HAL open science

Comparaison des deux systèmes de capture du mouvement Vicon et Moven

Daniel Dinu, Françoise Natta, Radu Bidiugan, Cristian Weisz, Pierre de Hillerin, Dan Boboc

To cite this version:

Daniel Dinu, Françoise Natta, Radu Bidiugan, Cristian Weisz, Pierre de Hillerin, et al.. Comparaison des deux systèmes de capture du mouvement Vicon et Moven. Sport Science Review, 2009, XVIII (5-6), pp.83-99. hal-02059453

HAL Id: hal-02059453

https://insep.hal.science/hal-02059453v1

Submitted on 12 Mar 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comparaison des deux systèmes de capture du mouvement Vicon et Moven

Daniel Dinu, Françoise Natta*, Radu Bidiugan**, Cristian Weisz**, Pierre de Hillerin**, Dan Boboc***

Résumé

L'objectif de cette étude biomécanique est d'une part la comparaison des deux systèmes capture du mouvement Vicon et Moven et d'autre part d'analyse de l'influence de la masse du poids (6,26 vs 7,26 kg) sur les paramètres cinématiques du mouvement du lancer du poids. La comparaison de la cinématique du poids a montré l'absence d'altération significative du geste de lancer lors de l'utilisation d'un poids léger chez les lanceurs experts : l'évolution de la norme de la vitesse du disque au cours des 5 phases, n'est pas significativement modifiée par la masse de l'engin. En conséquence, ces résultats suggèrent qu'un poids plus léger pourrait être employé pour l'entraînement des athlètes de haut niveau sans dégradation cinématique du lancer.

La comparaison des données pour un même jet réalisé simultanément avec les deux systèmes Vicon-Moven montre:

- *un même profil pour le début et la fin du mouvement mais pas les mêmes valeurs de vitesse.*
- *l'opposition de phase observé aux étapes intermédiaires du mouvement pour la vitesse n'est' elle pas, en fait, un décalage computationnel?*

Causes probables:

- *l'algorithme utilisé pour le calcul logiciel;*
- *traitement spécifique du signal (lissage, filtrage);*
- *interférences magnétiques avec d'autres appareils présentes sur le lieu de l'expérimentation.*

* Institut National du Sport et de l'Education Physique, Mission Recherche, Paris, France
** Institut National de Recherche en Sport, Bucarest, Roumanie

Introduction

Longtemps considéré comme une épreuve de puissance, le lancer du poids a développé des techniques propres. Originellement issu de l'Antiquité, le lancer mesuré à Olympie avec la Pierre de Bybon n'a que très peu de rapports avec sa pratique contemporaine.

L'évolution de la discipline du lancer de poids se caractérise par les deux techniques suivantes: sursaut rasant départ de profil, sursaut rasant départ de dos. Bien que du point de vue théorique le lancer giratoire (la technique Barichnikov) ait les faveurs des lanceurs, il n'a pas encore réussi à supplanter d'une manière décisive le lancer avec sursaut rasant (la technique O'Brien). La répartition des deux variantes techniques parmi les meilleurs lanceurs mondiaux masculins est actuellement assez équilibrée.

Avec l'ère moderne, cette discipline olympique, a été l'objet d'une littérature fournie, émanant principalement du monde sportif. Ces analyses, s'appuyant souvent sur l'observation directe, décrivent les séquences gestuelles et la manière dont elles sont enchaînées par les meilleurs compétiteurs du moment (Hinz et al., 1993; Lenz et Ward, 1985; Bashian A., et al., 1982). Un nombre plus restreint d'études utilisant des techniques d'investigations modernes ont permis d'aborder l'analyse du mouvement d'un point de vue biomécanique. Dans ce contexte, il est classique d'appréhender l'étude du lancer de poids, par l'analyse du mouvement du système lanceur-engin à l'intérieur de l'aire de lancer lors des différentes phases clefs du mouvement.

Ces quelques études scientifiques fournissent des résultats quantitatifs concernant essentiellement le trajet du poids pendant la volte (Ariel, G.B., 1973; Bartonietz, K., 1996 ; Bartlett, 1990a; Hubbard, M., 1989; Hubbard, et al., 2001; Knicker, 1990; Lindsay, 1991; Herrera et Blanco, 1999; Zatsiorsky, V.M., et al., 1981). Ces résultats sont obtenus par des enregistrements au moyen de deux caméras. Cette technique a permis d'analyser des paramètres qui concernent, la vitesse, l'angle et la hauteur du poids au moment de l'éjection. En ce qui concerne l'organisation gestuelle, seul l'inclinaison du tronc dans la phase d'éjection a pu être établie.

En effet, la performance dans les lancers en général, et en particulier le lancer du poids, dépend principalement des paramètres d'angle et de vitesse d'éjection de l'engin lors du lâcher (Lanka, J., 2000; Chow et Mindock, 1999; Chow et al., 2000). L'optimisation de ces paramètres requiert obligatoirement chez le lanceur de poids la maîtrise d'une gestuelle (ou

habileté motrice) complexe exécutée dans l'espace restreint qu'est l'aire de lancer du poids. Le lanceur, placé dans les conditions réglementaires (IAAF 1994, 2006), doit enchaîner des actions simultanées de rotation et/ou translation afin de communiquer au système «lanceur-poids» dans un premier temps, puis au poids seul dans un second temps, la plus grande vitesse possible (Dapena, 1978; Bartlett, 1992). Il s'avère que les meilleurs lanceurs de poids sont capables de tourner très vite à l'intérieur de l'aire de lancer et d'augmenter la vitesse du poids surtout dans la phase finale de double appui (McCoy, R. et Gregor, P. 1984; Linthorne, N.P., 2001). En condition d'entraînement, de nombreux entraîneurs préconisent l'utilisation d'un poids plus léger que celui utilisé en compétition Senior (6,26 *versus* 7,26 kg). Cette démarche a pour objectif de limiter le risque de blessures lié à la surcharge mécanique induite par la répétition du geste de lancer. Néanmoins, aucune donnée expérimentale n'a démontré la pertinence de cette situation d'apprentissage. Lancer avec un poids plus léger ne présente un intérêt que dans la mesure où il n'y a pas de modifications importantes des paramètres cinématiques et de l'organisation gestuelle du lancer (Dinu et al., 2003 ; Dinu et al., 2004; Dinu et al., 2005).

Cette recherche s'inscrit dans le cadre général de la modélisation du geste du **lancer du poids** en rotation. Le choix d'étudier la technique giratoire, fait suite aux nombreux entretiens avec Michel Tranchant, entraîneur national du poids à l'INSEP. En effet, celui-ci suggère que cette technique est encore insuffisamment exploitée en France. De plus, certains hypothèses ont été démontrées dans une étude antérieure, (réalisée à l'INSEP, financée par le CORS, Projet de Recherche N° 02-052) portant sur la biomécanique du **lancer de disque** qui se fixait deux objectifs principaux: 1) l'analyse de l'influence du niveau d'expertise du lanceur sur les différentes phases clefs du mouvement; 2) la mise en évidence de l'organisation segmentaire propre au lanceur de disque et la vérification de l'absence d'altération du geste lors de l'utilisation d'un disque plus léger.

La comparaison de la cinématique et des patrons d'activation musculaires a montré l'absence d'altération significative du geste de lancer lors de l'utilisation d'un disque léger chez des lanceurs experts: l'évolution de la norme de la vitesse du disque au cours des 5 phases, la chronologie de l'activation des différents muscles étudiés et les valeurs moyennes des quantités électriques (EMG intégré) ne sont pas significativement modifiées par le poids de l'engin. En conséquence, 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.

Les, résultats de cette étude précédente ont fait l'objet de 3 publications scientifiques et de 6 congrès internationaux.

De plus, la performance en lancer du poids est aussi sous la dépendance d'un contrôle moteur (Schmidt, 1993).

Comme pour la marche, le lanceur de poids doit effectuer une succession d'appuis selon une chronologie bien établie. De plus, dans l'analyse biomécanique de la marche, le corps humain peut être divisé en deux sous-systèmes : les membres inférieurs et la partie supérieure du corps, (Cappozo, 1982, 1983 ; Saunders et al., 1953 ; Cavagna et Margaria, 1966).

Ainsi, l'athlète doit coordonner les divers groupes musculaires engagés dans la réalisation du mouvement selon un programme moteur en relation avec le niveau d'expertise (French et al., 1995). L'expertise permettait alors un meilleur contrôle de l'action surtout s'il s'agit d'une habilité fermée, c'est-à-dire une activité où le geste sportif est défini à l'avance puisque l'environnement est stable (Martell et Vickers, 2004). En tant qu'habilité fermée, le lancer de poids devrait faire appel à un programme moteur disponible chez l'expert.

Objectifs

D'un point de vue fondamental cette étude, a un double objectif : d'une part, analyser l'influence de la masse du poids (6,26 *versus* 7,26 kg) sur les paramètres cinématiques mesurés au cours du lancer du poids et d'autre part, de mettre en évidence l'organisation segmentaire propre au lanceur du poids en rotation (Hay et al., 1977 ; Dapena, 1993) à l'aide d'un modèle anthropométrique qui comporte un tronc polyarticulé. En effet, nous faisons l'hypothèse que l'efficience supposerait une coordination entre trois systèmes : le haut du corps, le bas du corps et le poids lui-même.

Cette interprétation s'appuie sur la théorie qu'il existe un modèle oscillateur.

Ainsi, le haut et le bas du corps fonctionneraient comme un système de deux oscillateurs couplés selon les phases du mouvement.

De plus, cette proposition de modélisation de l'organisation segmentaire propre au lanceur du poids s'appuie sur l'hypothèse qu'il existerait deux types de référentiels pilotant un tel mouvement complexe (Cappozo, 1982, 1983 ; Saunders et al., 1953 ; Cavagna et Margaria, 1966). Le premier

référentiel serait attaché au mouvement de la partie supérieure du corps et responsable de la coordination de la trajectoire du poids. Le second référentiel, serait impliqué dans les mouvements de translation et de rotation de la partie inférieure du corps.

Ainsi, le geste du lancer sera étudié, à travers une analyse cinématique des cinq phases clés du mouvement. La mise en relation de la cinématique du lanceur et de la cinématique de l'engin a pour objectif d'apporter des éléments de compréhension concernant la présence d'un programme moteur disponible chez l'expert et le déroulement de celui-ci selon une chronologie bien établie. De plus, l'analyse de ce type d'interaction (athlète-poids) permettra de caractériser les synergies mécaniques contribuant à optimiser le mouvement.

D'un point de vue pratique cette étude permettra de répondre à différentes hypothèses discutées par les entraîneurs:

- peut-on employer un poids plus léger pour l'entraînement des lanceurs, même de haut niveau, dans le but d'éviter le surmenage musculo-squelettique mais sans dégradation de la technique gestuelle?

- la diminution des contraintes mécaniques liée à l'emploi d'un poids léger, facilite-elle la réalisation d'un enchaînement gestuel plus fluide pour les lanceurs espoirs?

Le troisième objectif est la comparaison des deux systèmes capture du mouvement Vicon et Moven.

Matériel et méthodes

Population: cette étude sera réalisée sur un échantillon de 7 athlètes de niveau national. Les critères pris en compte dans la formation du groupe d'étude seront la technique de lancer (en rotation) et la meilleure performance des lanceurs. L'expérimentation commencera par un échauffement spécifique du lanceur, sous le contrôle de l'entraîneur national. Une fois l'échauffement terminé, douze jets successifs valides seront retenus dans la même séance de mesure (6 avec un poids de 6,26 kg et 6 avec un poids de 7,26 kg)

Pour le traitement final des données, seuls les jets égaux à au moins 80 % de la meilleure performance individuelle et avec un angle de dévia-

tion de la trajectoire égal à plus au moins 20° (admis dans les compétitions internationales) seront pris en compte dans cette analyse.

Techniques expérimentales: une première expérimentation à eu lieu au stade couvert de l'INSEP sur 3 lanceurs; l'environnement du plateau de lancer à été aménagé pour recevoir le dispositif vidéographique d'analyse du mouvement en trois dimensions et le système Moven de capture du mouvement humain basé sur une technologie de navigation inertielle mis à disposition par l'INCS de Bucarest.

La Comparaison des deux systèmes capture du mouvement **Vicon et Moven** à été mise en place d'après une idée originale du directeur général de l'INCS M. Pierre de Hillerin. Cette expérimentation à été réalisée par une équipe de chercheurs mixte franco-roumaine: Françoise Natta et Daniel Dinu pour l'INSEP et Radu Bidugan et Cristian Weisz pour l'INCS. Le mouvement du lancer de poids (translation et/ou rotation) nécessitant une reconstruction en trois dimensions.

Pour ce faire, le système de capture du mouvement utilisé est le système optoélectronique Vicon 612[35] permettant de suivre et d'enregistrer, au moyen de six caméras VCam (résolution 300 000 pixels), la position les positions successives d'un ensemble de marqueurs sphériques rétroréfléchissants (passifs). Les marqueurs sphériques collés sur la peau du sujet permettent la reconstruction 3D de déplacements successifs du système poids-lanceur.

La mise en place des caméras nécessite de bien définir le volume utile à mesurer selon le mouvement étudié, et de conserver un angle spatial minimum de l'ordre de 25° entre deux caméras. Chaque marqueur doit être vu par au moins deux caméras pour pouvoir reconstruire sa trajectoire en 3D.

Le calibrage autorise la disposition des caméras dans des positions non stéréotypées afin d'étudier des mouvements de nature différente. Il consiste à utiliser un objet dont la géométrie est connue. A partir d'une seule image de cet objet, la géométrie interne et externe de la caméra est alors estimée. Ce premier calibrage statique est suivi d'un calibrage dynamique.

Ce dernier consiste à déplacer dans tout le volume utile une tige (390 mm) munie de deux marqueurs (dont les dimensions et les inter-distances sont précisément connues), à une vitesse proche de celle du mouvement étudié.

Le système Moven est un système de capture du mouvement humain basé sur une technologie de navigation inertielle. Il est composé des 16 capteurs (MTx). Chacun de ces capteurs sont composé eux-mêmes de gyroscopes 3D, accéléromètres 3D et magnétomètres 3D.

La mise en place sur le terrain de ce système est sans contraintes particulières et sa calibration est relativement facile.

Traitement des données: le système détecte et extrait en temps réel les positions (coordonnées 2D) des marqueurs dans le plan image de chacune des cameras. Les informations issues de deux caméras (ou plus) sont ensuite combinées pour calculer les coordonnées 3D de chaque point. Les algorithmes de calcul reposent sur la technique GSI (Geometrical Self Identification) qui permet une reconstruction 3D immédiate (x, y, z) avec mise en correspondance automatique des coordonnées bidimensionnelles (x_1, y_1) et (x_2, y_2) d'un même marqueur. La mise en place d'une modélisation multi-segments de l'athlète et la mesure des déplacements 3D des poins articulaires caractéristiques du modèle permettent le calcul du moment cinétique total du système lanceur-poids en son centre de gravité.

Pour ce faire, nous allons choisir les tables anthropométriques de Mollard (1987) déterminées à l'aide des équations de régression, par une méthode de photogrammétrie:

Résultats

Nous présentons ici un travail d'étape. En effet, à ce stade de l'étude nous avons analysé les données de trois lanceurs uniquement.

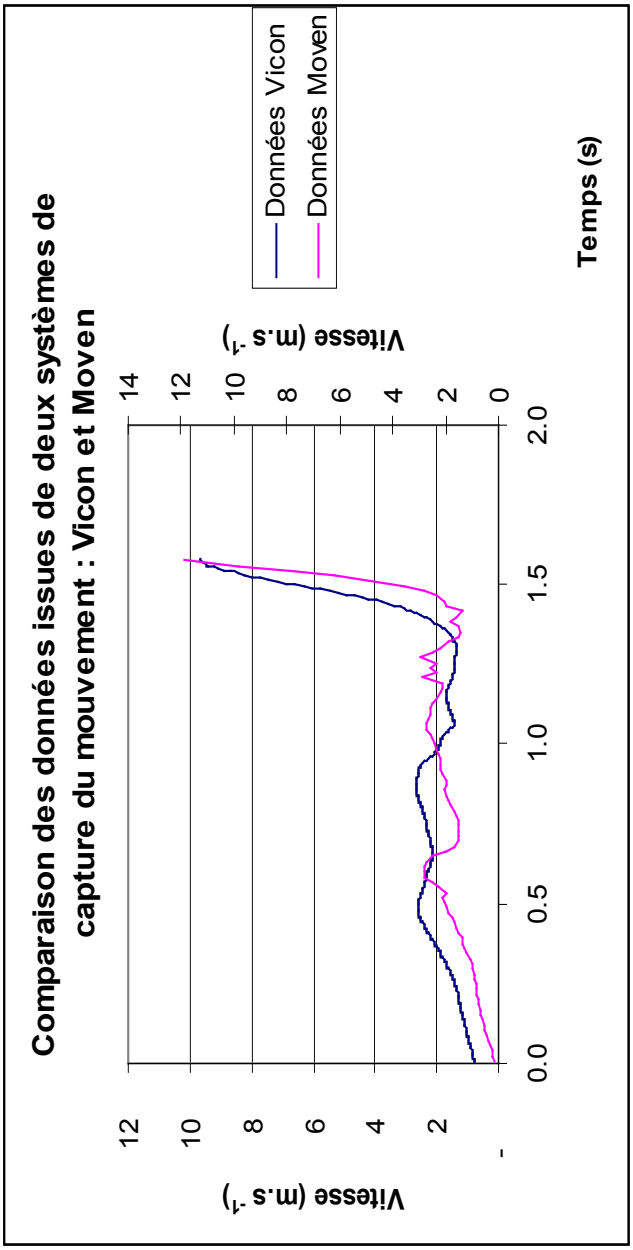

Fig. 1 Evolution des vitesses du poids (7,26 kg) pour le même jet réalisé avec les deux systèmes de capture du mouvement Vicon et Moven.

L'évolution de deux courbes de vitesses du poids présente le même profil pour le début et la fin du mouvement (*cf. fig. 1*) pour un même jet réalisé simultanément avec les deux systèmes de capture du mouvement: Vicon-Moven. A l'inverse, nous constatons une évolution en opposition de phase de cette vitesse pour les phases intermédiaires du mouvement. Ceci est probablement dû au calcul logiciel, à l'algorithme et au traitement spécifique du signal de chaque système de mesure.

De plus, ces résultats doivent être vérifiés sur l'ensemble des 7 sujets et sur l'ensemble des jets effectués (20 jets par sujet)

Cependant, pour une analyse fine les mêmes résultats doivent être vérifiés pour les deux conditions de la masse du poids (6 *vs* 7,26 kg)

L'évolution des vitesses du poids d'un jet représentatif réalisé avec les deux conditions de masse (6 *vs* 7,26 kg), est représentée sur la *figure 2*:

L'examen global de l'évolution de la vitesse du poids dans chaque condition (|V| à 6 kg et |V| à 7,26 kg) ne montre pas *a priori*, de modifications importantes du patron cinématique du poids pour les deux conditions de masse. Cependant, nous pouvons distinguer les variations suivantes:

- au début du geste phases Δt_{1da}, et phase Δt_{1sa} les valeurs des vitesses du poids sont égales pour les deux conditions de masse. En revanche, les phases suivantes présentes un décalage et dans la durée et dans les valeurs.

- la valeur de la vitesse d'éjection apparaît donc plus élevée lors des lancers effectués avec un poids léger.

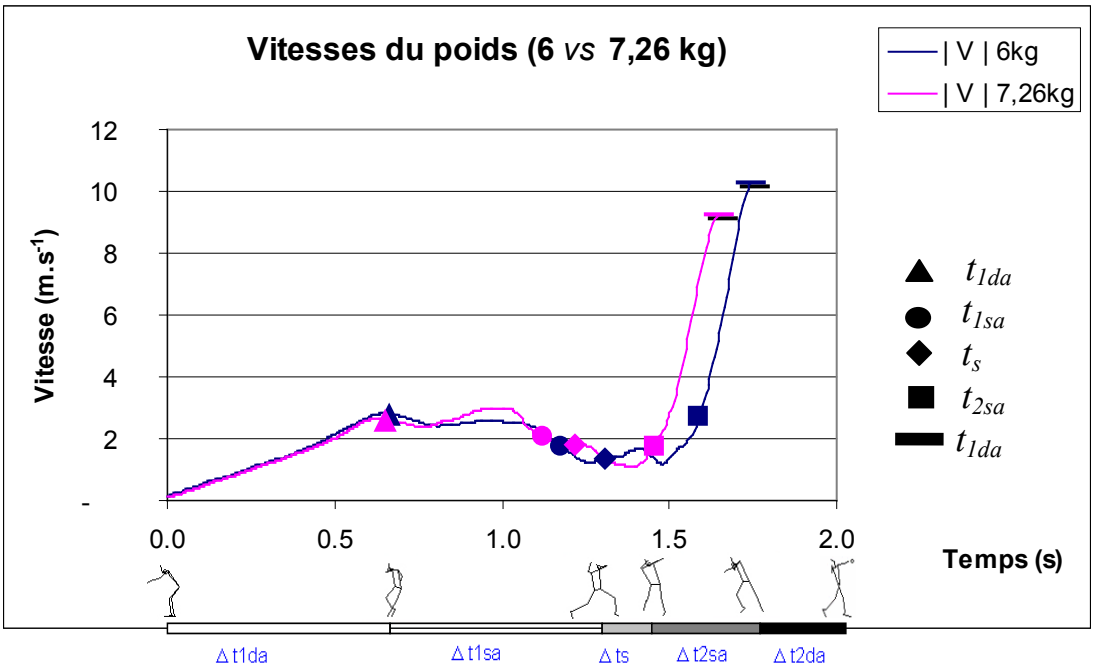

Fig. 2 Evolution de la vitesse du poids pour un jet réalisé avec les deux conditions de masse (6 vs 7,26 kg) au cours des différentes phases du lancer.

Δt_{1da}: phase de départ en double appui, Δt_{1sa}: phase de départ en simple appui, Δt_s: phase aérienne, Δt_{2sa}: phase finale en simple appui, Δt_{2da}: phase finale en double appui.

t_{1da}: fin de la première phase de double appui, t_{1sa}: fin de la première phase de simple appui, t_s: fin de la phase aérienne, t_{2sa}: fin de la deuxième phase de simple appui, t_{2da}: fin de la deuxième phase de double appui.

Analyse de la cinématique du poids et des différents temps et durée des phases:

Les différents paramètres cinématique du poids caractéristiques du mouvement à l'intérieur du plateau du lancer (évolution de la norme de la vitesse du poids, différents instants de changement d'appui et durées des phases qu'ils bornent en valeur réelle et relative) sont exprimés sous forme de moyennes et d'écarts-types (*cf. tableau 1 et 2*).

Tableau 1 Ensemble des moyennes et écart-types des vitesses du poids, calculés pour les 3 athlètes et pour les deux conditions de masse (6 vs 7,26 kg). Vd: vitesse; Δ Vd variation de vitesse, calculées pour chacune des 5 phases caractéristiques du lancer (cf. méthodologie)

Paramètres Cinématiques	Instants et Phases	Valeurs moyennes et écart-types					
		Poids de 6 kg			Poids de 7,26 kg		
Vd ($m.s^{-1}$)	t1da	2.67	±	0.20	2.85	±	0.22
	t1sa	1.84	±	0.13	1.89	±	0.27
	ts	1.43	±	0.11	1.53	±	0.28
	t2sa	2.79	±	0.22	2.59	±	0.95
	t2da	9.83	±	0.35	9.30	±	0.21
ΔVd ($m.s^{-1}$)	Δt1da	2.46	±	0.31	2.74	±	0.25
	Δt1sa	- 0.83	±	0.29	- 0.97	±	0.47
	Δts	- 0.41	±	0.14	- 0.36	±	0.13
	Δt2sa	1.37	±	0.31	1.06	±	1.06
	Δt2da	7.04	±	0.48	6.71	±	0.78

Tableau 2 Ensemble des moyennes et écart-types des données temporelles calculées pour les 3 athlètes et pour les deux conditions de masse (6 vs 7,26 kg). La durée (Δt, exprimée en valeur réelle (s) et relative (%) par rapport à la durée totale du mouvement), calculée pour chacune des 5 phases caractéristiques du lance (cf. méthodologie)

Temps et Phases	Instants et Phases	Valeurs moyennes et écart-types					
		Poids de 6 kg			Poids de 7,26 kg		
t (s)	t1da	0.63	±	0.05	0.65	±	0.05
	t1sa	1.12	±	0.06	1.11	±	0.05
	ts	1.24	±	0.06	1.23	±	0.04
	t2sa	1.54	±	0.04	1.49	±	0.03
	t2da	1.70	±	0.05	1.66	±	0.02
t (%)	t1da (%)	37.36	±	3.75	38.96	±	2.84
	t1sa (%)	65.88	±	2.14	66.67	±	3.28
	ts (%)	73.35	±	2.32	73.90	±	3.70
	t2sa (%)	90.86	±	3.12	89.56	±	3.60
	t2da (%)	100	±	–	100	±	–
Δt (s)	Δt1da	0.63	±	0.05	0.65	±	0.05
	Δt1sa	0.48	±	0.04	0.46	±	0.01
	Δts	0.13	±	0.03	0.12	±	0.02
	Δt2sa	0.30	±	0.02	0.26	±	0.06
	Δt2da	0.16	±	0.01	0.17	±	0.04
Δt (%)	Δt1da %	37.36	±	4.26	38.96	±	3.22
	Δt1sa %	28.52	±	2.68	27.71	±	1.58
	Δts %	7.47	±	2.74	7.23	±	3.27
	Δt2sa %	17.50	±	3.34	15.66	±	3.18
	Δt2da %	9.14	±	3.35	10.44	±	3.41

Pour comparer les valeurs de ces vitesses du poids obtenues lors des jets (6 *vs* 7,26 kg), nous les avons testés statistiquement à l'aide d'un test paramétrique pour des échantillons indépendants (t de Student).

Les tests statistiques ne révèlent pas de différences significatives entre:

- les valeurs de la norme de la vitesse du poids (p = 0,26), les différents instants de changement d'appui (p = 0,49) et les durées des phases qu'ils bornent en valeur réelle et relative (p = 0,36) calculées pour des jets effectués avec les deux conditions de masse (6 *vs* 7,26 kg)

De plus, nous avons trouvé intéressant de calculer le taux d'accélération du pois (*figure 3*) pour chaque phase clé du lancer (6 *vs* 7,26 kg).

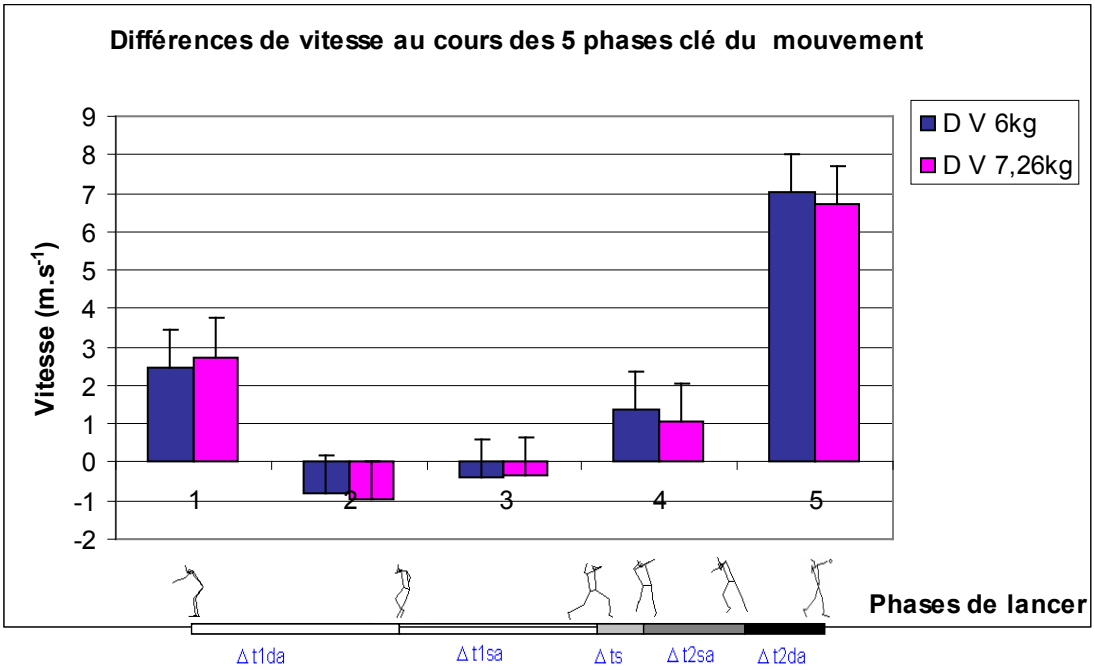

Fig. 2 Différences de vitesse au cours des 5 phases de lancer calculées entre les deux instants bornant les phases et pour les deux conditions de masse (6 vs 7,26 kg).

Nous remarquons une première phase d'accélération suivie de deux phases de freinage.

La partie finale du geste est caractérisée par une accélération marquée.

Discussion et Conclusion

La comparaison des données pour un même jet réalisé simultanément avec les deux systèmes Vicon-Moven montre:

- un même profil pour le début et la fin du mouvement mais pas les mêmes valeurs de vitesse

- l'opposition de phase observé aux étapes intermédiaires du mouvement pour la vitesse n'est' elle pas, en fait, un décalage computationnel?

Causes probables:

- l'algorithme utilisé pour le calcul logiciel

- traitement spécifique du signal (lissage, filtrage)

- interférences magnétiques avec d'autres appareils présentes sur le lieu de l'expérimentation

Les résultats montrent que, quelle que soit la masse du poids (6 *vs* 7,26 kg), l'allure générale de l'évolution de la norme de la vitesse du poids au cours des cinq phases n'est pas modifiée comme cela a été observé (Schluter et Nixdorf, 1984; Schöllhorn, 1989; Dinu et al. 2003, 2005, 2008) pour le lancer de disque masculin (2 kg) et féminin (1 kg).

Cependant, comme pour le lancer de disque nous constatons une tendance à la hausse concernant les valeurs de vitesse d'éjection qui sont supérieures avec l'engin de 6 kg.

Cette différence semble liée à un gain de vitesse dans la phase finale de double appui qui est plus important avec le poids de léger. Néanmoins ces observations ne se vérifient pas statiquement.

Sur le plan pratique, les résultats de la présente étude suggèrent qu'un poids plus léger pourrait être employé pour l'entraînement des lanceurs,

même de haut niveau, sans dégradation cinématique du lancer, ni altération sensible du patron d'activation musculaire. L'emploi d'un poids léger lors de l'entraînement pourrait diminuer le risque de blessure lié aux contraintes mécaniques de la charge pendant des périodes d'entraînement. Un poids léger est fréquemment utilisé chez des débutants; il reste à démontrer que le patron moteur n'est pas perturbé par l'utilisation de tels poids chez des débutants et non pas seulement chez des experts comme dans la présente étude.

Références

Ariel, G.B. (1973). Computerized biomechanical analysis of the world's best shot-putters.

Track and Field Quarterly Review, 73, 199-206.

Bartlett, R.M. (1990) The biomechanics of the discus throw. In: Proceedings of the First International Conference on Techniques in Athletics, G.-P. Brüggemann and J.K. Rühl (Ed.); Köln; Deutsche Sporthochschule, 126-145.

Bartlett, RM. (1992) The biomechanics of the discus throw. J Sports Sci., 10, 467-510.

Bashian A., Gavoor, N., and Clark, B. (1982) Some observations on the release in the shotput. Track and Field Quarterly Review 82(1), 12.

Bartonietz, K. (1996). The energy relationship in rotational and glide shot put techniques. Modern Athlete and Coach, 34 (2), 7-10.

Cappozo, A. (1982) Head and trunk mechanics in level walking. University of Strathclyde, Glasgow, Ph. D. Thesis, 297.

Cappozo, A. (1983) The forces and couples in the human trunk during level walking. J.Biomech., 16, 4, 265-277.

Cavagna, G.A. and Margaria, R. (1966) Mechanics of walking. J. Appl. Physiol., 21, 271-278.

Chow, J.W., and Mindock, L.A. (1999) Discuss throwing performances and medical classification of wheelchair athletes. Med. Sci. Sports Exerc., 31, 9, 1272-1279.

Chow, J.W., Chae, W.S., and Crawford, M.J. (2000) Kinematic analysis of shot putting performed by wheelchair athletes of different medical classes. J Sports Sci.; 32, 5, 321-330.

Dapena, J. (1978) A method to determine the angular momentum of a human body about three orthogonal axes passing through its center of gravity. J.Biomech; 11, 251-256.

Dapena, J. (1993) An analysis of angular momentum in the discus throw. ISB 93 Paris I, 306-307.

Dinu, D., Natta, F. et Vandewalle, H. (2003) Etude des paramètres cinématiques du lancer de disque : influence du niveau d'expertise dans les différentes phases du lancer. Science et Motricité, 19, 189-192.

Dinu, D., Levêque, J.M., Natta, F., Vandewalle, H. et Portero, P. (2004) Evolution de paramètres cinématiques et électromyographiques pendant les différentes phases du lancer de disque : étude préliminaire. Science et Sport, 19, 189-192.

Dinu D., Natta, F., Vandewalle, H. et Portero, P. (2005) Utilisation d'un disque plus léger à l'entraînement altère-t-elle la technique gestuelle? Actes du congrès de l'ACAPS, 2005, Paris.

French, K.E., Spurgeon, J. H. and Nevett, M.E. (1995) Expert-novice differences in cognitive and skill execution components of youth baseball performance. Research Quarterly for Exercise and Sport, 66, 3, 194-201.

Hay, J.G., Barry, D. W., and Dapena., J. (1977) A computational technique to determine the angular momentum of human body. J. Biomechanics., 10, 269-277.

Hinz L., Hammann, F., et Hofmann., (1993) Les lancers Vigot (Ed) Paris

Hubbard, M. (1989) The throwing events in track and field. In: Biomechanics of Sport, C.L. Vaughan (Ed.),. Boca Raton, Florida : CRC Press, 213-238.

Hubbard, M., de Mestre, N.J., and Scott, J. (2001). Dependance of release variables in the shot put. Journal of Biomechanics, 34, 449-456.

IAAF (1994) Le juge Arbitre - The Referee. Traduit par Robert Blanchet.

IAAF (2006) Manuel 2005-2006.

Knicker, A.J. (1990) Determining factors in discus throwing of top level athletes. In: Proceedings of the First International conference on Techniques in Athletics. G.-P. Brüggemann and J.K. Rühl, (Ed.), Köln; Deutsche Sporthochschule, 2, 670-677.

Lanka, J. (2000). Shot putting. In V.M Zatsiorsky (Ed.), Biomechanics in Sport, Performance Enhancement and Injury Prevention (pp. 435-457). Oxford: Blackwell Science.

Lenz, G. and Ward, P. (1985) Discus. In: Athletes in Action. H. Payne (Ed), London; Pelham Books, 212-236.

Linthorne, N.P. (2001). Optimum release angle in the shot put. Journal of Sports Sciences, 19, 359-372.

Lindsay, M. (1991) Biomechanical analysis of the discus. In: Report on the 1990 Championship in Athletics, vol. 1,: The throws (Ed), Bartlett, R.M; Alsager: Crewe and Alsager College of Higher Education, 47-53.

Martell S. G. and Vickers J.N. (2004) Gaze characteristics of elite and near elite athlete in ice hockey defensive tactics. Human movement science, 22, 6, 689-712.

McCoy, R. et Gregor, P. (1984) Kinematic analysis of elite shot-putters. Track Technique, 90:2868-2871.

Mollard, R. (1987) Apport de la biostéréométrie dans la modélisation du corps humain -Aspects statistiques et dynamiques. Thèse de doctorat Université René Descartes Paris V, Paris.

Saunders, J.B., Inman, V.T., and Eberhart M.D. (1953) The major determinents of normal and pathological gait. J.Bone Jnt. Surg, 35-A, 543-558.

Schmidt, R. A. (1993) Apprentissage moteur et performance. Vigot, Paris.

Zatsiorsky, V.M., Lanka, J.J., and Shalmanov, A.A. (1981). Biomechanical analysis of shot putting technique. Exercise and Sport Science Review, 9, 353-389.