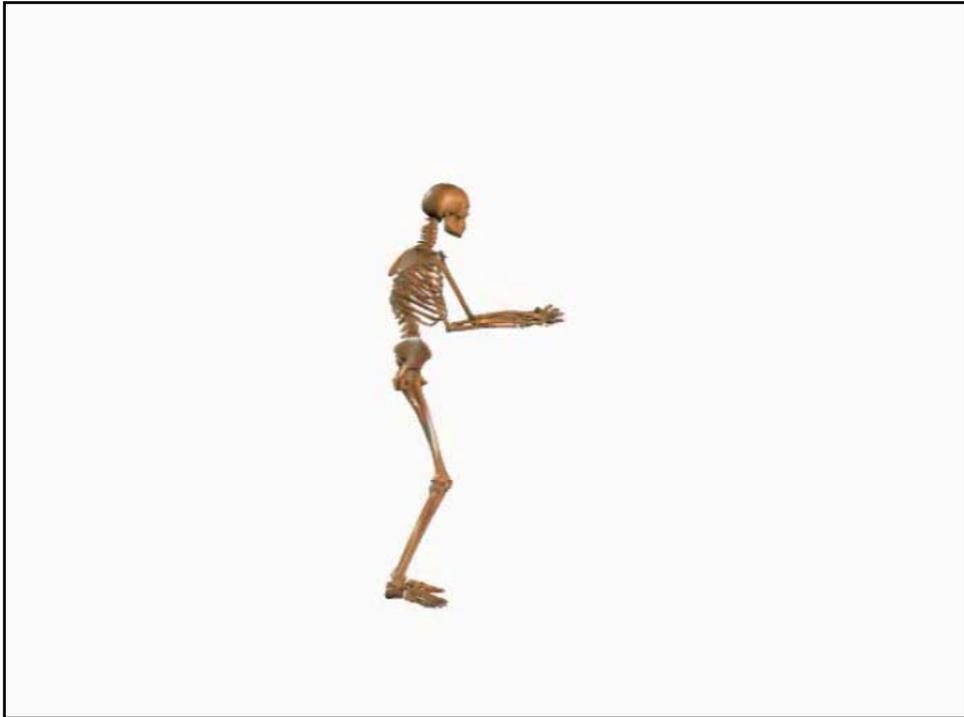


Le muscle : modes d'action



1. Concentrique
2. Excentrique
3. Isométrie
- (4. Pliométrie)**



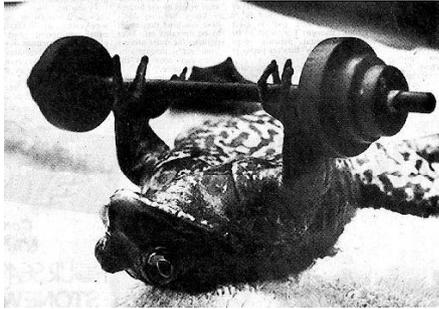


Propriétés mécaniques du muscle :

la force

2 modèles

Muscle isolé



Muscle humain in-situ



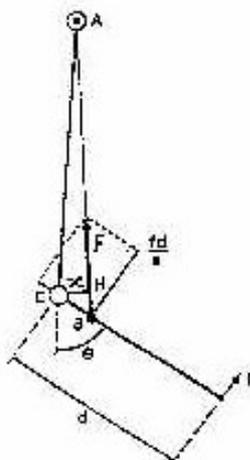
Moment articulaire

Angle articulaire

Vitesse angulaire

Propriétés mécaniques du muscle :

la force



$$F = \frac{M}{x}$$

$$F = \frac{M \cdot \sqrt{CB^2 + AC^2 + 2 \cdot CB \cdot AC \cdot \cos \theta}}{CB \cdot AC \cdot \sin \theta}$$

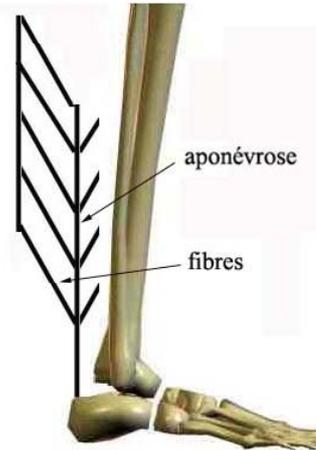
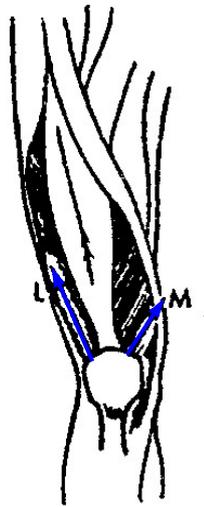
$$v = \omega \cdot x$$

$$V = \frac{\omega \cdot CB \cdot AC \cdot \sin \theta}{\sqrt{CB^2 + AC^2 + 2 \cdot CB \cdot AC \cdot \cos \theta}}$$

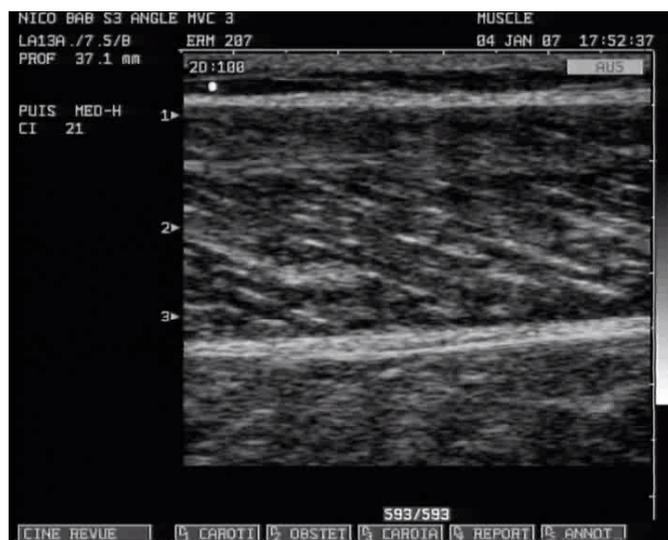
$$CB = 0.18 \cdot d$$

$$AC = 1.17 \cdot d$$

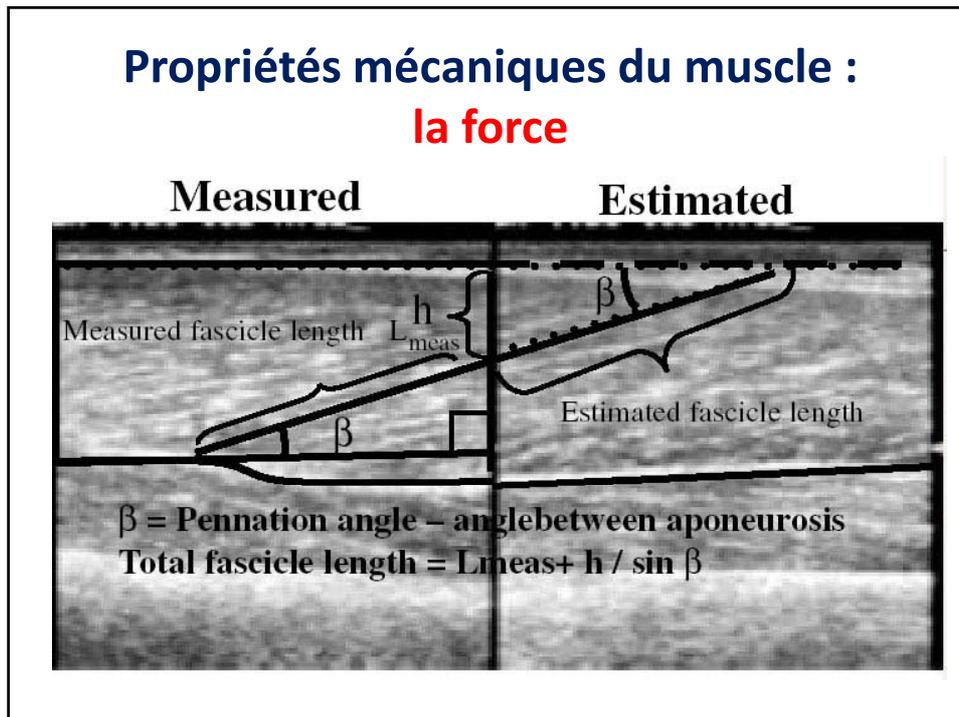
Propriétés mécaniques du muscle : **la force**



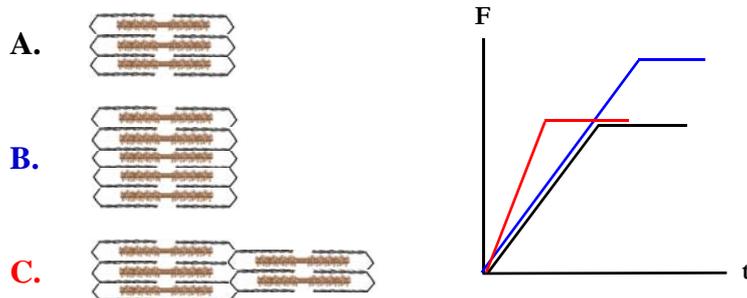
Propriétés mécaniques du muscle : **la force**



Propriétés mécaniques du muscle : la force



Propriétés mécaniques du muscle : la force



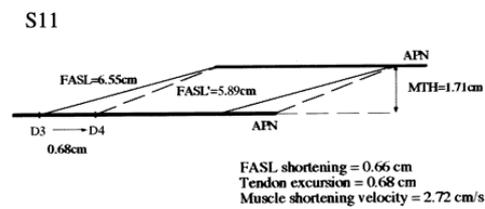
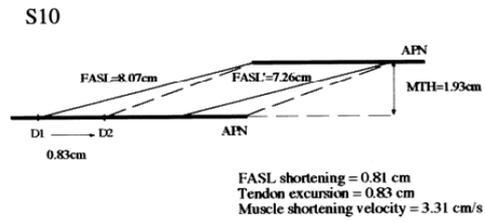
Sarcomères en parallèle = augmentation de la **force** maximale et de la **raideur** du muscle

Sarcomères en série = augmentation de la **vitesse maximale** de raccourcissement du muscle, **vitesse de montée en force**

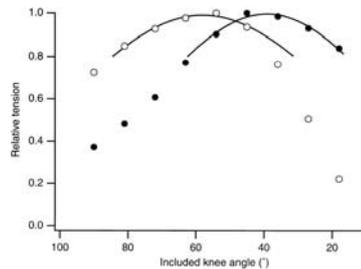
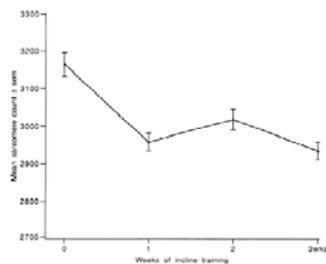
Propriétés mécaniques du muscle : la force

Sprint et architecture musculaire

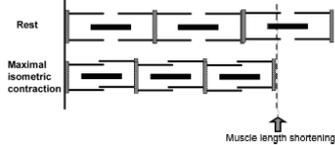
	S10	S11
<i>FASL</i>	8.07 cm	6.55 cm
θ	13.83°	15.13°
	$F = 1000 \text{ N}$	
F_t	971 N	965 N
	-10% t = 250 ms	
<i>V</i>	3.31 cm/s	2.72 cm/s



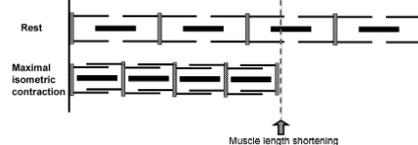
Propriétés mécaniques du muscle : la force



A Fewer number of in-series sarcomeres

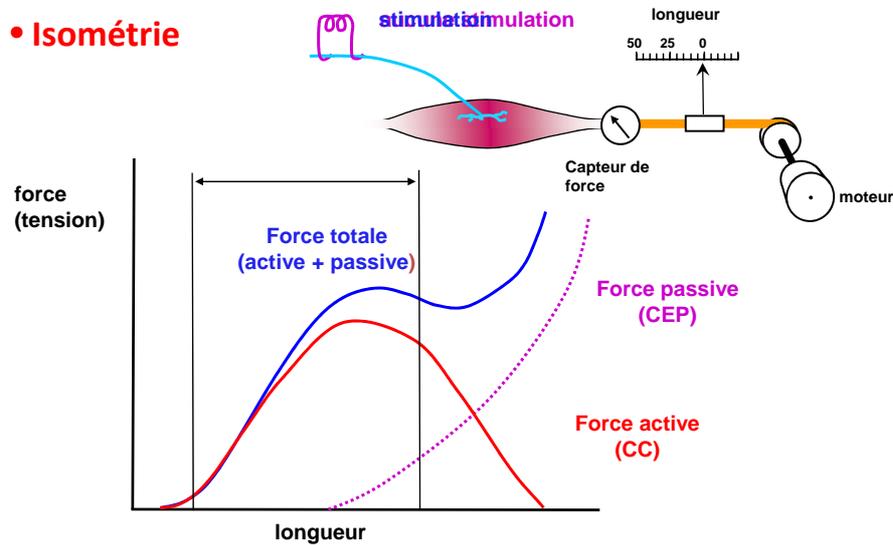


B Greater number of in-series sarcomeres



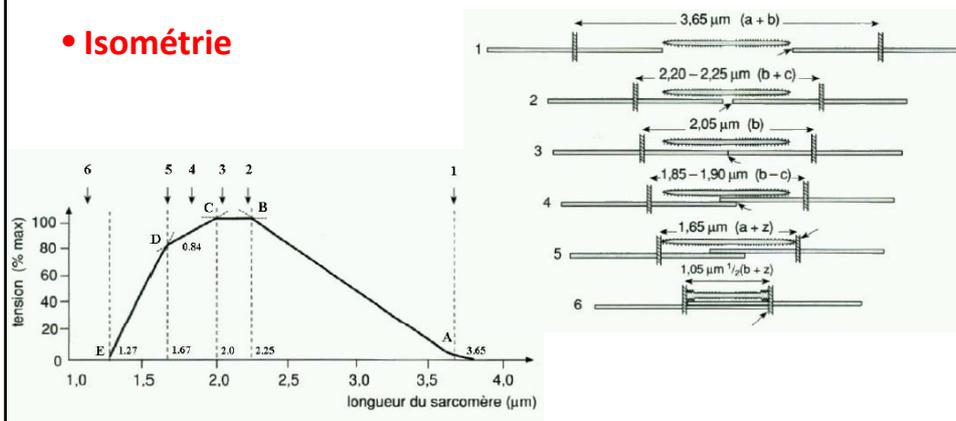
Propriétés mécaniques du muscle : relation force-longueur

• **Isométrie**



Propriétés mécaniques du muscle : relation force-longueur

• **Isométrie**

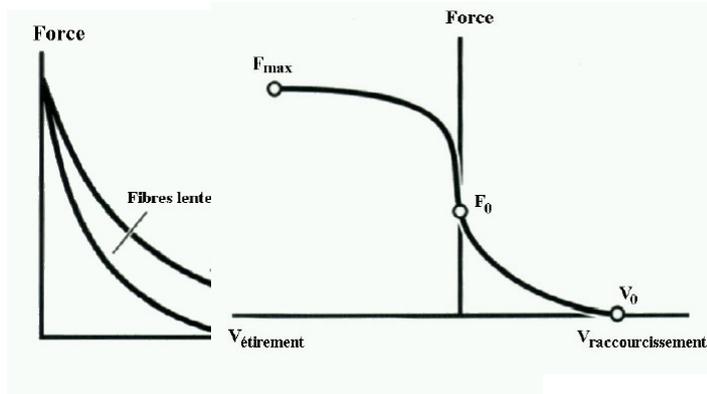


CC : tension directement proportionnelle au nombre de ponts actine-myosine formés (longueur des sarcomères)

Propriétés mécaniques du muscle : relation force-vitesse

• Concentrique – Excentrique

Muscle isolé : relation force-vitesse (CC)



courbe :

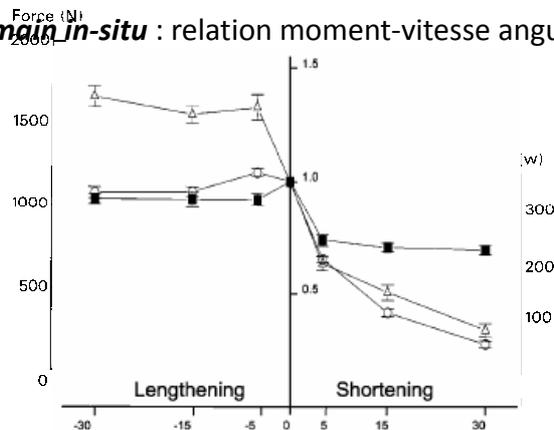
$$v = (P_0 + a).b$$

Propriétés mécaniques du muscle : relation force-vitesse

• Concentrique – Excentrique

Muscle isolé : relation force-vitesse (CC)

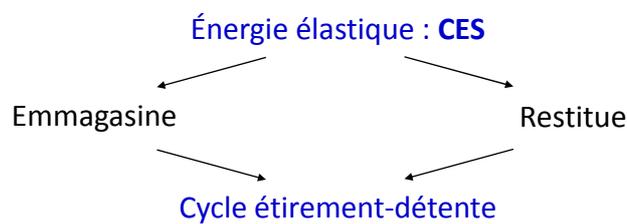
Muscle humain in-situ : relation moment-vitesse angulaire



Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques

Rendement :	Marche – mouvement concentrique	25%
	Course	40 à 50%
	Sautillement	58%

Récupère de l'énergie autre que chimique

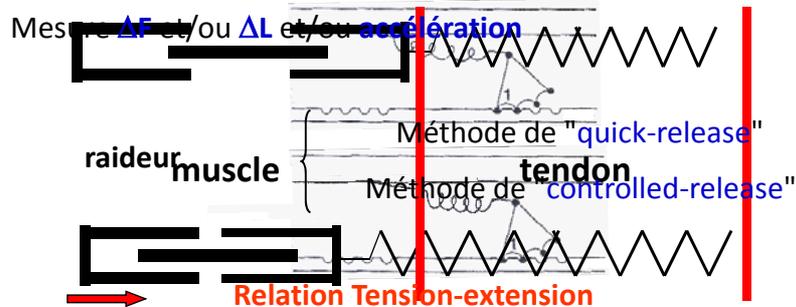


Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques

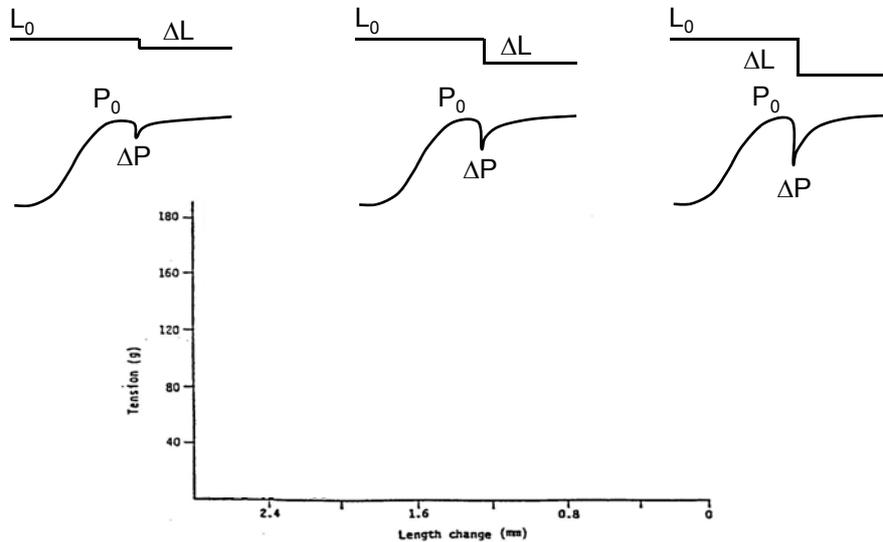
Principe de mesure :

CC mise en tension

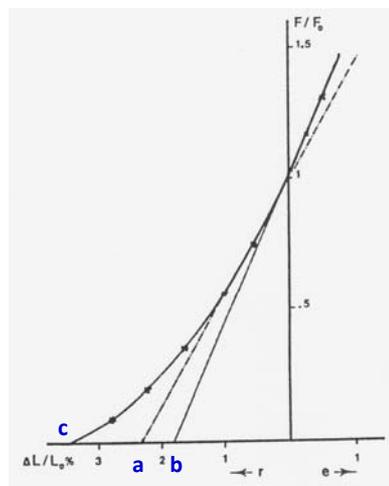
Perturbations importantes muscle tendon



Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Surface sous courbe
= énergie emmagasinée

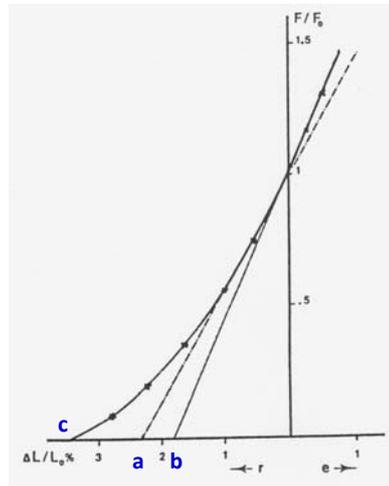
a. Compliance à F_0

b. Compliance à l'étirement

c. Extensibilité

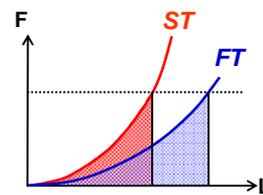
raide = extensibilité réduite

Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Fibres rapides + compliantes

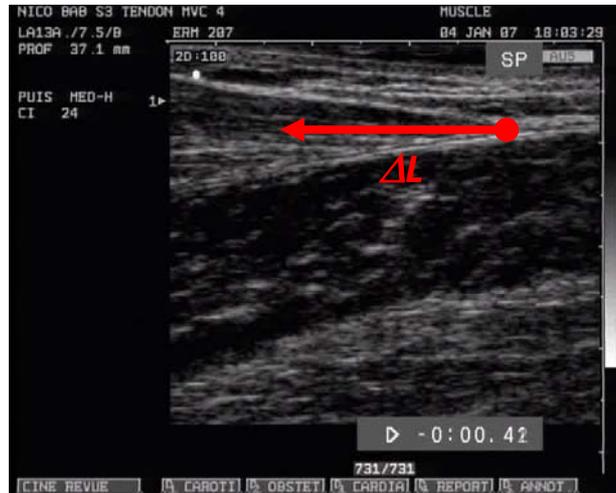
Grande capacité pour stocker énergie élastique



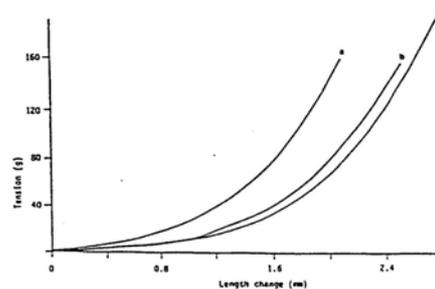
Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Muscle : \uparrow compliance



Stocke énergie

Tendon : \uparrow raideur



Restitue l'énergie

Evaluation du sportif



Evaluation du sportif : **la force**



Evaluation du sportif : la force

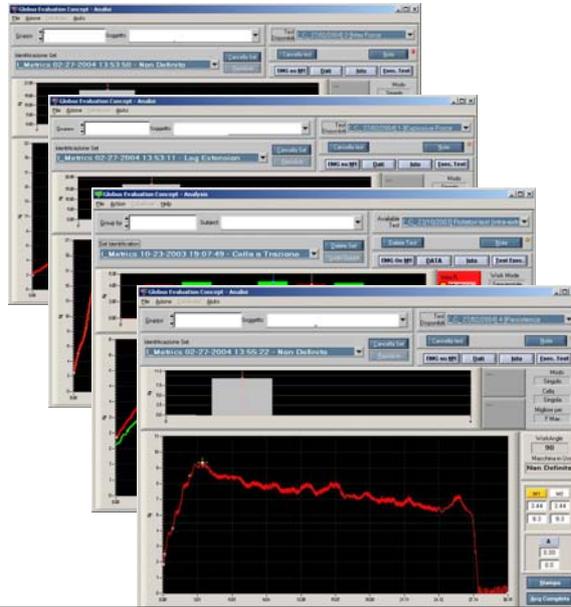
Objectifs :

Force maximale

Force explosive

Déséquilibre

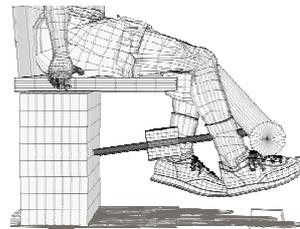
Fatigue



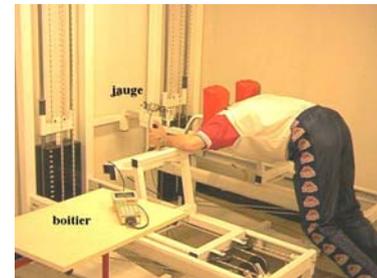
Evaluation du sportif : la force

Moyens d'évaluation

- Jauges de contrainte
- Ergomètres isocinétiques



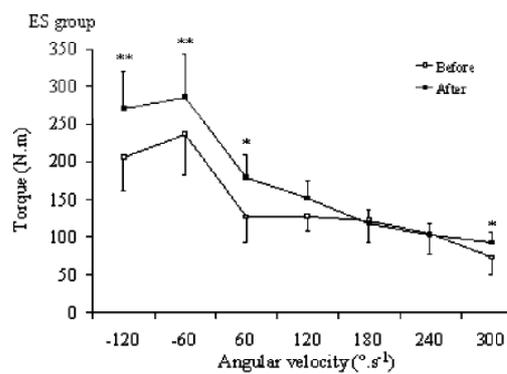
Evaluation du sportif : la force



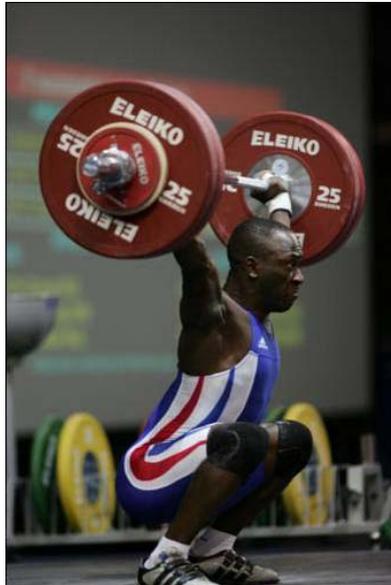
Evaluation du sportif : la force



Ergomètre isocinétique



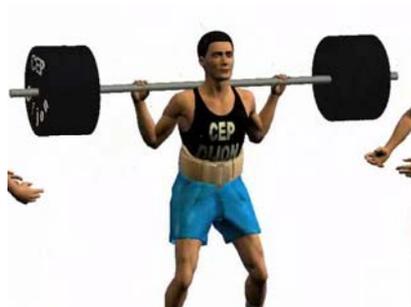
Evaluation du sportif : la puissance



Evaluation du sportif : la puissance

Objectifs : - Puissance
- Déficits
- Déséquilibres

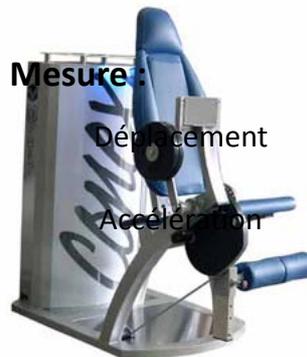
} Membre inf/sup
Uni/bilatéral
Mvt analytique/global



Mesure :

Déplacement

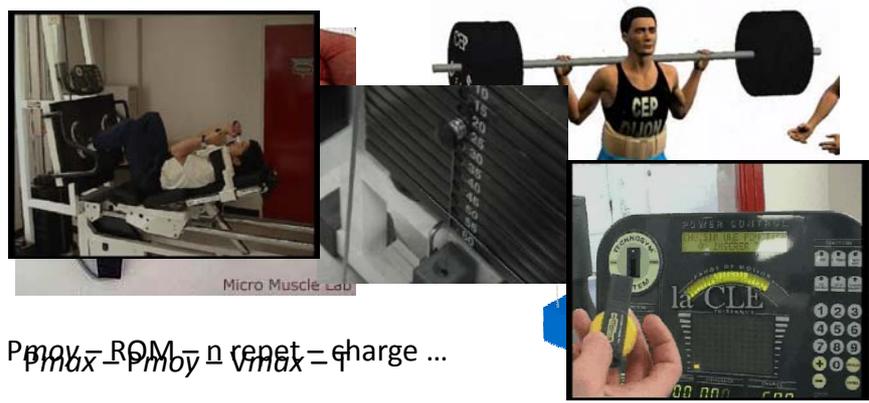
Accélération



Evaluation du sportif : la puissance

Mesure :

Déplacement



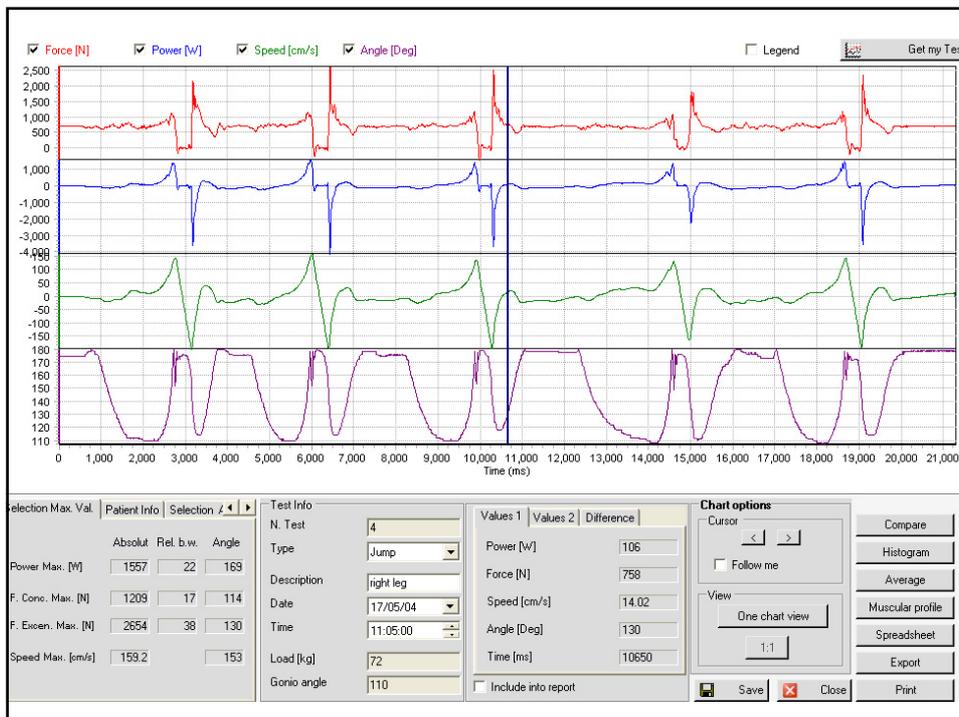
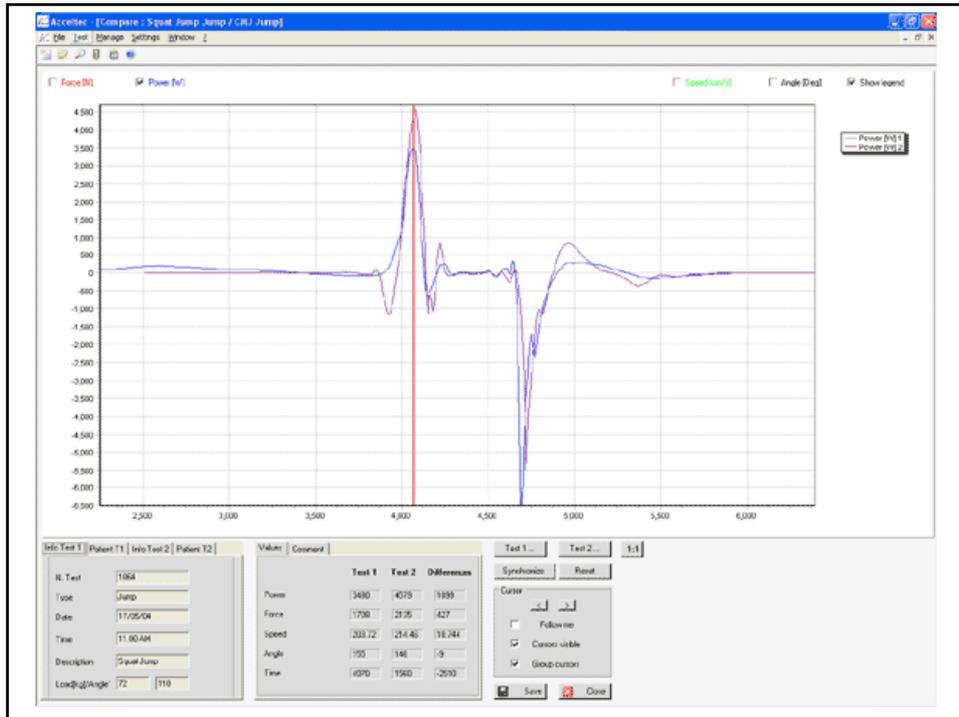
$P_{max} = \frac{RM}{n \cdot \tau} = \frac{charge}{t}$

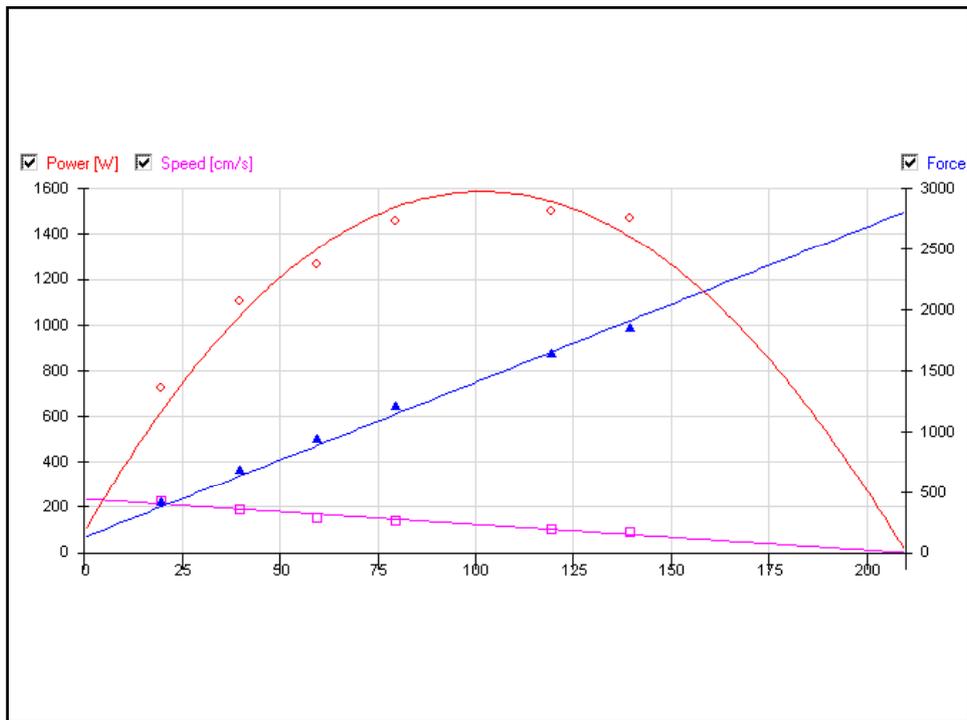
Evaluation du sportif : la puissance

Mesure :

Accélération



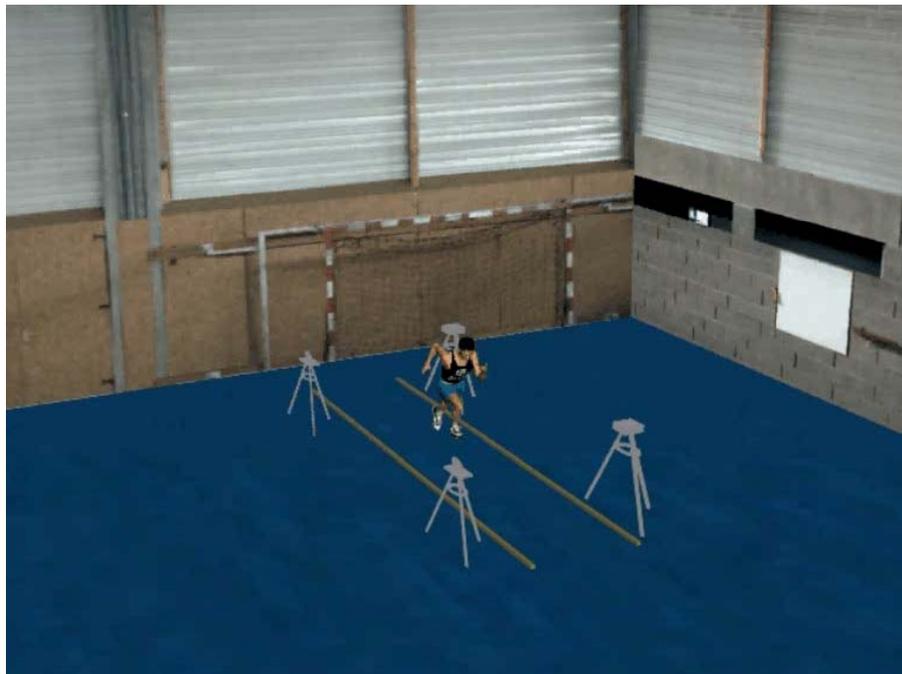




Evaluation du sportif : la puissance



Evaluation du sportif : **la vitesse**

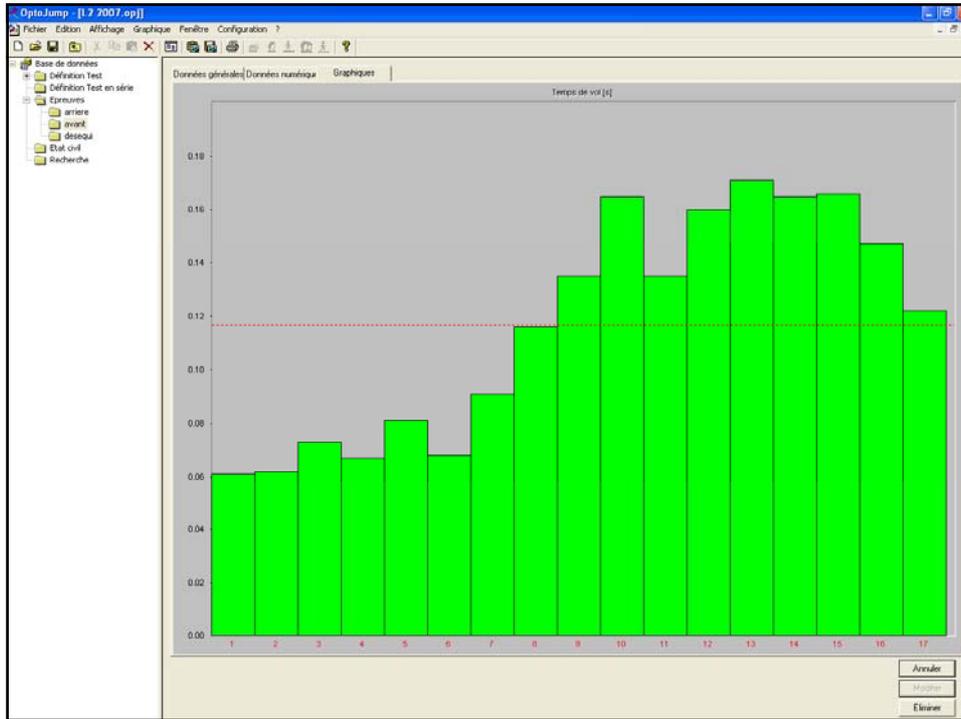


Evaluation du sportif : **la vitesse**



Evaluation du sportif : **la vitesse**





Données générales		Données numérique										
Saut #	Texte...	Temps...	Tcont...	Tvol [s]	Hauteur [...]	Puissance...	Rythme[p/s]	Pas [cm]	Vites. [m/...]	Accél. [m/s...]	Angle de f...	Déséquil. ...
001	...	...	...	...	...	...	...	37	...	...	...	...
002	...	0.000	0.209	0.061	0.5	...	3.70	96	3.56	...	0.828	...
003	...	0.270	0.171	0.062	0.5	...	4.29	105	4.51	3.78	0.799	...
004	...	0.503	0.165	0.073	0.7	...	4.20	124	5.21	2.99	0.879	-9.357
005	...	0.741	0.154	0.067	0.6	...	4.52	140	6.33	4.90	0.733	...
006	...	0.962	0.171	0.081	0.8	...	3.97	146	5.79	-2.29	0.901	-9.091
007	...	1.214	0.158	0.068	0.6	...	4.42	149	6.59	3.34	0.717	...
008	...	1.440	0.161	0.091	1.0	...	3.97	177	7.02	1.80	0.920	-5.063
009	Ne pas p...	1.692	0.153	0.116	1.6	...	...	...	...	...	...	...
010	Ne pas p...	1.961	0.147	0.135	2.2	...	...	...	...	...	...	-0.654
011	Ne pas p...	2.243	0.153	0.165	3.3	...	...	...	...	...	...	...
012	Ne pas p...	2.561	0.159	0.135	2.2	...	...	...	...	...	...	0.000
013	Ne pas p...	2.955	0.159	0.160	3.1	...	...	...	...	...	...	0.000
014	Ne pas p...	3.174	0.159	0.171	3.6	...	...	...	...	...	...	...
015	Ne pas p...	3.504	0.160	0.165	3.3	...	...	...	...	...	...	...
016	Ne pas p...	3.829	0.171	0.166	3.4	...	...	...	...	...	...	-3.125
017	Ne pas p...	4.166	0.189	0.147	2.6	...	...	...	...	...	...	...
018	Ne pas p...	4.502	0.209	0.122	1.8	...	...	...	...	...	...	-0.529
019	...	4.833	0.239	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Externe	4.998	5.072	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Moyennes	...	...	0.172	0.117	1.9	...	4.15	122	5.57	2.42	0.83	-3.48
Std	...	...	0.024	0.042	1.2	...	0.29	42.84	1.23	2.52	0.08	3.96

Evaluation du sportif : la détente verticale



Evaluation du sportif : la détente verticale

Objectifs :

- Force
- Puissance
- Explosivité
- Qualités élastiques

} Proche du terrain
Membre inférieur
Simplicité
Complet

Tests réalisés :

- Squat Jump
- Counter Movement Jump
- Drop Jump
- Réactivité
- Sauts multiples



Evaluation du sportif : la détente verticale

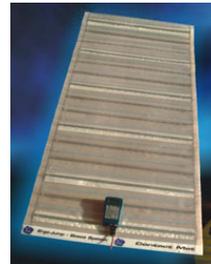
Moyens d'évaluation :

Temps de suspension

$$z_{\max} = \frac{1}{8} \cdot g \cdot t^2$$

$$P = \frac{1}{4} m \cdot g^2 \cdot \frac{t_V(t_V + t_T)}{t_C}$$

$$K = \frac{M \cdot \pi(T_V + T_C)}{T_C^2 \left(\frac{T_V + T_C}{\pi} - \frac{T_C}{4} \right)}$$



Evaluation du sportif : la détente verticale

Moyens d'évaluation :

Plateforme de force - accéléromètres

