



Rapport de recherche :

Biomécanique de la course de vitesse

Etude de la préparation de la pose de l'appui

Cette étude a été commandée par VALLAEYS Olivier entraîneur national Français sur le pôle France d'athlétisme de l'INSEP, en collaboration avec le laboratoire de Biomécanique de l'INSEP

Rodolphe DARSAU-CARRE

Juin 2009

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION : | 5 |
| I. Revue de littérature : | 6 |
| II. Méthodologie : | 16 |
| A. Dispositif expérimental : | 16 |
| B. Acquisition et traitements des données : | 18 |
| 1. Acquisition des données vidéo :..... | 18 |
| 2. Traitement des données :..... | 25 |
| 3. Présentation de données retenues pour cette étude :..... | 27 |
| a) Caractéristiques générales de la poulaine :..... | 27 |
| b) Caractéristiques de l'appui :..... | 28 |
| c) Caractéristiques dynamiques du griffé :..... | 29 |
| d) Caractéristiques géométriques du griffé :..... | 30 |
| III. Présentation des résultats : | 32 |
| A. Caractéristiques générales de la poulaine : | 32 |
| B. Caractéristiques de l'appui : | 33 |
| C. Caractéristiques dynamiques du griffé : | 34 |
| D. Caractéristiques géométriques du griffé : | 35 |
| E. Analyse statistique : | 36 |
| 1. Influence positive de paramètres sur la préparation du pied à la pose de l'appui :..... | 37 |
| 2. Importance de la qualité d'inversion du mouvement lors de la préparation du pied à la pose de l'appui :..... | 38 |
| 3. Grand cycle avant néfaste à la préparation du pied à la pose de l'appui :..... | 39 |
| 4. Discussion de l'indice de griffé proposé par Françoise Natta :..... | 41 |
| IV. Conclusion | 46 |
| ANNEXES | 48 |
| BIBLIOGRAPHIE | 56 |

FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Structure de l'impulsion en sprint | 7 |
| Figure 2 : Force antéropostérieure | 9 |
| Figure 3: Représentation de l'indice de griffé proposé par Françoise Natta. | 11 |
| Figure 4: schéma du dispositif expérimental..... | 17 |
| Figure 5: Illustration du matériel mis en place pour l'étude..... | 18 |
| Figure 6: Illustration du placement des marqueurs sur le sujet..... | 19 |
| Figure 7: Principal caractéristique de l'image. | 19 |
| Figure 8: Phase de calibration du logiciel | 21 |
| Figure 9: Illustration de la calibration du logiciel. | 22 |
| Figure 10: Calibration de la base temps. | 22 |
| Figure 11: tracking des vidéos. | 23 |
| Figure 12: Placement des repers anatomiques. | 24 |
| Figure 13: Tracking automatique des points | 25 |
| Figure 14 : Caractéristiques générales de la poulaine. | 27 |
| Figure 15 : Tableau récapitulatif des caractéristiques générales de la poulaine. | 27 |
| Figure 16 : Caractéristiques de l'appui. | 28 |
| Figure 17 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de l'appui. | 28 |
| Figure 18 : Caractéristiques dynamiques du griffé | 29 |
| Figure 19 : Tableau récapitulatif des caractéristiques dynamiques du griffé..... | 29 |
| Figure 20 : Caractéristiques géométriques du griffé. | 30 |
| Figure 21 : Tableau récapitulatif des caractéristiques géométriques du griffé. | 30 |
| Figure 22 : Poulaine Massiré 1er essai | 43 |
| Figure 23 : Poulaine Massiré 2ème essai | 43 |

TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Indice de Griffé de Françoise NATTA | 12 |
| Tableau 2: caractéristiques des sujets de l'étude. | 16 |
| Tableau 3 : Etapes successives nécessaire à l'obtention de la poulaine poulaine..... | 26 |
| Tableau 4:Tableau des valeurs retenu pour l'analyse statistique de la préparation de la pose du pied à l'appui | 36 |
| Tableau 5 : Définition des niveaux de corrélations..... | 36 |
| Tableau 6 : Tableau de corrélation de paramètres positif sur la préparation du pied à la pose de l'appui. | 37 |
| Tableau 7 : Tableau de corrélation de l'importance de la qualité du mouvement à la pose de l'appui. | 38 |
| Tableau 8 : Tableau de corrélation de d'un cycle avant néfaste. | 39 |
| Tableau 9 : Tableau de corrélation de la discussion de l'indice de Natta..... | 41 |
| Tableau 10 : Coefficient de corrélation de Différentielle des vitesses à la pose..... | 48 |
| Tableau 111 : Coefficient de corrélation de Vitesse horizontale du pied / Hanche à la pose .. | 49 |
| Tableau 122 : Coefficient de corrélation de : Vitesse du pied / Hanche 80ms avt pt d'inversion | 50 |
| Tableau 133 : Coefficient de corrélation de : Vitesse du pied / Hanche à 80ms après pt d'inversion | 50 |
| Tableau 144 : Coefficient de corrélation de : Accélération d'inversion du mouvement | 51 |
| Tableau 155 : Coefficient de corrélation de : % de vitesse à 80ms du pt d'inversion par rap à sa vitesse à -80ms..... | 51 |
| Tableau 166 : Coefficient de corrélation de : % de vitesse horizontale du pied / Hanche par rap à la vitesse à la pose | 52 |
| Tableau 177 : Coefficient de corrélation de : Distance max du pied en avt de la hanche | 52 |
| Tableau 18 : Coefficient de corrélation de : Hauteur du point d'inversion | 53 |
| Tableau 19 : Coefficient de corrélation de : Longueur de ramener du pied sous la hanche | 53 |
| Tableau 200 : Coefficient de corrélation de : Distance entre la pose du pied et le pt d'inversion | 54 |
| Tableau 211 : Coefficient de corrélation de : Recul du pied par rap à la distance max du pied en avant de la hanche | 54 |
| Tableau 222 : Coefficient de corrélation de : Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche..... | 55 |

INTRODUCTION :

Cette étude fait suite à une commande d'un entraîneur du pôle France d'athlétisme soucieux de vouloir étudier la préparation du pied à la pose de l'appui dans la course à vitesse maximale.

Une première étude qui avait pour objet la comparaison de routine d'entraînement avec l'activité de vitesse maximale, a répertorié, autour de la poulaine, des indicateurs permettant d'analyser cette période particulière de la foulée de la course.

Lors de cette première étude, l'analyse de la course à vitesse maximale a permis d'élaborer sur un groupe restreint d'athlètes deux hypothèses et l'enrichissement de la définition du griffé.

Il s'agit donc aujourd'hui de vérifier que ces hypothèses et cette définition, fonctionnent sur un groupe plus large d'athlètes.

I. Revue de littérature :

La course à pied fait depuis longtemps l'objet de nombreuses études biomécaniques. Dans un souci de retranscrire plus précisément la réalité, ces recherches demandent aujourd'hui l'utilisation d'outils toujours plus perfectionnés.

L'analyse du mouvement humain commence très tôt dans l'histoire de l'Antiquité. On retrouve chez Aristote (384-322 av JC) la description de plusieurs phases de la foulée de course.

Mais c'est à la fin du XIXe siècle, avec l'apparition de la chronophotographie, que Marey et Demeny [1] vont révolutionner les études du mouvement. Leur fusil photographique leur permet alors d'obtenir une représentation d'un geste moteur en 20 images par seconde.

Avec l'arrivée des caméras rapides, nous disposons aujourd'hui d'outils capables de réaliser des prises de vue pouvant aller jusqu'à 2000 images par seconde, sur les trois axes du mouvement, en utilisant par exemple le système Vicon.

Hubiche et Pradet [2] définissent la course comme un mode de déplacement avec un souci de vitesse et d'économie en effectuant une succession de bonds séparés par des appuis unipodaux.

Ces successions de bonds comportent des phases d'appuis correspondant au moment où le coureur est en contact avec le sol et des phases aériennes où la trajectoire du centre de gravité est parabolique à concavité vers le bas, trajectoire caractérisée par sa portée, distance parcourue par le centre de gravité de l'athlète qui sépare deux phases d'appui, et par sa flèche correspondant à la hauteur de déviation de la trajectoire. Ces paramètres sont influencés par la vitesse du coureur et l'angle d'envol qui correspond à la déviation de la trajectoire par rapport à l'horizontale.

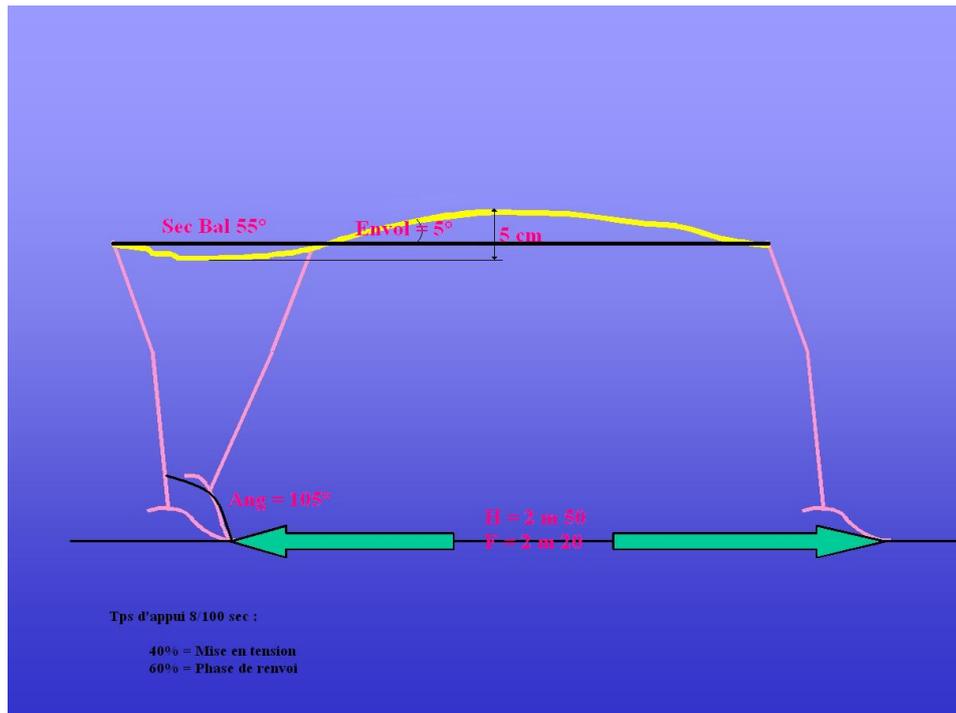


Figure 1 : Structure de l'impulsion en sprint

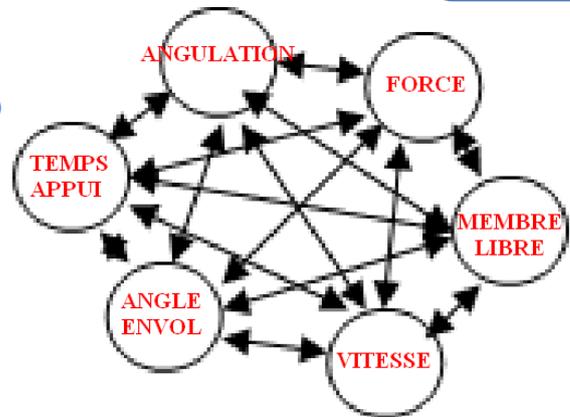
Nous nous intéressons dans cette étude uniquement à la course à vitesse maximale, dans sa séquence de vitesse élevée établie.

Dans cette phase, les oscillations de la trajectoire du centre de gravité du sprinteur sont très faibles. On parle d'oscillations comprises entre 4 et 9 cm pour Natta en 2001[3], ou encore de 4,6 à 8,5cm pour Cöhet coll. en 1999 [4]. Mero et coll. en 1982 [5] considèrent même que les meilleurs sprinteurs se distinguent par une variation de pic à pic significativement inférieure. Ces oscillations sont la conséquence des phases d'appuis, seul moment où l'athlète peut agir sur la déviation de sa trajectoire. Cette phase d'appui de la course de vitesse se caractérise pour les meilleurs sprinteurs par une brièveté des appuis au sol (Natta 2001 [3], Mero et Komi 1986 [6]).

A.PIRON a schématisé une « structure motrice différenciée » liée à la structure motrice (4 principes moteurs) qui relie entre elles différentes variables qui organisent l'impulsion de l'athlète. Cette structure est dynamique, c'est-à-dire que les relations entre ses éléments varient sans cesse mais tout en conservant l'équilibre général de la structure. Celle-ci est composée des éléments suivants :

6 paramètres vont faire varier la structure de l'appui en sprint :

- Le temps de contact au sol
- La force spécifique (3 fois le poids du corps)
- La vitesse du coureur
- La longueur du membre libre
- L'angulation 105°
- L'angle d'envol $3 / 5^\circ$



Pour observer le comportement moteur du coureur, de nombreux auteurs ont utilisé la poulaine. (Piasenta 1988 [12], 1994 [13]) Gager 1995 [14]).

La poulaine correspond à la trajectoire du pied par rapport à un point fixe du corps, qui peut être l'oreille ou la hanche.

Ces deux poulaines ont été comparées par Gérard dans une thèse parue en 2003 [15].

Cet auteur nous indique que la poulaine d'oreille n'est pas plus corrélée aux indicateurs de la performance que celle de la hanche. Toutefois, elle permet de prendre en considération les mouvements du tronc, facteur très intéressant pour étudier l'évolution du mouvement en fonction de l'âge. Pour des sujets experts qui ont résolu les problèmes de placement, il semblerait que le référentiel de la hanche apparaisse comme tout à fait satisfaisant, d'autant plus que, lors de la phase de conservation de vitesse, la hanche est corrélée à ($r = 0,94$) avec le centre de gravité du coureur. (Nata 2006 [16])

La représentation du trajet du pied par rapport à la hanche a été validée par Bruno GAJER en 1995 [14] comme étant un bon indicateur pour représenter la technique de course du coureur. Selon lui ce référentiel serait un bon moyen d'apprécier la technique de course de nos coureurs et mettre en évidence les ajustements individuels de nos athlètes.

Sur le plan dynamique, la phase d'impulsion du sprinteur peut être caractérisée par les forces de réaction du sol verticales et antéropostérieures. Les forces verticales nous renseignent sur l'importance des forces exercées au sol par notre sprinteur, qui sont proches de trois fois le poids du corps, elles participent à l'inversion verticale du mouvement. Les forces antéropostérieures produisent les accélérations et décélérations horizontales du centre de gravité (CG) sur l'appui, elles renseignent sur les impulsions produites dans le sens du déplacement.

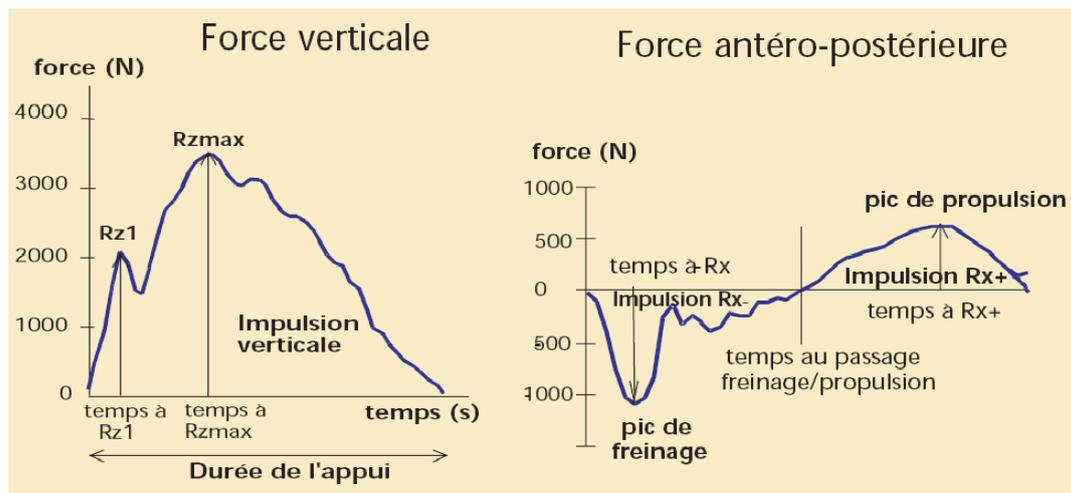


Figure 2 : Force antéropostérieure

Le premier pic de force antéropostérieure, appelé pic d'impact, résulte de la collision du pied avec le sol lors de la pose d'appui. Il coïncide avec l'apparition du pic de freinage horizontal. L'efficacité mécanique de notre sprinteur passe par une réduction de ce pic d'impact pour limiter les forces frénatrices sur l'appui.

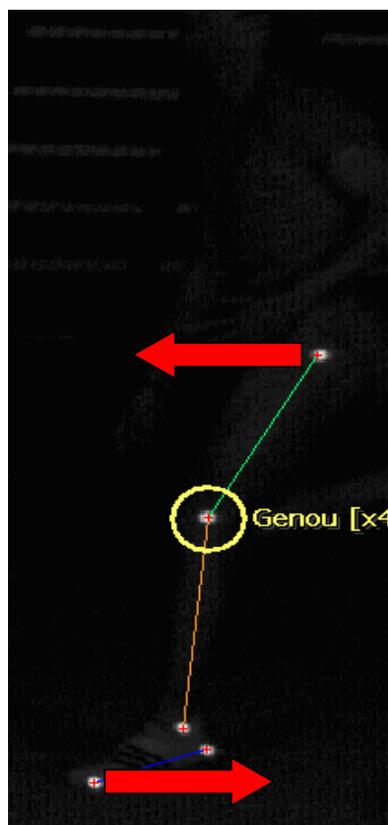
Un freinage important sur l'appui est le signe d'un choc important du pied avec le sol. Cela nuit à l'efficacité du coureur. Les résultats de Natta et coll. en 2001, conformément à ceux de la littérature (Mann & Herman, 1985 [8] ; Wood, 1987 [9]), montraient que la vitesse relative du pied par rapport à la hanche à la prise de contact avec le sol, jouait un rôle dans la réduction du freinage horizontal à l'appui ($r=-0.71$).

La préparation de la pose de l'appui est donc une phase primordiale de la foulée du coureur.

Pour amortir le choc qui se propage sur tout le système squelettique, consécutivement à la pose d'appui au sol, des ajustements segmentaires seraient mis en place par le coureur comme la flexion du membre inférieur sur l'appui, (Hamill et coll. (1995) [10]).

Il est démontré en 1987 par Mac Mahon et coll. [11], qu'une flexion supplémentaire de 14% sur l'appui augmenterait de 40% le coût métabolique de la course. Si on ajoute à cela que la brièveté de l'appui serait en relation avec un faible déplacement vertical du centre de gravité sur l'appui, on comprend alors pourquoi le sprinteur doit chercher une raideur de la jambe d'appui lui conférant ainsi une meilleure efficacité mécanique allant dans le sens de la réduction du temps de contact au sol.

Les résultats de Natta et coll. en 2001, conformément à ceux de la littérature (Mann & Herman, 1985 [8] ; Wood, 1987 [9]), montraient que la vitesse relative du pied par rapport à la hanche à la prise de contact avec le sol jouait un rôle dans la réduction du freinage horizontal à l'appui. Le sprinteur devra donc rechercher à animer son pied de la plus grande vitesse vers l'arrière afin de limiter le blocage à l'appui. Cette action du pied avant la pose de l'appui est communément appelée griffé.



A partir des travaux d'Alain Piron, George Gacon [17] a défini le griffé comme un mouvement d'avant en arrière et du haut vers l'arrière.

Ce mouvement rapide du pied vers l'arrière va permettre de limiter la vitesse relative par rapport au sol et éviter un freinage important à la pose d'appui. Sur le plan biomécanique, il favoriserait la bascule du bassin en rétroversion associée à l'action de raccourcissement des ischios-jambiers.

Cette phase de préparation à la pose de l'appui a été objectivée par Françoise Natta en 2003 [18], par un indice de griffé représentant la part prise par le retour du pied en arrière sur la distance totale parcourue par le pied en avant de la hanche dans le référentiel mobile de la hanche.

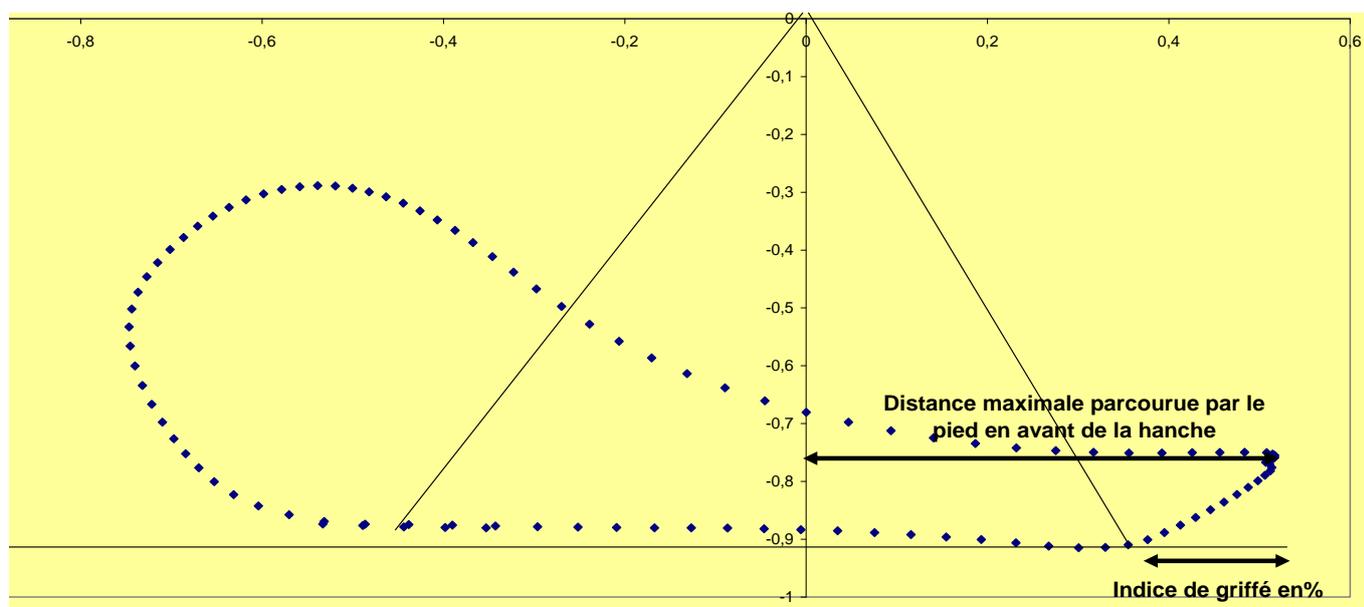


Figure 3: Représentation de l'indice de griffé proposé par Françoise Natta.

Plus cet indice de griffer est élevé, plus la distance horizontale par rapport à la hanche sera petite. Les résultats obtenus dans cette étude montrent que plus cette distance est faible plus la phase de freinage horizontal de l'appui sera réduite ($r = -0,71$) et ce grâce à une plus grande vitesse du pied par rapport au sol.

Le tableau n°1 emprunté à cet auteur représente les différences d'organisation entre les sprinteurs très experts et les sprinteurs experts. Il est clairement mis en évidence ici que

l'augmentation de l'indice de griffé (de 36 à 70%) va augmenter la vitesse du pied par rapport à la hanche (-8,21 contre -7,11) et va permettre une diminution de l'impulsion de freinage (-16,56 contre -24,16). Un indice de griffé important limitera également la flexion du genou sur l'appui ce qui, comme nous l'avons vu précédemment, permettra un temps de contact au sol plus bref.

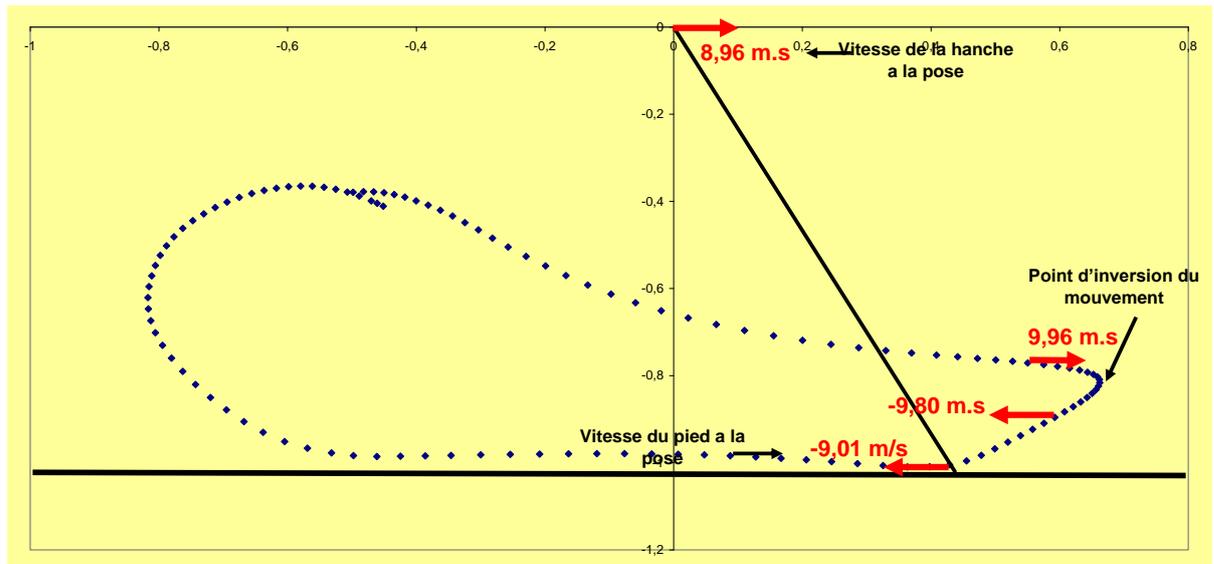
| | Très expert | Expert |
|---------------------------------------|--------------------|---------------|
| Indice de "griffé" (%) | 70 | 36 |
| Amplitude du "griffé" (m) | 0,46 | 0,21 |
| Distance hor. pied-hanche au posé (m) | 0,2 | 0,38 |
| Vitesse pied/hanche au posé (m.s-1) | -8,21 | -7,11 |
| Impulsion freinage normal. (x fois P) | -16,56 | -24,16 |
| Distance verticale pied-hanche (m) | -0,24 | -0,23 |
| Amplitude en avant de la hanche (m) | 0,66 | 0,59 |
| Amplitude du cycle arrière (%) | 52 | 58 |
| Angle maximum cuisse-verticale (°) | 74 | 62 |
| Angle minimum du genou (°) | 37 | 46 |

Tableau 1 : Indice de Griffé de Françoise NATTA

Lors de notre première étude (Darsau (2008) [20]) ,nous avons critiqué cet indice de griffé, sur le fait que les résultats de la part prise par le recul du pied ne suffirait pas à identifier un griffé efficace. Si cet indice permet une représentation de la tentative de réduction de la distance entre la verticale abaissée de la hanche et le pied à la pose, il n'évoluerait pas en fonction du différentiel de vitesse entre la hanche et la vitesse du pied par rapport à la hanche.

Il évoque également un concept de qualité d'inversion du mouvement de la chaîne postérieure qui pourrait être responsable selon lui de la vitesse à laquelle le pied va être animé par rapport au référentiel de la hanche.

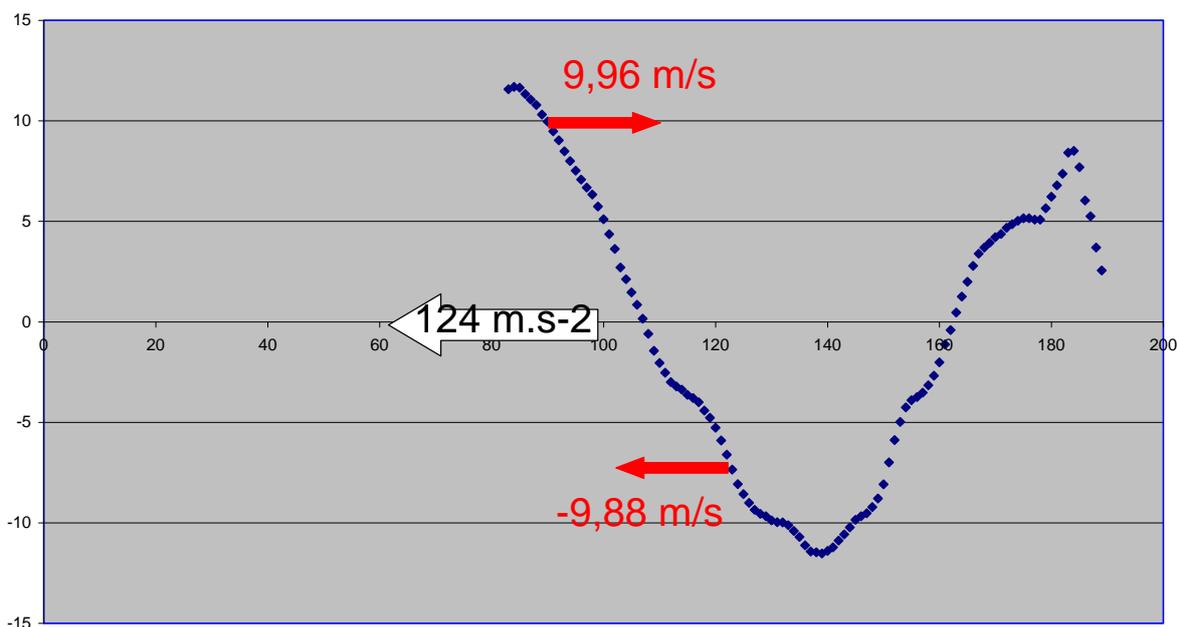
Lors de son étude de cas, le sujet qui se distingue de la plus grande différence entre sa vitesse de hanche et de pied par rapport à la hanche à la pose, se distingue par sa capacité à retrouver une vitesse importante du pied après le point d'inversion du mouvement par rapport à la hanche.



Vous trouvez ci-dessous un graphique représentant la vitesse du pied par rapport à la hanche autour des 80 m/s en avant et en arrière du point d'inversion.

Vous observerez que le pied passe sur une période de 160m/s d'une vitesse de 9,96 m/s, à une vitesse de sens opposé de -9,88m/s, en passant au milieu de cette période par une vitesse nulle. L'inversion du sens du pied sur cette période a nécessité une accélération colossale vers l'arrière de $124\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. Cette accélération caractérise le travail de la chaîne postérieure, fonctionnant sur le mode de contraction étirement/raccourcissement.

Vitesse du pied par rapport a la hanche



L'accélération nécessaire à l'inversion du mouvement a permis, à l'individu qui s'est distingué du groupe, d'obtenir une vitesse de pied par rapport à la hanche supérieure, à la vitesse de la hanche à la pose de l'appui, caractéristique qui est l'un des pré-requis à une bonne préparation à la pose de l'appui. L'inversion du mouvement pourrait donc être une qualité dans la recherche d'une bonne préparation du pied à la pose de l'appui.

Nous ne concevons plus le griffé comme un simple mouvement de l'avant vers l'arrière et du pied de haut en bas, mais nous ajoutons à cette période de la foulée l'inversion du mouvement qui si elle est correctement effectuée permettra de résoudre un double problème moteur :

Par la recherche d'un pied animé d'une vitesse par rapport à la hanche la plus importante possible et où la pose de l'appui se fera le plus près de la verticale abaissée de la hanche.

Cette revue de littérature met l'accent sur l'importance d'une bonne préparation du pied du sprinteur avant le contact au sol. Un pied mal préparé au contact au sol peut, avant même la pose de l'appui, avoir des conséquences sur la phase d'appui qui en découle, ce qui semble négatif à la performance, comme l'augmentation du pic de freinage, de la flexion sur l'appui et du temps de contact au sol.

Cette étude va s'inscrire dans la continuité de celle réalisée en 2008 (Quièvres et Darsau [19]) avec comme objectif de vérifier sur un groupe plus large de sprinteurs les hypothèses émises lors de leur étude de cas sur quatre sprinteurs.

Notre premier objet d'étude sera d'évaluer le rôle de l'inversion du mouvement dans la recherche de l'amélioration de la phase de préparation du pied à la pose de l'appui.

Notre première hypothèse sera donc que la qualité d'inversion du mouvement, dans la capacité à retrouver une vitesse importante du pied vers l'arrière après le point d'inversion, engendrerait un comportement efficace de la préparation du pied à la pose de l'appui.

Si cette hypothèse se confirme, nous pourrions alors valider le fait que par son rôle fonctionnel dans la préparation du pied, l'inversion du mouvement doit être intégrée à la définition du griffé.

Notre second objet d'étude sera d'affiner les paramètres à retenir pour l'analyse du griffé, notamment au niveau de la pertinence de l'indice de griffé proposé par Françoise Natta en 2003. [18]

L'hypothèse que nous faisons ici est que cet indice ne caractérise pas fidèlement le griffé car il serait trop dépendant de l'amplitude maximale du pied en avant de la hanche, mais aussi que certains des indicateurs retenus lors de l'étude de Darsau et Quièvres en 2008 sont redondants ou superflus, et qu'il convient de ne retenir que les paramètres pertinents pour l'analyse de la préparation du pied à la pose de l'appui.

II. Méthodologie :

A. Dispositif expérimental :

Cette expérimentation s'est déroulée sur la piste d'athlétisme synthétique dans la halle Joseph MAIGROT de l'INSEP, sur 9 athlètes appartenant à un groupe d'entraînement du pôle France d'athlétisme de l'INSEP. Vous retrouvez dans le tableau n° 1 les caractéristiques complètes de ces sujets.

| Nom | Age | Poids | Taille | Sexe | Spécialité | Niveau de performance |
|---------|-----|-------|--------|----------|---------------------------------|-----------------------|
| Samuel | 21 | 80 | 187 | Masculin | 110m Haies | IB |
| Adrien | 20 | 76 | 186 | Masculin | 400m haies | N2 |
| Yann | 21 | 78 | 181 | Masculin | 100/200m | N2 |
| Stevy | 21 | 78 | 192 | Masculin | 110m Haies | N2 |
| Edgard | 28 | 80 | 178 | Masculin | 100m (guide paralympique) | N2 |
| Massiré | 22 | 75 | 183 | Masculin | 110m Haies | N2 |
| Carl | 19 | 80 | 183 | Masculin | 110m Haies | N2 |
| Feta | 21 | 58 | 160 | féminin | 100/100m haies | N1 |

Tableau 2: caractéristiques des sujets de l'étude.

Le souhait des entraîneurs a été de réaliser cette étude lorsque les athlètes étaient capable d'exprimer tout leur potentiel de vitesse, pour se faire, les mesures ont été réalisées en pleine période de compétition, dans la semaine qui a précédé les championnats de France jeune.

Cette étude voulant observer les comportements des sprinteurs lors de la phase de conservation de vitesse, nous nous sommes basés sur le dispositif expérimental proposé par REGA et NATTA en 2003 [7]. Pour se lancer, les athlètes ont disposé d'une distance de 40 mètres parcouru à pleine vitesse.

Les athlètes sont ensuite passés sur une zone de 10 mètres chronométré par des cellules photoélectriques où étaient disposés au milieu de cette zone, 8 mètres linéaires de plate-forme de force ainsi que trois caméras rapides.



Figure 4: schéma du dispositif expérimental.

Les athlètes ont chacun réalisé deux essais, entrecoupés d'une période de 6 minutes de récupération entre les deux courses.

B. Acquisition et traitements des données :

1. Acquisition des données vidéo :

Les données sont obtenues à l'aide de trois caméras rapides et de 6 projecteurs de 1000 watts placés perpendiculairement au déplacement du sujet. L'enregistrement des données est réalisé à l'aide du logiciel Photron Fastcam. Viewer 2.0.



Figure 5: Illustration du matériel mis en place pour l'étude.

Pour mesurer les organisations motrices qui nous intéressent, il était nécessaire d'équiper les sujets de marqueurs au niveau de la pointe du pied, le talon, la malléole, l'axe de rotation du genou et de la hanche. Les marqueurs de la pointe du pied et de l'axe de rotation de la hanche nous permettront de construire la poulaine.

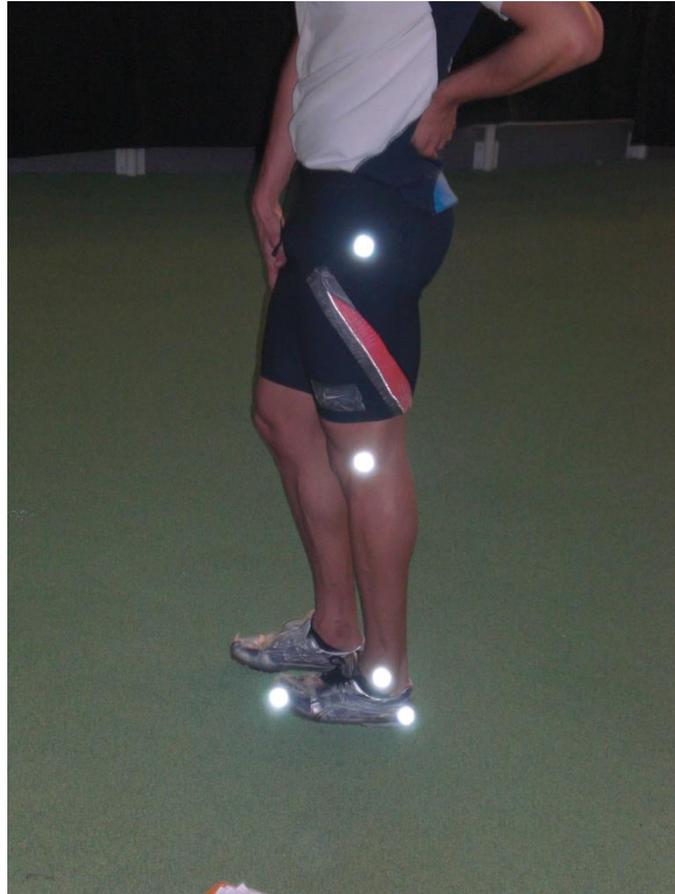


Figure 6: Illustration du placement des marqueurs sur le sujet.

Les paramètres principaux de l'image sont les suivants : La fréquence d'échantillonnage des caméras était placée à 250 images par seconde, ce qui correspond à une information toutes les 0,004 secondes. Le shutter est au 1/1000 sec. La résolution est de 512 x 480.

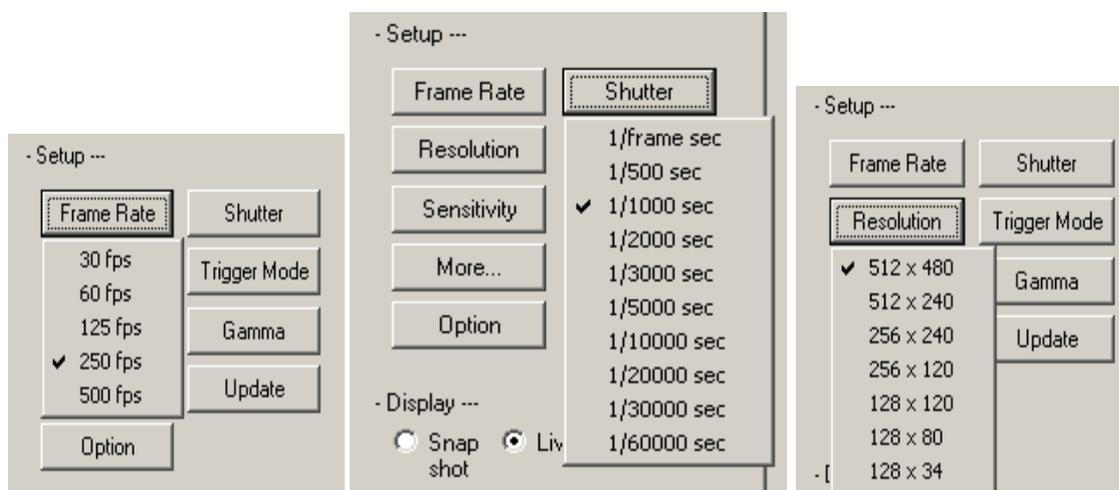


Figure 7: Principal caractéristique de l'image.

Le traitement des données a été réalisé à l'aide du logiciel SIMI Motion 3D, qui permet de transformer nos données vidéos en données numériques, renseignant de l'évolution de nos marqueurs sur les axes X et Y.



Pour fonctionner il est nécessaire de renseigner le logiciel sur les paramètres dimensionnel de l'image afin qu'il transforme les données vidéos en pixel en des données qui corresponde au distance réel en mètre, ainsi que de la fréquence de l'enregistrement des vidéos. C'est la phase de calibration du logiciel.

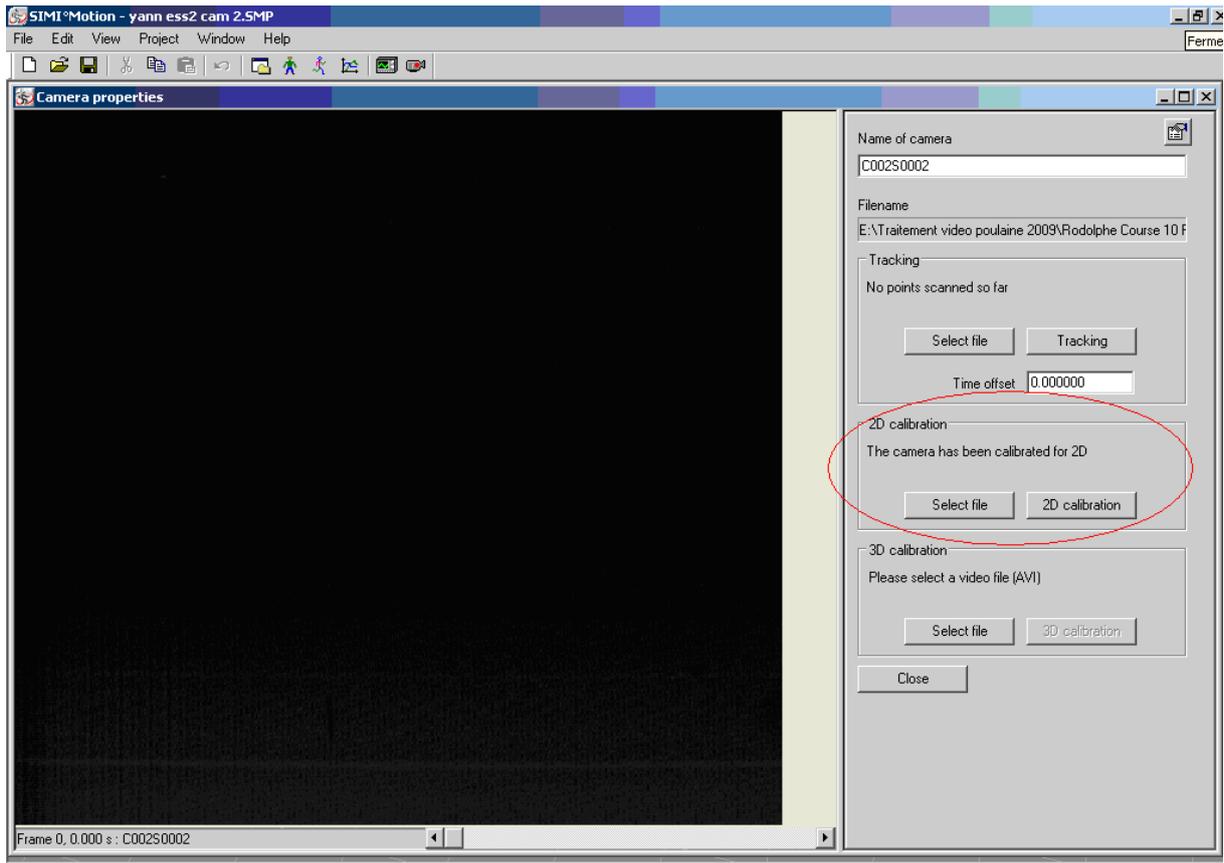


Figure 8: Phase de calibration du logiciel

Pour définir ces paramètres dimensionnels de l'image, il a été nécessaire de tourner pour chacune des trois caméras quelques images d'un repère orthonormal où était placé sur l'axe X et Y des marques espacées d'une distance de 140 cm, de l'origine.

Pour chacune de ces caméras correspondent une calibration s'obtenant en renseignant les coordonnées et l'origine du repère orthonormé et la distance réelle entre ces différents points.

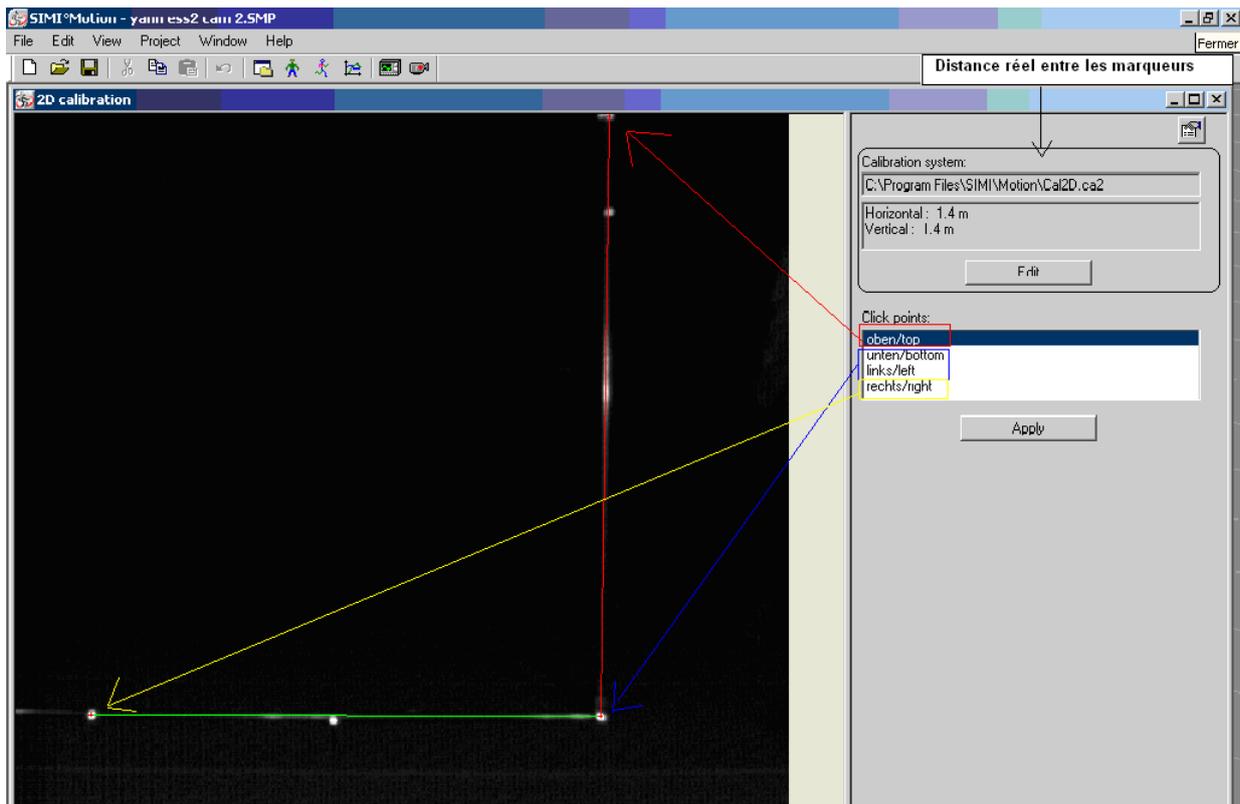


Figure 9: Illustration de la calibration du logiciel.

Cette calibration sera utilisée pour l'ensemble des vidéos correspondant à la caméra calibré. Il est ensuite nécessaire de définir la fréquence à laquelle ces vidéos ont été enregistré par la caméra rapide, soit pour notre étude 250 HZ.

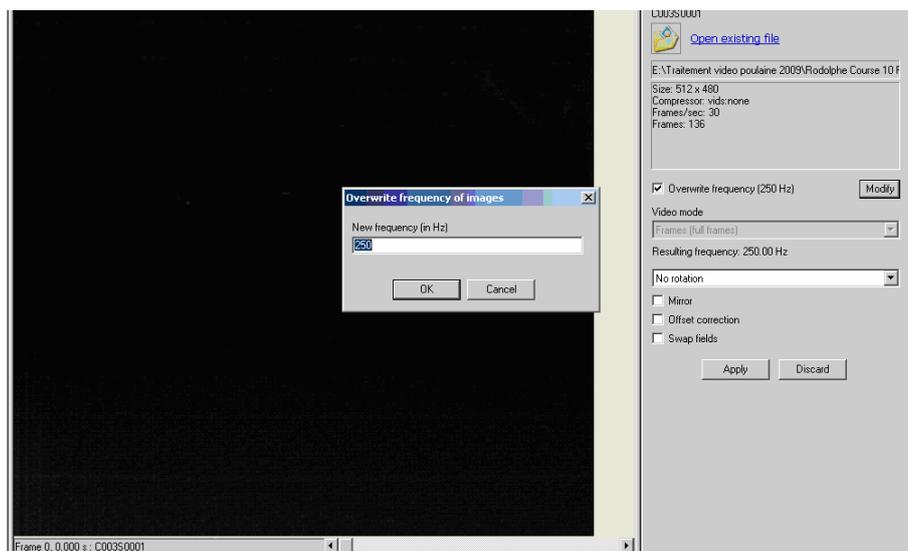


Figure 10: Calibration de la base temps.

Une fois que la calibration des paramètres dimensionnels de l'image et de la base temps ont été réalisés, le tracking des vidéos ont pu être réalisé.

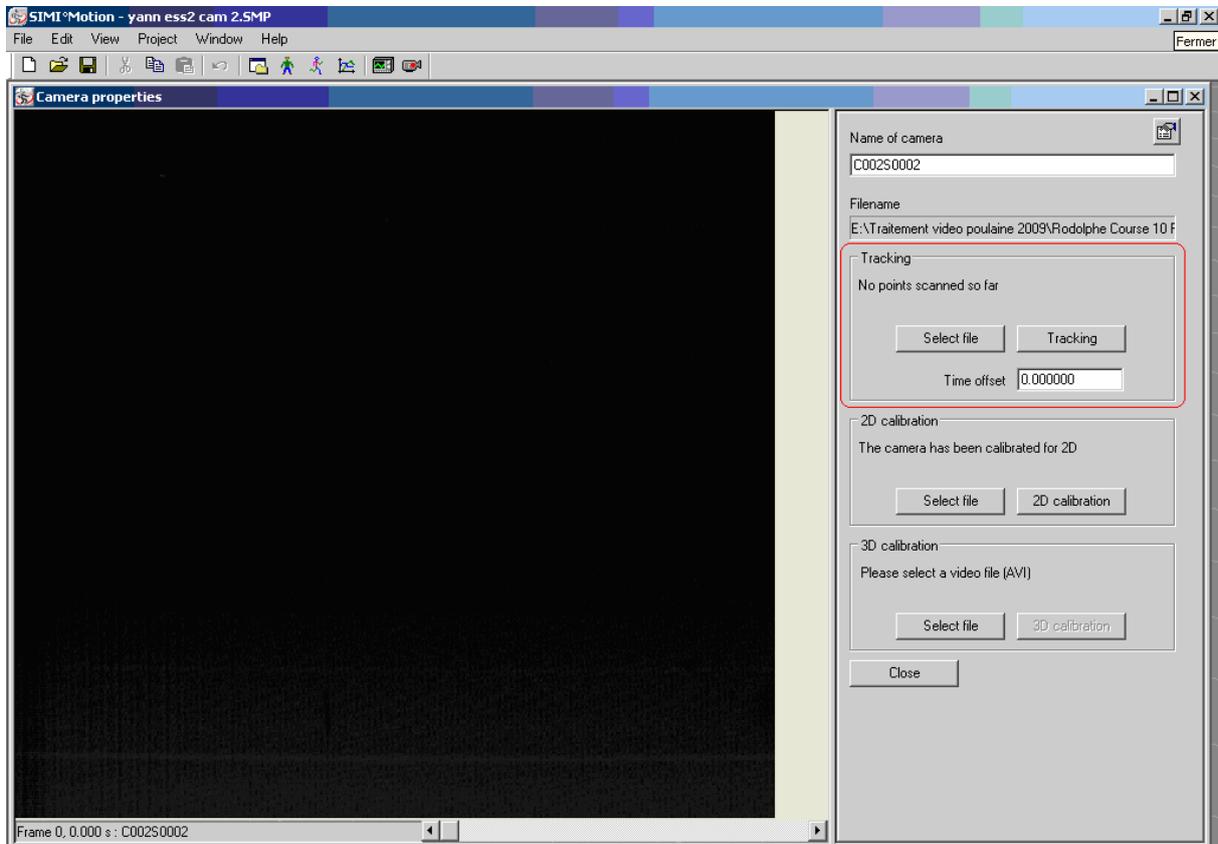


Figure 11: tracking des vidéos.

Après avoir créé dans le logiciel les cinq points correspondant à la pointe du pied le calcaneum, la malléole, le genou et la hanche, l'opérateur sélectionne pour chacun de ces points le marqueur correspondant, pour plus de précision un zoom de la zone du curseur apparaît en bas de l'écran.

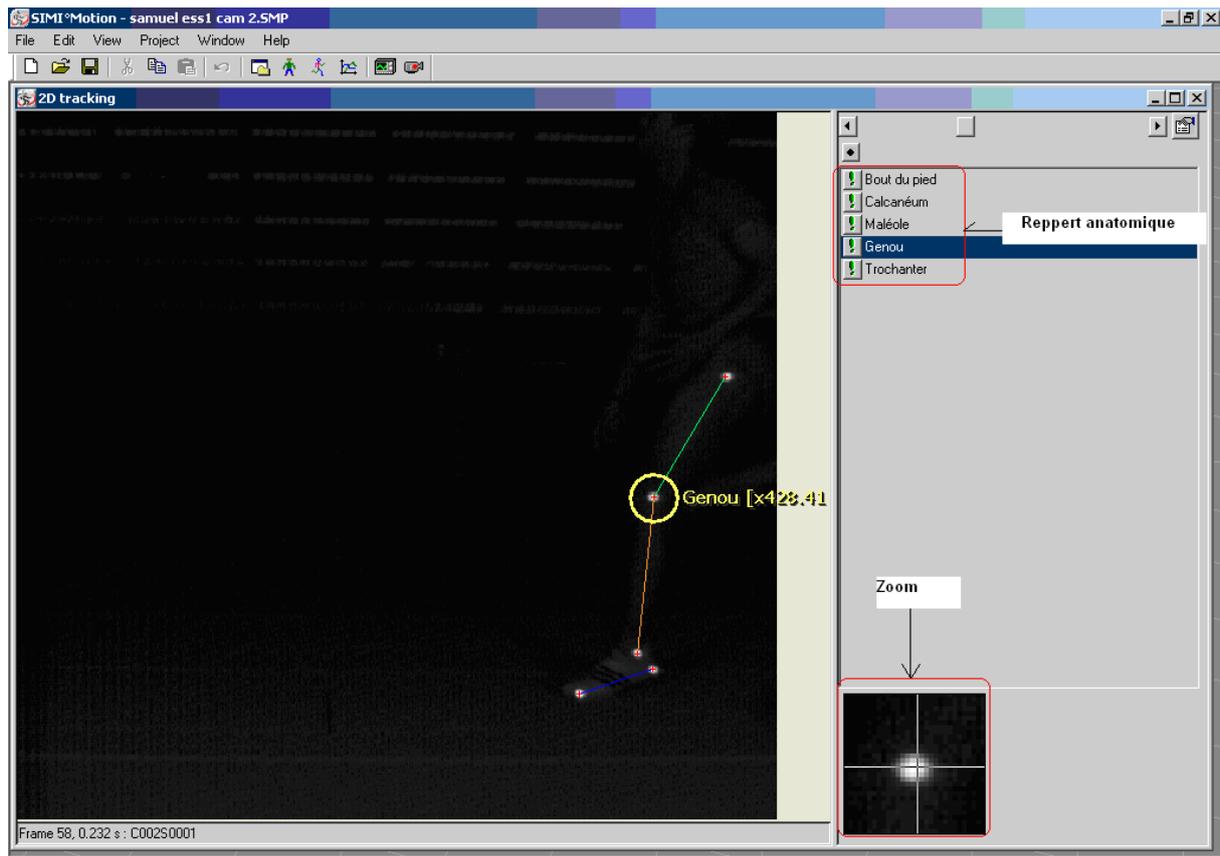


Figure 12: Placement des reperts anatomiques.

Une fois les marqueurs placés, le tracking sera automatiquement réalisé à partir de l'onglet « track automatically all points). Il a été quelques fois nécessaire de replacer à manuellement les points perdu par ce tracking automatique (principalement pour la malléole). Un filtre a ensuite été passé afin de lisser les trajectoires de chaque repère anatomique.

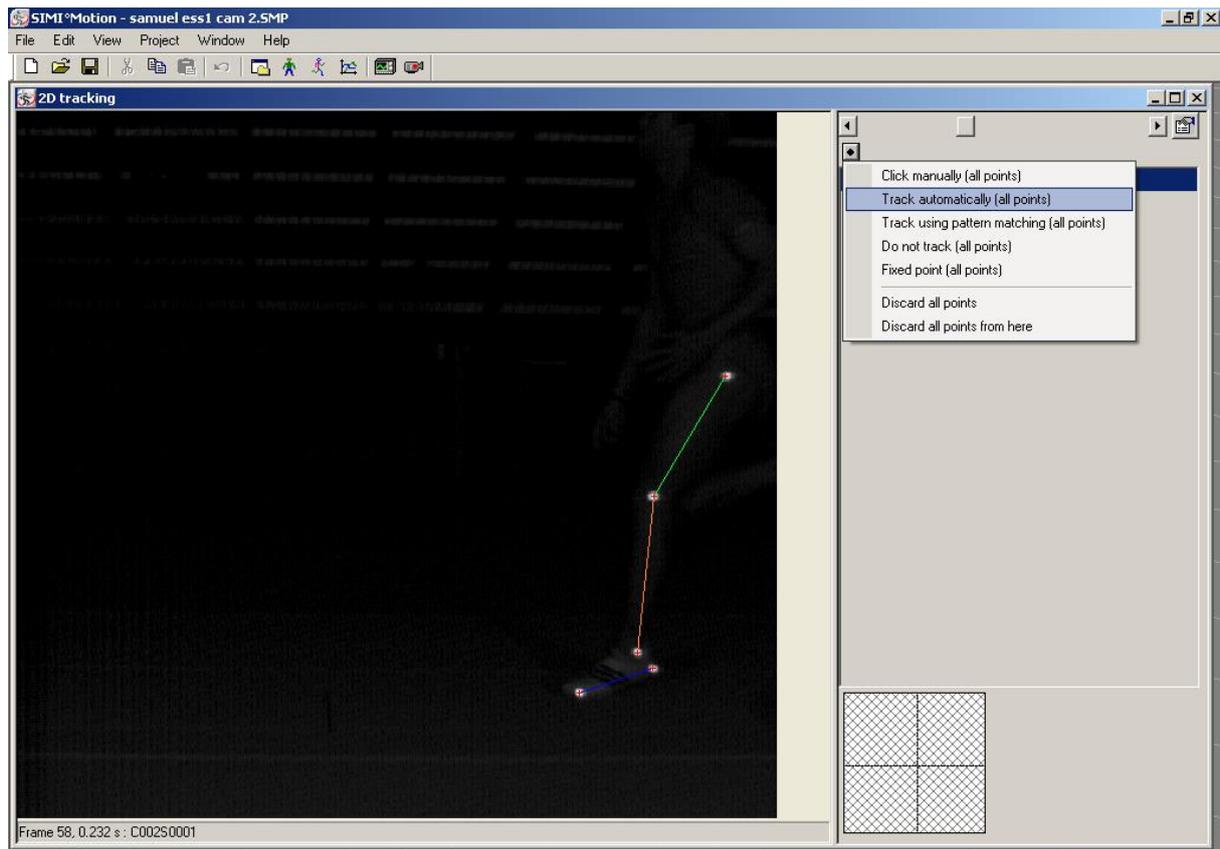


Figure 13: Tracking automatique des points

Une fois cette étape réalisée, les coordonnées des points en X et Y ont pu être exporté pour le traitement des données.

2. Traitement des données :

Une fois les coordonnées des points correspondant à l'axe de rotation de la hanche et de la pointe du pied connu dans l'axe X et Y , il est possible de les exporter dans la macro Excel construit par Quièvres et Darsau en 2008.

Vous retrouvez dans le tableau n° 2 les étapes successives nécessaire à l'obtention de la poulaine.

| | | | | | | | |
|-------|------------|--|--|--|-------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Temps | N° d'image | Position pointe de pied en X | Lissage des positions en X | Position pointe de pied en Y | Lissage des positions en Y | Vitesse pied en X | Vitesse pied en Y |
| Temps | N° d'image | position de la hanche en X | Lissage des positions en X | position de la hanche en Y | lissage des positions en Y | Vitesse de hanche en X | Vitesse de hanche en Y |
| Temps | N° d'image | Vitesse pied/ vitesse de hanche en x | Position du pied / Position de la hanche en X | Position du pied / Position de la hanche en Y | Poulaine | | |

Tableau 3 : Etapes successives nécessaire à l'obtention de la poulaine

Une fois

renseigné les positions en X et en Y de la pointe du pied et de la hanche, la Macro Excel va réaliser un lissage des valeurs des points sur cinq valeurs. Puis, par dérivé, obtenir les vitesses de pied et de hanche pour enfin définir les vitesses de pied par rapport aux vitesses de hanche ainsi que les positions du pied par rapport à la hanche et pouvoir en construire la poulaine.

En renseignant les images correspondantes à la pose et au quitté du pied de l'appui, cette Macro va pouvoir calculer automatiquement l'ensemble des paramètres cinématiques retenus.

3. Présentation de données retenues pour cette étude :

Pour analyser le comportement moteur du sprinteur nous avons retenu pour cette étude 28 paramètres, que nous pouvons classer en quatre catégories : les caractéristiques générales de la poulaine, les caractéristiques de l'appui, les caractéristiques dynamiques du griffé et les caractéristiques géométriques du griffé.

a) Caractéristiques générales de la poulaine :

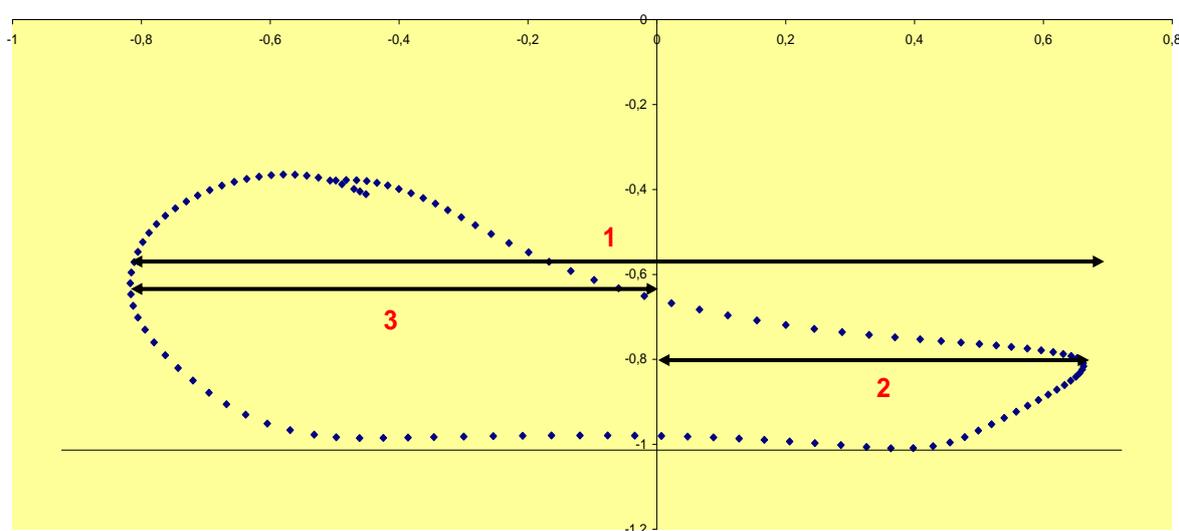


Figure 14 : Caractéristiques générales de la poulaine.

| | |
|---|---------------------------------------|
| 1 | Amplitude horizontale totale (m) |
| 2 | % de cycle avant |
| 3 | % de cycle arrière |
| 4 | Vitesse moyenne sur la poulaine (m/s) |
| 5 | Performance au 10 mètres (s) |

Figure 15 : Tableau récapitulatif des caractéristiques générales de la poulaine.

La donnée 1 correspond à la longueur horizontale totale de la poulaine, les données 2 et 3 représentent la répartition en pourcentage du cycle de jambe en avant (cycle avant) et en arrière de la hanche (cycle arrière).

Les données 4 et 5 nous indiquent la vitesse de déplacement avec la vitesse de déplacement moyenne de la hanche par rapport au sol sur la période de la poulaine (4) et la performance au 10m entre le 40 et le 50^{ème} mètres de course.

b) Caractéristiques de l'appui :

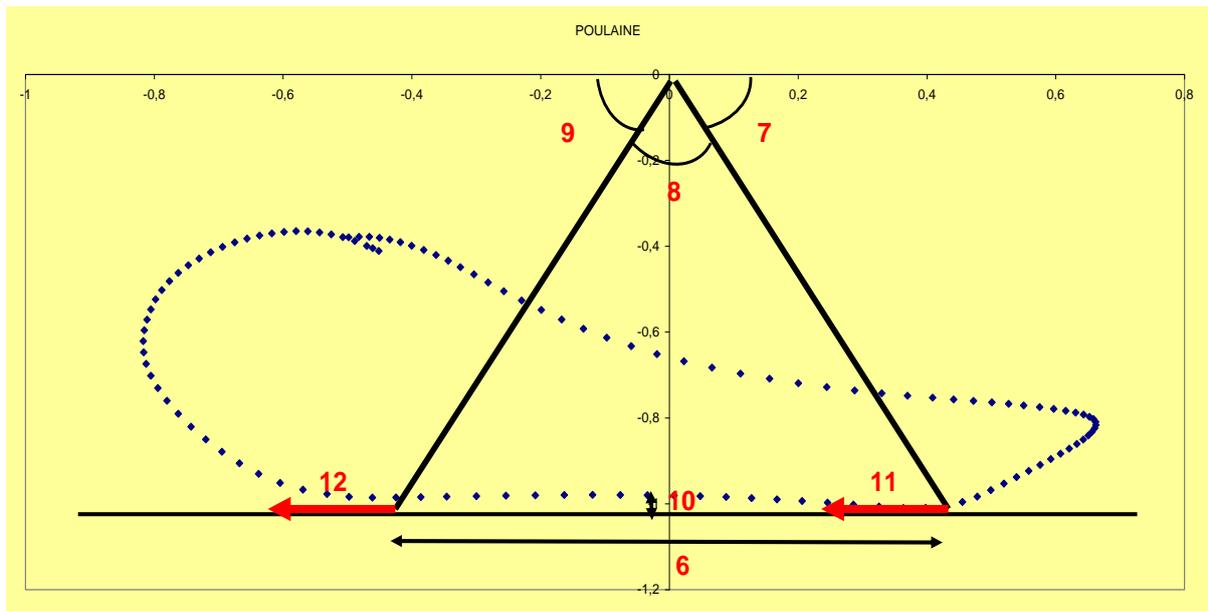


Figure 16 : Caractéristiques de l'appui.

| | |
|-----------|--|
| 6 | Distance parcourue sur l'appui (m) |
| 7 | Angle de pose (°) |
| 8 | Angle balayé sur l'appui (°) |
| 9 | Angle au quitté (°) |
| 10 | Abaissement de la hanche sur l'appui (m) |
| 11 | Vitesse de la hanche à l'entrée (m/s) |
| 12 | Vitesse de la hanche à la sortie (m/s) |
| 13 | Gain de vitesse sur l'appui (m/s) |

Figure 17 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de l'appui.

Les données 6 à 13 nous renseignent sur les principales caractéristiques de l'appui. La poulaine correspondant au déplacement de la pointe du pied par rapport à la hanche, lors de l'appui la pointe du pied étant fixe, le déplacement observé correspond à celui de la hanche sur l'appui (6). Le cône d'impulsion se trouve sur la poulaine inversé par rapport à la réalité (7, 8, 9).

c) Caractéristiques dynamiques du griffé :

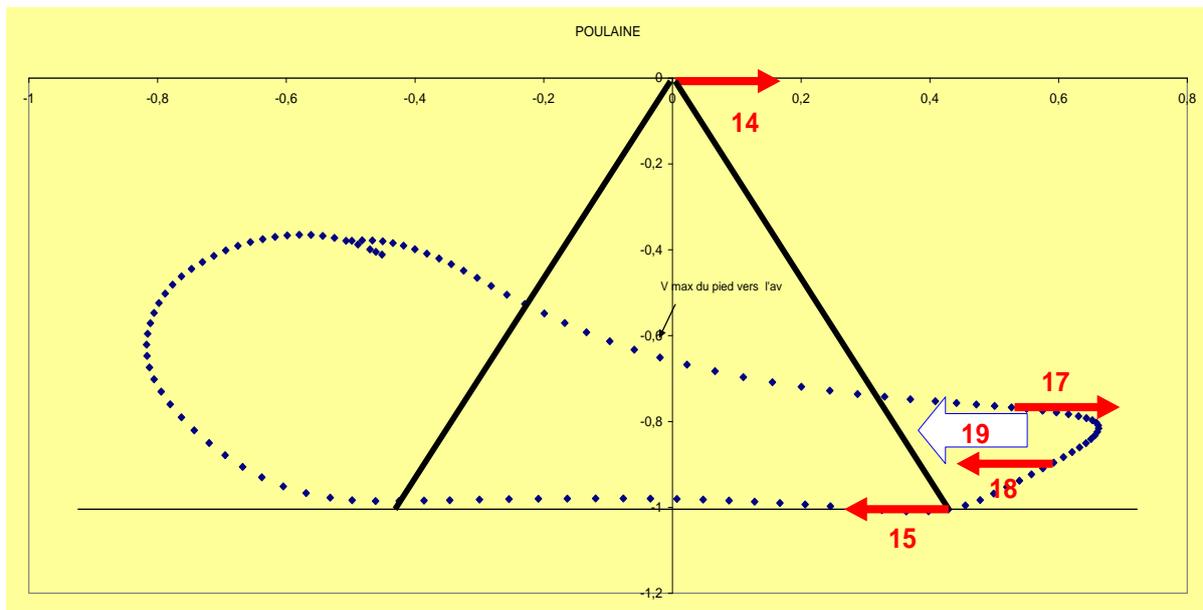


Figure 18 : Caractéristiques dynamiques du griffé

| | |
|-----------|---|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) |
| 16 | Différentiel des vitesses à la pose (m/s) |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s^2) |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. |
| 27 | % de vitesse horizontale du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose |

Figure 19 : Tableau récapitulatif des caractéristiques dynamiques du griffé

Les données 14 à 19 correspondent aux vitesses caractéristiques de la préparation du pied à la pose de l'appui. Les données 17 et 18 sont respectivement la vitesse du pied par rapport à la hanche à 80ms avant et après le point d'inversion. Ces vitesses vont nous renseigner sur la dynamique d'inversion du mouvement de l'avant vers l'arrière. Ces données seront complétées par l'accélération d'inversion sur cette période de 160ms qui a permis d'inverser le mouvement vers l'arrière. Cette accélération va caractériser le travail de la chaîne postérieure lors du griffé.

Les données de vitesse de hanche à la pose de l'appui (14) et de vitesse de pied par rapport à la hanche à la pose de l'appui (15) vont nous permettre de calculer le différentiel de vitesse entre

la hanche et le pied par rapport à la hanche (16). Comme l'ont démontré Mann & Herman, en 1985 [8], plus la vitesse du pied par rapport à la hanche sera grande plus il y aura une réduction du pic d'impact à la pose de l'appui. La donnée 27 servira donc de critères d'efficacité du griffé.

d) Caractéristiques géométriques du griffé :

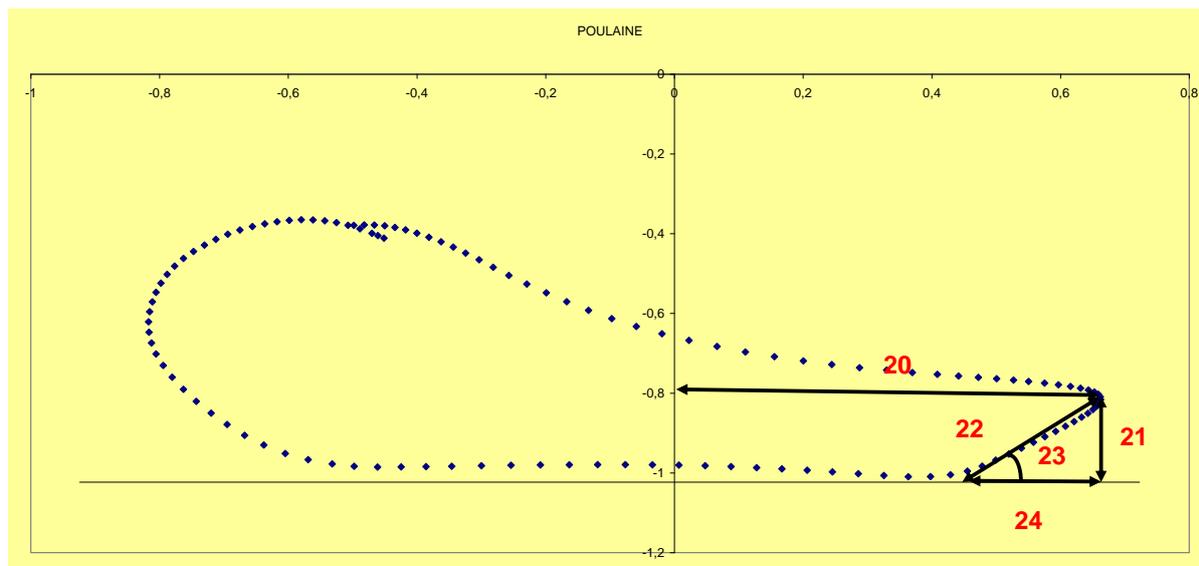


Figure 20 : Caractéristiques géométriques du griffé.

| | |
|-----------|---|
| 20 | Distance maximale du pied en avant de la hanche (m) |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) |
| 22 | Longueur de ramené du pied sous la hanche (m) |
| 23 | Angle de ramené du pied sous a hanche |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. |

Figure 21 : Tableau récapitulatif des caractéristiques géométriques du griffé.

Les données 20 à 25 vont nous permettre en dehors des vitesses, de caractériser l'efficacité du trajet du pied lors de la préparation du pied à la pose de l'appui. La donnée 22 va nous renseigner sur la longueur du chemin d'accélération après le point d'inversion du mouvement.

L'angle 23 va nous indiquer si le pied a été posé plus ou moins verticalement lors de l'appui.

La donnée 25 correspond à l'indice de griffé proposé par Natta en 2003 [18] qui correspond à la part prise par le recul du pied (24) par rapport à la distance maximale du pied en avant de la hanche.

A ces valeurs s'ajoute la donnée 28 correspondants à la distance entre la verticale abaissée de la hanche et le pied à la pose, distance qu'il faudra chercher à réduire comme l'ont démontré Quièvres et Darsau [19].

III. Présentation des résultats :

A. Caractéristiques générales de la poulaine :

| | | Adrien | Carl | | Edgar | Feta | | Massiré | |
|----------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|
| | | Essai 1 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 |
| 1 | Amplitude horizontale totale (m) | 1,48 | 1,58 | 1,44 | 1,55 | 1,38 | 1,38 | 1,38 | 1,40 |
| 2 | % de cycle avant | 44,80 | 50,53 | 52,03 | 43,66 | 48,10 | 38,37 | 38,30 | 41,90 |
| 3 | % de cycle arrière | 55,20 | 49,47 | 47,97 | 56,34 | 51,90 | 61,63 | 61,70 | 58,10 |
| 4 | Vitesse moyenne sur la poulaine (m/s) | 10,32 | 10,54 | 10,04 | 11,05 | 10,07 | 10,13 | 10,29 | 10,41 |
| 5 | Performance au 10 mètres (s) | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 0,97 | 1,07 | 1,08 | 0,98 | 0,97 |
| | | Samuel | | Stevy | | Yann | | Moyenne | Ecart type |
| | | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 | | |
| 1 | Amplitude horizontale totale (m) | 1,46 | 1,59 | 1,42 | 1,46 | 1,33 | 1,26 | 1,44 | 0,09 |
| 2 | % de cycle avant | 43,51 | 44,15 | 45,04 | 47,53 | 44,31 | 40,91 | 44,51 | 4,05 |
| 3 | % de cycle arrière | 56,49 | 55,85 | 54,96 | 52,47 | 55,69 | 59,09 | 55,49 | 4,05 |
| 4 | Vitesse moyenne sur la poulaine (m/s) | 10,01 | 10,66 | 8,20 | 10,44 | 10,76 | 10,61 | 10,25 | 0,66 |
| 5 | Performance au 10 mètres (s) | 0,99 | 0,98 | 1,04 | 0,94 | 0,99 | 0,98 | 1,01 | 0,04 |

B. Caractéristiques de l'appui :

| | | Adrien | Carl | | Edgar | Feta | | Massiré | |
|----|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|
| | | Essai 1 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 |
| 6 | Distance parcourue sur l'appui (m) | 0,89 | 1,04 | 0,88 | 0,90 | 0,90 | 0,79 | 0,95 | 0,94 |
| 7 | Angle de pose (°) | 64,60 | 60,72 | 67,35 | 63,77 | 66,88 | 71,90 | 70,78 | 66,54 |
| 8 | Angle balayé sur l'appui (°) | 52,86 | 62,70 | 52,38 | 53,29 | 53,53 | 46,66 | 57,30 | 56,22 |
| 9 | Angle au quitté (°) | 62,53 | 56,58 | 60,27 | 62,94 | 59,59 | 61,45 | 51,92 | 57,24 |
| 10 | Abaissement de la hanche sur l'appui (m) | 0,03 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,03 |
| 11 | Vitesse de la hanche a l'entrée (m/s) | 9,68 | 8,80 | 8,47 | 10,11 | 9,40 | 9,01 | 9,13 | 9,25 |
| 12 | Vitesse de la hanche a la sortie (m/s) | 10,81 | 11,44 | 10,44 | 11,56 | 10,14 | 11,70 | 11,18 | 11,05 |
| 13 | Gain de vitesse sur l'appui (m/s) | 1,13 | 2,64 | 1,98 | 1,45 | 0,75 | 2,69 | 2,05 | 1,81 |
| | | Samuel | | Stevy | | Yann | | Moyenne | Ecart type |
| | | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 | | |
| 6 | Distance parcourue sur l'appui (m) | 0,74 | 0,85 | 0,87 | 0,89 | 0,84 | 0,72 | 0,87 | 0,08 |
| 7 | Angle de pose (°) | 69,58 | 67,11 | 62,57 | 59,62 | 71,49 | 70,73 | 66,69 | 4,00 |
| 8 | Angle balayé sur l'appui (°) | 43,75 | 50,39 | 51,75 | 52,71 | 49,94 | 42,24 | 51,84 | 5,29 |
| 9 | Angle au quitté (°) | 66,67 | 62,50 | 65,68 | 67,67 | 58,57 | 67,04 | 61,47 | 4,51 |
| 10 | Abaissement de la hanche sur l'appui (m) | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,01 |
| 11 | Vitesse de la hanche a l'entrée (m/s) | 8,74 | 9,89 | 8,50 | 8,86 | 9,38 | 9,19 | 9,17 | 0,49 |
| 12 | Vitesse de la hanche a la sortie (m/s) | 10,74 | 11,07 | 10,42 | 11,26 | 11,60 | 11,52 | 11,07 | 0,49 |
| 13 | Gain de vitesse sur l'appui (m/s) | 2,00 | 1,18 | 1,91 | 2,40 | 2,22 | 2,33 | 1,90 | 0,58 |

C. Caractéristiques dynamiques du griffé :

| | | Adrien | Carl | | Edgar | Feta | | Massiré | |
|----|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|
| | | Essai 1 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 |
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol a la pose (m/s) | 9,68 | 8,80 | 8,47 | 10,11 | 9,40 | 9,01 | 9,13 | 9,25 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche a la pose (m/s) | -9,20 | -8,34 | -8,42 | -9,71 | -9,27 | -8,84 | -8,81 | -8,12 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | -0,48 | -0,45 | -0,05 | -0,40 | -0,13 | -0,17 | -0,32 | -1,12 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche a 80ms avant le point d'inversion (m/s) | 10,87 | 9,38 | 10,44 | 10,05 | 9,89 | 10,25 | 11,09 | 10,48 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche a 80ms après le point d'inversion (m/s) | -9,95 | -9,13 | -8,65 | -10,33 | -10,59 | -10,55 | -10,13 | -9,26 |
| 19 | Accélération d'insertion du mouvement (m/s ⁻²) | 130,09 | 115,74 | 119,26 | 127,37 | 127,98 | 130,00 | 132,65 | 123,43 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | 91,49 | 97,34 | 82,83 | 102,85 | 107,08 | 102,98 | 91,39 | 88,36 |
| 27 | % vitesse horizontal du pied/hanche / vitesse de hanche a la pose | 95,04 | 94,84 | 99,42 | 96,07 | 98,64 | 98,08 | 96,47 | 87,87 |
| | | Samuel | | Stevy | | Yann | | Moyenne | Ecart type |
| | | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 | | |
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol a la pose (m/s) | 8,74 | 9,89 | 8,50 | 8,86 | 9,38 | 9,19 | 9,17 | 0,49 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche a la pose (m/s) | -8,44 | -9,51 | -8,11 | -8,60 | -9,40 | -8,89 | -8,83 | 0,52 |
| 16 | Différentiel des vitesses à la pose (m/s) | -0,30 | -0,37 | -0,39 | -0,26 | 0,02 | -0,30 | -0,34 | 0,27 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche a 80ms avant le point d'inversion (m/s) | 9,53 | 9,97 | 9,98 | 10,70 | 12,41 | 10,50 | 10,40 | 0,75 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche a 80ms après le point d'inversion (m/s) | -8,72 | -9,85 | -9,25 | -7,15 | -9,96 | -9,84 | -9,53 | 0,93 |
| 19 | Accélération d'insertion du mouvement (m/s ⁻²) | 114,02 | 123,88 | 120,20 | 117,38 | 139,76 | 127,11 | 124,92 | 7,18 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | 91,47 | 98,80 | 92,63 | 66,82 | 80,26 | 93,66 | 85,05 | 26,56 |
| 27 | % vitesse horizontal du pied/hanche / vitesse de hanche a la pose | 96,58 | 96,22 | 95,39 | 97,07 | 100,25 | 96,68 | 96,33 | 2,92 |

D. Caractéristiques géométriques du griffé :

| | | Adrien | Carl | | Edgar | Feta | | Massiré | |
|-----------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|
| | | Essai 1 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,66 | 0,80 | 0,75 | 0,68 | 0,66 | 0,53 | 0,53 | 0,59 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | 0,19 | 0,24 | 0,27 | 0,19 | 0,17 | 0,13 | 0,16 | 0,33 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sou la hanche (m) | 0,30 | 0,39 | 0,45 | 0,30 | 0,32 | 0,26 | 0,25 | 0,38 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous a hanche | 39,63 | 37,87 | 36,19 | 38,73 | 32,03 | 31,70 | 38,36 | 60,14 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,23 | 0,31 | 0,37 | -0,23 | 0,27 | 0,22 | 0,20 | 0,19 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 35,20 | 38,57 | 48,70 | 34,56 | 40,78 | 41,24 | 37,54 | 32,38 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. (%) | 0,43 | 0,49 | 0,39 | 0,44 | 0,39 | 0,31 | 0,33 | 0,40 |
| | | Samuel | | Stevy | | Yann | | Moyenne | Ecart type |
| | | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 | Essai 1 | Essai 2 | | |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,64 | 0,70 | 0,64 | 0,69 | 0,59 | 0,52 | 0,64 | 0,08 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | 0,22 | 0,27 | 0,14 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,20 | 0,06 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sou la hanche (m) | 0,36 | 0,41 | 0,23 | 0,26 | 0,32 | 0,25 | 0,32 | 0,07 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous a hanche | 36,96 | 40,38 | 37,92 | 44,22 | 32,51 | 40,50 | 39,08 | 7,00 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,29 | 0,31 | 0,18 | 0,19 | 0,27 | 0,19 | 0,22 | 0,14 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 45,08 | 44,53 | 27,91 | 27,04 | 46,29 | 36,14 | 39,12 | 6,56 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche.(m) | 0,35 | 0,39 | 0,46 | 0,51 | 0,32 | 0,33 | 0,39 | 0,07 |

E. Analyse statistique :

Pour étudier les influences des paramètres retenus pour analyser la préparation du pied à la pose de l'appui, nous allons calculer les coefficients de corrélation entre les différentes valeurs que vous retrouverez dans le tableau ci-dessous.

| | |
|----|---|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) |
| 16 | Différentiel des vitesses à la pose (m/s) |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) |
| 19 | Accélération d'insertion du mouvement (m/s ²) |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) |
| 23 | Angle de ramener du pied sous a hanche |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. |

Tableau 4:Tableau des valeurs retenu pour l'analyse statistique de la préparation de la pose du pied à l'appui

En probabilité et en statistique, étudier la corrélation entre deux variables aléatoires, c'est étudier l'intensité de la liaison qui peut exister entre ces variables.

Afin d'affiner la corrélation nous avons arbitrairement défini cinq niveaux de corrélation allant de 0 à 1. Sachant que plus la valeur se rapproche de 1 plus elles sont corrélées.

| | | | | | | | | | |
|------------------|-------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|------------|-------|
| 0,000 | 0,500 | 0,500 | 0,625 | 0,625 | 0,750 | 0,750 | 0,875 | 0,875 | 1,000 |
| Non Significatif | | Faible | | Moyenne | | Bonne | | Très Bonne | |

Tableau 5 : Définition des niveaux de corrélations

Nous allons maintenant vous présenter les résultats statistiques pertinents classés en fonction des problématiques à laquelle ils répondent. Vous retrouverez l'ensemble des résultats statistique en annexe.

1. Influence positive de paramètres sur la préparation du pied à la pose de l'appui :

| | | |
|----|---|--|
| | | (16) Différentiel des vitesses à la pose (m/s) |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | -0,578 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | -0,892 |
| | | (27) % de vitesse horizontale du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | -0,890 |
| 16 | Différentiel des vitesses à la pose (m/s) | -0,578 |

Tableau 6 : Tableau de corrélation de paramètres positif sur la préparation du pied à la pose de l'appui.

Différentiel des vitesses :

- Différentiel des vitesses à la pose (m/s), est fortement corrélé à l'angle de ramener du pied sous la hanche ($r=-0.892$), plus cette vitesse est grande est plus l'efficacité en sera meilleure. De ce fait plus le différentiel des vitesses est grand et moins le point d'inversion du mouvement est haut. (Influence de la hauteur du point d'inversion)
- Influence de la géométrie du retour du pied : Différentiel des vitesses à la pose, corrélé à l'angle de ramener du pied sous la hanche ($r=-0.892$). Plus l'angle de ramener du pied est petit, plus la vitesse du pied est grande par rapport à la vitesse de la hanche.

Il semblerait que plus l'accélération nécessaire à l'inversion du mouvement est importante, plus il y a de chance d'avoir une vitesse de pied par rapport à la hanche importante à la pose.

Influence géométrique du retour du pied :

- Plus l'angle de ramener du pied est petit plus ma vitesse de pied par rapport à la hanche sera grande, ce qui signifie que ; lorsque la vitesse est grande, l'intensité du retour du pied vers l'arrière a été importante.
- L'accélération vers l'arrière de mon pied et le recul de mon pied vers l'arrière sont liés.
- Plus ma distance en avant de la hanche est importante, moins mon accélération vers l'arrière serait importante.

2. Importance de la qualité d'inversion du mouvement lors de la préparation du pied à la pose de l'appui :

| | | 15 Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) |
|----|--|---|
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | 0,576 |
| 19 | Accélération d'insertion du mouvement (m/s-2) | -0,624 |

Tableau 7 : Tableau de corrélation de l'importance de la qualité du mouvement à la pose de l'appui.

Importance de la qualité d'inversion du mouvement :

- Plus la vitesse du pied après 80ms du point d'inversion est grande, et, plus la vitesse du pied par rapport à la hanche à la pose risque d'être importante. (Importance de la qualité d'inversion du mouvement) ($r=0.576$)
- Le point important est qu'il n'y a aucune corrélation avec la vitesse du pied par rapport à la hanche avant 80ms, mon pied peut donc arriver vite avant la phase d'inversion du mouvement, cela n'est pas un gage d'une vitesse de pied importante vers l'arrière, mais bien la nécessité d'accélérer fortement le pied vers l'arrière.

3. Grand cycle avant néfaste à la préparation du pied à la pose de l'appui :

| | | |
|----|---|--|
| | | 20 Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) |
| 19 | Accélération d'insertion du mouvement (m/s-2) | -0,584 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | 0,623 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | 0,748 |
| | | Hauteur du point d'inversion (m) |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | 0,851 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | 0,662 |
| | | 22 Longueur de ramener du pied sou la hanche (m) |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 0,742 |

Tableau 8 : Tableau de corrélation de d'un cycle avant néfaste.

| | | |
|---|------------------|---|
| | | 19 Accélération d'insertion du mouvement (m/s-2) |
| 2 | % de cycle avant | -0,50 |

Grand cycle avant néfaste :

- Le fait que le pourcentage de cycle avant est faiblement corrélé avec la diminution de l'accélération d'inversion du mouvement ne passe pas par une augmentation de la distance en avant de la hanche. (peut être donc par une réduction du cycle arrière)
- Aller chercher loin en avant de la hanche serait donc néfaste à la qualité d'inversion du mouvement.
- Plus la distance en avant de la hanche est importante plus le ramené du pied sous la hanche est grand. (r=0.623)
- Mais aussi plus cette même distance sera grande, plus la distance du pied par rapport à la hanche à la pose sera grande donc, l'athlète sera dans une disposition négative à la réduction de la distance entre le pied et la verticale de la hanche à la pose.

- Plus la distance entre la verticale abaissée de la hanche et le pied à la pose est grande, plus la distance en avant de la hanche est importante. ($r=0.748$)
- Plus mon point d'inversion sera haut, plus la différence des vitesses sera négatives, donc entrainera un blocage important sur l'appui, de même que plus le point d'inversion de mon pied est haut, et moins la vitesse relative à la vitesse de la hanche sera importante => plus il y'aura blocage à l'appui. ($r=0.851$)

Cela s'explique par le fait que la hauteur du point d'inversion est corrélé à l'angle de ramener du pied sous la hanche ($r=0.662$), donc plus mon point d'inversion du mouvement sera haut, et, moins je serais dans une disposition favorable pour pouvoir disposer d'une vitesse importante du pied vers l'avant. (Hauteur du point d'inversion lié à l'angle de ramené du pied sous la hanche)

4. Discussion de l'indice de griffé proposé par Françoise Natta :

| | | 25 Indice de griffé de Natta |
|----|---|------------------------------|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | 0,039 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | -0,097 |
| 16 | Différentiel des vitesses à la pose (m/s) | 0,115 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | 0,101 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | -0,242 |
| 19 | Accélération d'insertion du mouvement (m/s-2) | 0,145 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | 0,151 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport a la vitesse de hanche a la pose | 0,127 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,020 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | 0,523 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | 0,742 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | -0,093 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,491 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 1,000 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | -0,647 |

Tableau 9 : Tableau de corrélation de la discussion de l'indice de Natta.

- Plus l'indice de Natta est grand, plus la longueur du ramené du pied sous la hanche va être grande ($r=0.742$), or nous avons vu précédemment que cette distance augmente, parce que la longueur maximal en avant de la hanche augmente.

Cela montre que cet indice est fortement dépendant de la distance maximum en avant de la hanche. Car quand cette distance augmente, il est donc facile d'avoir un indice de griffé important.

L'indice proposé par Natta est fortement corrélé à la réduction de la distance de la hanche par rapport à la pose du pied, mais elle évolue également en fonction de la hauteur du point d'inversion et la longueur du ramené du pied.

Ces données étant toutes dépendantes de l'augmentation de la distance en avant de la hanche, lorsque cette distance en avant de la hanche augmente il est donc plus facile d'obtenir un bon indicateur.

Influence de la hauteur du point d'inversion :

- Moins la hauteur du point d'inversion est grande, plus le différentiel de vitesse est grand.

Influence positive de la géométrie, sur la préparation du pied, à la préparation à la pose du pied à l'appui.

- Si l'angle de ramené du pied est petit, alors la vitesse du pied en avant de la hanche sera faible.

- Si l'angle de ramené du pied sous la hanche est petit, cela va engendrer une vitesse de pied importante du pied par rapport à la hanche.

Importance de la qualité d'inversion du mouvement.

- Plus la vitesse à 80m/s est importante, plus la vitesse du pied par rapport à la hanche risque elle aussi d'être importante.

La qualité d'inversion du mouvement va permettre de réduire le blocage à la pose de l'appui en augmentant la vitesse du pied par rapport à la hanche. Ce qui réduirait le pic d'impact lors de la pose l'appui.

Ce qui viendrait à valider, l'introduction de l'inversion du mouvement dans la définition du griffé : Il ne faut plus seulement concevoir le griffé comme un mouvement du pied d'avant en arrière et de haut en bas, mais ajouter à cette période de la foulée la phase d'inversion du mouvement (Cf. Quièvre et Darsau en 2008).

Etude de cas sur un athlète :

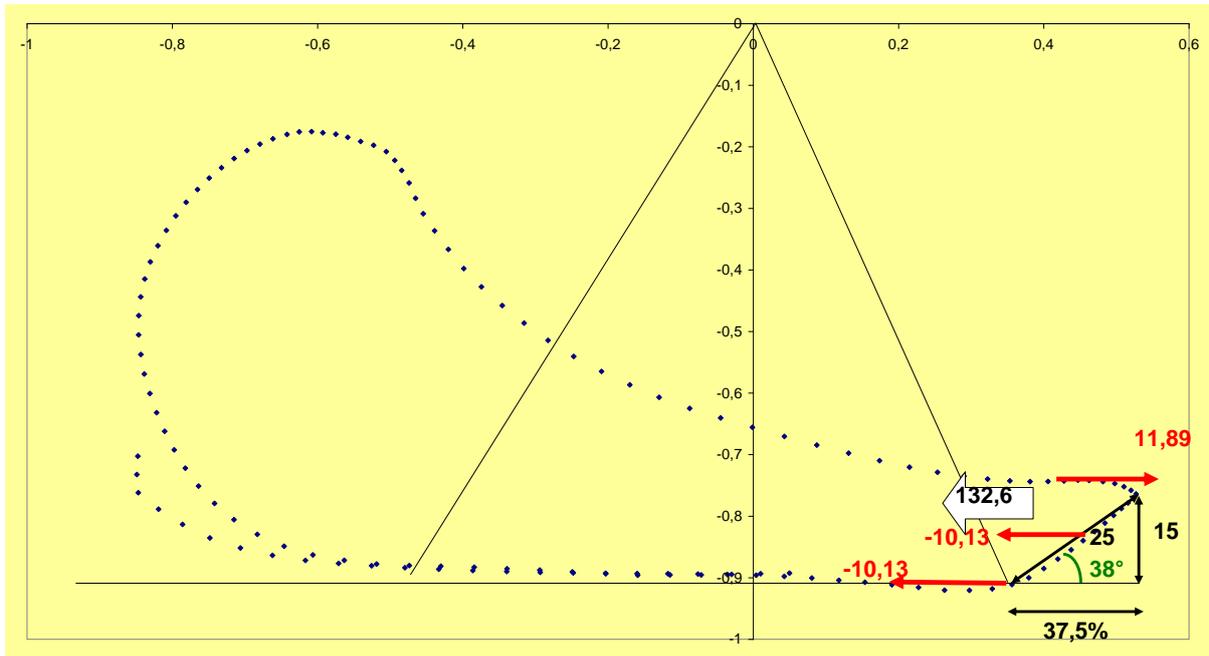


Figure 22 : Poulaine Massiré 1er essai

Secteur balayé : 0.33m

Distance en avant de la hanche : 0.53m

Qualité d'inversion du mouvement : 91%

Pourcentage de cycle Avant : 38%

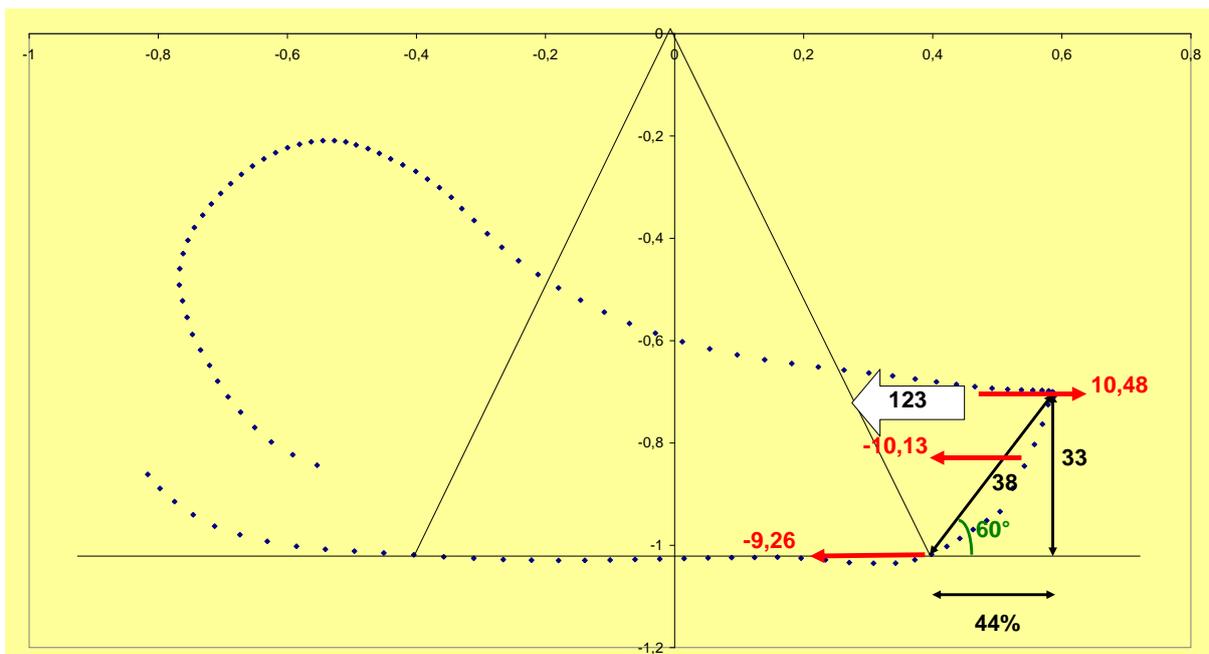


Figure 23 : Poulaine Massiré 2ème essai

Secteur balayé : 0.40m

Distance en avant de la hanche : 0.59m

Qualité d'inversion du mouvement : 88%

Pourcentage de cycle Avant : 41%

Comparaison Essai 1 / Essai 2 :

| | Essai 1 | Essai 2 |
|---|-----------|---------|
| Hauteur point d'inversion | 15 | 33 |
| Distance en avant de la hanche | 53 | 59 |
| Angle de ramener du pied | 38 | 60 |
| Accélération de l'inversion du mouvement | 132,6 m/s | 123 m/s |
| Vitesse de pied par rapport à la vitesse de hanche | 96 | 87 |

Sur les performances réalisées par Massiré lors de ces deux essais, le 1^{er} essai fut le meilleur.

Sur le second passage la hauteur du point d'inversion à augmenter (passant de 15 cm à 33cm), de ce fait a entraîné une augmentation de la distance en avant de la hanche (53cm contre 59cm). Cela a influé sur le fait que, l'angle de ramené du pied augmente lui aussi (38cm à 60cm), et que l'accélération d'inversion du mouvement est moins bonne au second essai (132.6m/s contre 123m/s au 2^{ème} essai).

Cela agit de façon négative pour ce second essai sur nos indicateurs de performance et donne une augmentation de la longueur pied à la pose, à la verticale abaissée de la hanche, puis une vitesse du pied par rapport à la vitesse de la hanche de 87m/s pour le 2^{ème} essai, contre 96m/s pour le 1^{er}.

Une trop grande hauteur de point d'inversion et une longueur trop importante de la distance maximale du pied par rapport à la hanche ne vont pas dans le sens de l'efficacité du griffé.

Donc, une ouverture trop importante du pied en avant de la hanche va avoir comme incidence d'élever la hauteur du point d'inversion tout en augmentant la longueur maximale du pied en avant de la hanche, il ne faut donc pas chercher une ouverture importante du pied en avant de la hanche pour avoir un griffé efficace.

IV. Conclusion

Dans cette conclusion nous allons chercher à caractériser précisément les paramètres qui permettent une bonne préparation à la pose de l'appui, plus communément appelé griffé.

Rappelons ici que l'objectif du griffé est de limiter à la pose de l'appui, le pic s'impacte du pied sur le sol, de façon à limiter le freinage du centre de gravité sur l'appui, ainsi que, de diminuer la flexion du genou sur l'appui, qui a tendance à augmenter le temps de contact au sol.

Pour ce faire le sprinteur devra poser son pied le plus près possible de la verticale de la hanche.

La vitesse du pied avant le point d'inversion du mouvement, n'influence en rien la capacité à avoir un griffé efficace. En revanche, il semblerait que la qualité d'inversion du mouvement soit indispensable chez le sprinteur pour obtenir une bonne préparation à la pose de l'appui.

Une bonne inversion du mouvement engendrerait mécaniquement les paramètres suivant par ordre chronologique d'apparition dans la foulée :

- Un retour rapide du pied sous la hanche.
- Une trajectoire du pied par rapport au sol rasante.
- Un pied qui se pose très proche de la verticale de la hanche.

Il ne faut plus voir le griffé comme un simple mouvement du haut vers le bas et d'avant en arrière. Son efficacité prend son origine plus tôt au moment de l'inversion du mouvement. Le sprinteur, pour être efficace, devra réaliser une accélération importante du pied vers l'arrière afin de freiner efficacement le pied de façon à le propulser rapidement sous la hanche.

Il ressort également de cette étude qu'un point d'inversion du mouvement trop haut peut être néfaste à une bonne préparation du pied à la pose de l'appui.

L'augmentation de la hauteur de ce point d'inversion, passe par une ouverture importante de l'angle formé par le fémur et le tibia sur la pointe avant de la poulaine. Cette ouverture importante va réduire la capacité de l'athlète à ramener le pied rapidement sous la hanche, et aura tendance à engendrer une trajectoire plus verticale du pied avant son contact avec le sol.

Nous faisons ici l'hypothèse que la perte d'efficacité du griffé engendrait par cette ouverture importante va réduire l'étirement globale de la chaîne postérieure, ce qui va limiter l'efficacité du cycle étirement/raccourcissement des muscles postérieure par la diminution de l'importance du réflexe myotatique.

De plus, cette ouverture importante va avoir tendance à augmenter la course des ischio-jambier dans le mouvement, ce qui pourrait favoriser les risques d'accident musculaire sur cette région particulièrement fragile chez le sprinteur.

Si en général les entraîneurs de sprint font la part belle au cycle avant, il faudra veiller à ne pas trop l'exagérer sous peine de nuire à la capacité de l'athlète à inverser le mouvement.

Ils devront chercher à guider leurs athlètes dans la recherche du meilleur compromis de cycle avant, suffisamment important pour permettre un retour du pied rapide sous la hanche, sans toute fois exagérer l'ouverture du pied en avant de la hanche sous peine de nuire à la qualité de la préparation à la pose de l'appui.

ANNEXES

| | | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) |
|----|---|---|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | -0,163 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | -0,365 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | 1,000 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | 0,245 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | -0,075 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | 0,239 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | -0,067 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche a la pose | 0,998 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,047 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | -0,578 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | -0,118 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | -0,892 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,108 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 0,115 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | -0,051 |

Tableau 10 : Coefficient de corrélation de Différentielle des vitesses à la pose

| | | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) |
|----|---|--|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | -0,859 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | 1,000 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | -0,365 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | -0,286 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | 0,576 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | -0,624 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | -0,333 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche a la pose | -0,422 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,065 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | 0,252 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | 0,065 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | 0,393 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,418 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | -0,097 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | 0,108 |

Tableau 111 : Coefficient de corrélation de Vitesse horizontale du pied / Hanche à la pose

| | | Vitesse du pied / hanche 80ms avant le point d'inversion (m/s) |
|----|---|--|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | 0,169 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | -0,286 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | 0,245 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | 1,000 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | -0,094 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | 0,756 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | -0,523 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose | 0,258 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | -0,428 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | -0,190 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | -0,214 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | -0,032 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,043 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 0,101 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | -0,383 |

Tableau 122 : Coefficient de corrélation de : Vitesse du pied / Hanche 80ms avt pt d'inversion

| | | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) |
|----|---|--|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | -0,569 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | 0,576 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | -0,075 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | -0,094 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | 1,000 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | -0,707 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | -0,798 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche a la pose | -0,106 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,425 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | 0,301 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | 0,179 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | 0,358 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,245 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | -0,242 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | 0,488 |

Tableau 133 : Coefficient de corrélation de : Vitesse du pied / Hanche à 80ms après pt d'inversion

| | | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) |
|----|---|---|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | 0,530 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | -0,624 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | 0,239 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | 0,756 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | -0,707 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | 1,000 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | 0,148 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose | 0,271 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | -0,584 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | -0,388 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | -0,337 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | -0,264 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | -0,183 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 0,145 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | -0,534 |

Tableau 144 : Coefficient de corrélation de : Accélération d'inversion du mouvement

| | | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. |
|----|---|---|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | 0,390 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | -0,333 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | -0,067 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | -0,523 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | -0,798 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | 0,148 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | 1,000 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose | -0,048 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | -0,086 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | -0,145 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | -0,015 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | -0,304 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | -0,235 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 0,151 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | -0,174 |

Tableau 155 : Coefficient de corrélation de : % de vitesse à 80ms du pt d'inversion par rap à sa vitesse à -80ms

| | | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose |
|----|---|---|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | -0,101 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | -0,422 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | 0,998 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | 0,258 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | -0,106 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | 0,271 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | -0,048 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose | 1,000 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,046 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | -0,568 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | -0,106 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | -0,890 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,078 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 0,127 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | -0,060 |

Tableau 166 : Coefficient de corrélation de : % de vitesse horizontale du pied / Hanche par rap à la vitesse à la pose

| | | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) |
|----|---|--|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | -0,095 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | 0,065 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | 0,047 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | -0,428 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | 0,425 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | -0,584 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | -0,086 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose | 0,046 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 1,000 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | 0,438 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | 0,623 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | -0,045 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,137 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 0,020 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | 0,748 |

Tableau 177 : Coefficient de corrélation de : Distance max du pied en avt de la hanche

| | | Hauteur du point d'inversion (m) |
|----|---|----------------------------------|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | 0,050 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | 0,252 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | -0,578 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche a 80ms avant le point d'inversion (m/s) | -0,190 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche a 80ms après le point d'inversion (m/s) | 0,301 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | -0,388 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | -0,145 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose | -0,568 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,438 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | 1,000 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | 0,851 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | 0,662 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,326 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 0,523 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | -0,010 |

Tableau 18 : Coefficient de corrélation de : Hauteur du point d'inversion

| | | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) |
|----|---|--|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | -0,004 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | 0,065 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | -0,118 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | -0,214 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | 0,179 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | -0,337 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | -0,015 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche a la pose | -0,106 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,623 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | 0,851 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | 1,000 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | 0,171 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,454 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 0,742 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | -0,019 |

Tableau 19 : Coefficient de corrélation de : Longueur de ramener du pied sous la hanche

| | | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) |
|----|---|--|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | -0,502 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | 0,418 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | 0,108 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | 0,043 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | 0,245 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | -0,183 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | -0,235 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche a la pose | 0,078 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,137 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | 0,326 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | 0,454 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | -0,031 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 1,000 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 0,491 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | -0,226 |

Tableau 200 : Coefficient de corrélation de : Distance entre la pose du pied et le pt d'inversion

| | | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) |
|----|---|---|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | 0,039 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | -0,097 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | 0,115 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | 0,101 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | -0,242 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | 0,145 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | 0,151 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose | 0,127 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,020 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | 0,523 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | 0,742 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | -0,093 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | 0,491 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | 1,000 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | -0,647 |

Tableau 211 : Coefficient de corrélation de : Recul du pied par rap à la distance max du pied en avant de la hanche

| | | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. |
|----|---|---|
| 14 | Vitesse horizontale de la hanche / sol à la pose (m/s) | -0,086 |
| 15 | Vitesse horizontale du pied / hanche à la pose (m/s) | 0,108 |
| 16 | Différentielle des vitesses à la pose (m/s) | -0,051 |
| 17 | Vitesse du pied / hanche à 80ms avant le point d'inversion (m/s) | -0,383 |
| 18 | Vitesse du pied / hanche à 80ms après le point d'inversion (m/s) | 0,488 |
| 19 | Accélération d'inversion du mouvement (m/s-2) | -0,534 |
| 26 | % de vitesse du pied récupérée à +80ms du point d'inversion par rapport à sa vitesse à -80ms. | -0,174 |
| 27 | % de vitesse horizontal du pied/hanche par rapport à la vitesse de hanche à la pose | -0,060 |
| 20 | Distance maximal du pied en avant de la hanche (m) | 0,748 |
| 21 | Hauteur du point d'inversion (m) | -0,010 |
| 22 | Longueur de ramener du pied sous la hanche (m) | -0,019 |
| 23 | Angle de ramener du pied sous la hanche | 0,036 |
| 24 | Distance entre la pose du pied et le point d'inversion (m) | -0,226 |
| 25 | Recul du pied par rapport à la distance maximal du pied en avant de la hanche (%) | -0,647 |
| 28 | Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche. | 1,000 |

Tableau 222 : Coefficient de corrélation de : Distance entre la pose du pied et la verticale abaissée de la hanche

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Marey EJ. Le mouvement. Paris: Masson; 1894.
- [2] Hubiche et Pradet. Comprendre l'athlétisme sa pratique et son enseignement. INSEP Collection entraînement.
- [3] F. Natta et C. Réga 2001.1ère partie. Rapport de recherche : ANALYSE CINETIQUE ET CINEMATIQUE : DU DEPART DE SPRINT EN STARTING-BLOCKS et DE LA FOULEE DE COURSE A VITESSE MAXIMALE.
- [4] Cöhet Coll, M., Milanonic, D. & Dolenc, (1999) A. Biomechanische Merkmale des Sprintshitts von Sprinterinnender Spitzenklasse. Leistungssport 5.
- [5] Mero ET Coll, A., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1982) Zum Einfluss von Kontaktphasenmerkmalen auf die Schriifrequenz beim Maximalsprint. Leistungssport, 12(4), 308-328.
- [6] Mero, A., & Komi, P. V. (1986) Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. European journal of applied physiology and occupational physiology, 55(5), 553-561.
- [7] Françoise Natta¹, Chantal Réga. 2003 ; Deux indices pouvant caractériser l'expertise en sprint. Congrès international de l'association des chercheurs en activité physique et sportive Toulouse 2003.
- [8] Mann, R., & Herman, J. (1985) Kinematic analysis of Olympic sprint performance: men's 200 meters. International Journal of Sport Biomechanics, 1, 151-162.
- [9] Wood, G. A. (1987) Biomechanical limitations to sprint running. Medicine and Sport Science, (25), 58-71.

[10] Hamill et coll. (1995)

[11] T. A. McMahon, G. Valiant and E. C. Frederick Groucho running. *Journal of Applied Physiology*, Vol. 62, Issue 6 2326-2337, Copyright © 1987 by American Physiological Society.

[12] Piasenta, J. (Ed.). (1988) *L'éducation athlétique*. Paris: INSEP, Collection Entraînement.

[13] Piasenta, J. (1994) *Apprendre à observer. Plaidoyer pour une formation à l'observation du comportement du sportif*. Paris: INSEP-Publications.

[14] Gager, B., Durey, A., Hanon, C., & Thépaut-Mathieu, C. (1995) *Evolution de la foulée au cours du 800 mètres*. (Mémoire INSEP ed.). Paris.

[15] J.P. Gérard 2003. MODELISATION DE LA COURSE DE VITESSE DE L'ENFANT : CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE L'HABILETE DE LECTURE DU MOUVEMENT DE L'ENSEIGNANT.

[16] F. Natta, L.Decker, Boisnoir. *Caractérisation des comportements posturo cinétiques en sprint*.

[17] G. Gacon.1987 *La course d'endurance CRDP Dijon*.

[18] Françoise Natta¹, Chantal Réga. 2003 ; *Deux indices pouvant caractériser l'expertise en sprint*. Congrès international de l'association des chercheurs en activité physique et sportive. Toulouse 2003.

[19] Quièvres et Darseau *Analyse de 5 gammes d'entraînement du sprinteur 2008*.