

LANCER DU JAVELOT 2 : LA BIOMECHANIQUE

*Nous avons repris ici et traduit en Français une partie de l'ouvrage réalisé par Ulrich JONATH - Rolf KREMPEL
Eduard HAAG - Harald MÜLLER "Leichtathletik 3" et qui sert actuellement d'ouvrage de référence pour les cours de
formation d'entraîneur 2^e degré de l'IAAF*

Didier POPPE

1-ASPECTS BIOMECHANIQUES

L'objectif du lanceur de lancer le plus loin possible dépend avant tout des conditions biomécaniques qui régissent les différentes parties de la technique de lancer.

La recherche extensive des paramètres de la performance a permis d'établir la liste suivante des priorités, d'après HARNES (1990) en tant que ligne directrice de l'entraînement au lancer de javelot :

- 1-Vitesse d'éjection
- 2-Angle de lancer, angle d'attitude et angle d'attaque
- 3-Longueur du "Hop" et de la foulée de blocage et leur rapport relatif
- 4-Vitesse de la course d'élan
- 5-Chemin d'accélération de l'engin

Du point de vue de l'entraînement, ce qui suit explique plus en détail les facteurs les plus importants dans l'ordre inverse de leur importance.

Le chemin d'accélération de l'engin et les paramètres 4 et 3 qui l'affectent directement, sont les paramètres les plus faciles à maîtriser par le lanceur pour produire la vitesse d'éjection maximale.

Le chemin d'accélération du javelot est beaucoup plus long que celui des autres lancers. Il commence avec la course d'élan cyclique et se termine quand le javelot quitte la main lanceuse. Sa longueur totale est de 25 à 35m.

D'un point de vue biomécanique, la partie cyclique de la course d'élan n'a qu'un impact faible sur l'accélération de l'engin. Cependant si elle n'est pas optimale, elle peut avoir un effet négatif sur la partie acyclique.

Lors du rythme en 5 appuis qui suit la partie cyclique, il est essentiel, en plus de maintenir la vitesse d'élan déjà obtenue, de mettre en tension les groupes musculaires qui seront directement impliqués dans l'action explosive de lancer en tant que "arcs du tronc et du bras". Cela est obtenu principalement par la torsion de différentes parties du corps, par diverses actions préparatoires lors de la préparation du lancer et le blocage et l'accélération durant la finale proprement dite.

dans la phase préparatoire du lancer, en plus de maintenir la vitesse horizontale du lanceur (et du javelot) qui a été produite lors de la course d'élan, il est essentiel de prendre une position optimale du corps (et du javelot) avant que la tirade finale ne commence. Dans cette partie du lancer, les deux derniers appuis, le "hop" et la foulée de blocage, auront l'effet le plus important sur la distance réalisée comme on peut le voir fig 6.

L'angle d'inclinaison de l'axe longitudinal du corps est un indicateur important d'une position favorable. Un angle de 30 à 36° est considéré comme optimal au moment où les pieds touchent le sol après le "hop" (ou au début de la foulée de blocage). Dépendant de l'angle le plus favorable de 90° entre l'axe des épaules et l'axe longitudinal du lanceur, l'angle d'attitude du javelot est également de 30 à 36°.

Le "Hop" est une foulée allongée, rapide et rasante avec une pose active en griffé par la plante du pied. C'est la plus longue des 5 foulées, environ 10-20% plus longue que la moyenne des autres. Une position trop redressée lors du hop entraîne une inclinaison insuffisante du corps et diminue la performance.

L'objectif le plus important de la dernière foulée du rythme en 5 appuis, la foulée de blocage, est de créer la tension en arc maximale. En optimisant la longueur de cette foulée et en maintenant le javelot en arrière, on réalisera un transfert efficace de l'impulsion jusque dans la phase finale proprement dite.

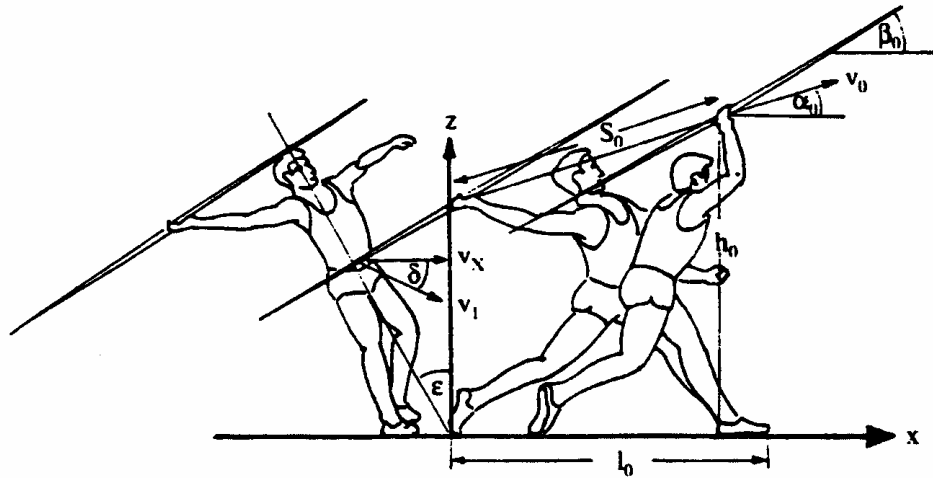


Figure 6 : Longueur des foulées, positions et vitesses durant la phase préparatoire et la finale du lancer de javelot ("Hop" / foulée de blocage) (D'après MENZEL ; 1986)

Termes

Io	Longueur de la foulée de blocage	Bo	Angle d'attitude au lâcher de l'engin (angle entre l'axe longitudinal du javelot et l'horizontale)
So	Chemin d'accélération du javelot (Chemin suivi par l'engin pendant la phase en double appui jusqu'au moment où le javelot quitte la main lanceuse)	Vo	Vitesse d'éjection
Ho	Hauteur de lâcher (hauteur de la cordée au moment du lâcher)	Vi	Vitesse à la chute
...	Angle de projection (Angle entre la vitesse résultante V_0 et l'horizontale)	Vx	Vitesse horizontale
		...	Angle d'atterrissage
		...	Angle d'inclinaison entre l'axe longitudinal du corps et la verticale

La foulée de blocage est d'environ 10-20% plus courte que les autres du rythme 5 appuis. Les lanceurs de faible niveau ont généralement des foulées de blocage courtes.

Pour obtenir une vitesse d'éjection très élevée, le transfert des forces du tronc et du bras lanceur dans le javelot est très important. Après que la jambe de blocage se soit posée, l'épaule et le coude agissent et sont bloquées successivement afin de transférer ces impulsions au javelot.

La figure 7 montre les vitesses de la hanche, de l'épaule, du bras et du javelot

Lors de la finale, les facteurs qui affectent la distance de manière décisive sont la hauteur de lâcher de l'engin, l'angle de projection et la vitesse d'éjection.

D'après les résultats de nombreuses expérimentations sur les effets de ces différents composants (par ex TERAUDS 1974, NIGG 1974, MENZEL 1989) on peut émettre les assertions générales suivantes :

Hauteur d'éjection

La hauteur d'éjection est essentiellement déterminée par la taille du lanceur et l'extension du corps durant la finale. Comme le lâcher de l'engin se fait généralement en dessous de la hauteur du corps, les caractéristiques morphologiques du lanceur ne sont pas utilisées en totalité et en conséquence ce paramètre n'a qu'une importance secondaire.

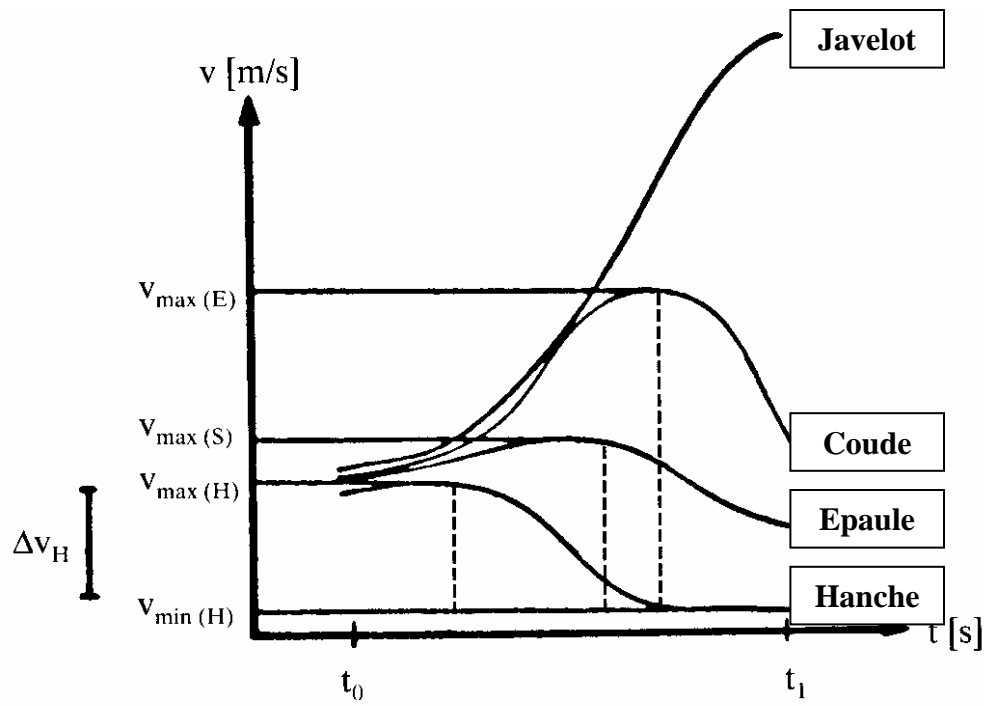


Figure 7 : Courbes des vitesses lors du transfert des forces au javelot lors de la phase de blocage (D'après MENZEL 1989)

Termes

V_{max} (H)	Vitesse maximale de la hanche du côté du bras lanceur pendant la phase de blocage	V_{max} (E)	Vitesse maximale du coude du côté du bras lanceur pendant la phase de blocage
V_{min} (H)	Vitesse minimum de la hanche du côté du bras lanceur pendant la phase de blocage	t₀	Début de la phase de double appui (Phase de blocage)
V_{max} (S)	Vitesse maximale de l'épaule du côté du bras lanceur pendant la phase de blocage	t₁	Lâcher de l'engin (Fin de la phase de blocage)

Angle de projection

Les caractéristiques aérodynamiques du javelot font que l'angle de projection et les autres angles affectant la performance sont particulièrement importants dans la qualité de l'exécution technique et donc pour la distance réalisée. Ces caractéristiques affectent également la trajectoire balistique du javelot qui sera différente de celle du lancer du poids par exemple.

La construction du javelot avec un centre de poussée (CP) distinct du centre de gravité (CM) signifie que les forces aérodynamiques déclencheront un moment de bascule (M_p) qui fera descendre la pointe du javelot.

Les forces aérodynamiques qui agissent sur le javelot sont la traînée qui agit à l'opposé de la direction de lancer et la poussée qui agit verticalement par rapport à la direction de lancer.

Le rapport entre la traînée et la poussée dépend de la vitesse d'éjection et de l'angle de projection (Alpha), de l'angle d'attitude (Bêta), de l'angle d'écoulement de l'air (Y), de la direction de la trajectoire et de la direction du vent.

Les angles de projection se situent en dessous de 40° et diminuent à mesure que la vitesse d'éjection augmente. Les valeurs optimales varient cependant suivant les auteurs de littérature sportive. En général, ils sont situés entre 30 et 36°.

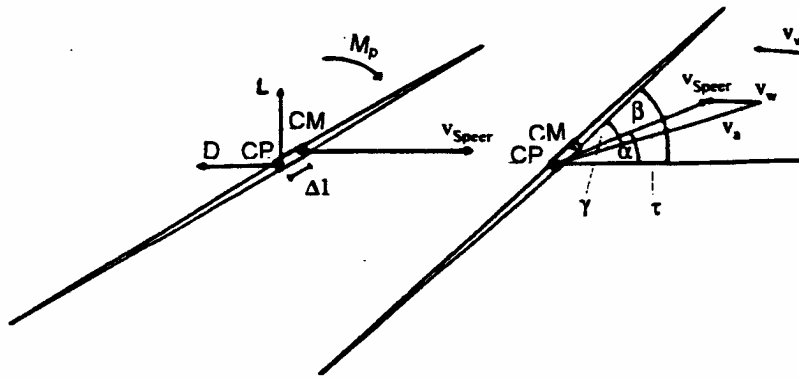


Figure 8 : Paramètres aérodynamiques de la trajectoire du javelot (D'après MENZEL 1989)

Termes

CM	Centre de gravité	Va	Vitesse d'écoulement de l'air
CP	Centre de poussée	Alpha	Angle de projection
L	Poussée	Bêta	Angle d'attitude
D	Traînée	Y	Angle d'écoulement de l'air
Mp	Moment de bascule	...	Angle de différence entre l'angle d'attitude et l'angle de projection = angle d'attaque)
...	Distance CM – CP		
Vw	Vitesse absolue du vent		
V	Vitesse absolue du javelot		

En plus de l'angle de projection, l'angle d'attitude (angle entre l'horizontale et l'axe longitudinal du javelot) affecte le comportement du javelot en l'air. La situation la plus favorable est d'avoir un angle d'attitude légèrement plus grand que l'angle de projection et un angle d'attaque aussi petit que possible. Pour des lanceurs de niveau moyen en particulier, des angles d'attaque excessifs empêchent la réalisation de meilleures performances. Par vent de face ou de dos, un angle d'attaque négatif est avantageux ce qui signifie que l'angle de projection sera plus grand que l'angle d'attitude. Les conditions les plus favorables pour avoir le meilleur rapport traînée/poussée se situent avec des angles d'écoulement d'air de l'ordre de 10 à 16°. Le "nouveau" javelot masculin, mis en service en 1986, a son centre de gravité avancé de 4cm. Cela augmente le moment de bascule et fait piquer le javelot plus tôt en diminuant ainsi la distance réalisée. Les chercheurs scientifiques pensent qu'il faudra des angles d'attitude négatifs de façon à obtenir un effet de relèvement de la pointe. L'angle d'attitude devra être plus petit que l'angle de projection (BARTONIETZ 1991). Un vent de dos retarde la bascule prématurée du nouveau javelot et a un effet favorable sur la performance réalisée alors que pour le javelot féminin un léger vent de face est favorable. En plus des angles décrits ci dessus dans l'axe du lancer, le javelot dévie souvent latéralement par rapport à la direction principale du lancer. Cet angle est connu sous le nom d'angle "de déviation latérale". On peut l'observer quand on est situé derrière le lanceur comme dans la fig 9.

Cette déviation marquée de la pointe du javelot par rapport à la direction du mouvement peut facilement faire que le javelot "s'échappe" sur le côté lors de la finale. En conséquence, cet angle devra être maintenu aussi réduit que possible

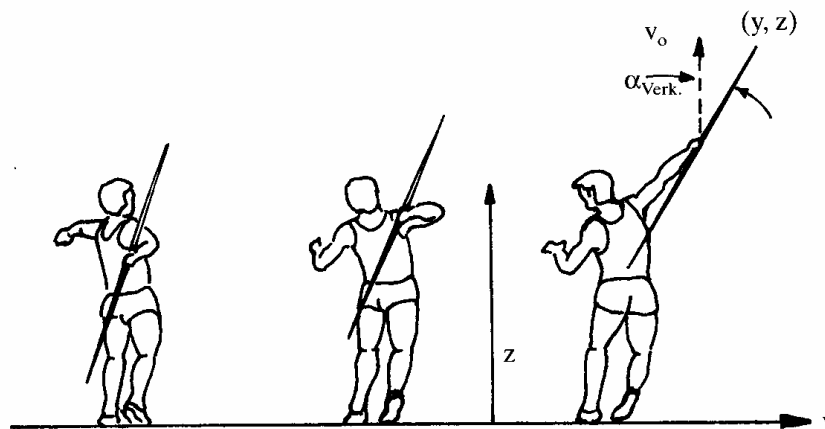


Figure 9 : Angle de déviation latérale, ... vue de l'arrière (D'après BARTONIETZ 1991)

Vitesse de projection

La longueur et le cours du chemin d'accélération du javelot sont des paramètres importants qui permettent de produire une grande vitesse de projection.

L'accélération lors de la finale commence à la pose du pied droit à la réception du "hop" et se termine au moment où le javelot quitte la main lanceuse.

le chemin d'accélération doit être aussi rectiligne que possible avec seulement une très légère déviation latérale par rapport au plan principal du mouvement de l'ensemble du système.

La figure 10 fournit les données d'un jet de compétition de Uwe HOHN montrant la position des appuis et du javelot pendant les 4 dernières foulées. De cette vue de dessus, on peut facilement voir la déviation latérale. La difficulté de faire coïncider les deux courbes devient évidente.

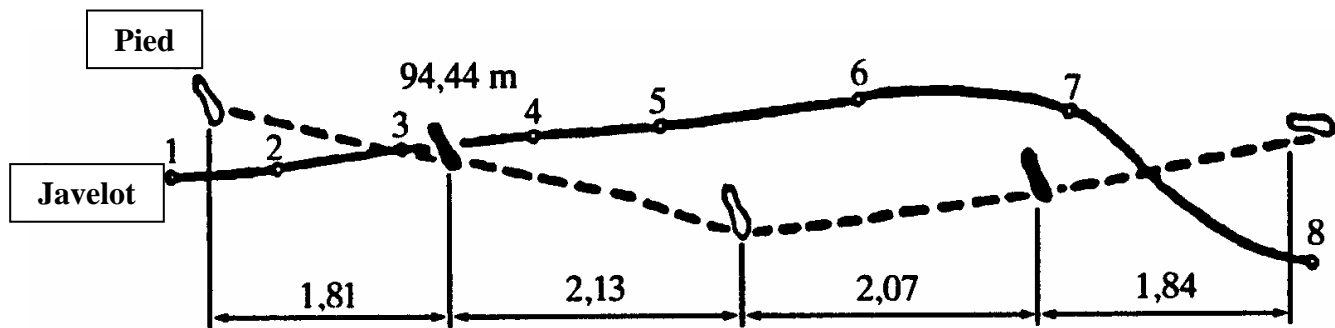


Figure 10 : Courbes de la position des pieds et du javelot pendant les 4 dernières foulées, vue de dessus (D'après HARNES 1988)

Dans la fig 11, on a une vue latérale du chemin d'accélération pendant la phase de blocage. les 3 parties (I,II et III) au cours desquelles le javelot et son centre de gravité se déplacent de façon pratiquement rectiligne peuvent être distinguées. C'est seulement dans la dernière partie de la finale (Action de fouetté du bras) que l'on peut distinguer une courbure.

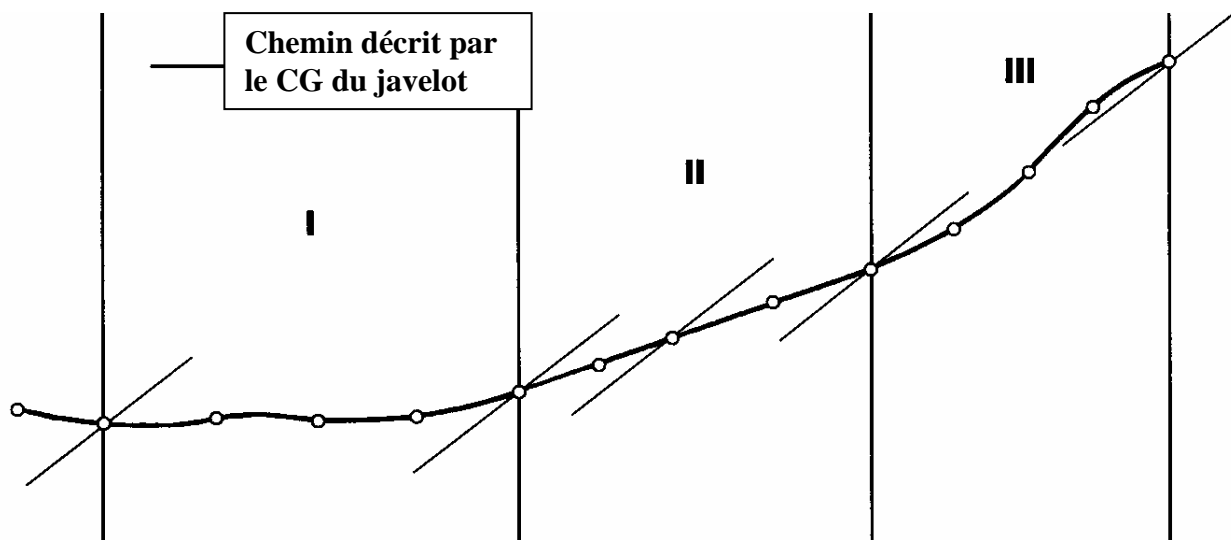


Figure 11 : Chemin d'accélération du javelot pendant la phase de blocage (Simplifié d'après BAUERSFELD/SCHRÖTER 1986)

I

II

III

Dernière foulée

mise sous tension de l'arc lanceur

libération de la tension en arc

Action de l'avant bras

Pose pied droit

Pose pied gauche

Fouetté/ finale

D'autres aspects caractéristiques de la technique du javelot peuvent être observés lors de la phase de blocage en comparant des lanceurs de niveau différent :

-Les lanceurs à plus de 70m ont un chemin d'accélération beaucoup plus rectiligne que les lanceurs à 50m
 -La proportion de chemin d'accélération lors de la phase de blocage va de pair avec l'élévation du niveau de l'athlète
 -Le chemin d'accélération des meilleurs athlètes est plus long et la hauteur de projection au moment de la finale est plus élevée
 -L'amplitude de la foulée de blocage est plus importante (d'environ 10-15cm) chez les meilleurs lanceurs
 -Environ 70% de la vitesse de projection est produite pendant la phase de blocage
 Les meilleurs lanceurs vont plus vite dans la 1^{ère} partie de la phase de blocage , ce qui leur donne plus de temps pour l'accélération finale

-Suivant le niveau du lanceur , pendant cette phase importante , le javelot accélère d'une vitesse initiale de 5-8m/sec chez les femmes et 7-10m/sec chez les hommes à des valeurs de vitesse de projection de plus de 20m/sec chez les unes et 35m/sec chez les autres.

3-EXIGENCES BIOMECHANIQUES

Exigences biomécaniques

Transition optimale entre la partie cyclique et la partie acyclique de la course d'élan

Inclinaison optimale de l'axe longitudinal du corps à la reprise d'appui après le Hop

Diminution la plus faible possible de la vitesse d'élan pendant le rythme en 5 appuis

Transfert optimal des impulsions à travers la chaîne hanche-tronc-bras lanceur-javelot pendant la phase de blocage

Vitesse d'éjection maximale du javelot avec des angles d'attitude et de projection optimaux

Conséquences pour l'entraînement

Course d'élan étalonnée avec accélération progressive
 Elans variant la fréquence et l'amplitude des foulées

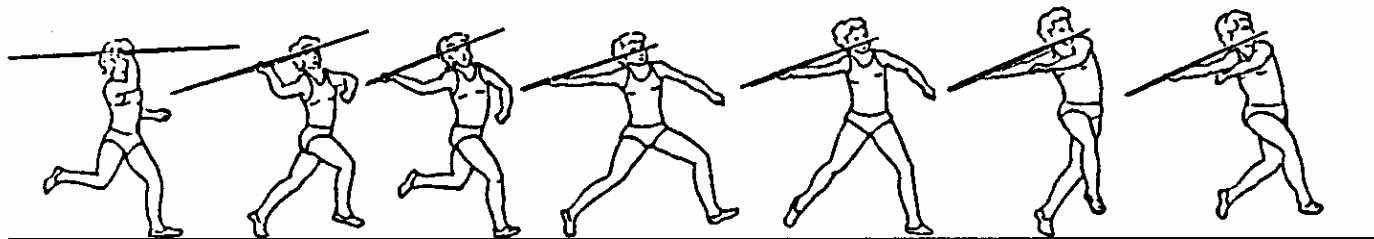
Prise d'avance des jambes par une impulsion active bras allongé , forte inclinaison arrière du corps
 Axes des hanches , des épaules et du javelot parallèles
 Répétition d'impulsions en marchant ou en trottinant et par dessus un obstacle

Placement fluide du javelot , action rapide des jambes avec des impulsions actives et des reprises d'appui agressives . exécution rasante de la foulée d'impulsion
 Relâchement des articulations des hanches et de l'épaule
 Entraînement global du rythme , courses d'élan rythmées avec mime de la finale

Freinage et blocage / fixation bloquée du côté gauche , avancée de la hanche droite , mise sous tension en arc en gardant le javelot en arrière.
 Projection active de l'épaule droite vers l'avant et frappe explosive de l'avant bras vers l'avant
 (Fouetté du bras)

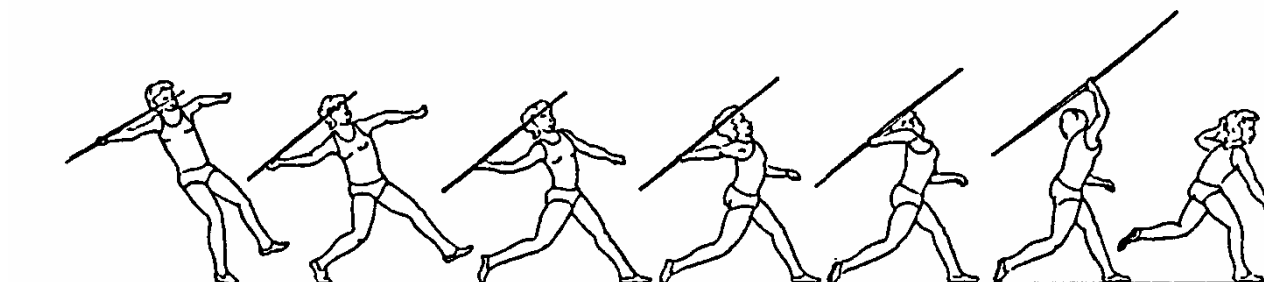
Chemin d'accélération aussi long que possible et angles du javelot aussi réduits que possible. Utilisation efficace de la force corporelle par une libération explosive de la tension en arc.
 Lancers par toutes conditions de vent et de climat.
 Position correcte de la main lanceuse

4-ANALYSE STRUCTURELLE DES PHASES DU LANCER



	Objectif et fonction	Points caractéristiques / Critères d'observation
Position de départ /	Accélération du lanceur et	<ul style="list-style-type: none"> • Pieds parallèles en position de départ (plus

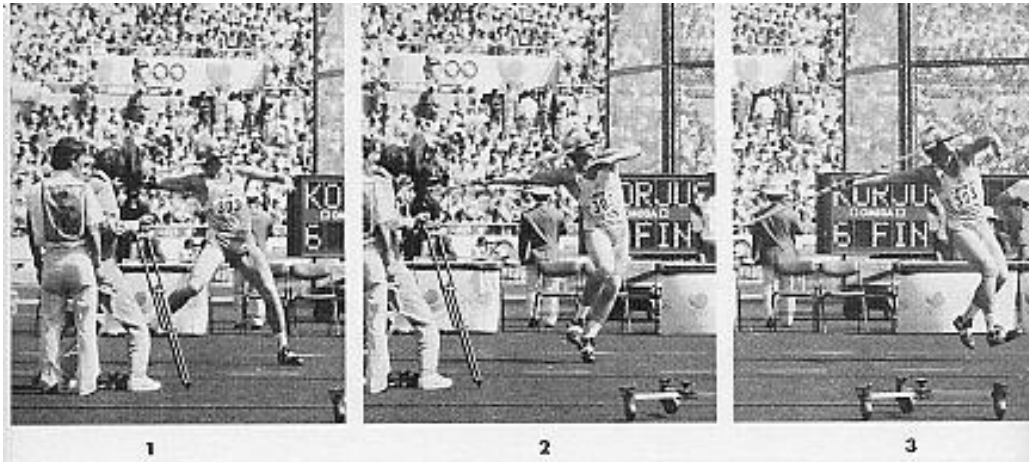
Course d'élan cyclique	de l'engin	<p>rarement position pieds décalés)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Javelot tenu un peu plus haut que la tête , pointe légèrement vers le bas • Course d'élan rythmée et accélérée 8 à 12 foulées (18-28m) • Vitesse d'élan : F jusqu'à 7m/sec H 8m/sec et +
Course d'élan acyclique Foulées 1 à 4 du rythme en 5 appuis	<p>Maintien ou augmentation de la vitesse produite pendant la partie cyclique de l'élan</p> <p>Mise en pré tension des zones du tronc , de l'épaule et des bras</p> <p>Créer les conditions requises pour une réalisation optimale de la finale</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1^{ère} foulée : Un peu allongée (foulée initiale) – augmentation de la vitesse - déclenchement du mouvement de placement par une légère avancée du javelot • 2^e et 3^e foulées : (Placement) ; placement du javelot généralement sur 2 foulées , parfois sur une , le bras opposé est allongé vers l'avant <ul style="list-style-type: none"> -Axe des épaules à 90° de la direction de lancer -Javelot parallèle à la ligne des épaules • 4^e foulée : (Foulée d'impulsion du hop) exécution rasante <ul style="list-style-type: none"> -Pose rapide du pied gauche à 20-45° de l'axe de lancer -Forte inclinaison arrière du corps (30-35°) -La hanche vient en avant de l'épaule lanceuse -Bras lanceur pratiquement allongé
Phase finale	<p>Blocage de la jambe gauche</p> <p>Mise sous tension "en arc" Succession des impulsions</p> <p>Chemin d'accélération du javelot aussi rectiligne que possible</p> <p>Accélération finale maximale du javelot</p> <p>Réalisation des angles de projection et d'attitude optimaux</p>	<p>5^{ème} foulée (Foulée de blocage) :</p> <p><i>Préparation du lancer proprement dit</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Foulée légèrement raccourcie • Pose active du pied , jambe pratiquement tendue • Côté gauche du corps bloqué • Avancée de la hanche droite • Rotation interne du bras lanceur • Le bras lanceur reste aussi allongé que possible ("lancer retardé") , main lanceuse à la verticale du pied droit • Le pied droit reste en contact au sol en glissant <p><i>Finale</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Redressement du tronc • L'épaule droite et le bras sont activement projetés vers l'avant ("effet catapulte") , le coude tire au niveau de la tête • Les hanches sont fixées à 90° de l'axe de lancer • Action explosive "en fouet" vers l'avant de l'avant bras ("effet catapulte de l'avant bras") • Le javelot quitte la main <p>Angle de projection : env 35° Déviation aussi réduite que possible : env 5° Angle de déviation latérale aussi réduit que possible , moins de 10° Vitesse d'éjection : F 25-27m/Sec H 27-30m/Sec</p>



Reprise d'équilibre	Eviter de mordre	<i>Foulée de reprise d'équilibre (1,5 – 2m)</i> <ul style="list-style-type: none"> • Changement de pied sur la jambe droite • Flexion du genou • Abaissement du centre de gravité
---------------------	------------------	--

5. MODELE TECHNIQUE

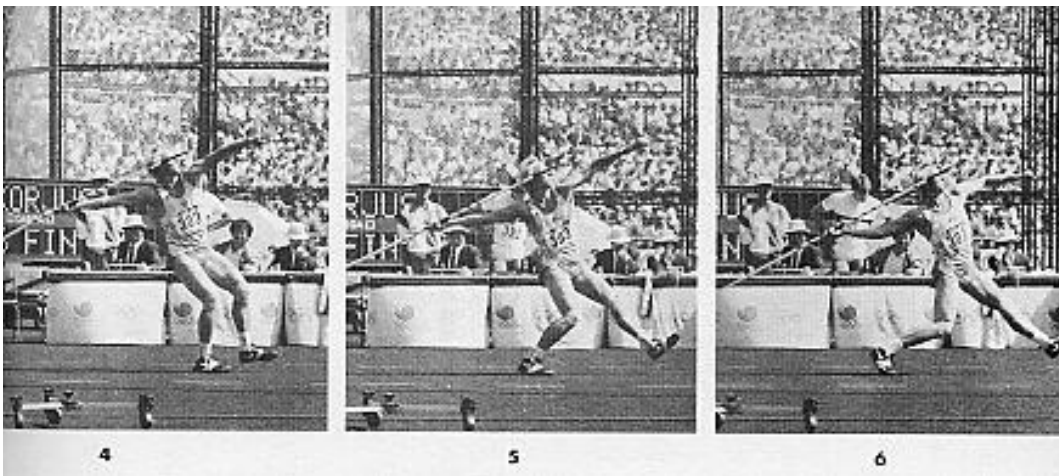
Tapio KORJUS (Finlande) Champion Olympique 1988



Le kinogramme suivant montre le jet avec lequel il remporta la finale des Jeux Olympiques à SEOUL en 1988 (84,26m)

Après avoir placé son javelot, Korjus pose son appui gauche légèrement rentré par rapport à la direction du mouvement. L'épaule gauche et le bras gauche allongé pointent en direction du lancer. Le javelot est parfaitement placé avec la pointe à hauteur du menton

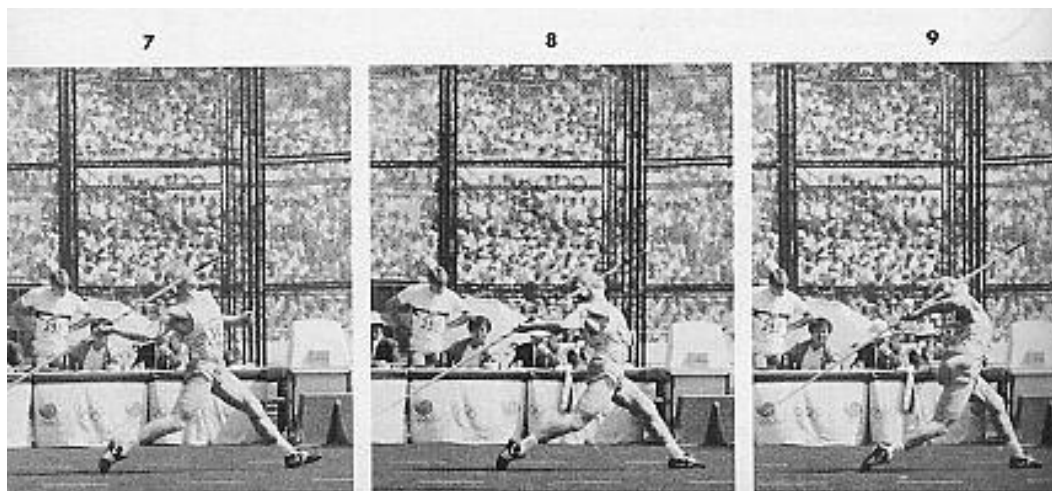
La foulée d'impulsion du "hop" qui suit ressemble à un saut dans son exécution. La forte rotation interne inhabituelle (Env 90°) de la direction du mouvement) et le maintien de la ligne des hanches pointée en direction du lancer (Photos 1-2) empêchent la jambe droite de pénétrer trop vers l'avant et en conséquence la foulée du "hop" est assez courte (Photos 2-4)



Le pied droit se pose orienté en direction du lancer, de manière favorable à ce que le travail important de la jambe droite puisse se faire sans avoir à pivoter sur l'avant plante du pied. Les lignes des hanches, des épaules et du javelot sont parallèles et orientées en direction du lancer (4)

La flexion importante du genou droit (Env 120°) reste dans une fourchette optimale. La jambe de blocage est allongée loin vers l'avant pour aller se planter par le talon (5-7) et simultanément l'extension de la jambe droite amène la hanche vers l'avant (7-8)

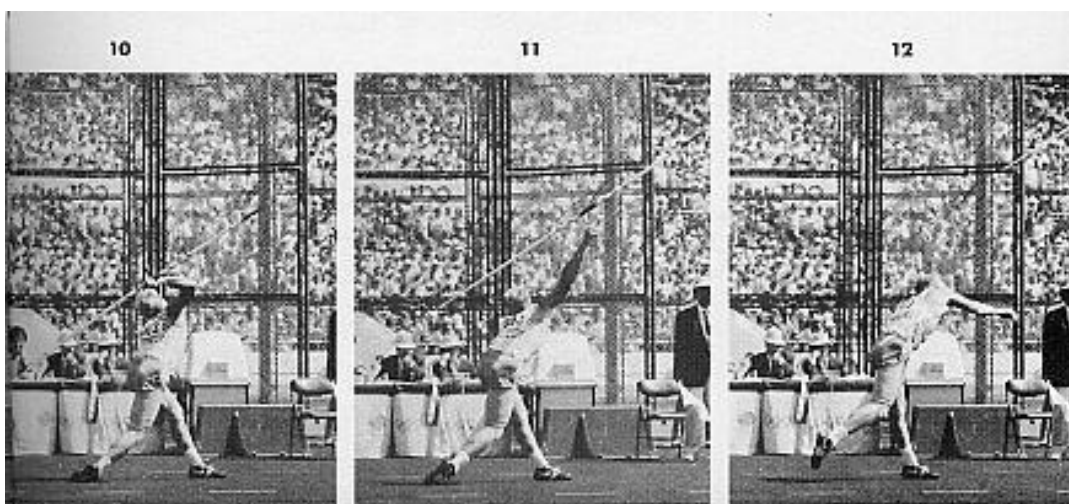
La poursuite de l'avancée de la hanche droite (8) et le maintien en arrière du bras lanceur ("Retard du bras") permettent à Korjus de créer une forte tension en arc



Alors que le bras lanceur effectue une forte rotation interne, le coude passe au niveau de la tête (9) alors que le pied droit reste en contact au sol, comme c'est clairement visible ici, en frottant sur son bord externe et supérieur.

En 10, la tension en arc est libérée, l'épaule et le haut du bras ont été déjà projetés en direction du lancer et une frappe puissante en fouet de l'avant bras va suivre (effet catapulte de l'avant bras)

Le javelot quitte la main avec un angle de projection très favorable (Env 35°), pratiquement au niveau de la verticale du pied gauche (11). En 12, on peut observer le début de la foulée de reprise d'équilibre.



6. DES DONNEES ET DES FAITS

Vitesses pendant la course d'élan et les 5 foulées

Les auteurs citent des vitesses de l'ordre de 5,7 et 6,5m/sec pour des lanceuses à 50-60m et de l'ordre de 6,3 et 7,3m/sec pour des lanceurs entre 70 et 80m. Cette vitesse est encore augmentée lors des 5 dernières foulées.

Le tableau suivant montre que la vitesse d'élan est généralement bien maintenue par les meilleurs lanceurs mais tombe un peu lors du "Hop" chez les femmes

Tableau 1 : Vitesses moyennes pendant l'élan et les 5 dernières foulées des finalistes des championnats du Monde 1987 (D'après MENZEL 1988)

Vitesse d'élan (m/sec)		Elan	5 dernières foulées			
Lanceur	Performance	Dernière foulée élan cyclique	Foulée 1 Préliminaire	Foulée 2 Placement	Foulée 3 Placement	Foulée 4 Impulsion Hop
Femmes	56,32m	6,0	5,8	6,1	6,0	5,6
Hommes	74,64m	6,6	6,4	6,6	6,5	6,5

Vitesses pendant les 5 dernières foulées

Le tableau ci dessous montre les vitesses pendant le placement du javelot et le Hop lors des 5 dernières foulées. les vitesses varient entre 5,5 et 7,6m/sec. Il y a jusqu'à 0,6m/sec de déviation individuelle chez les hommes et 0,8m/sec chez les femmes. Il n'y a pas de tendance uniforme visible chez les hommes. Certains compétiteurs augmentent progressivement leur vitesse , d'autres la laissent décroître . Les femmes ont tendance à accélérer sur les foulées 2 et 3 et à ralentir à l'impulsion du Hop.

Tableaux 2 – 3 : Vitesses d'élan des finalistes des championnats du Monde 1987 (D'après MENZEL 1988)

Hommes	Perf	Foulée 2	Foulée 3	Foulée 4	Femmes	Perf	Foulée 2	Foulée 3	Foulée 4
Raty	82,32m	6,8 m/sec	6,7	6,3	Whitbread	76,64m	6,6 m/sec	6,9	6,5
Zelezny	82,20m	6,9	7,2	6,8	Felke	71,76m	6,5	7,0	6,4
Pétranoff	80,46m	7,2	7,0	7,1	Peters	68,82m	6,7	6,8	6,3
Yevsyukov	80,34m	6,6	6,9	6,3	Sanderson	67,54m	6,8	7,0	6,4
Hill	78,14m	7,0	7,2	7,3	Lillak	66,82m	5,9	6,2	5,7
Mizogushi	77,78m	7,6	7,6	7,6	Ermolovich	65,52m	6,6	6,7	6,0
Wennlund	76,76m	6,2	5,5	5,7	Leal	64,90m	6,4	6,8	6,0
Shatilo	71,42m	7,2	7,5	7,5	Jung	57,96m	6,5	6,7	6,0

Longueur des foulées lors des 5 derniers appuis

Les tableaux suivant donnent la longueur des 4 dernières foulées du rythme en 5 appuis (Foulées de placement 2 et 3 , impulsion du Hop et foulée de blocage). Les types de foulées des finalistes des chpts du monde 1987 sont tous différents. Il y a une tendance à ce que le "Op" devienne la foulée la plus longue et vers un raccourcissement de la foulée de blocage. Chez les femmes , le Hop est toujours la plus grande foulée (à une seule exception près) et la foulée de blocage est toujours plus courte.

Tableaux 4-5 : Longueur des 4 dernières foulées du rythme en 5 appuis des finalistes des championnats du monde 1987 (D'après MENZEL 1988)

Hommes	Perf	Foul 2	Foul 3	Foul 4	Foul 5	Femmes	Perf	Foul 2	Foul 3	Foul 4	Foul 5
Raty	82,32m	1,42m	1,70m	2,29m	1,54m	Whitbread	76,64m	1,63m	1,56m	1,87m	1,47m
Zelezny	82,20m	1,52m	1,81m	1,56m	1,42m	Felke	71,76m	1,42m	1,68m	2,17m	1,33m
Pétranoff	80,46m	1,35m	1,68m	2,25m	1,54m	Peters	68,82m	1,57m	1,94m	1,95m	1,52m
Yevsyukov	80,34m	1,89m	2,18m	2,74m	1,47m	Sanderson	67,54m	1,53m	1,78m	1,84m	1,50m
Hill	78,14m	1,68m	1,86m	2,40m	1,54m	Lillak	66,82m	1,32m	1,47m	1,52m	1,62m
Mizogushi	77,78m	1,72m	2,06m	1,26m	1,51m	Ermolovich	65,52m	1,51m	1,91m	2,19m	1,43m
Wennlund	76,76m	1,57m	1,63m	1,41m	1,43m	Leal	64,90m	1,66m	2,06m	2,08m	1,42m
Shatilo	71,42m	2,10m	1,92m	2,64m	1,57m	Jung	57,96m	1,42m	1,78m	1,87m	1,45m

Chemins d'accélération , Vitesse d'éjection , angle de projection et hauteur de projection

Les chemins d'accélération des hommes varient entre 1,38m et 1,94m et celui des femmes entre 1,28m et 1,55m

Tableaux 6 – 7 : Chemins d'accélération (en m) , vitesse d'éjection (m/sec) , angles de projection (°) , angles d'attitude (°) et hauteur de lâcher de l'engin (m) chez les finalistes des championnats du monde 1987 (D'après MENZEL)

Hommes	Perf M	Chem Accélé	Vites Eject	Angle Project	Angle Attitu	Haut Lâcher	Femmes	Perf	Chem Accélé	Vies Eject	Angle Project	Angle Attitu	Haut Lâcher
Raty	82,32	1,94	29,6	37	33	1,81	Whitbread	76,64	1,54	27,3	39	40	1,49
Zelezny	82,20	1,59	30,0	37	40	1,64	Felke	71,76	1,28	27,1	35	38	1,47
Pétranoff	80,46	1,83	29,1	33	40	1,72	Peters	68,82	1,38	26,4	32	39	1,64
Yevsyukov	80,34	1,38	28,2	38	33	1,71	Sanderson	67,54	1,41	25,5	34	37	1,47

Hill	78,14	1,93	29,2	35	38	1,69		Lillak	66,82	1,41	26,0	36	37	1,69
Mizogushi	77,78	1,54	27,4	36	37	1,57		Ermolovich	65,52	1,44	25,4	33	41	1,59
Wennlund	76,76	1,69	27,1	37	30	1,69		Leal	64,90	1,33	24,9	41	48	1,52
Shatilo	71,42	1,66	27,9	31	35	1,81		Jung	57,96	1,55	24,4	35	33	1,55

Les vitesses d'éjection - le facteur le plus important influençant la distance – se situent entre 27,1 et 30m/sec chez les hommes et 24,4 à 27,3 m/sec chez les femmes . Dans l'idéal l'angle de projection et l'angle d'attitude devraient être confondus (l'angle de projection le plus favorable étant entre 30 et 36°) . Pour les hommes , les angles de projection varient entre 31 et 38° et pour les femmes entre 33 et 48°. La hauteur de lâcher de l'engin varie entre 1,57 et 1,81m chez les hommes et 1,47 à 1,69m chez les femmes.