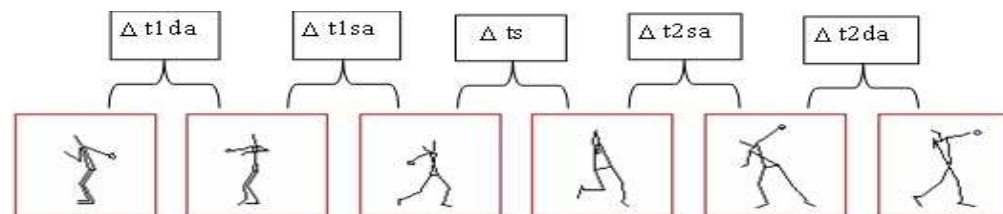




# Modélisation biomécanique du geste du lancer du disque : Analyse cinématique et électromyographique

**Daniel DINU, *Ph.D*, ING.**

Laboratoire Sport, Expertise et Performance (SEP)



- L'expertise ne se traduit pas uniquement sur le plan mécanique par une régularité et une reproductibilité des performances et/ou un faible coût en temps et énergie (Guthrie 1935, Welford 1976) car ces critères classiques sont aussi retrouvés dans tous les mouvements stéréotypés
- Il existe d'autres critères mécaniques de l'expertise qui restent à déterminer
- Lancer avec un disque plus léger n'entraîne pas de modifications importantes des paramètres cinématiques et des patrons de recrutement EMG (Schluter et Nixdorf, 1984; Schöllhorn, 1989, Dinu et coll. 2010)

■ L'analyse de la balistique du disque après lâcher (Ganslen, 1964 ; Tutjowitsch, 1976 ; Soong, 1976)

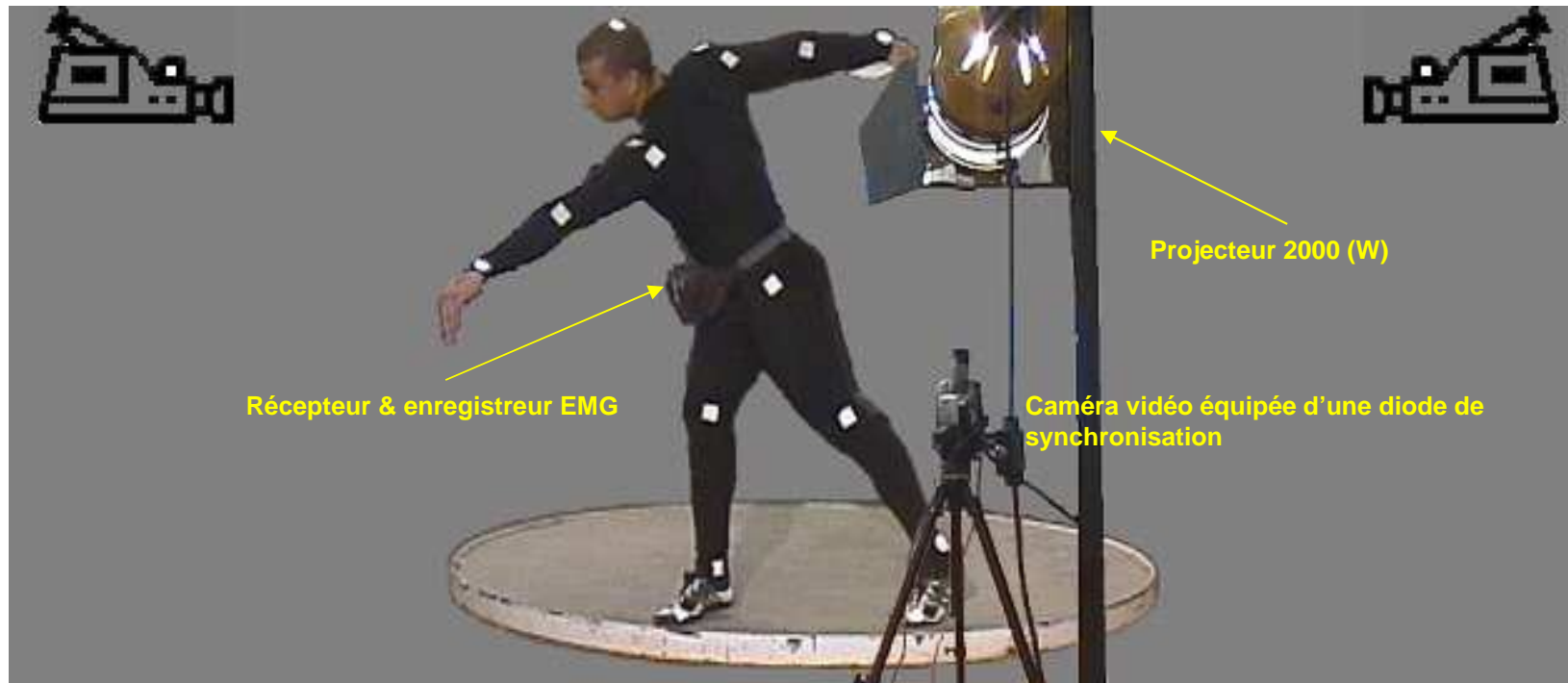
■ Le mouvement du système athlète-engin à l'intérieur de l'aire de lancer (Schluter et Nixdorf, 1984 ; Gregor et al., 1985 ; Stepànek et Susanka, 1986 ; Susanka et al., 1988 ; Bartlett, 1990 ; Knicker, 1990 ; Lindsay, 1991)

■ L'approche électromyographique (Finanger in Bartlett, 1992)

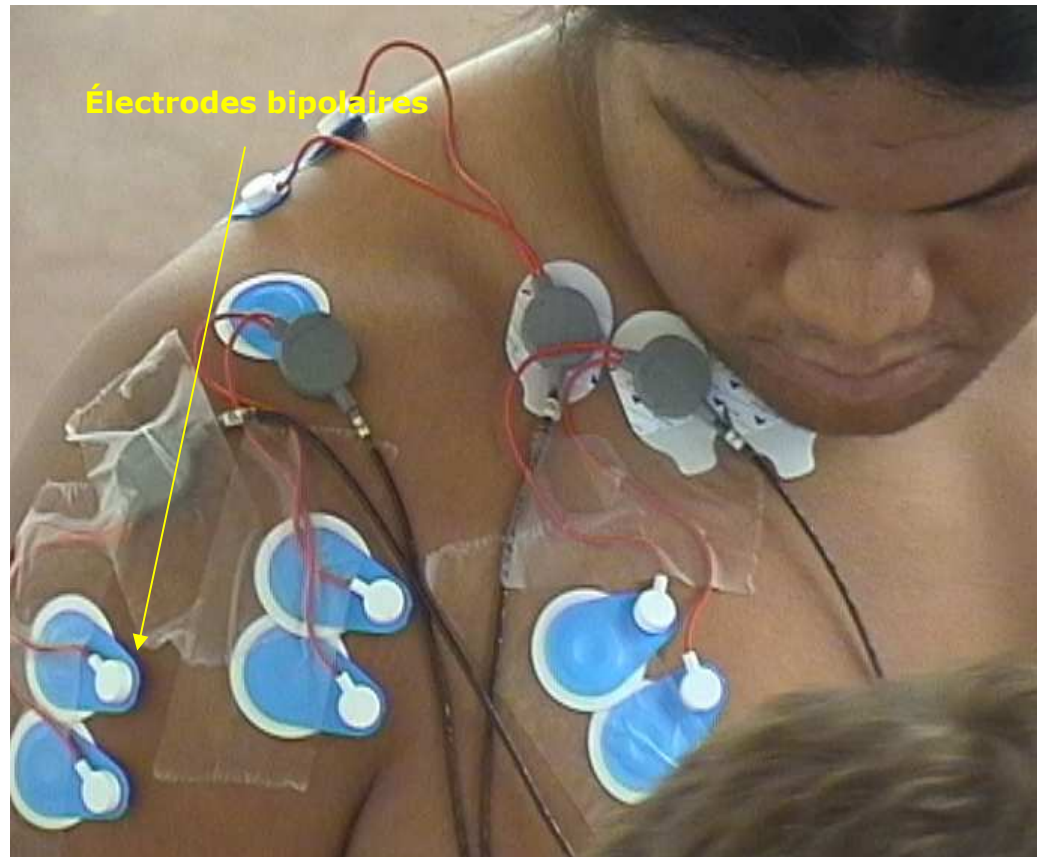
- Recherche de critères mécaniques caractéristiques de l'expertise, autres que la régularité et la reproductibilité des performances.
- Influence de la masse du disque (1,7 vs 2 kg) sur les paramètres cinématiques et l'activité EMG au cours du lancer

Sept lanceurs de haut niveau international meilleure;  
performance :  $57 \pm 3$  m ; âge :  $23 \pm 3$  ans ; poids :  $108 \pm 19$  kg ;  
taille :  $1,90 \pm 0,6$  m





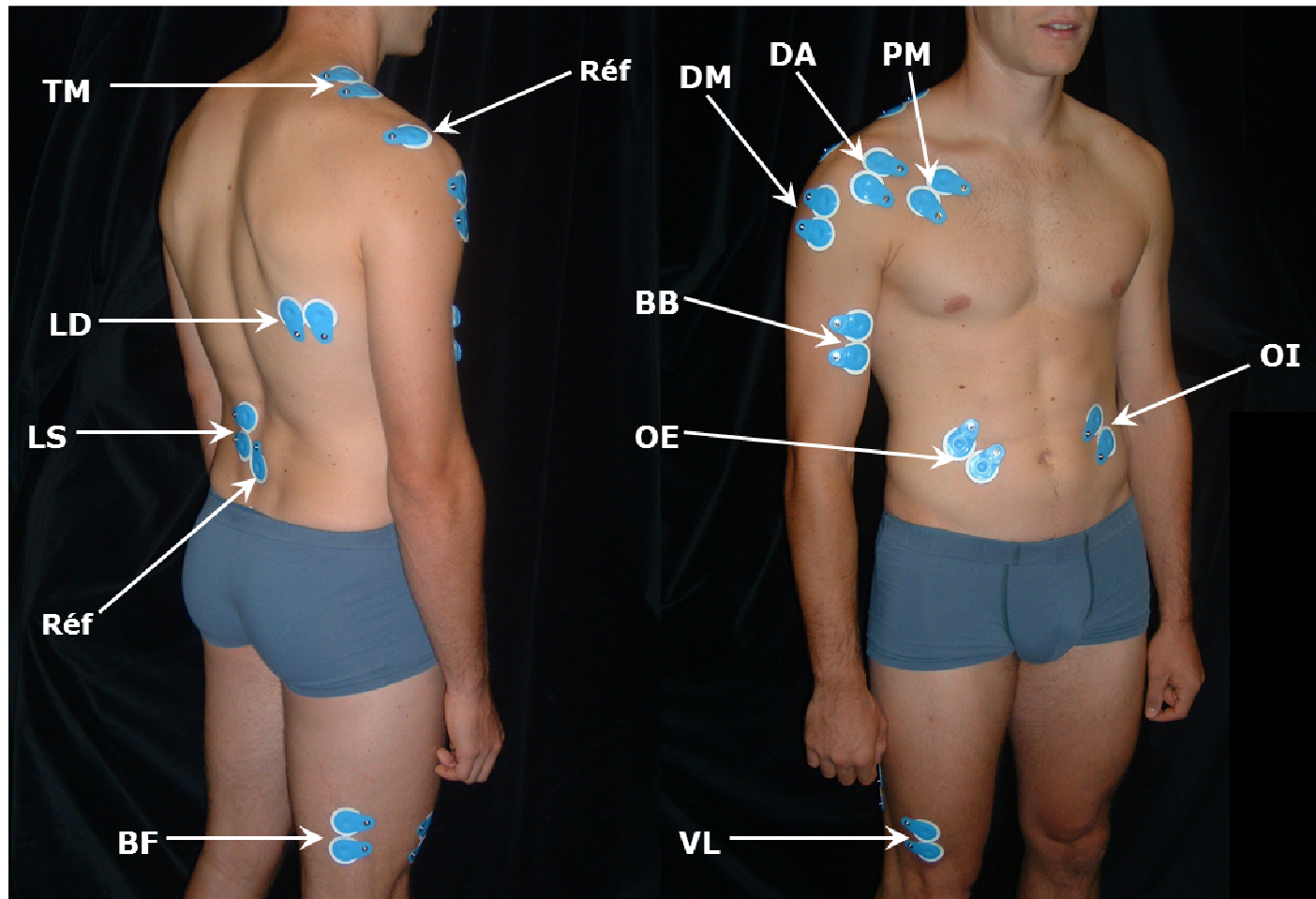
- 18 marqueurs
- combinaison intégrale moulante et noire
- enregistreur EMG embarqué



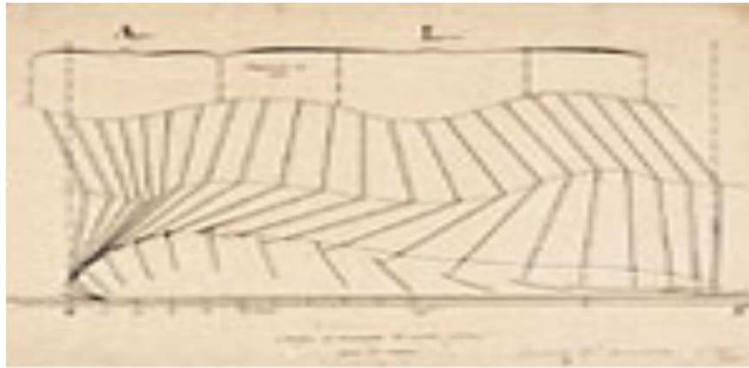
Enregistreur de l'activité électromyographique de type ME3000P8, embarqué, et ses électrodes bipolaires



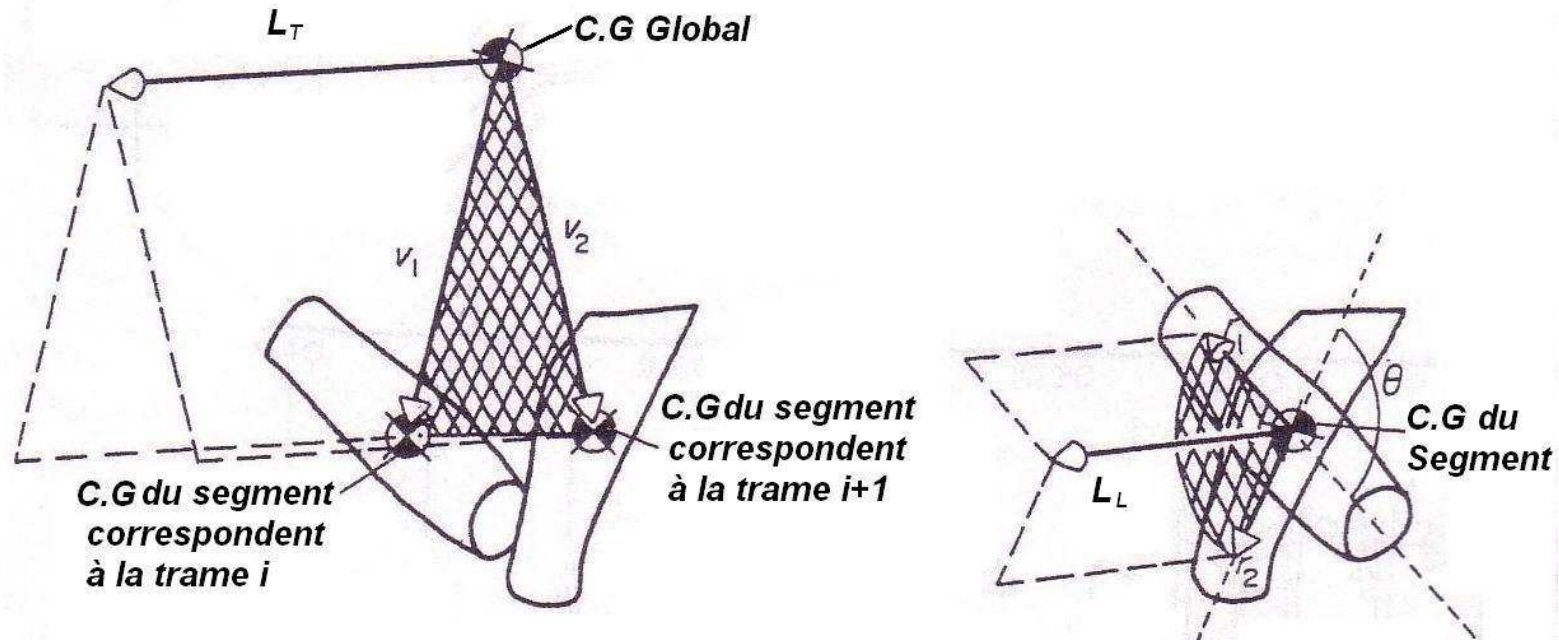
- Étalonnage de l'espace du lancer
- Détermination de l'activité maximale (EMG max): tests qui emploient une résistance manuelle (Knudson et Blackwell, 2000)
- Synchronisation
- Capture du mouvement du lancer de disque avec recueil des données EMG au cours du mouvement pour neuf muscles du côté bras lanceur et deux muscles côté contro-latéral
- 5 jets avec un disque de 1,7 kg et 5 jets avec un disque de 2 kg dans un ordre aléatoire



Les neuf muscles enregistrés



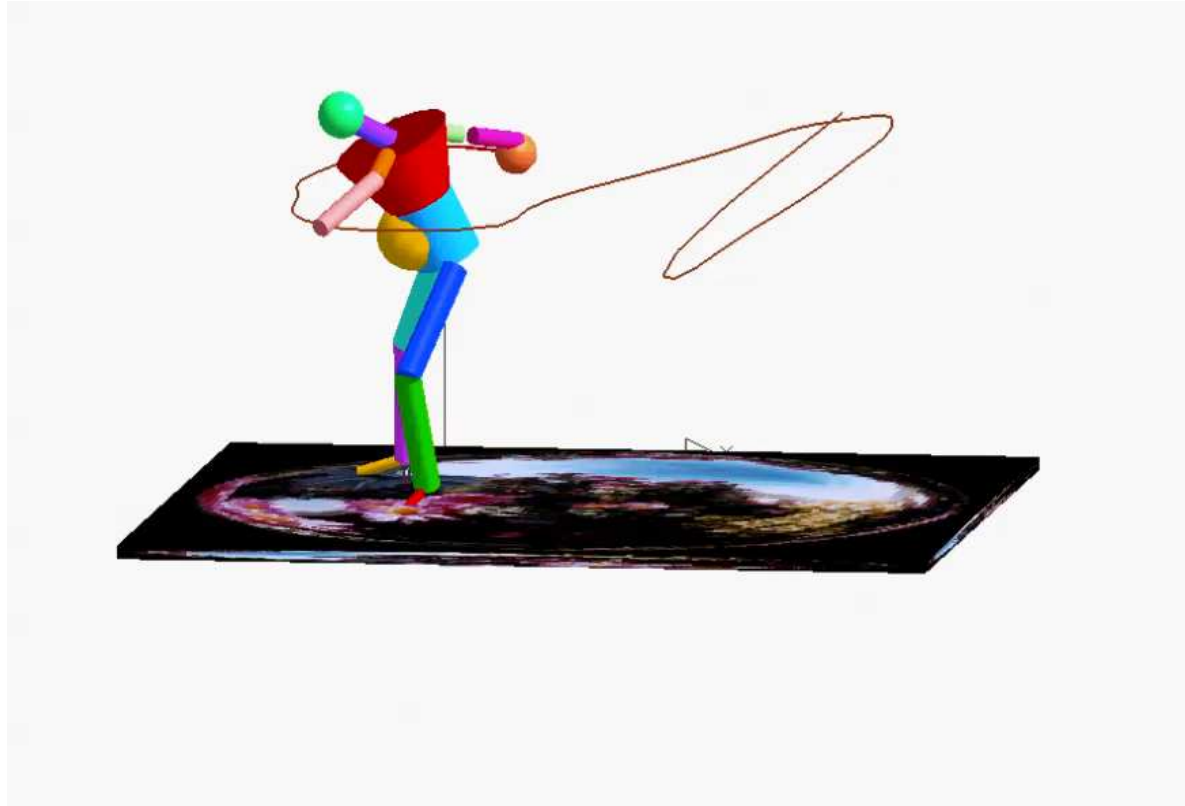
- On peut considérer le sportif comme un ensemble de solides rigides poly articulés
- Chaque segment est modélisé par un solide rigide (Auckland 1988)
- Les rotations autour de l'axe longitudinal du solide sont négligeable pour tous les segments corporels mis à part le tronc (Dapena, 1993)



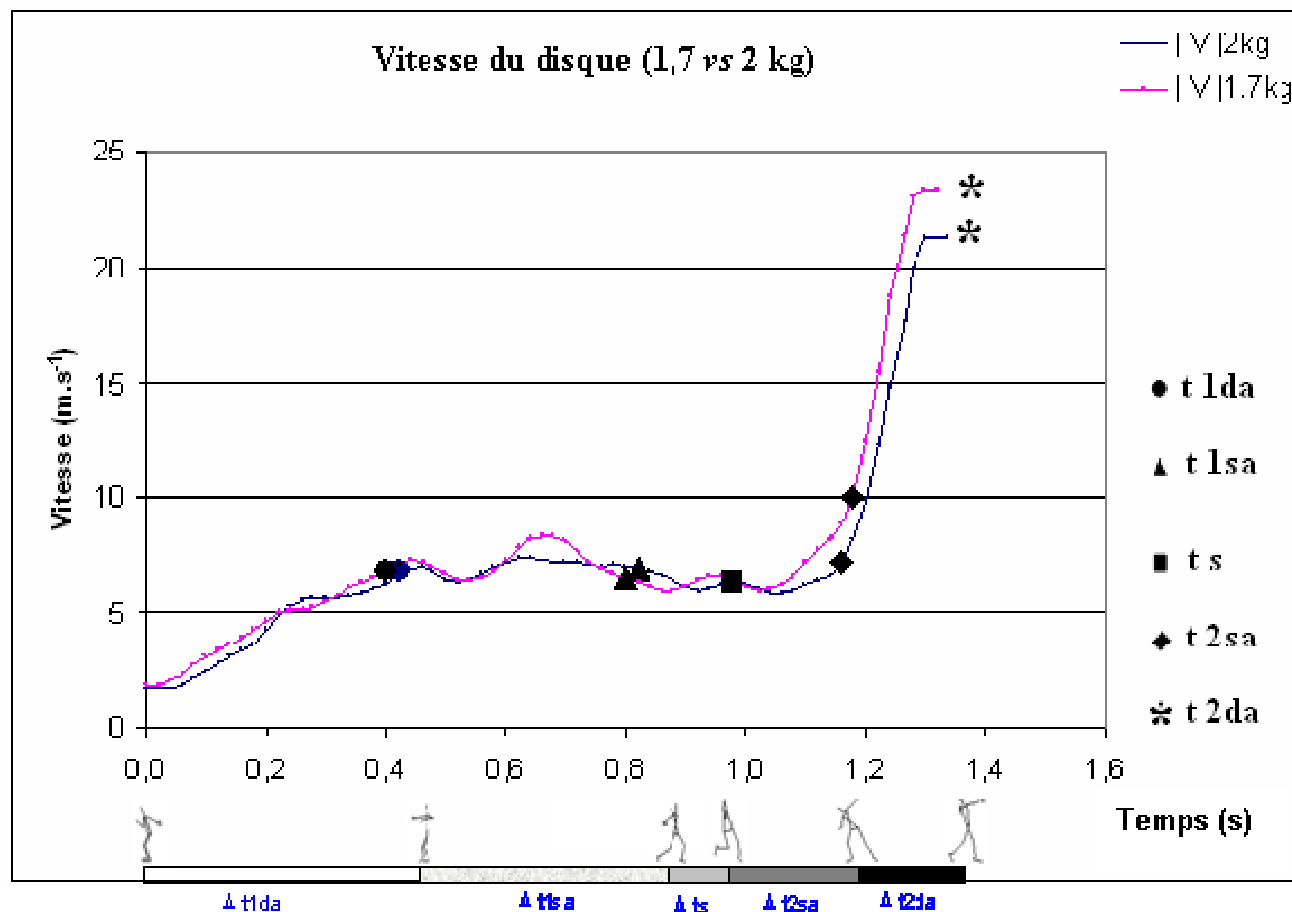
$L_T$  termes de transport du moment cinétique du segment  
 $L_L$  termes locaux du moment cinétique du segment

Exemple de calcul du moment cinétique entre deux trames successives,  
 (Hay et al. 1977, Dapena 1978)





- ▶ modélisation du tronc en trois segments qui permet le calcul du transfert des variations de moment cinétique, du bas vers le haut du corps.
- ▶ adaptabilité en fonction de la masse de l'athlète qui permet de prendre en compte la morphologie spécifique des lanceurs (*entre 90 et 150 kg*) (Mollard, 1987)



Évolution de vitesses du disque pour deux jets réalisés avec les deux conditions de masse (1,7 vs 2 kg)



### Anova

\* différence significative  $p < 0,05$

**dj** : effet poids

$[39,38 \pm 3,43 \text{ (m)} \text{ vs } 43,16 \pm 4,27 \text{ (m)}]$

**Vd** : effet phase  
 effet poids  $\times$  phase

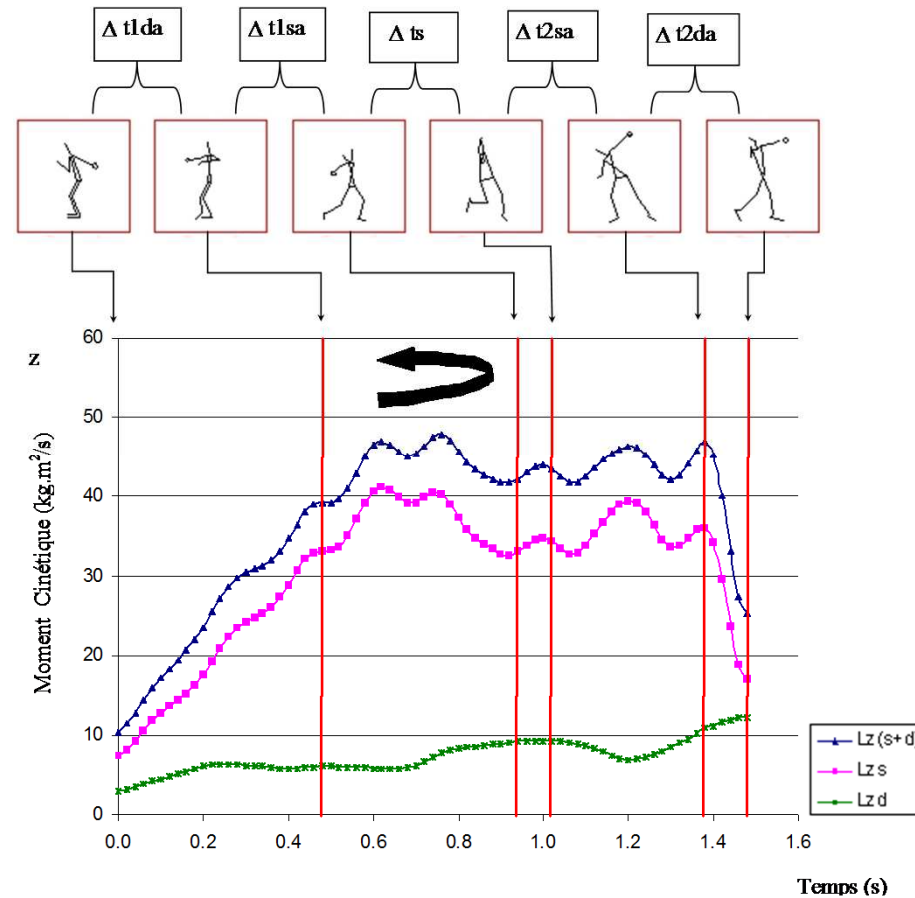
**$\Delta Vd$**  : effet phase  
 effet poids  $\times$  phase

**Vcg** : effet phase

**Lz** : effet phase

### Tests post-hoc

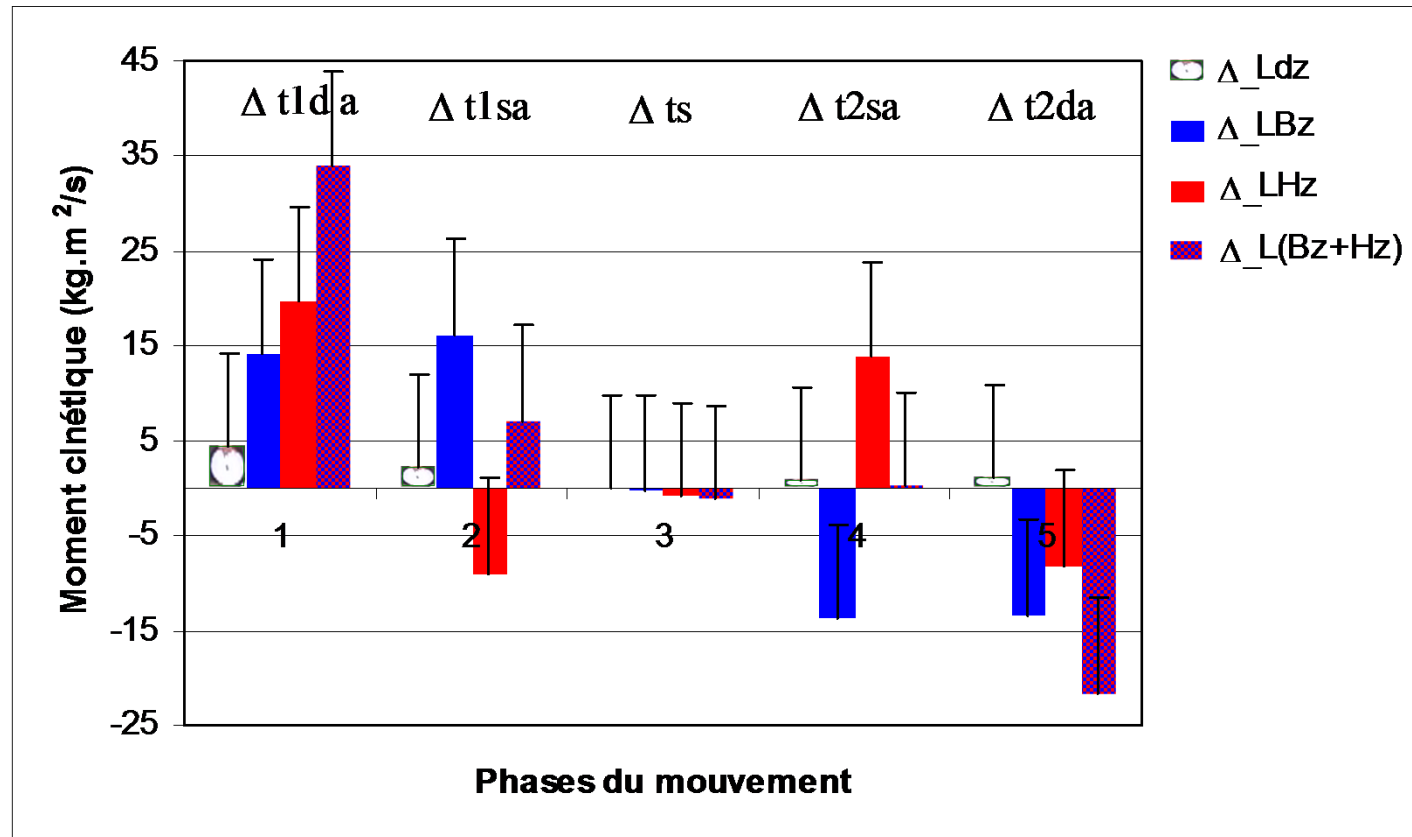
Paramètres Cinématiques	Instants et Phases	Valeurs moyennes et écart-types			
		Disque de 2 kg		Disque de 1,7 kg	
<b>Vd (m.s<sup>-1</sup>)</b>	t1da	5.17	$\pm 1.23$	5.29	$\pm 1.16$
	t1sa	7.29	$\pm 1.27$	7.15	$\pm 1.16$
	ts	6.97	$\pm 0.80$	7.12	$\pm 0.81$
	t2sa	8.69	$\pm 1.70$	8.75	$\pm 1.59$
	t2da	19.61	$\pm 0.57$	20.62	$\pm 0.75$
<b><math>\Delta Vd</math> (m.s<sup>-1</sup>)</b>	$\Delta t1da$	5.17	$\pm 1.33$	5.29	$\pm 1.25$
	$\Delta t1sa$	2.13	$\pm 1.29$	1.86	$\pm 1.17$
	$\Delta ts$	- 0.32	$\pm 0.56$	- 0.03	$\pm 0.67$
	$\Delta t2sa$	1.72	$\pm 1.65$	1.63	$\pm 1.84$
	$\Delta t2da$	10.92	$\pm 1.85$	11.87	$\pm 1.50$
<b>Vcg (m.s<sup>-1</sup>)</b>	t1da	0.81	$\pm 0.13$	0.81	$\pm 0.15$
	t1sa	2.16	$\pm 0.17$	2.19	$\pm 0.16$
	ts	2.11	$\pm 0.21$	2.14	$\pm 0.23$
	t2sa	1.80	$\pm 0.21$	1.83	$\pm 0.20$
	t2da	1.47	$\pm 0.39$	1.43	$\pm 0.36$
<b>Lz (kg.m<sup>2</sup>/s)</b>	$\Delta t1da$	26.67	$\pm 5.30$	27.34	$\pm 5.78$
	$\Delta t1sa$	50.65	$\pm 8.98$	49.87	$\pm 9.10$
	$\Delta ts$	47.69	$\pm 8.43$	47.23	$\pm 6.07$
	$\Delta t2sa$	50.16	$\pm 7.94$	49.34	$\pm 7.80$
	$\Delta t2da$	39.31	$\pm 6.81$	39.57	$\pm 5.90$
	TOTAL	40.74	$\pm 6.75$	40.83	$\pm 6.72$



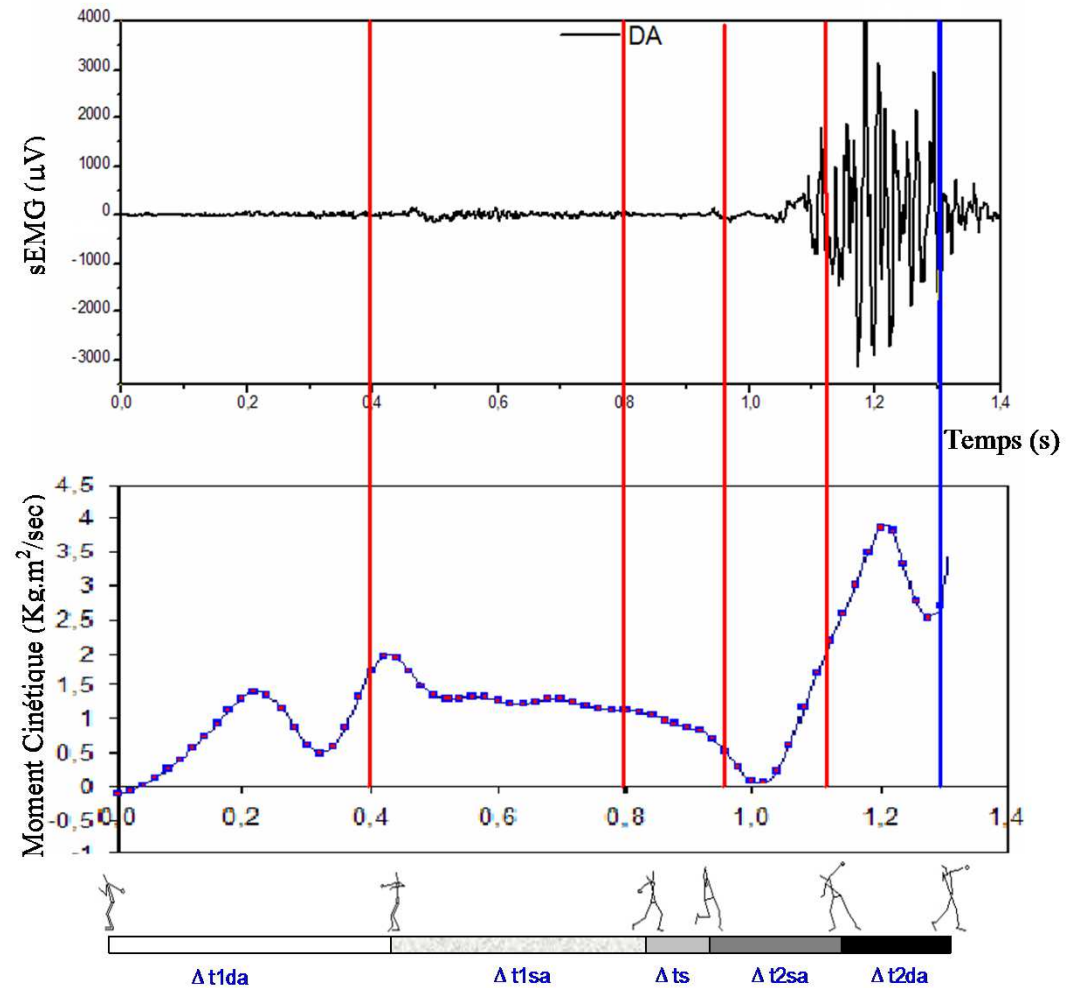
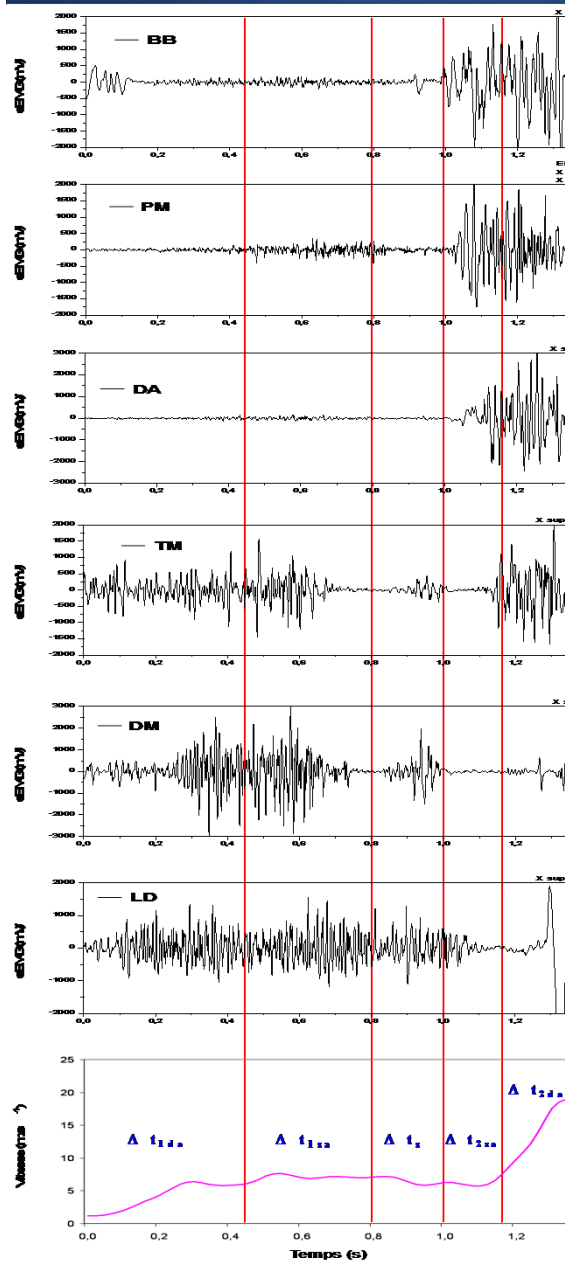
Évolution du moments cinétiques suivant l'axe z :  $L(s+d)$  moments cinétiques du système lanceur-disque ;  $L_s$  moments cinétiques de l'athlète seul ;  $L_d$  moments cinétiques du disque seul



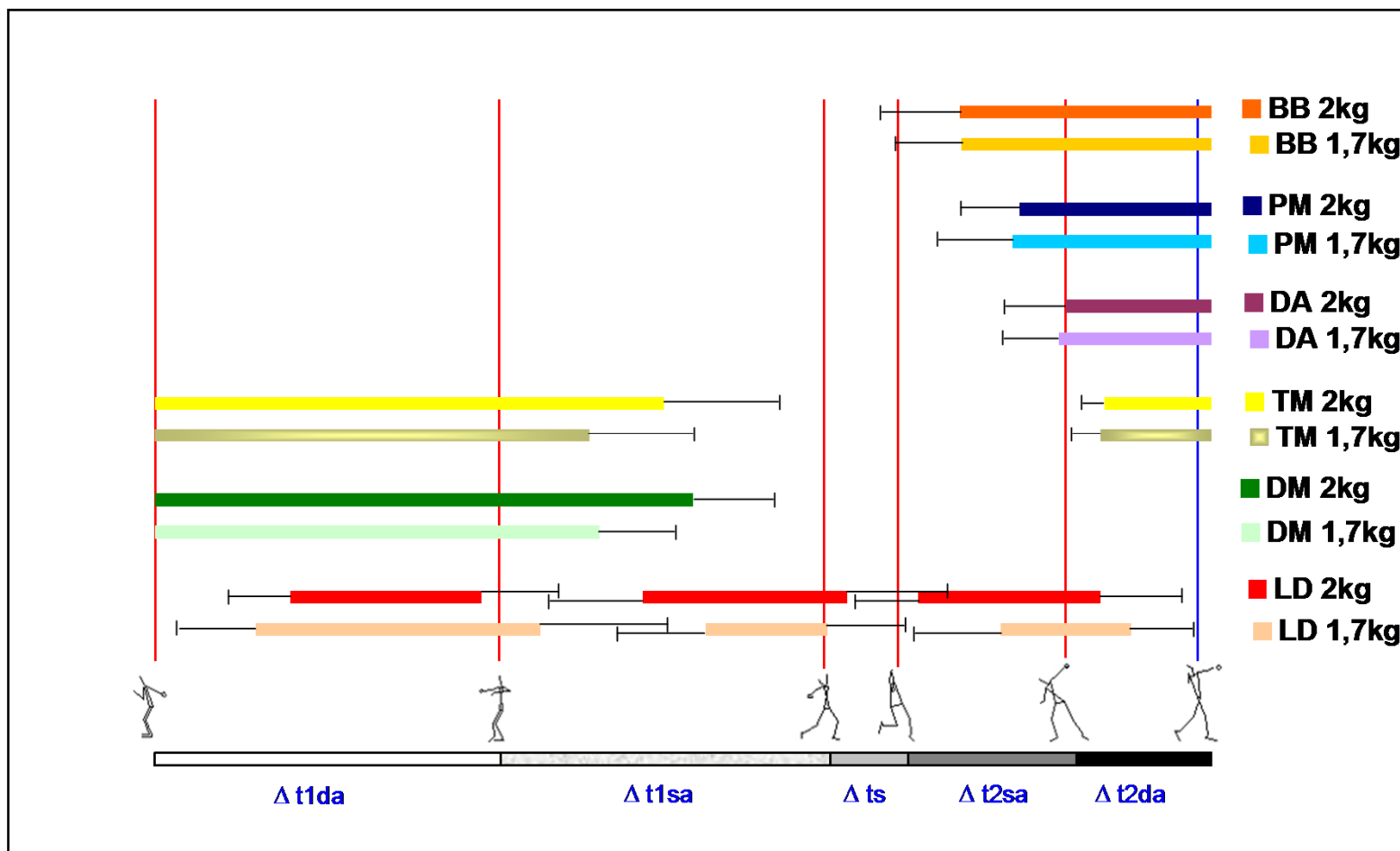
Sens positif de la rotation



Évolution des différences des valeurs du moment cinétique (haut du corps, bas du corps et disque) bornant les phases clés du mouvement

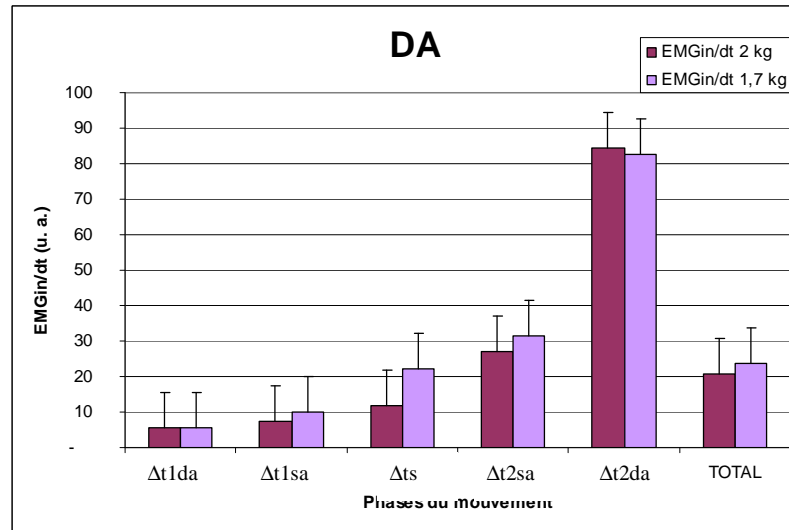


## Plan d'excitation musculaire de la ceinture scapulaire (2 vs 1,7 kg)

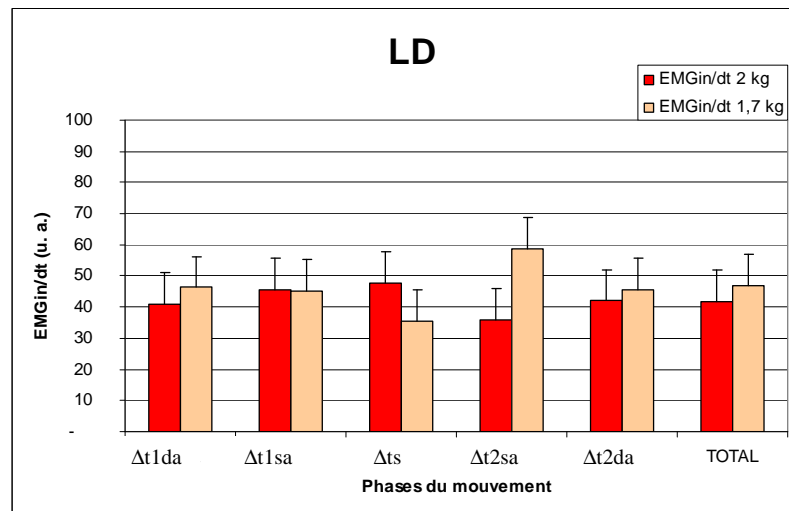


## Quantités électriques ceinture scapulaire (EMGin/dt) (2 vs 1,7 kg)

$$EMGin = EMGi / \Delta t / EMGi \max / 500_{ms}$$



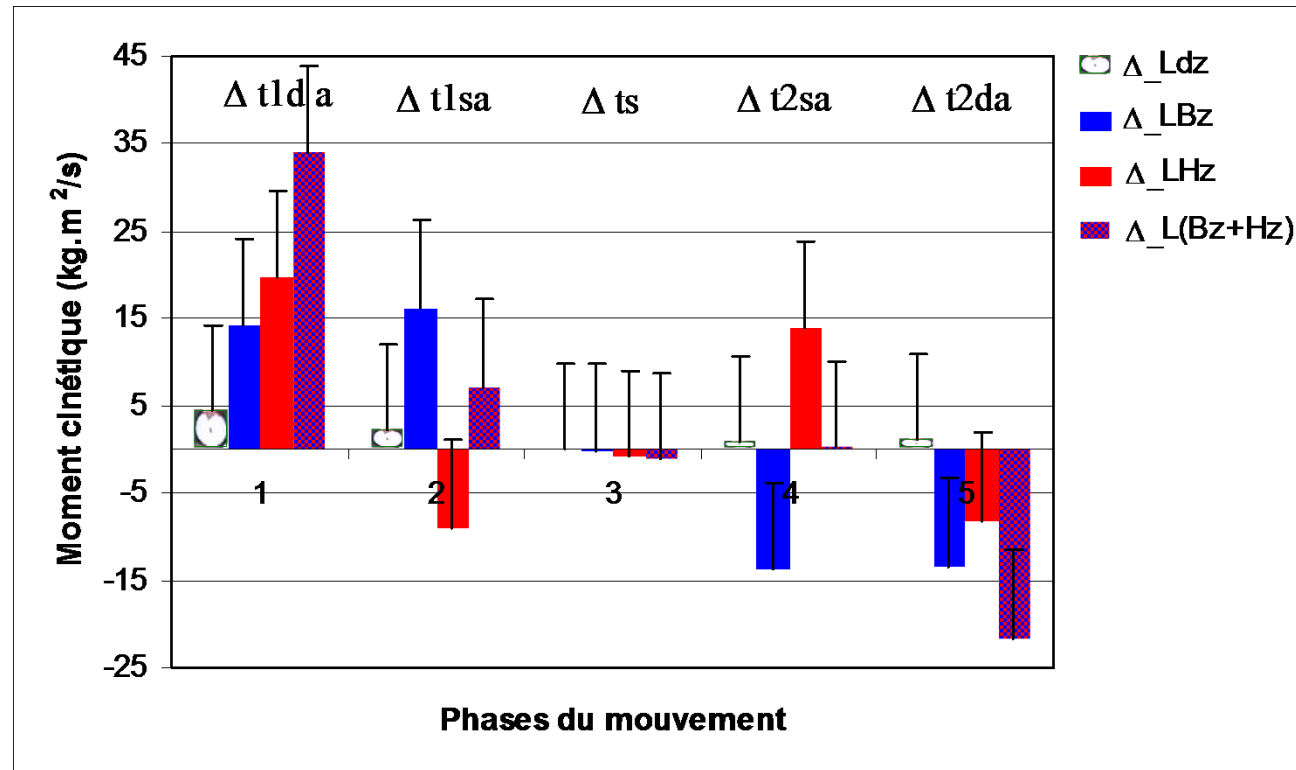
**Effet phase**



**Aucun effet**

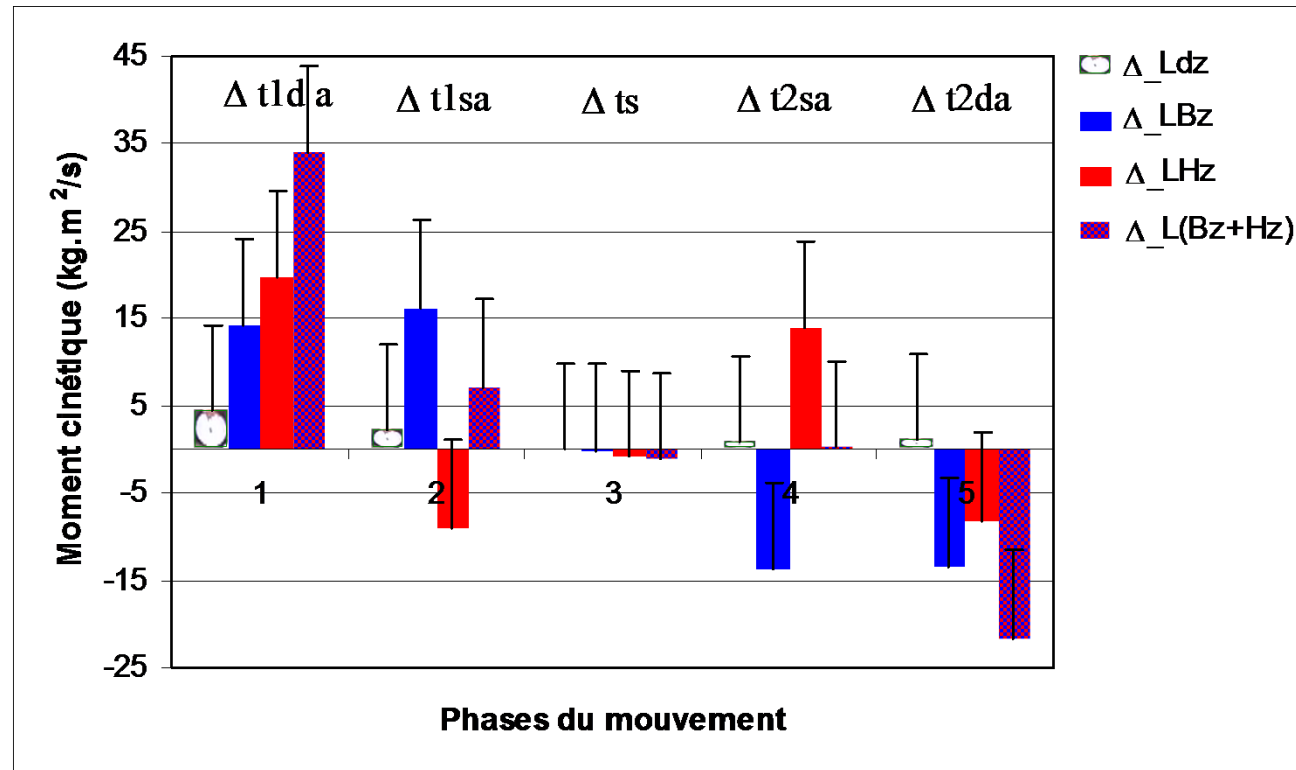


Relation : moment cinétique-emg-phases du lancer (2 vs 1,7 kg)



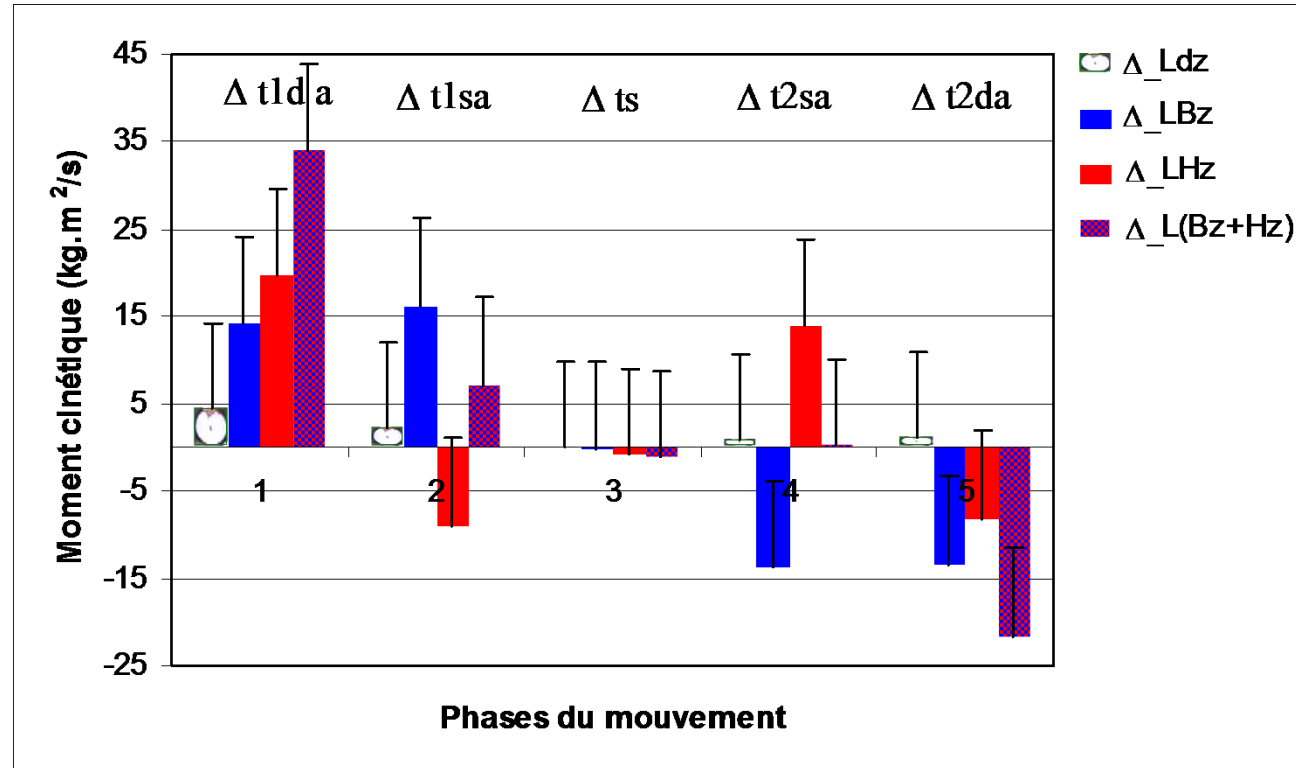
**$\Delta t1da$**  ► augmentation importante du moment cinétique du disque, du haut et du bas du corps : le moment des forces externes doit être important et, par conséquent, une activité importante des muscles des membres inférieurs et du tronc est nécessaire

Relation : moment cinétique-emg-phases du lancer (2 vs 1,7 kg)



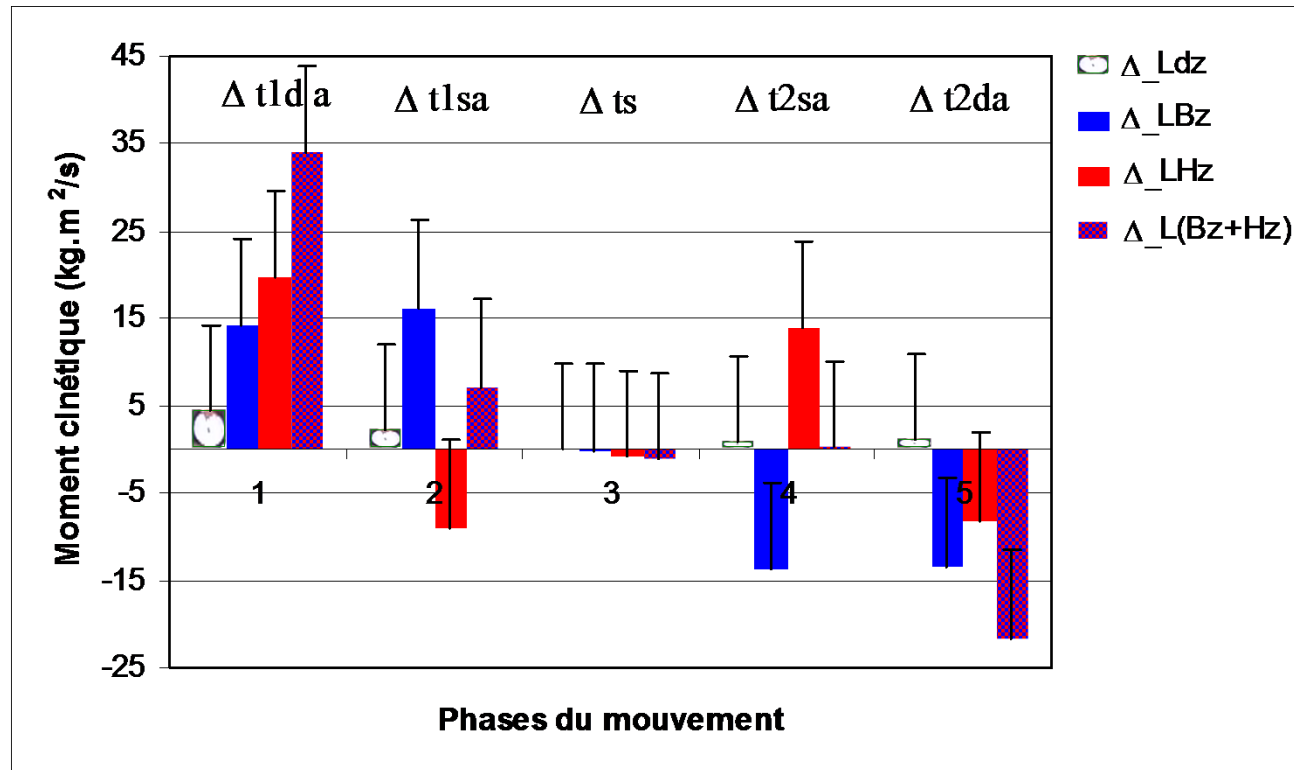
**$\Delta t1sa$**  ► antiphase probablement nécessaire à la réalisation d'un lancer efficace : intervention des muscles du tronc qui freinent le haut du corps et accélèrent le bas du corps

Relation : moment cinétique-emg-phases du lancer (2 vs 1,7 kg)



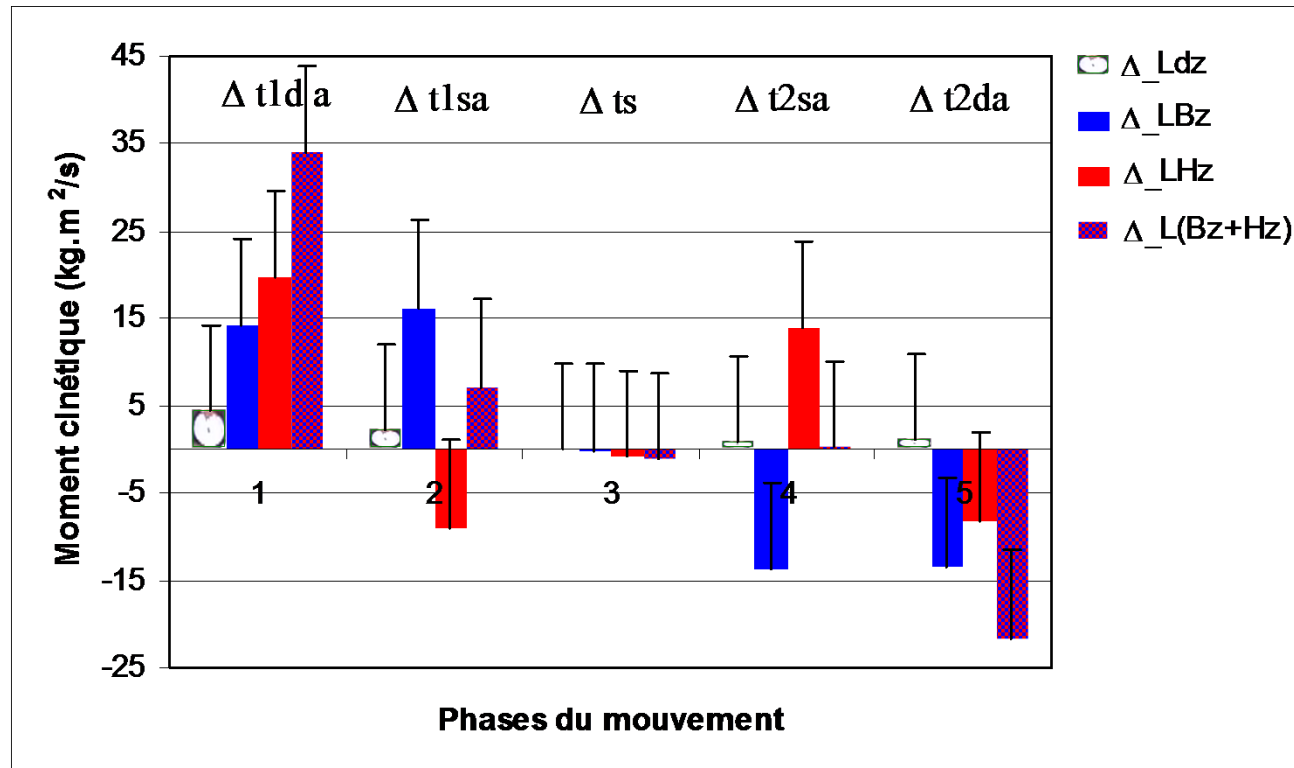
$\Delta ts$  ► variation du moment cinétique total très faible (condition nécessaire mais non suffisante de la validité de notre modèle)

Relation : moment cinétique-emg-phases du lancer (2 vs 1,7 kg)



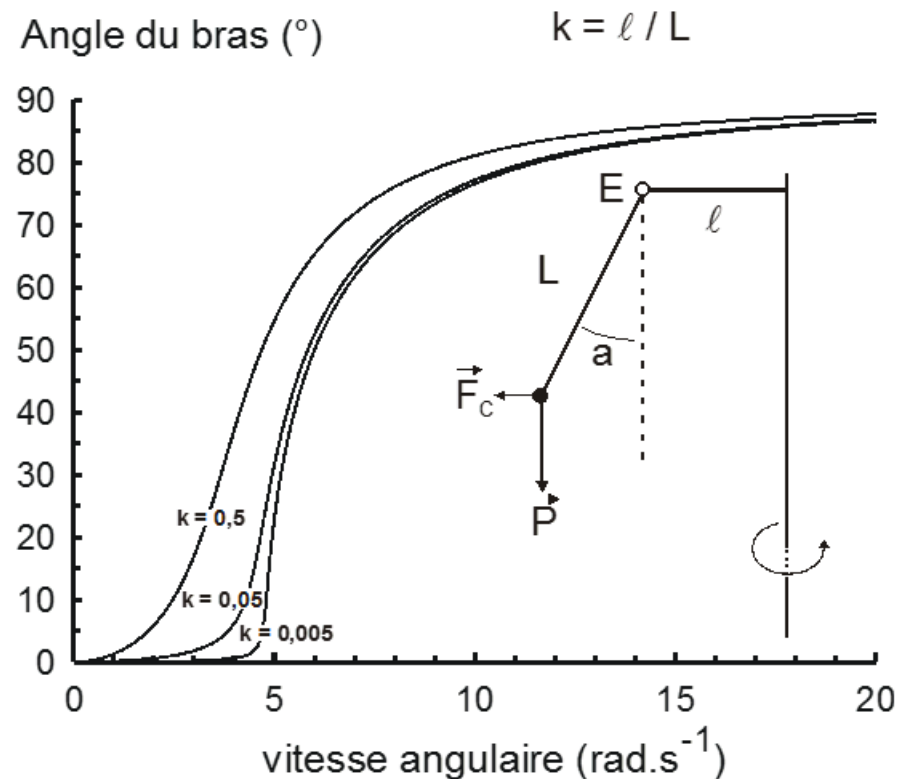
**$\Delta t_{2sa}$  ► le moment du haut du corps augmente alors que celui du bas diminue (antiphase) : les forces exercées au sol pendant cette phase ne serviraient qu'à permettre la rotation du corps autour d'un axe sans participer à l'augmentation du moment cinétique**

Relation : moment cinétique-emg-phases du lancer (2 vs 1,7 kg)



**$\Delta t2da$**  ► diminution importante du moment cinétique du haut du corps en phase avec celle du bas; action frénatrice des forces externes et, par conséquent, action frénatrice des muscles des membres inférieurs

Relation : moment cinétique-emg-phases du lancer (2 vs 1,7 kg)

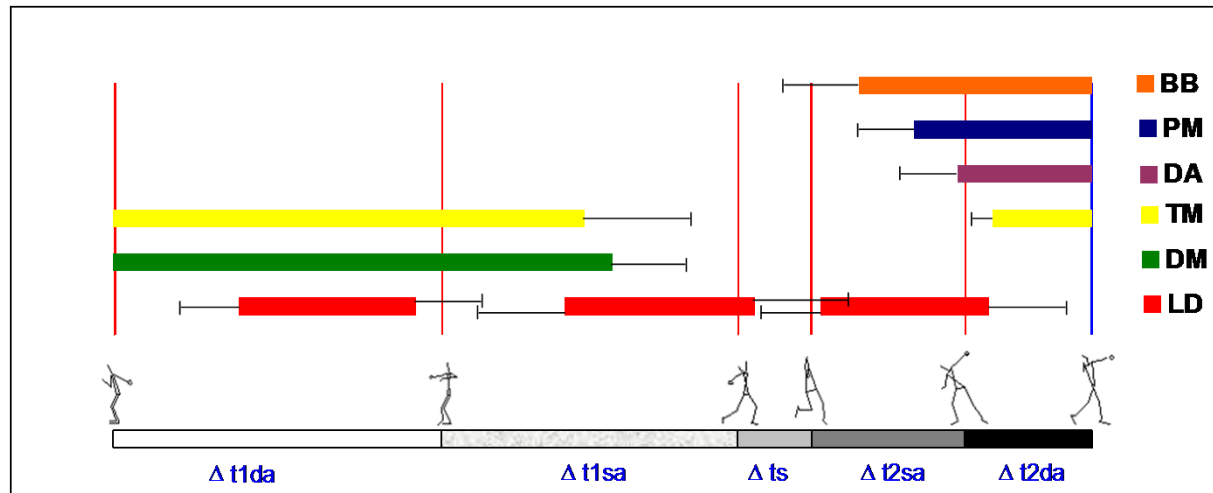




- Angle du bras correspondant à l'équilibre entre la force centrifuge ( $F_c$ ) et le poids ( $P$ ) pour différentes valeurs de  $k$  (la valeur de  $k$  égale à 0,5 est proche de la valeur réelle)
- La contraction des muscles de l'épaule est nécessaire au maintien de la position du bras et à la coaptation gléno-humérale pour contrebalancer la force centrifuge

$$\bar{\omega} = 8,80 \text{ rad.s}^{-1}; \omega_{\max} = 19 \text{ rad.s}^{-1}$$

- ▶ vitesse angulaire moyenne
- ▶ vitesse angulaire maximale

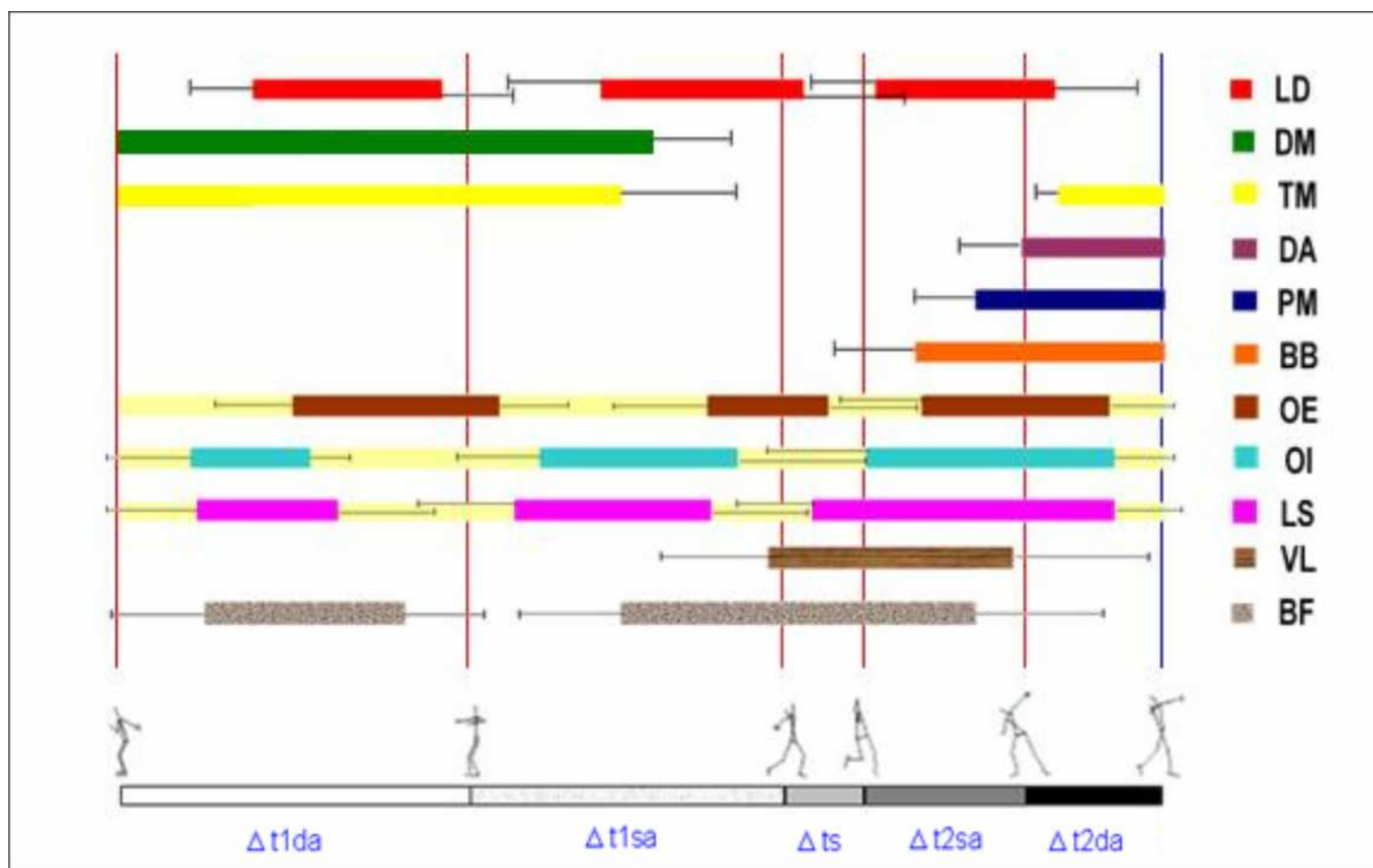




- 
 Maintien de la posture du bras soumis à la force de pesanteur et à la force centrifuge exercées sur l'ensemble membre supérieur-disque pendant la majeure partie du lancer (deuxième moitié de  $\Delta t_{2da}$  exceptée).
- 
 Accélération du bras (deuxième moitié de  $\Delta t_{2da}$ ).

L'utilisation d'un disque plus léger à l'entraînement altère-t-elle la technique gestuelle ?

- Pas des différences significatives :
  - ▶ des paramètres mécanique (sauf pour Vde et dj)
  - ▶ du patron d'activation EMG au cours du mouvement
  
- Ces résultats suggèrent qu'un disque plus léger pourrait être employé pour l'entraînement des athlètes de haut niveau sans dégradation cinématique du lancer, ni altération sensible de l'activation musculaire (Schluter et Nixdorf, 1984; Schöllhorn, 1989)
  
- La diminution des contraintes mécaniques est en faveur de la prévention des blessures chez l'athlète expert par une réduction du surmenage musculo-squelettique



## CONTACT / Daniel DINU

*Ph. D, ING; Laboratoire Sport, Expertise et Performance*

Tel. + 33 1 41 74 41 77

Courriel : [daniel.dinu@insep.fr](mailto:daniel.dinu@insep.fr)



**INSEP**  
*Terre de Champions*

[www.insep.fr](http://www.insep.fr)

