

Validité du système Freelap pour mesurer les paramètres de foulée

Colin Duilhe

Mai 2025

Table des matières

1	Résumé	2
2	Introduction	3
3	Méthode	3
3.1	Sujet	3
3.2	Procédure	4
3.3	Paramètres	4
4	Analyses statistiques	5
5	Résultats	6
6	Discussion	10
7	Conclusion	11
8	Remerciements	11
9	Déclaration de conflit d'intérêt	11
10	Bibliographie	11

1 Résumé

Cette étude visait à comparer le système Freelap au système OptoJump, considéré comme une référence dans l'analyse de la foulée en sprint (fréquence et longueur).

Quarante-sept sprinteurs, du niveau loisir à élite, ont réalisé deux sprints lancés de 20 m et deux sprints de 30 m avec départ en starting-block à intensité maximal; les 30 m étant réalisé uniquement par les athlètes avancés.

L'analyse des 30 m s'est restreinte aux 20 derniers mètres. Les données OptoJump issues des essais de 30 m ont été traitées de trois façons : brutes (-0), sans les deux premiers pas (-2), et sans les deux premiers et le dernier pas (-3), afin de se rapprocher du prétraitement automatisé réalisé par Freelap.

En phase de vitesse maximale, Freelap a montré une excellente fiabilité ($ICC \geq 0,97$). Aucun biais significatif n'a été observé pour la fréquence ($P = 0,95$; $SEM = 0,04$ p/s). Un léger biais de -1 cm a été relevé pour la longueur, lié à une surestimation connue du système OptoJump.

En phase d'accélération, les ICC sont restés élevés ($\geq 0,91$). Des différences significatives ont été notées : $+0,04$ p/s pour la fréquence (vs. -0) et -2 cm pour la longueur (vs. -3), avec une erreur comparable à celle observée en phase de vitesse maximale.

Conclusion : Freelap est un outil fiable pour le suivi à l'entraînement, mais présente une erreur aléatoire plus élevée qu'OptoJump, limitant son usage en recherche. Un prétraitement des données OptoJump (-3) est conseillé, mais non indispensable, en phase d'accélération afin d'améliorer la cohérence avec les résultats générés par Freelap.

2 Introduction

L'analyse des paramètres de la foulée est essentielle pour comprendre la performance en sprint. La vitesse de déplacement est déterminée par le produit de la fréquence de foulée et la longueur de foulée (Hunter et al., 2004). Des différences significatives de fréquence de foulée ont été observées entre les athlètes élités et sous-élités (Coh et al., 2001), tandis que la longueur de foulée augmente nettement entre la phase d'accélération et celle de vitesse maximale (Manzer et al., 2016). Il est donc important pour les entraîneurs d'évaluer ces paramètres au cours des différentes phases de la course.

Pour cela, disposer d'un système fiable est devenu un besoin dans le cadre de l'entraînement. Plusieurs dispositifs ont été validés pour cette tâche : plateformes de force, caméras haute fréquence, accéléromètres et systèmes optiques. Cependant, chacun présente des limites qui en restreignent l'usage dans un contexte d'entraînement quotidien.

Les plateformes de force sont réservées à un usage en laboratoire. Les caméras haute fréquence et systèmes optiques nécessitent un espace important, un temps d'installation important, ainsi qu'un traitement des données. Les accéléromètres sont plus simples à utiliser, mais ne fournissent pas de chronométrage, une donnée essentielle pour les entraîneurs et les athlètes. De plus, ces systèmes sont souvent onéreux, ce qui limite leur accessibilité.

Le système OptoJump (Microgate, Bolzano, Italie) est aujourd'hui considéré comme une référence dans l'analyse des paramètres de la foulée. Ce dispositif modulaire repose sur des cellules optiques de 1 mètre, contenant chacune 96 LED espacés de 1,04 cm. Ce système détecte les contacts au sol et en déduit la longueur et la fréquence de pas. Plusieurs cellules peuvent être installées ensemble afin de couvrir une plus grande distance. D'abord validé pour la mesure de la détente verticale (Glatthorn et al., 2011) puis pour le temps de contact, la fréquence de pas et la longueur de pas, avec une surestimation de $0,5 \pm 1,3$ cm (Ammann et al., 2016), (Gindre et al., 2015), (Healy et al., 2015). Malgré sa précision, son encombrement et son coût restent des obstacles à un usage régulier sur le terrain.

Le système Freelap (Freelap SA, Fleurier, Suisse) propose une alternative plus légère et portable. Il se compose d'une puce (FxMotion) et de balises (Tx Junior Pro, e-Starter), qui fonctionnent dans des conditions de terrain, sans nécessiter de traitement des données à posteriori. Les balises émettent un champ électromagnétique de 80 cm ; elles doivent donc être placées avec cet espacement pris en compte pour garantir une mesure précise. Les données sont directement transmises via l'application "myFreelap"

Initialement conçu pour le chronométrage, le système Freelap est présenté par son fabricant comme ayant une précision de 0,02 s, sur la base de comparaisons avec un système de chronométrage entièrement automatique (FAT). Toutefois, aucune étude indépendante n'a encore confirmé ce niveau de précision.

Avec le lancement du nouveau FxMotion, Freelap propose également la mesure des fréquences et longueurs de foulée. Ces données sont transmises à la suite d'un prétraitement intégré, mais n'ont à ce jour fait l'objet d'aucune validation scientifique. En configuration "Start-Finish", les deux premiers pas sont systématiquement exclus car jugés non représentatifs. Ce filtrage n'est pas appliqué en configuration "Lap-Finish". Enfin, les pas identifiés comme aberrants—en particulier le dernier si le coureur ralentit prématurément—sont également exclus des résultats finaux.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la validité concurrentielle des paramètres de la foulée (fréquence et longueur) fournis par le système Freelap, en les comparant à ceux mesurés par OptoJump. Les systèmes ont été comparés lors de la phase de vitesse maximale, à l'aide d'un sprint lancé de 20 m, ainsi que lors de la phase d'accélération, sur les 20 derniers mètres d'un sprint de 30 m avec départ en starting-block.

3 Méthode

3.1 Sujet

Quarante-sept athlètes, entraînés en sprint ($n = 35$) ou dans d'autres disciplines de l'athlétisme ($n = 12$) ont participé à cette étude. Leur niveau allait du loisir à l'élite, avec des temps sur 20 m lancé compris entre 1,89 s et 2,89 s.

Tous les participants étaient familiers avec la procédure et ont donné leur consentement éclairé.

3.2 Procédure

L'expérimentation a eu lieu sur une piste d'athlétisme. Les athlètes portaient une tenue adaptée ainsi que leur propre paire de chaussures à pointes. Tous les participants ont eu le temps nécessaire pour effectuer leur échauffement.

Toutes les courses ont été réalisées à intensité maximale, avec un temps de repos adapté entre les essais. Les athlètes étaient équipés d'un Fx Motion placé au niveau de la hanche, dont les données étaient enregistrées sur un appareil utilisant l'application "myFreelap". Les athlètes couraient dans un couloir équipé de cellules OptoJump à 96 LED disposées de part et d'autre sur une distance de 30 m.

Les athlètes familiers du sprint réalisèrent deux passages d'un 30 m avec un départ depuis les starting-block. Toute la course était enregistrée par le système OptoJump tandis que le système Freelap n'enregistrait que les 20 derniers mètres avec un encodage "Start-Finish" (cf Figure 1). Tous les athlètes réalisèrent deux passages d'un 20 m avec 30 m d'élan préalable. Les deux systèmes ont enregistré les 30 derniers mètres, et le système Freelap a été configuré avec trois balises : une en position "Start" à 20,80 m, une en "Lap" à 30,80 m, et une en "Finish" à 50,80 m (cf Figure 1)

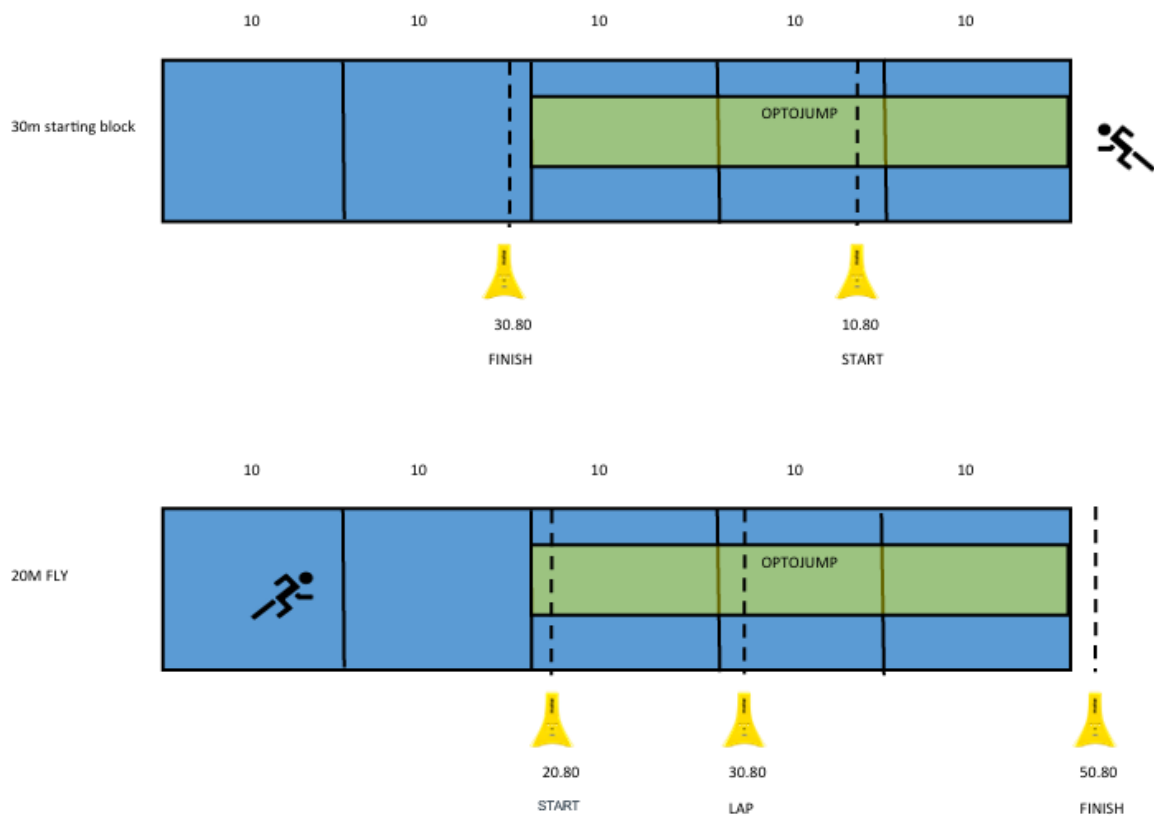


FIGURE 1 – Disposition des équipements de mesure.

A l'issue de l'expérimentation, les données Freelap ont été extraites au format texte (.csv), tandis que les données OptoJump ont été récupérées sous format tableur (.xls). Les fichiers ont été synchronisés afin d'associer les données Freelap à leurs équivalents OptoJump.

Au total, 16 courses ont été exclues de l'analyse : dix en raison d'une mauvaise installation des systèmes, trois en raison d'erreurs d'exécution des participants, ainsi que trois secondes tentatives associées à ces erreurs afin d'éviter tout biais potentiel. Ainsi, 149 courses valides ont été retenues pour l'analyse.

3.3 Paramètres

Les données de fréquence et de longueur de foulée fournies par le système Freelap ont été extraites via l'application myFreelap, à partir des colonnes « FQ (s/s) » pour la fréquence et « Length (m) » pour la

longueur, sur les segments de course analysés.

Les données issues du système OptoJump ont été traitées en calculant la moyenne des valeurs des colonnes « Rythme [p/s] » pour la fréquence et « Pas » pour la longueur. Les premiers pas inférieurs à 50 cm ont été exclus de l'analyse (cf. Figure 2). Afin d'assurer une cohérence entre les deux systèmes, les valeurs OptoJump ont été arrondies au même niveau de précision que celles fournies par le système Freelap.

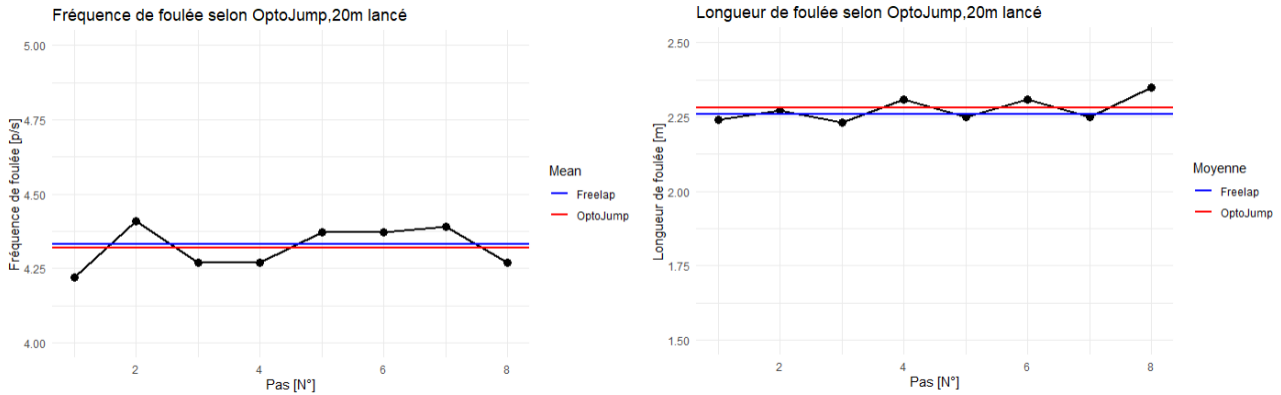


FIGURE 2 – Comparaison des données Freelap et OptoJump lors de la phase de vitesse maximal

Pour les 30 m avec un départ en starting-block, trois modalités d'analyse des données OptoJump ont été retenues : Une sans filtrage, incluant tous les pas (nommée « -0 »), Une excluant les deux premiers pas (« -2 »), Une excluant les deux premiers et le dernier pas (« -3 ») Ces différentes configurations ont été choisies afin d'évaluer l'impact du filtrage sur la concordance des mesures entre les deux systèmes (cf Figures 3).

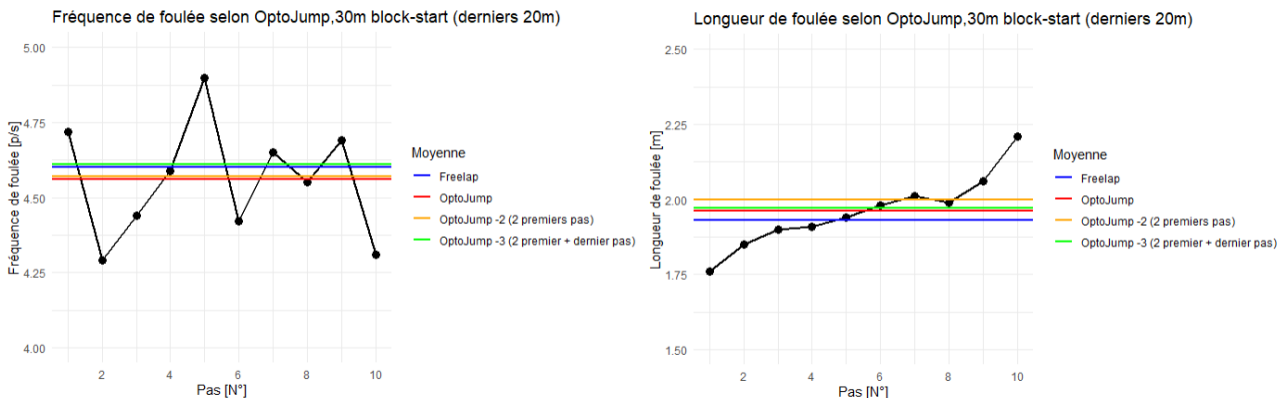


FIGURE 3 – Comparaison des données Freelap et OptoJump lors de la phase d'accélération

4 Analyses statistiques

Chaque course ayant été réalisée à intensité maximale, la variabilité intra-individu a été jugée équivalente à la variabilité inter-individus, que ce soit au sein d'un même système ou entre systèmes. Ainsi, chaque course a été considérée comme une observation indépendante dans l'analyse statistique.

La normalité des données a été vérifiée à l'aide d'un test de Kolmogorov-Smirnov. Pour détecter un éventuel biais systématique entre les mesures des deux dispositifs, un test t de Student pour données appariées a été utilisé, complété par une visualisation via un graphique de Bland-Altman.

La fiabilité des mesures entre les deux systèmes a été estimée à l'aide du coefficient intra-classe (ICC). La fiabilité absolue a été évaluée à l'aide de l'erreur standard de mesure (SEM), exprimée à la fois en valeur absolues et en pourcentage. L'erreur de mesure a également été illustrée à l'aide de graphiques de Bland-Altman.

Un modèle linéaire simple a été réalisé pour analyser la relation entre les mesures de longueur de foulée. Pour la fréquence de foulée, un modèle linéaire robuste a été préféré, l'hypothèse d'homoscédasticité n'étant pas

respectée dans l'ensemble des jeux de données.
 Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel RStudio.

5 Résultats

Type de course	Fréquence				Longueur			
	ICC	SEM (m)	SEM %	T-test (p-valeur)	ICC	SEM (m)	SEM %	T-test (p-valeur)
20m lancé	0,98	0,035	0,79	0,000 (0,96)	0,97	0,017	0,87	-0,010 (<0,001)
30m (-0)	0,93	0,045	0,99	0,035 (<0,001)	0,93	0,021	1,16	-0,09 (0,07)
30m (-2)	0,94	0,045	0,99	0,017 (<0,001)	0,84	0,023	1,23	-0,042 (<0,001)
30m (-3)	0,94	0,047	1,02	0,003 (0,71)	0,91	0,021	1,15	-0,021 (<0,001)

TABLE 1 – Fiabilité des mesures de fréquence et de longueur de foulée selon le type de course

En phase de vitesse maximale, les valeurs d'ICC ont indiqué une fiabilité quasi parfaite (≥ 0.97)(cf Table 1). Les graphiques de Bland-Altman montrent des limites d'accord à 95% de 0,10 p/s pour la fréquence et 0,05 m pour la longueur (cf Figure 4).

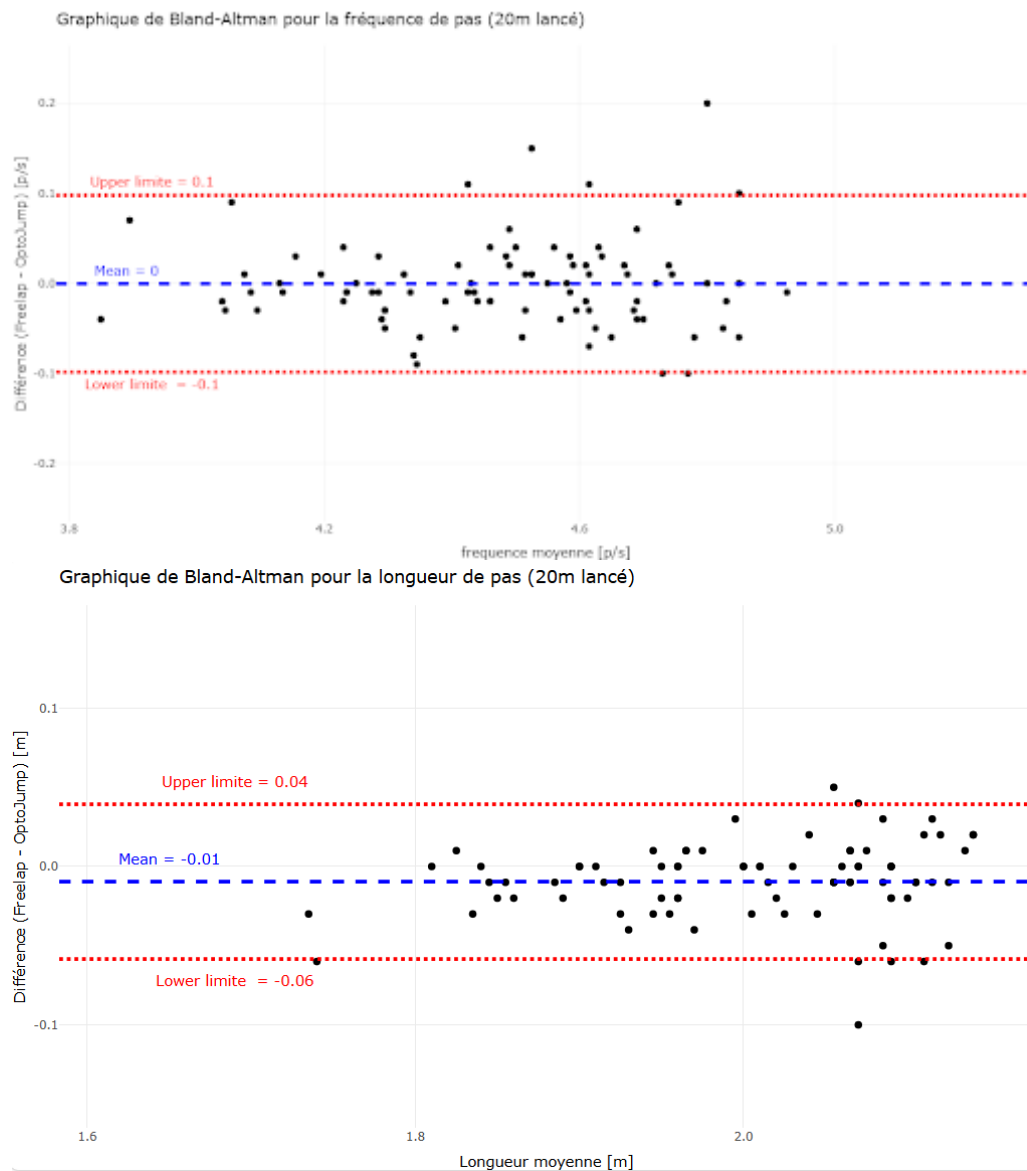


FIGURE 4 – Graphique de Bland-Altman pour les paramètres de foulée en phase de vitesse maximale

Une différence statistiquement significative de $-0,01$ m ($p < 0.001$) a été observée pour la longueur de foulée (cf Table 1). Les analyses de régression linéaire, en particulier pour la fréquence, ont révélé une excellente concordance avec la droite d'égalité $y = x$, notamment dans les plages de données observées : $[4; 5]$ pour la fréquence et $[1,7; 2,3]$ pour la longueur. (cf Figure 5)

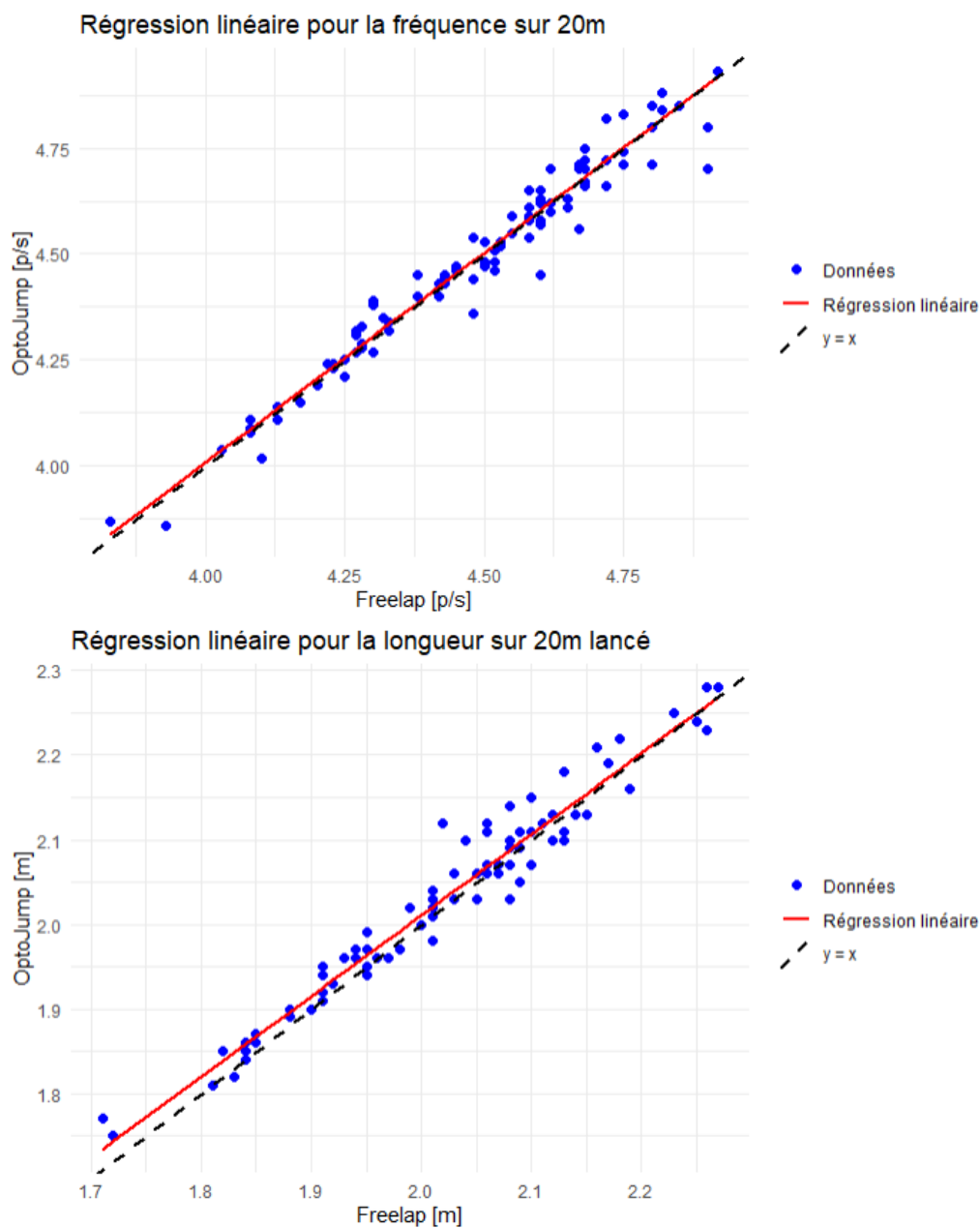


FIGURE 5 – Régression linéaire pour les paramètres de foulée en phase de vitesse maximale

En phase d'accélération, les valeurs d'ICC restent très satisfaisant ($\geq 0,91$) par rapport aux versions -0 et -3 , et modérément satisfaisant par rapport à la version -2 (≥ 0.84) (cf Table 1). L'erreur aléatoire est comparable à celle observée en phase de vitesse maximale (cf Table 1). Les limites de Bland-Altman sont légèrement plus larges : $0,13$ p/s pour la fréquence et $0,06$ m pour la longueur (cf Figures 6 et 7).

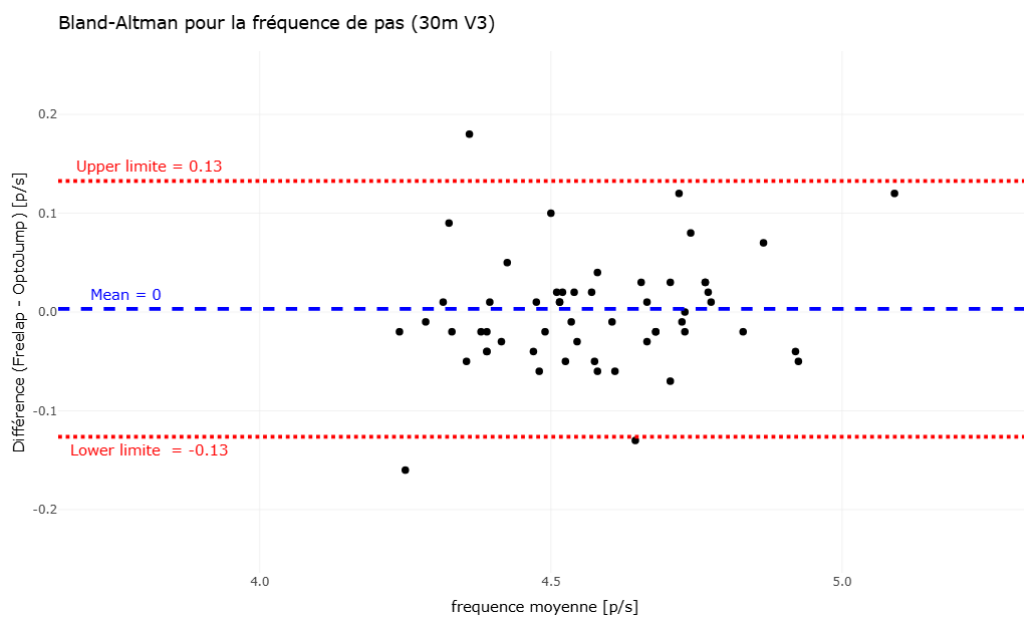
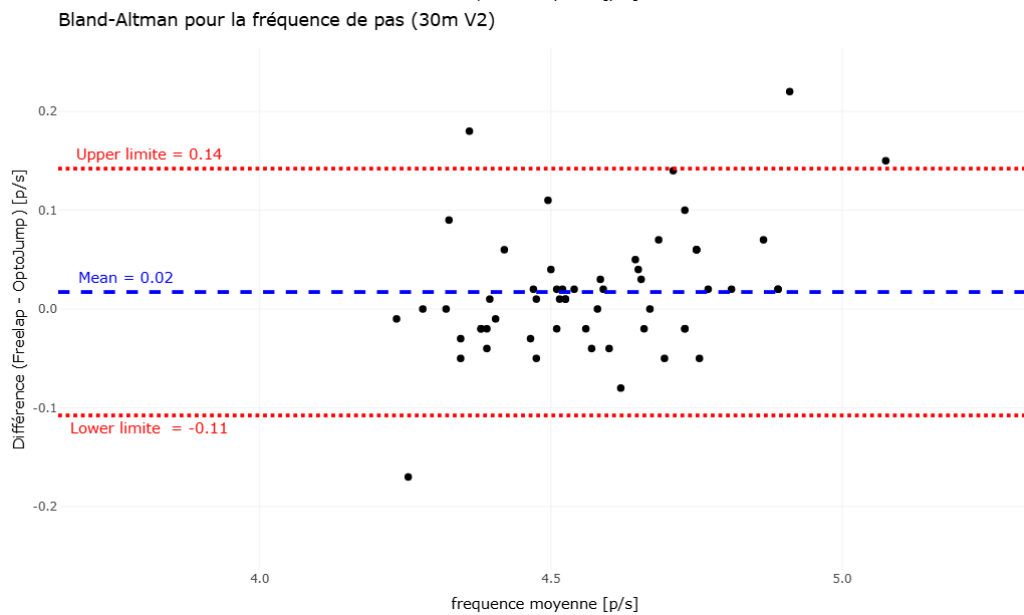
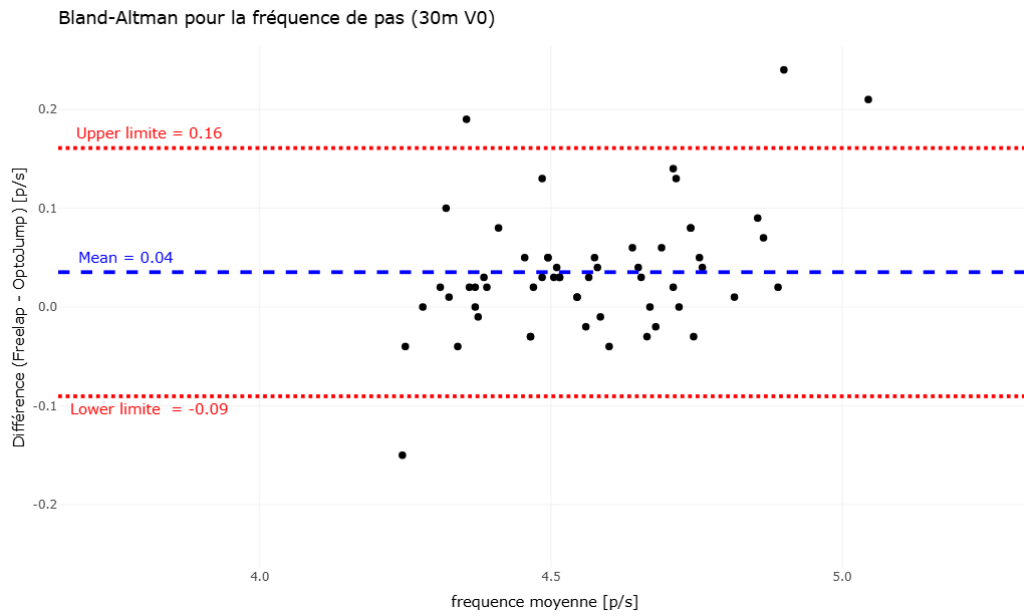
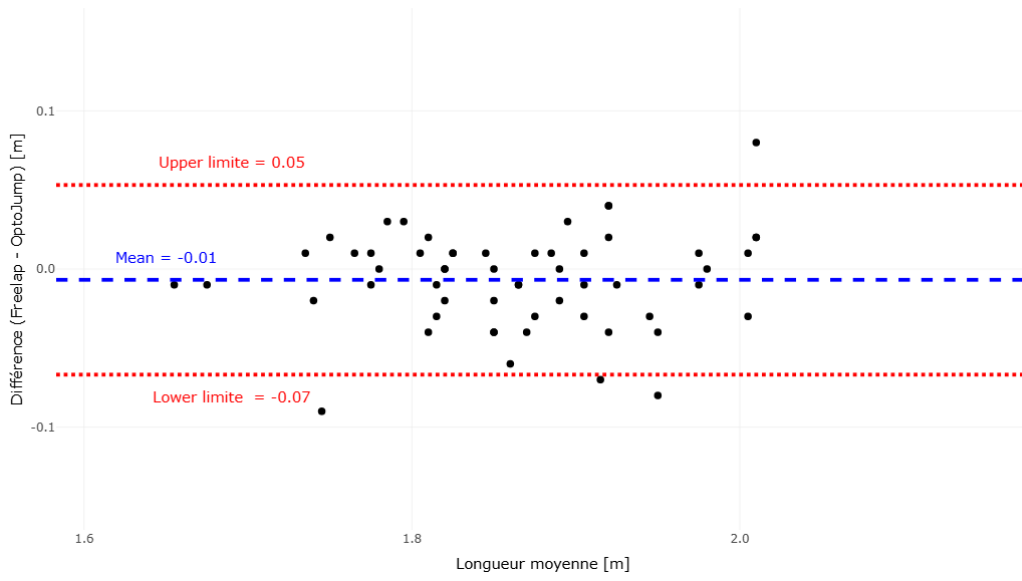
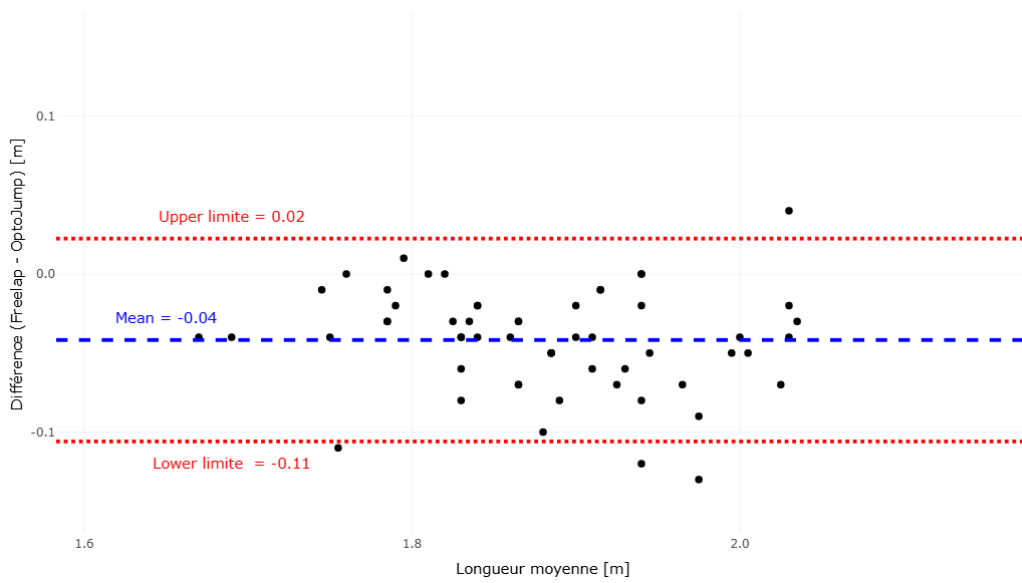


FIGURE 6 – Graphique de Bland-Altman pour la fréquence de foulée en phase d'accélération

Graphique de Bland-Altman pour la longueur de pas (30m)



Graphique de Bland-Altman pour la longueur de pas (30m V2)



Graphique de Bland-Altman pour la longueur de pas (30m V3)

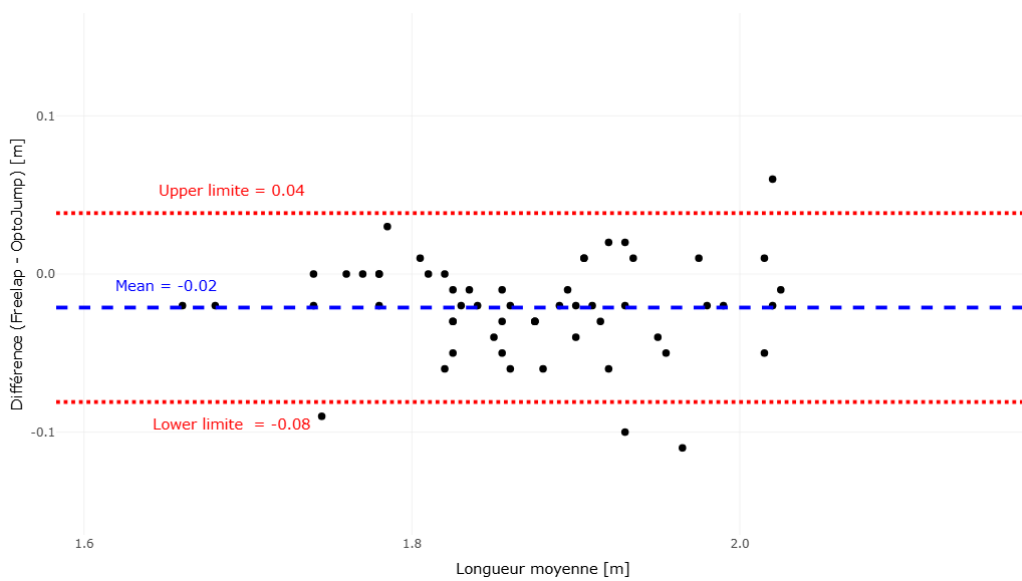


FIGURE 7 – Graphique de Bland-Altman pour la longueur de foulée en phase d'accélération

Des différences significatives ont été relevées pour la fréquence de foulée entre Freelap et les versions -0 et -2 d'OptoJump ($0,035$ p/s et $0,017$ p/s, respectivement)(cf Table 1). Pour la longueur de foulée, des différences significatives ont été observées avec les données -2 ($-0,042$ m) et -3 ($-0,021$ m) (cf Table 1). Enfin, les régressions linéaires affichent une meilleur proximité avec la droite $y = x$ pour le traitement -3 , suivi par le traitement -0 et enfin le traitement -2 (cf Figure 8 et 9)

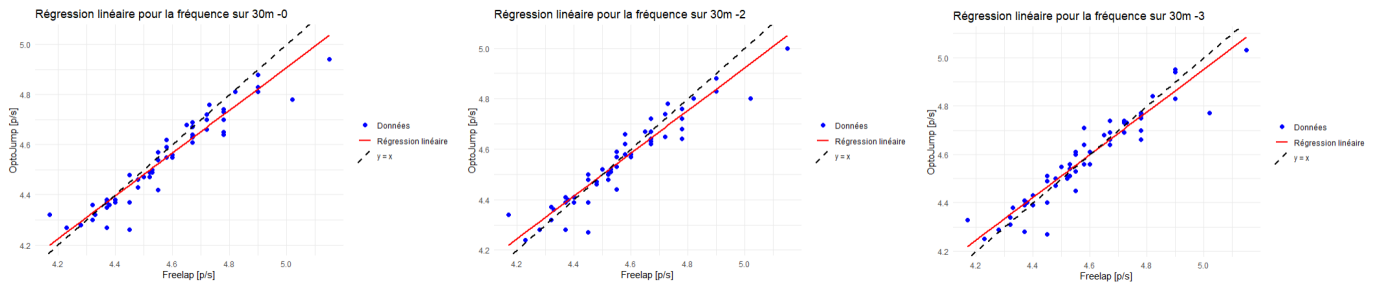


FIGURE 8 – Régression linéaire pour la fréquence de foulée en phase d'accélération

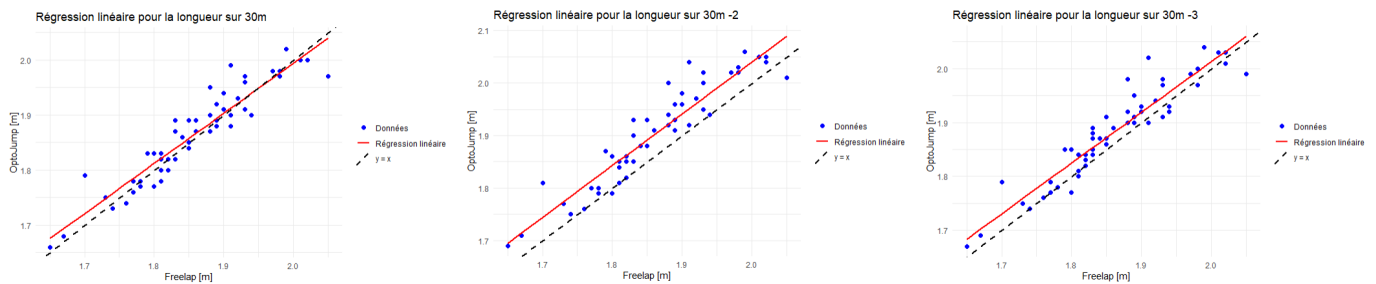


FIGURE 9 – Régression linéaire pour la longueur de foulée en phase d'accélération

6 Discussion

Les découvertes de cette étude montrent une fiabilité des outils Freelap dans la mesure des paramètres de la foulée lors de la phase de vitesse maximale. La sous-estimation de 1 cm observée pour la longueur de foulée n'apparaît pas comme un problème dans l'acquisition de la mesure exacte, étant donné la surestimation du système OptoJump de $0,5 \pm 1,3$ cm, que nous avons arrondi à 1 cm dans notre étude, conformément au niveau de précision retenu.

Freelap constitue ainsi une alternative pertinente à OptoJump pour un usage terrain. Toutefois, l'erreur aléatoire, bien que faible, reste trop importante pour des mesures à visée scientifique.

En phase d'accélération, les données Freelap sont comparables aux données brutes(-0) d'OptoJump, en tenant compte d'une surestimation de la fréquence de $0,04$ p/s par Freelap.

Il est conseillé de comparer les données Freelap aux données OptoJump après un traitement excluant les deux premiers et le dernier appui(-3). Ces données reflètent le traitement réalisé automatiquement par Freelap en configuration « Start-Finish ».

Ce traitement permet une correspondance plus précise entre les deux systèmes, comme le montrent les régressions linéaires($OptoJump = 0,88 \times Freelap + 0,54$ pour la fréquence et $OptoJump = 0,94 \times Freelap + 0,13$ pour la longueur). La sous-estimation de 2 cm de Freelap pour la longueur de foulée est significative. Cependant, en tenant compte de l'erreur de mesure d'OptoJump (arrondie à 1 cm) l'écart par rapport à la mesure exacte reste significatif, mais pourrait être ramenée à un écart utile de 1 cm. Un tel écart ne constitue pas une contrainte majeure dans un contexte d'entraînement.

Le prétraitement appliqué par Freelap en configuration "Start-Finish" mérite d'être discuté. Ce type de traitement n'affecterait probablement pas les résultats lors d'une course à vitesse maximale, les paramètres de foulée restant relativement stables à vitesse constante. Ainsi sur une distance de 20 m-comme conseillé par le fabricant-malgré la suppression des deux premiers pas, il reste suffisamment de données pour établir une moyenne fiable

Dans un contexte de départ arrêté, exclure les deux premiers appuis semble également justifié. Ces valeurs sont

aberrantes par rapport au reste de la course et rendraient la donnée finale peu représentative.

Une amélioration des deux premiers appuis serait détectée par OptoJump, mais pas par Freelap en raison de leur exclusion automatique. Toutefois, il convient de noter qu'une amélioration des appuis initiaux entraîne généralement une progression des appuis suivants, rendant ce progrès indirectement visible dans les données issues du système Freelap.

La comparaison avec le traitement -2 (filtrant seulement les deux premiers pas) s'est cependant avérée différente des valeurs Freelap. Cela est probablement dû à la configuration du test : les coureurs avaient tendance à relâcher leur effort prématurément lors du dernier appui. Une mesure intermédiaire n'aurait probablement pas nécessité le traitement -3 , et une comparaison avec -2 lors d'une configuration "Start-Lap" en phase d'accélération est sans doute suffisante, voire conseillée.

Freelap fournit une moyenne des paramètres. Cependant la pertinence de cette mesure peut être débattue par des experts, notamment lors de la phase d'accélération où les paramètres évoluent rapidement (cf. Figure 3). Cela pourrait inciter certains utilisateurs à mesurer sur des intervalles plus courts (10 m). Une telle pratique est déconseillé par le fabricant, car elle pourrait entraîner des données erronées — probablement en raison d'un nombre insuffisant d'appuis pris en compte après le prétraitement automatique.

Les analyses de Bland-Altman n'ont révélé aucune erreur proportionnelle, malgré des coefficients de régression différents de 1. Cette divergence pourrait s'expliquer par la faible quantités de données extrêmes (les fréquence étant comprises entre 3,6 p/s et 5,1 p/s et les longueurs comprises entre 1,60 m et 2,30 m). Une étude dédiée à ces valeurs pourrait être envisagée.

7 Conclusion

Cette étude est la première à analyser les nouvelles données recueillies via le système Freelap avec le capteur Fx Motion. Les résultats confirment sa pertinence pour un usage en entraînement. Freelap présente une très bonne fiabilité relative et absolue, notamment en phase de vitesse maximale. Néanmoins, l'erreur aléatoire observée — bien que relativement faible — demeure trop importante pour que le système soit considéré comme une référence dans un cadre scientifique.

Pour une interprétation rigoureuse, il est recommandé d'harmoniser les traitements de données entre Freelap et OptoJump, en particulier lors des phases d'accélération. Un traitement excluant les premiers et derniers appuis (configuration « Start-Finish ») améliore la comparabilité des mesures.

En conclusion, Freelap constitue un outil accessible et fiable pour le suivi de terrain, mais ne peut, en l'état, se substituer aux systèmes de référence dans un cadre scientifique.

8 Remerciements

L'auteur tient à remercier la société Freelap SA pour son accueil et son soutien tout au long de l'étude.

9 Déclaration de conflit d'intérêt

L'auteur a été employé par la société Freelap SA pendant la durée de l'étude.

10 Bibliographie

Ammann R, Taube W, Wyss T. Accuracy of PARTwear Inertial Sensor and Optojump Optical Measurement System for Measuring Ground Contact Time During Running. *J Strength Cond Res.* 2016 Jul;30(7) :2057-63. doi : 10.1519/JSC.0000000000001299. PMID : 26677827.

Coh M, Milanović D, Kampmiller T. Morphologic and kinematic characteristics of elite sprinters. *Coll Antropol.* 2001 Dec;25(2) :605-10. PMID : 11811291.

Gindre C, Lussiana T, Hebert-Losier K, Morin JB. Reliability and validity of the Myotest® for measuring running stride kinematics. *J Sports Sci.* 2016;34(7) :664-70. doi : 10.1080/02640414.2015.1068436. Epub 2015

Jul 15. PMID : 26177053.

Glatthorn JF, Gouge S, Nussbaumer S, Stauffacher S, Impellizzeri FM, Maffiuletti NA. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res.* 2011 Feb ;25(2) :556-60. doi : 10.1519/JSC.0b013e3181ccb18d. PMID : 20647944.

Healy, Robin & Kenny, Ian & Harrison, Andrew. (2015). ESTIMATING STEP PARAMETERS USING PHOTOELECTRIC CELLS.

Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ. Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med Sci Sports Exerc.* 2004 Feb ;36(2) :261-71. doi : 10.1249/01.MSS.0000113664.15777.53. PMID : 14767249.

Manzer, Stefanie & Mattes, Klaus & Holländer, K.. (2016). Kinematic Analysis of Sprinting Pickup Acceleration versus Maximum Sprinting Speed.. *journal biology of exercise.* 12. 55-67. 10.4127/jbe.2016.0109.