



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/>



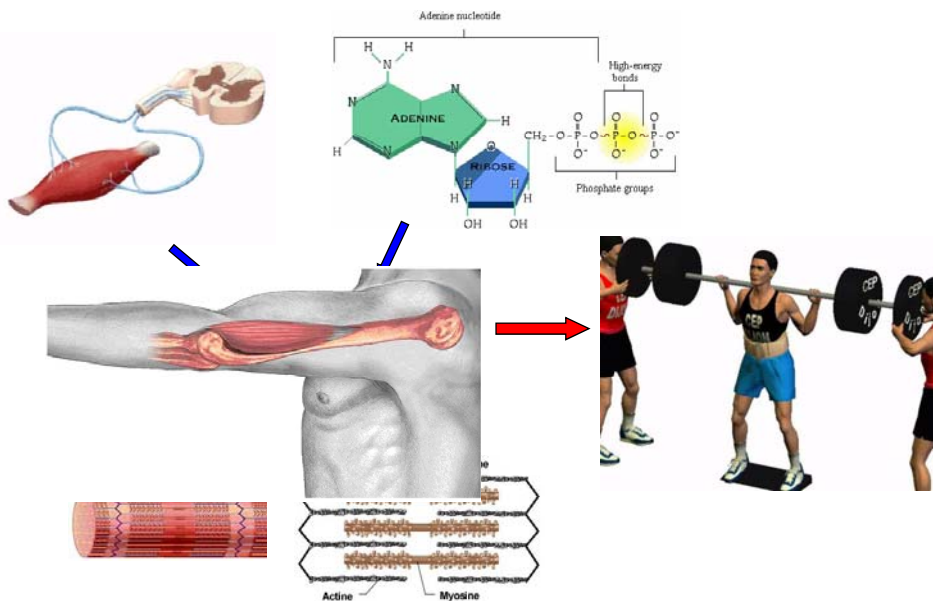
Ecole d'été de physique 



Le Muscle



Le muscle : mécanismes de la contraction



Le muscle : mécanismes de la contraction



Faisceaux de fibres

Fibres :

- Lentes
- Rapides

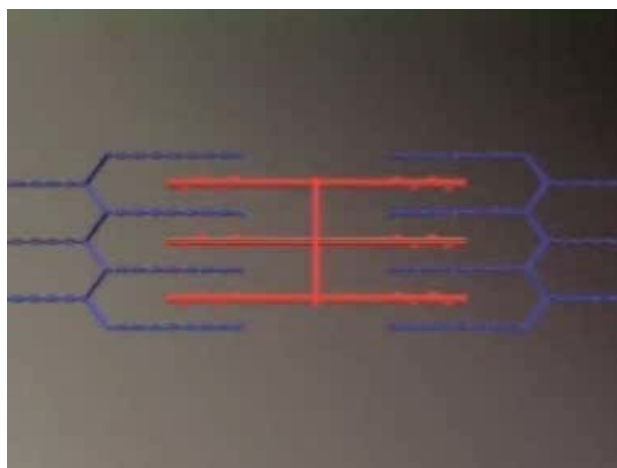
Myofibrilles

Myofilaments :

- Actine
- Myosine

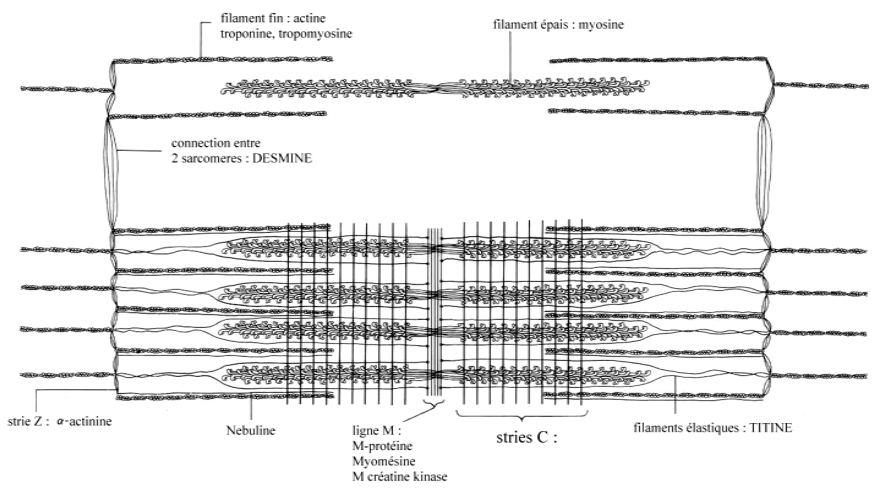
Sarcomère = unité fonctionnelle du muscle

Le muscle : mécanismes de la contraction



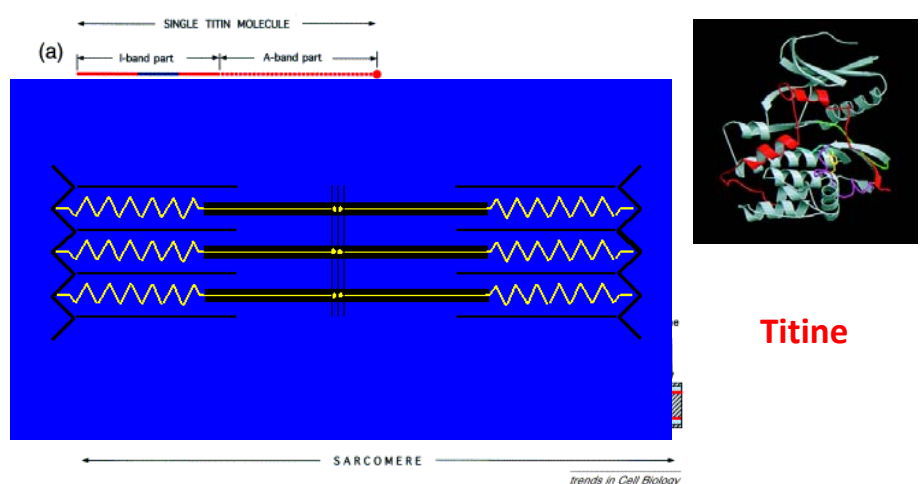
Théorie des filaments glissants de **Huxley** AF (1957)

Le muscle : autres structures



De nombreuses protéines responsables de la production de force

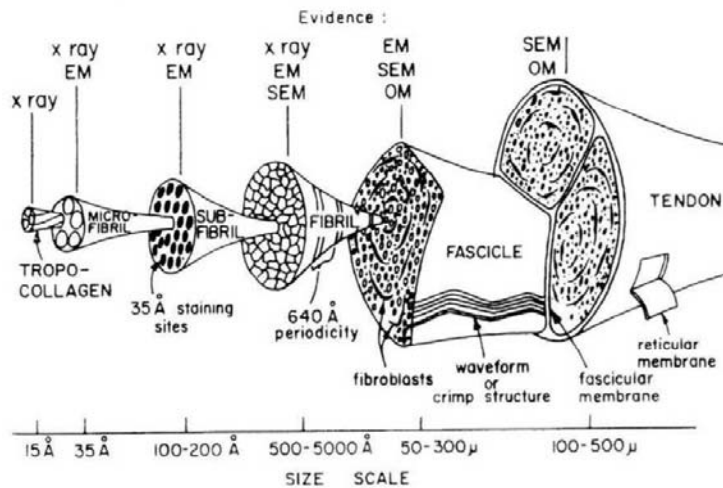
Le muscle : autres structures



Titine

De nombreuses protéines responsables de la production de force

Le muscle : autres structures



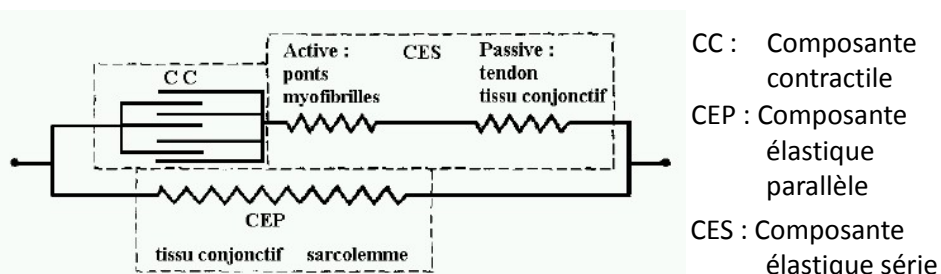
Ne pas oublier le tendon !!!

Le muscle : modélisation

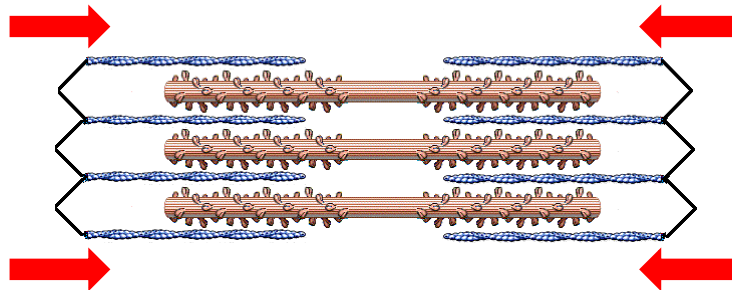
Rend compte des **propriétés mécaniques** du muscle

Création de la force
Propriétés élastiques

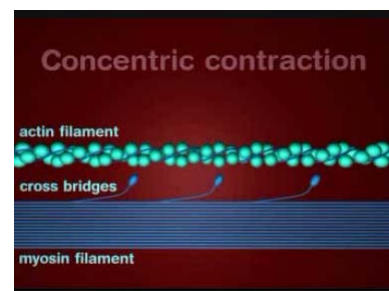
Modèle à **trois composantes** (Hill AV, 1951)



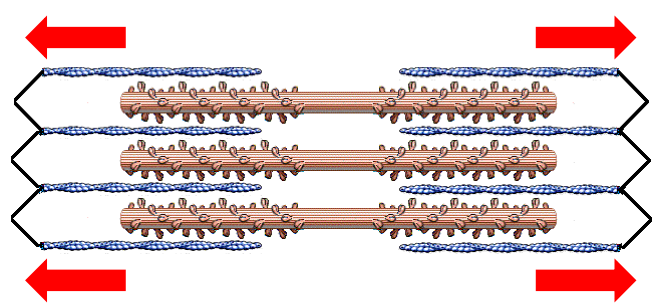
Le muscle : modes d'action



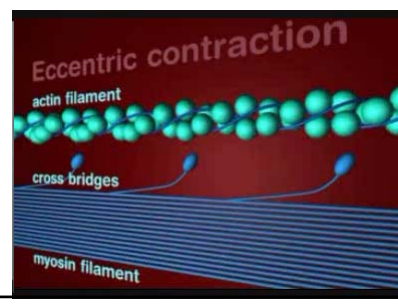
1. Concentrique



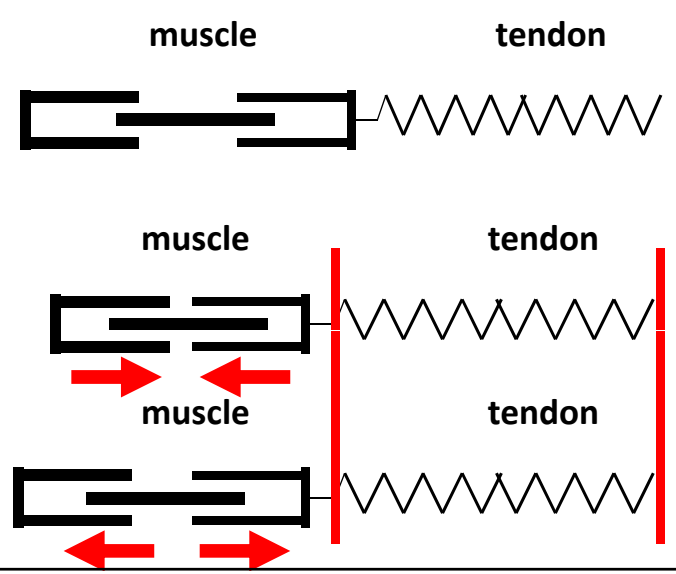
Le muscle : modes d'action



- 1. Concentrique
- 2. Excentrique

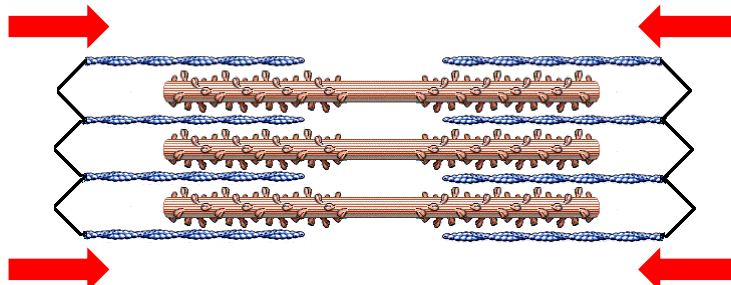


Le muscle : modes d'action

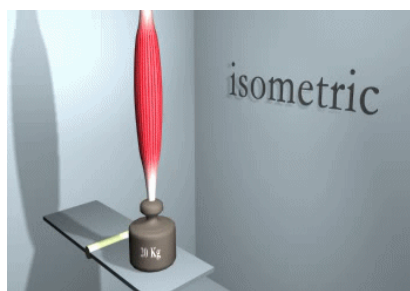




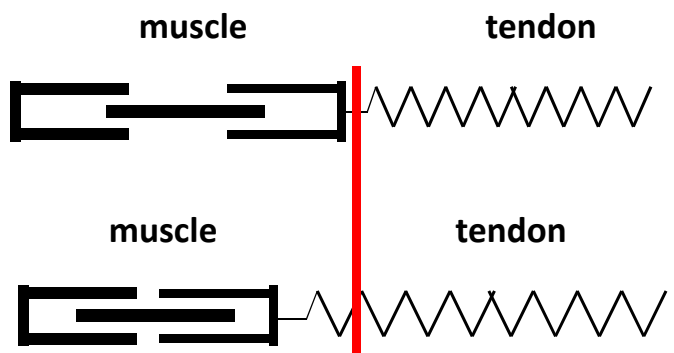
Le muscle : modes d'action



1. Concentrique
2. Excentrique
3. Isométrie

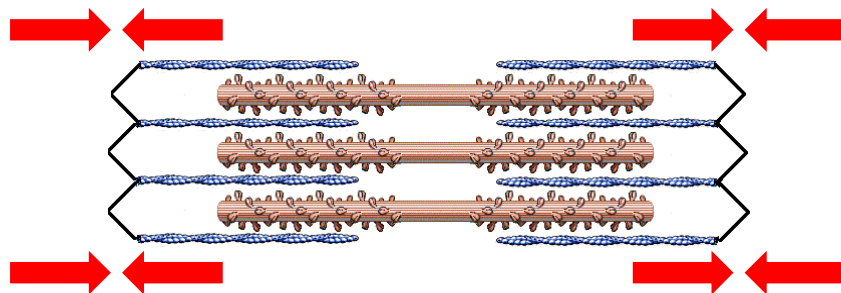


Le muscle : modes d'action



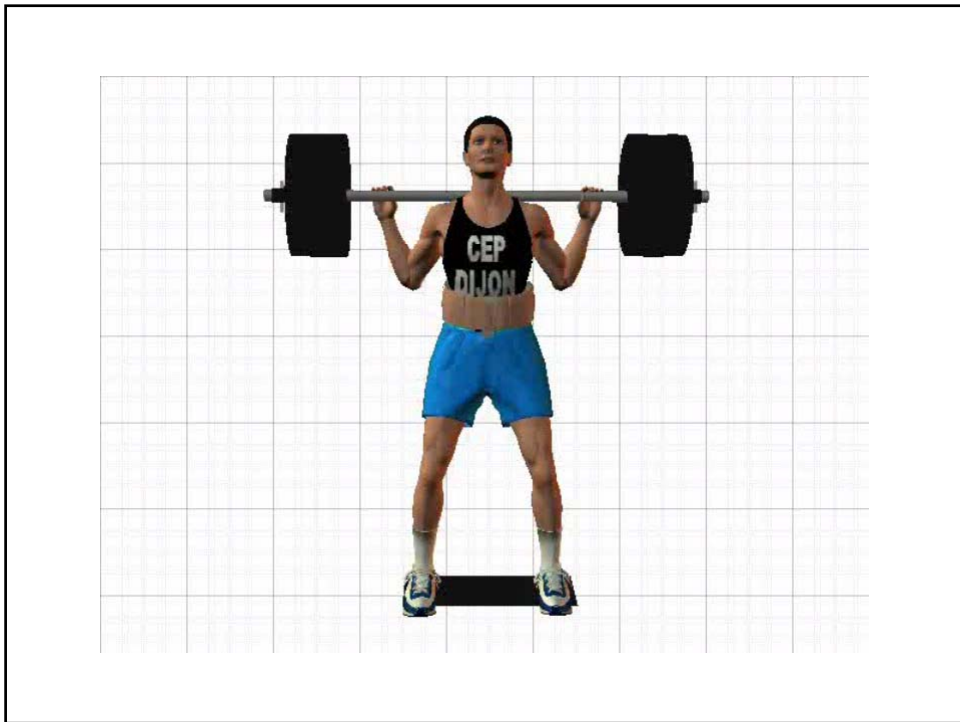
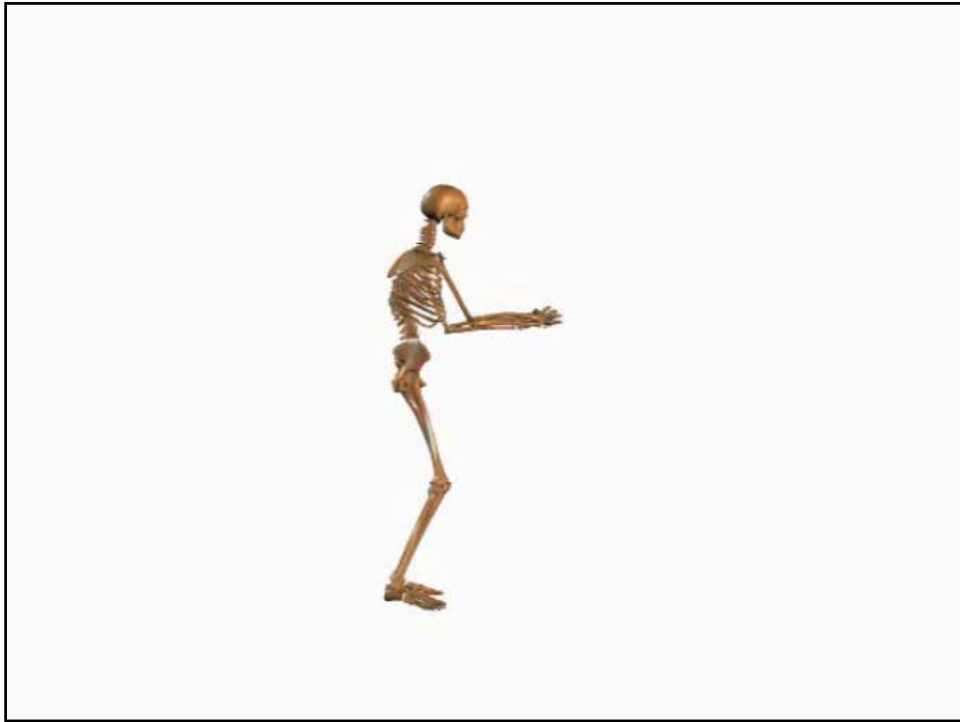


Le muscle : modes d'action



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



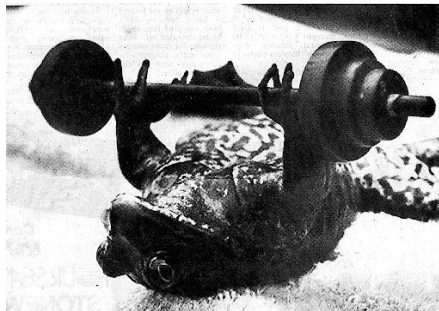


Propriétés mécaniques du muscle :

la force

2 modèles

Muscle isolé

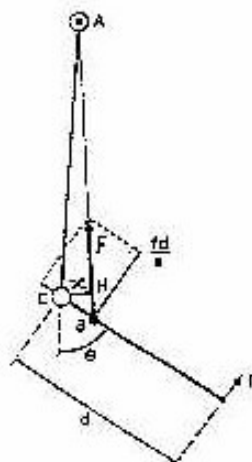


Muscle humain in-situ



Propriétés mécaniques du muscle :

la force



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

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

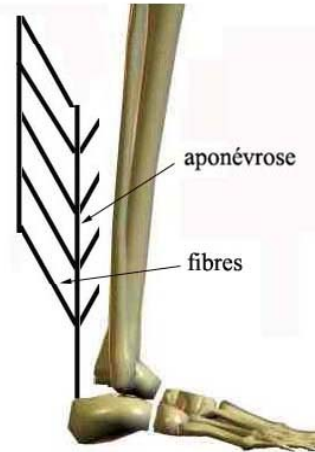
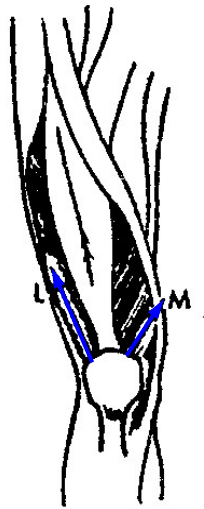
$$v = \omega \cdot x$$

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

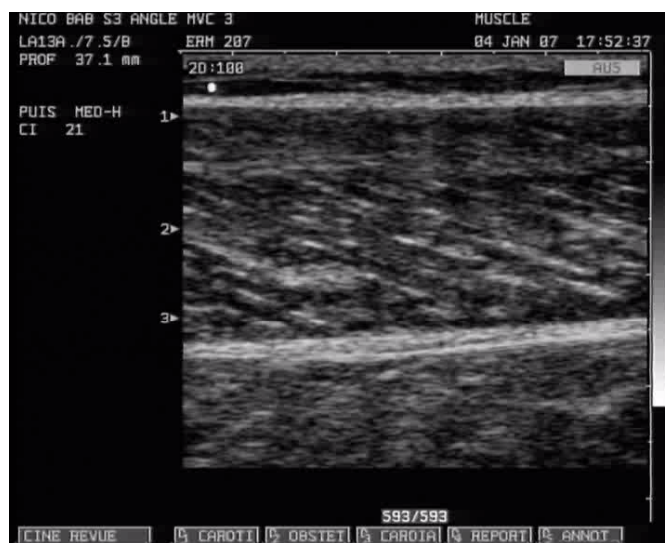
$$CB = 0.18 \cdot d$$

$$AC = 1.17 \cdot d$$

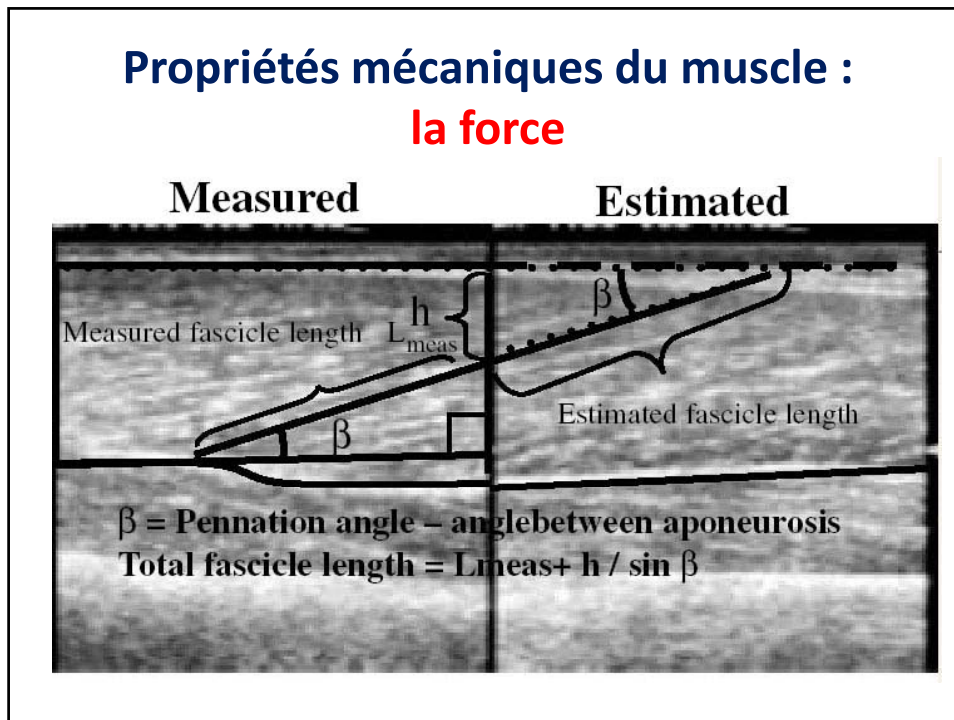
Propriétés mécaniques du muscle : **la force**



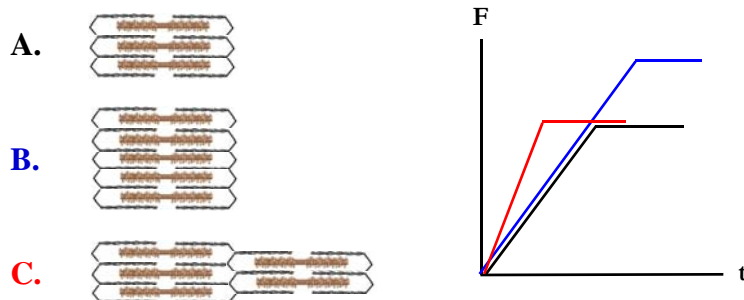
Propriétés mécaniques du muscle : **la force**



Propriétés mécaniques du muscle : la force



Propriétés mécaniques du muscle : la force



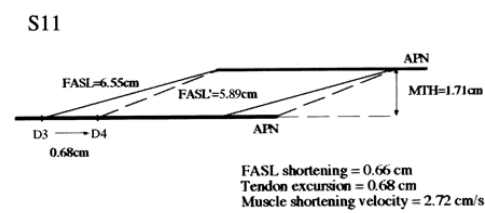
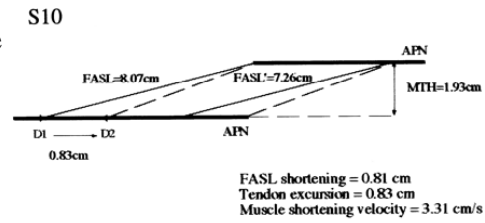
Sarcomères en parallèle = augmentation de la **force** maximale et de la **raideur** du muscle

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

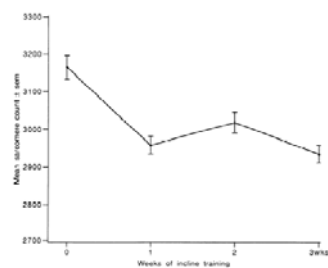
Propriétés mécaniques du muscle : la force

Sprint et architecture musculaire

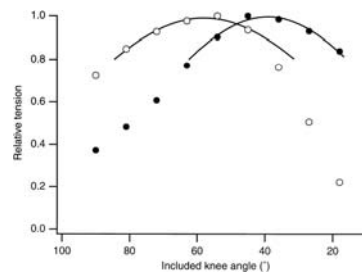
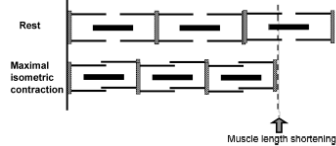
	S10	S11
<i>FASL</i>	8.07 cm	6.55 cm
θ	13.83°	15.13°
	$F = 1000 \text{ N}$	
F_t	971 N	965 N
	-10% $t = 250 \text{ ms}$	
V	3.31 cm/s	2.72 cm/s



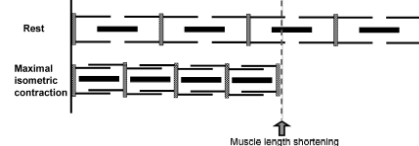
Propriétés mécaniques du muscle : la force



A Fewer number of in-series sarcomeres

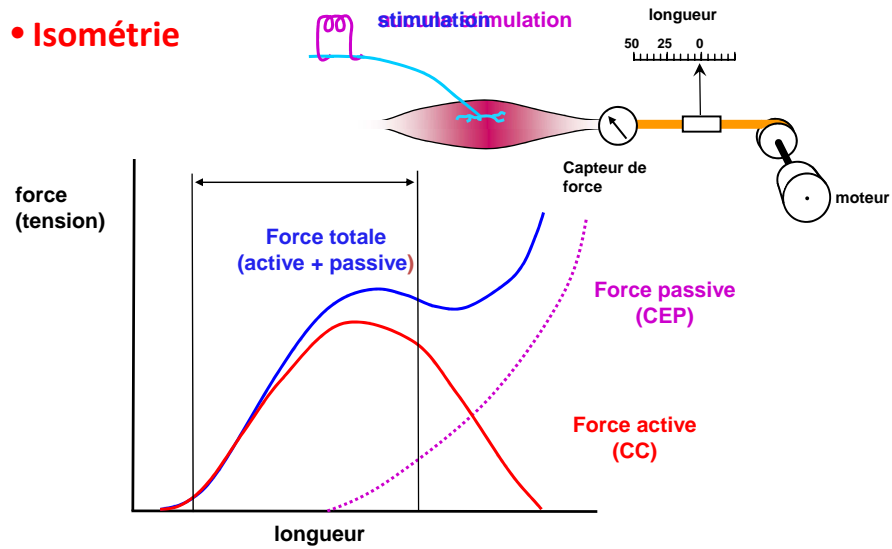


B Greater number of in-series sarcomeres



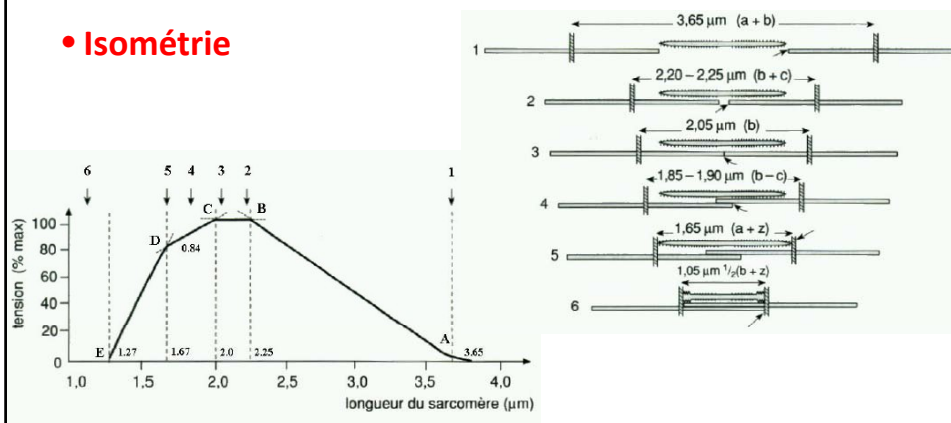
Propriétés mécaniques du muscle : relation force-longueur

• **Isométrie**



Propriétés mécaniques du muscle : relation force-longueur

• **Isométrie**

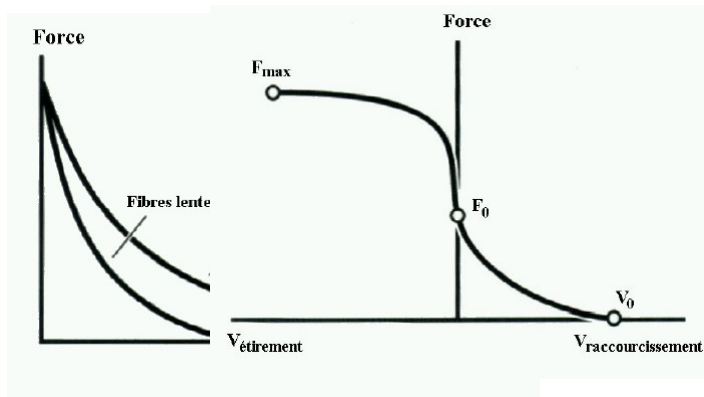


CC : tension directement proportionnelle au nombre de ponts actine-myosine formés (longueur des sarcomères)

Propriétés mécaniques du muscle : relation force-vitesse

• Concentrique – Excentrique

Muscle isolé : relation force-vitesse (CC)



courbe :

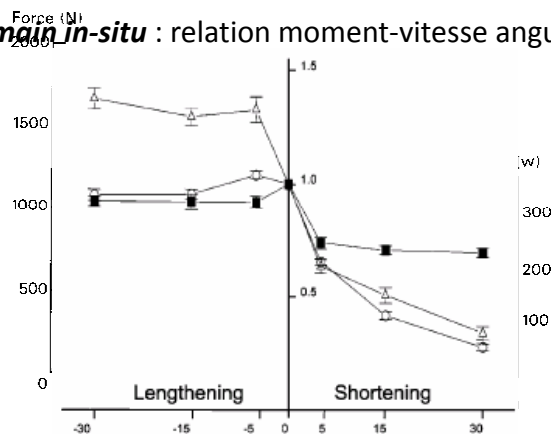
$$v = (P_0 + a).b$$

Propriétés mécaniques du muscle : relation force-vitesse

• Concentrique – Excentrique

Muscle isolé : relation force-vitesse (CC)

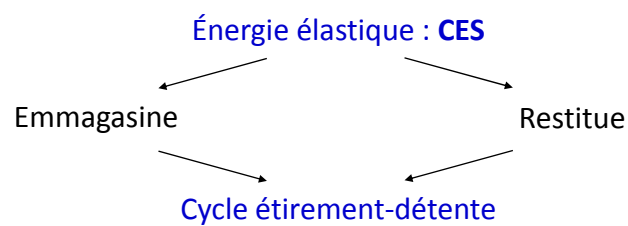
Muscle humain in-situ : relation moment-vitesse angulaire



Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques

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

Récupère de l'énergie autre que chimique

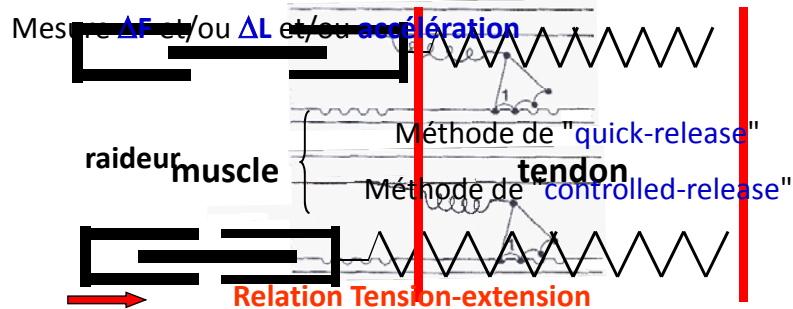


Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques

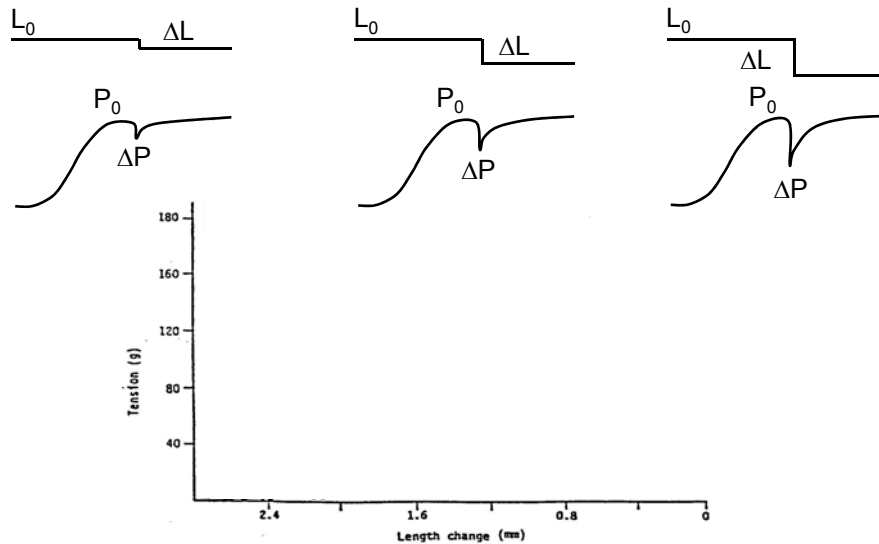
Principe de mesure :

CC mise en tension

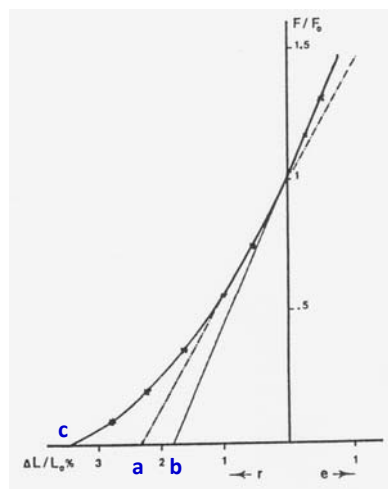
Perturbations **muscle** importantes **tendon**



Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Surface sous courbe
= énergie emmagasinée

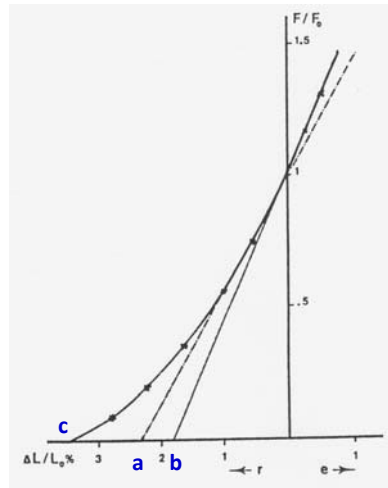
a. Compliance à F_0

b. Compliance à l'étirement

c. Extensibilité

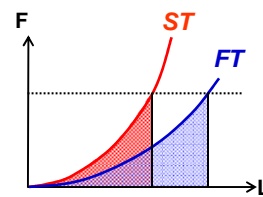
raide = extensibilité réduite

Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Fibres rapides + compliantes

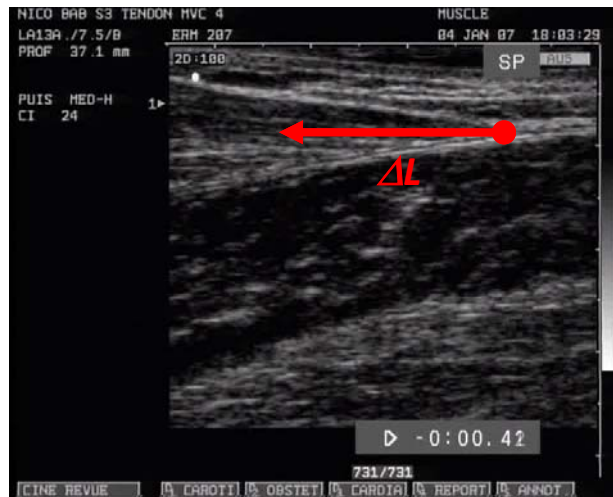
Grande capacité pour stocker énergie élastique



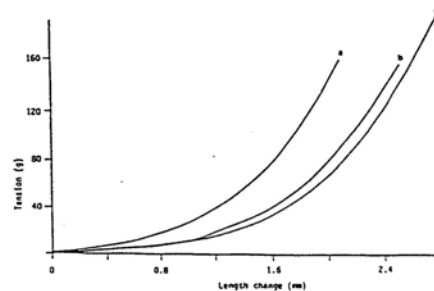
Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Propriétés mécaniques du muscle : facteurs élastiques



Muscle : ↑ compliance



Stocke énergie

Tendon : ↑ raideur



Restitue l'énergie

Evaluation du sportif



Evaluation du sportif : **la force**



Evaluation du sportif : la force

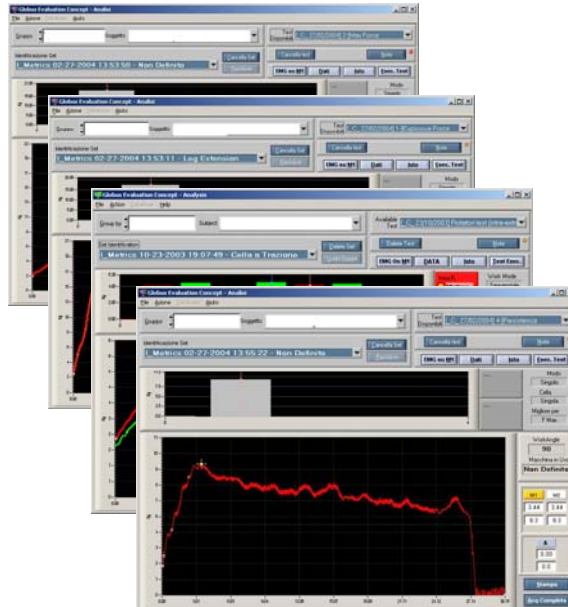
Objectifs :

Force maximale

Force explosive

Déséquilibre

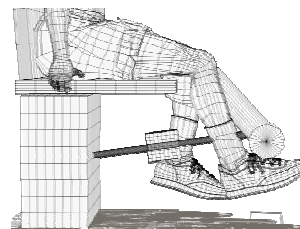
Fatigue



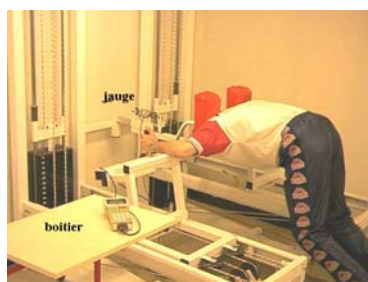
Evaluation du sportif : la force

Moyens d'évaluation

- Jauges de contrainte
- Ergomètres isocinétiques



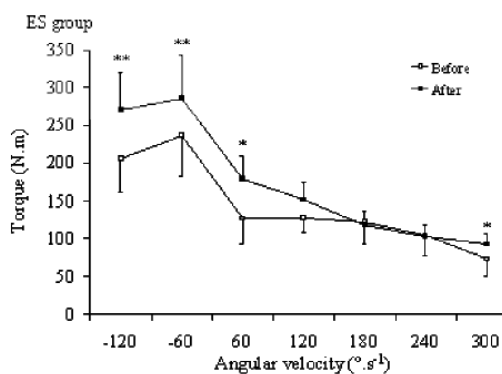
Evaluation du sportif : la force



Evaluation du sportif : la force



Ergomètre isocinétique



Evaluation du sportif : la puissance



Evaluation du sportif : la puissance

Objectifs : - Puissance
- Déficits
- Déséquilibres



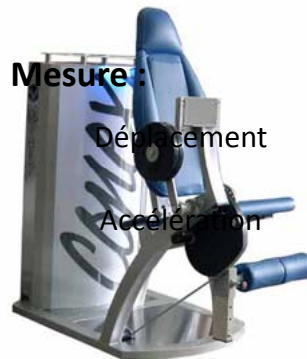
Membre inf/sup
Uni/bilatéral
Mvt analytique/global



Mesure :

Déplacement

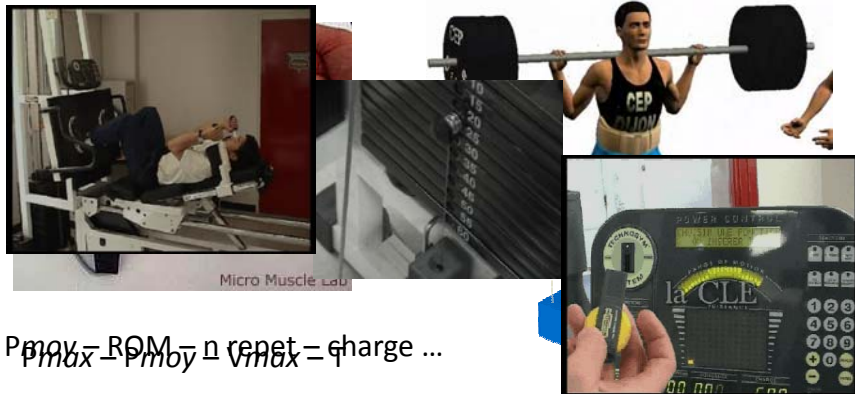
Accélération



Evaluation du sportif : la puissance

Mesure :

Déplacement



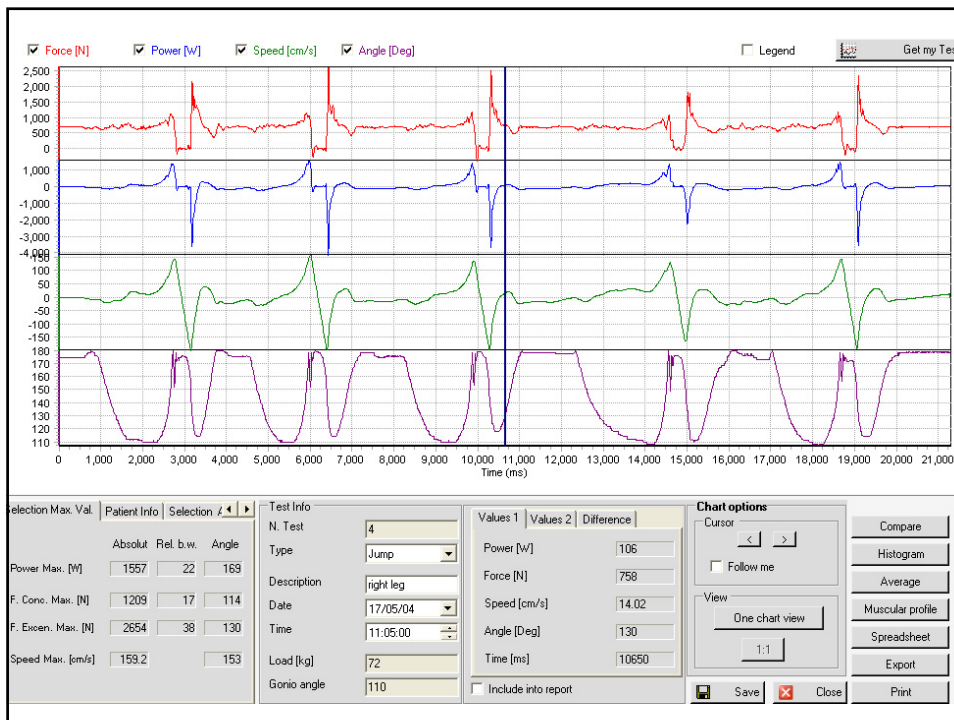
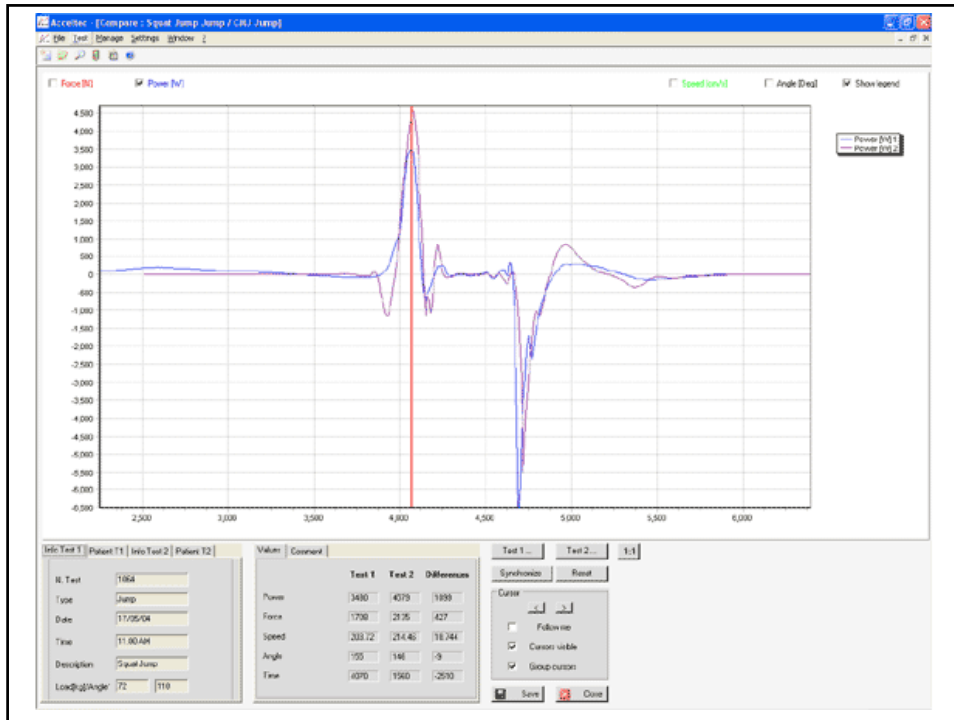
$P_{max} = \frac{RM}{n \cdot \text{repet}} = \text{charge} \dots$

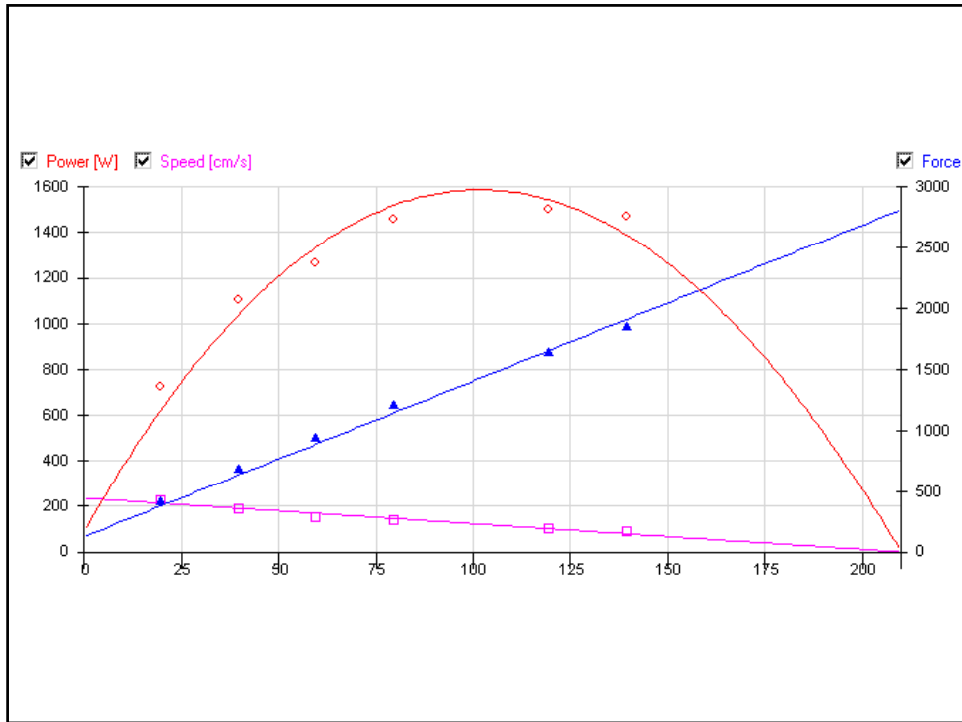
Evaluation du sportif : la puissance

Mesure :

Accélération







Evaluation du sportif : la puissance



Evaluation du sportif : **la vitesse**

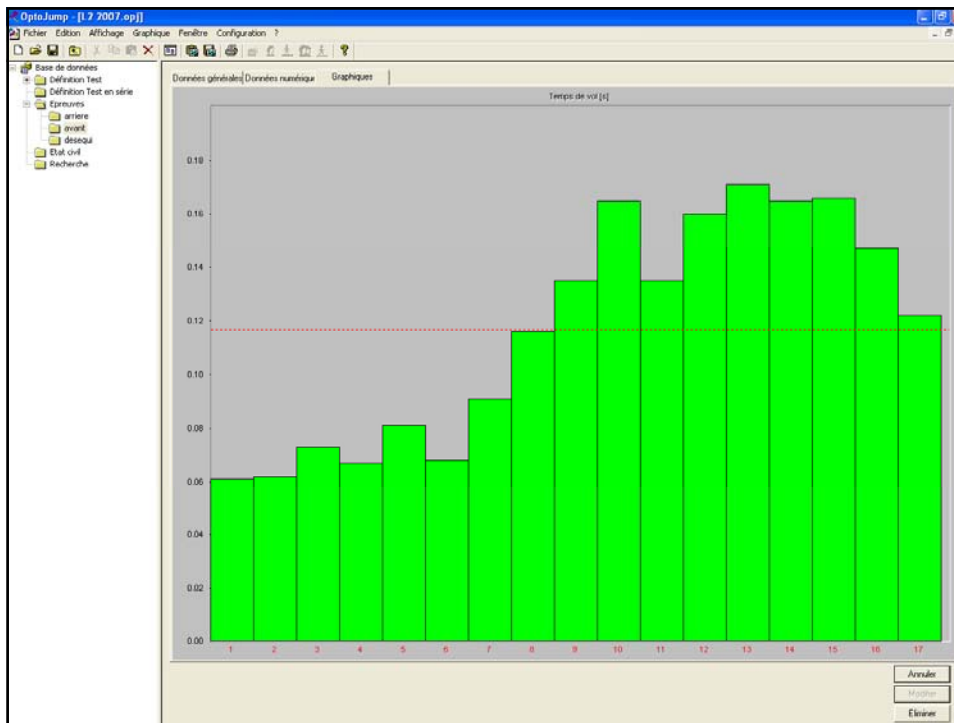


Evaluation du sportif : **la vitesse**



Evaluation du sportif : **la vitesse**





Données générales		Données numérique		Graphiques									
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	
⚠ Ne pas p...	...	1.692	0.153	0.116	1.6	...	...	...	...	...	...	...
⚠ Ne pas p...	...	1.961	0.147	0.135	2.2	...	...	...	...	...	...	-0.654
⚠ Ne pas p...	...	2.243	0.153	0.165	3.3	...	...	...	...	...	...	...
⚠ Ne pas p...	...	2.561	0.159	0.135	2.2	...	...	...	...	...	...	0.000
⚠ Ne pas p...	...	2.955	0.159	0.160	3.1	...	...	...	...	...	...	0.000
⚠ Ne pas p...	...	3.174	0.159	0.171	3.6	...	...	...	...	...	...	...
⚠ Ne pas p...	...	3.504	0.160	0.165	3.3	...	...	...	...	...	...	...
⚠ Ne pas p...	...	3.829	0.171	0.166	3.4	...	...	...	...	...	...	-3.125
⚠ Ne pas p...	...	4.166	0.189	0.147	2.6	...	...	...	...	...	...	...
⚠ 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

