

Université Jean Monnet
Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Etienne

Département **S**ciences et **T**echniques des **A**ctivités **P**hysiques et **S**portives

Master 1 Évaluation et Ingénierie de la Performance Sportive
Parcours Évaluation et Optimisation de la Performance Sportive

Sprint avec résistance : calibration, analyse des relations charge-vitesse avec un Speed Trainer EXER-GENIE® et comparaison avec un chariot

Mémoire présenté par
Nayel CONSTANT

Sous la direction de Mr Jean-Benoît MORIN

Année universitaire 2023-2024

1. Résumé

1.1. Résumé en français

Le Speed Trainer EXER-GENIE® (STExe), tout comme le chariot, est un dispositif permettant de s'entraîner en sprint avec résistance (RST). Facile d'utilisation, il propose des charges non calibrées. Cette étude vise alors à calibrer ainsi qu'à explorer les relations charge-vitesse proposées par le STExe (de 36m) mais aussi trouver une conversion entre les charges du STExe et du chariot. La force horizontale de résistance a été mesurée pour trois STExe, à quatre charges (en crans), pour les deux sorties et à deux distances du câble (5 à 10m et 25 à 30m). Pour étudier les relations charge-vitesse, 16 sujets ont effectué 8 sprints : 3 avec chariot à 25%, 50%, 75% de masse corporelle, 1 sprint maximal sans charge et 4 sprints avec STExe à 4 crans différents (4-7-9-11). Les résultats montrent des différences significatives entre les STExe, entre les quatre crans et entre les deux distances de câble. Comme avec chariot, les relations charge-vitesse avec STExe sont linéaires ($R^2 > 0.95$). Une conversion individuelle par sujet avec le chariot est possible. Pour conclure, le STExe permet de faire du RST mais il est conseillé d'évaluer les athlètes (relation charge-vitesse) pour calibrer l'entraînement en pourcentage de décroissance de la vitesse maximale.

Mots-clés : entraînement avec résistance, sprint, vitesse, performance

1.2. Abstract

Sprint acceleration is a key in many sports and requires physical qualities training such as maximal power. The resisted sprint training (RST) is a recognized method with various devices like sleds. The Speed Trainer EXER-GENIE® (STExe) is an easy-to-use device, but the resistance loads of its increments are not quantified. The aims of this study are to calibrate the STExe (force testing), to explore the load-velocity relationships, and to find a conversion between the loads of the STExe and the sled. Horizontal resistance force was measured for three STExe, at four increments (4-7-9-11), at two exits and at two cable distances (5 to 10m and 25 to 30m). Sixteen subjects performed eight sprints, three with a sled at 25%, 50% and 75% of body mass, one maximal sprint without load, and four sprints with the STExe (increments : 4-7-9-11). The result showed significant force differences between the STExe, between the increments, and between the two cable distances of the STExe. Like with sled, the load-velocity relationships with STExe were linear ($R^2 > 0.95$). An individual conversion between sled and STExe is possible. Additionally, the RST with STExe is practical, but it's recommended to evaluate athletes (load-velocity relationship) and then organize training as a percentage of the maximal velocity decrement.

Keywords : resistance training, sprint, velocity, performance

1.3. Abstract graphique



SPEED TRAINER EXER-GENIE



CALIBRATION - RELATION - CONVERSION

1

CALIBRER

Quantification des forces hzt de résistance du STExe

PROTOCOLE

Mesures de Force pour :

3 STExe, 4 charges (cran 4, 7, 9, 11), 2 sorties et 2 distances (5 à 10m et 25 à 30m).



RÉSULTATS

STExe 1 (neuf) \neq STExe 2 (neuf) \neq STExe 3 (usé)

Cran 11 > Cran 9 > Cran 7 > Cran 4

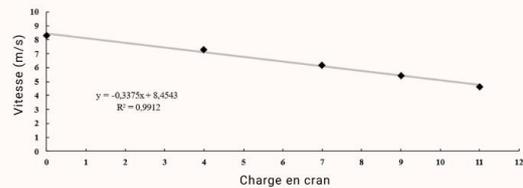
Distance de câble (5 à 10m) \neq Distance de câble (25 à 30m)

Sortie 1 $=$ Sortie 2

2

RELATION CHARGE-VITESSE

Analyse des relations charge-vitesse pour les crans 4,7,9,11

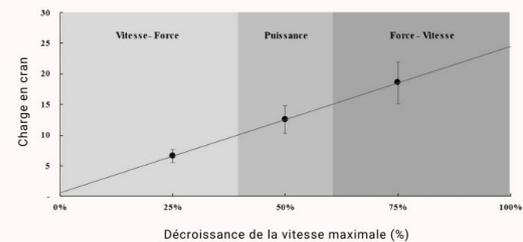


Exemple d'un sujet : relation charge-vitesse

3

CONVERSION

Recherche des coefficients de conversion entre STExe et chariot



Relation moyenne charge-Vdec

PROTOCOLE

16



3 sprints : 25%, 50%, 75% de BM



1 sprint maximal



4 sprints (crans 4-7-9-11)



Conversion individuelle par sujet possible entre chariot et STExe

DISCUSSION



Attention à calibrer l'entraînement avec une relation charge-vitesse et l'utilisation de Vdec !



2. Sommaire

1.	Résumé	2
1.1.	Résumé en français.....	2
1.2.	Abstract	3
1.3.	Abstract graphique	4
2.	Sommaire	5
3.	Présentation du stage	6
3.1.	Le cadre général	6
3.2.	La structure d'accueil	6
3.3.	Mon rôle	6
4.	Introduction	8
5.	Matériels & Méthodes	11
5.1.	Calibration.....	11
5.2.	Relation charge-vitesse et conversion	12
6.	Résultats	15
7.	Discussion	20
8.	Conclusion.....	23
9.	Perspectives	24
10.	Bibliographie.....	25
11.	Annexes	27

3. Présentation du stage

3.1. Le cadre général

Depuis maintenant plusieurs années, de nombreux chercheurs, tels que Jean-Benoît MORIN, s'intéressent à la performance en sprint. Ils ont notamment contribué à développer des outils d'évaluation et des méthodes d'entraînement afin de monitorer et d'optimiser la performance. L'entraînement en sprint avec résistance fait partie des méthodes permettant de développer des qualités physiques indispensables en sprint. Il existe plusieurs outils, comme le chariot, chacun avec ses avantages et inconvénients. Le Speed Trainer EXER-GENIE®, proposant une accessibilité financière et une facilité d'utilisation, est une alternative aux chariots. Une seule étude sur le sujet a été publiée. Néanmoins, elle ne traitait pas de tous les points importants concernant l'exploration et à l'utilisation du Speed Trainer EXER-GENIE®.

3.2. La structure d'accueil

Mon tuteur, Jean-Benoît MORIN, est enseignant-chercheur au Laboratoire Interuniversitaire de Biologie de la Motricité (L.I.B.M.) à Saint-Etienne. Ce dernier a été créé en 2016 et est réparti en trois villes (Saint-Étienne, Lyon, Chambéry). Il regroupe des chercheurs qui travaillent sur de nombreux sujets autour de la physiologie de l'exercice, de la biomécanique, des neurosciences et de l'ingénierie appliquées aux activités physiques et sportives et à la santé. Le L.I.B.M. est étroitement lié à la faculté de médecine et le département des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (S.T.A.P.S.). Le L.I.B.M. de Saint-Etienne est divisé en quatre unités de recherche : Explorations fonctionnelles, Analyse du mouvement, Myologie et Neurophysiologie.

3.3. Mon rôle

L'idée de ce projet de recherche est venue de Jean-Benoît MORIN. Il avait préalablement effectué des petits tests sur le Speed Trainer EXERGENIE® qu'il avait exposé sur son blog. J'ai donc dû prendre connaissance des prémices effectuées, ainsi que de la

première étude publiée sur le Speed Trainer EXER-GENIE®. Mon rôle a consisté à créer un protocole complet et précis afin d'analyser les relations charge-vitesse et de comparer le sprint avec résistance en chariot et avec le Speed Trainer EXER-GENIE®. J'ai par la suite organisé le passage des sujets sur le protocole en plusieurs sessions. En parallèle de ces tests, j'ai calibré le Speed Trainer EXER-GENIE® en mesurant la force pour différentes conditions. Je me suis occupé de traiter les données de la calibration et celles de chaque sujet, puis de réfléchir et discuter de ces résultats trouvés. Cela m'a demandé des connaissances scientifiques, mais aussi de la réflexion sur la mise en lien avec les études déjà publiées.

J'ai été accompagné pour quelques sessions d'évaluation des sujets ainsi que pour la calibration, par deux autres stagiaires. La première effectuait un stage d'observation de Licence 2 S.T.A.P.S., et le deuxième, son stage de Licence 3 Entraînement Sportif.

Pour finir, j'ai dû réfléchir à la mise en forme et à la présentation des données en vue d'une éventuelle publication scientifique.

4. Introduction

Dans de nombreux sports tels que l'athlétisme, le football ou encore le rugby, les athlètes doivent développer leur accélération pour améliorer leur performance en sprint. L'accélération en sprint dépend de qualités physiques comme la puissance maximale horizontale ($P_{max\ hzt}$) (12). Il a été démontré par des études récentes que l'entraînement en sprint avec résistance (RST) est une méthode permettant d'améliorer les qualités physiques nécessaires à l'accélération (17). Plus précisément, le RST améliore la $P_{max\ hzt}$, la force maximale théorique (F_0) ou encore des qualités techniques telles que l'application de la force au sol, mesurable grâce au ratio de force (10, 13, 14).

Il existe plusieurs outils permettant de faire du RST. Ils créent une force horizontale (F_{hzt}) de résistance à l'encontre de l'athlète. En fonction des outils, il est plus ou moins facile de quantifier la F_{hzt} de résistance. Cependant, pour individualiser l'entraînement et déterminer les charges optimales en RST, il est important, avec tous les dispositifs, d'établir le profil charge-vitesse de l'athlète (2) grâce à une mesure de vitesse sur deux à trois sprints avec des charges espacées, ainsi qu'une mesure sur un sprint maximal sans charge. La relation permet de quantifier et de définir précisément les zones de travail de l'entraînement en RST. En fonction de la force de résistance appliquée à l'encontre de l'athlète, sa vitesse va plus ou moins décroître par rapport à sa vitesse maximale sans résistance (V_{max}). On parle alors de décroissance de la vitesse maximale ou V_{dec} . C'est une unité utilisable quel que soit l'outil créant la résistance ou même l'athlète (1, 2, 3). En effet, les différences génétiques, de sexe, d'âge ou encore de force rendent les charges des dispositifs de RST imprécises par rapport à la V_{dec} (1, 2).

L'outil le plus connu et le plus utilisé, dans les études et par les entraîneurs, est le chariot (17). Il demande cependant un apport financier non négligeable. Le prix d'un chariot varie entre 30 et 200 euros, auquel on doit rajouter le prix des disques qu'on dispose par-dessus pour ajouter du poids. Cet outil est néanmoins prioritairement utilisé par les entraîneurs car il reste accessible. En effet, les chariots sont très faciles à calibrer car la F_{hzt} de résistance est facilement déterminable. Il suffit de connaître le coefficient de friction du chariot ainsi que le poids tracté (chariot + charge additionnelle). Le coefficient de friction d'un chariot est déterminable en faisant le schéma inverse en connaissant la F_{hzt} de résistance à vitesse constante, ainsi que le poids du chariot (7). Il y a aussi de très nombreuses études sur la charge optimale qu'il faut mettre sur un chariot pour développer au mieux la puissance maximale en

sprint (3, 4, 5, 14). Pour finir, la relation charge-vitesse est très facile à établir avec un chariot. Quatre sprints avec des charges de 25%, 50%, 75% de la masse corporelle, plus un sprint maximal sans charge seraient très adaptés pour avoir une relation fiable (3, 5).

Le 1080 sprint est un outil proposant une plus grande facilité d'utilisation que le chariot ainsi qu'une excellente précision. La Fhzt de résistance est directement réglable sur l'appareil et permet également de réaliser des sprints assistés. Le dispositif mesure la vitesse en instantané permettant de calculer des relations charge-vitesse très facilement (5). Cependant, il demande un investissement financier extrêmement conséquent (environ 20 000 euros).

Le Speed Trainer EXER-GENIE® (STExe) est un autre dispositif de RST. Il est en vente à un prix de 250 dollars pour le 36m et 270 dollars pour le 60m. Le STExe est composé d'un long câble avec deux mousquetons à ses extrémités permettant d'accrocher un harnais. Le câble rentre et ressort d'un corps principal par l'extrémité inférieure en deux sorties distinctes pour créer une forme de poulie. Le corps principal est composé d'une bobine métallique autour de laquelle s'enroule le câble, le tout recouvert d'un cache en plastique pour protéger le dispositif (Annexe 2). En fonction de la résistance souhaitée, la corde s'enroule plus ou moins autour de la bobine créant une surface de friction plus ou moins grande entre le câble et le corps métallique. Pour augmenter la charge et ainsi la surface de friction, il suffit de tourner la partie inférieure du dispositif dans le sens horaire des aiguilles d'une montre, et dans le sens inverse pour diminuer la résistance. Comme il s'agit d'une poulie, il n'y a pas besoin de rembobiner le câble, le STExe s'utilise dans les deux sens par les deux sorties du câble. Il dispose de crans pour choisir la charge. Il y a huit crans pour faire un tour, et l'appareil permet de faire un nombre de tours très conséquent et propose ainsi une force de résistance extrêmement élevée. Les fabricants ont inscrit une unité de mesure sur le STExe (Annexe 1). Cependant, cette unité ne correspond à rien de logique et reste à titre informatif. Le STExe représente donc un outil permettant de s'entraîner en RST avec des charges allant de faibles à extrêmement élevées. Il propose une facilité d'utilisation supérieure à celle des chariots avec un prix accessible. Cependant, les utilisateurs ne savent pas à quoi correspondent les charges des différents crans. Une seule étude a été publiée sur le sujet (8). Celle de Ghigiarelli et ses collaborateurs dont l'objectif était de quantifier les Fhzt de résistance proposées et ainsi de comparer trois STExe (deux de 36m et un de 60m) (8). Ils trouvent des résultats intéressants, mais ils n'ont pas exploré des Fhzt de résistance très élevées. Ils ont testé au maximum 3,628 newtons de Fhzt alors que le STExe propose beaucoup plus. Plusieurs récentes études sur le sujet montrent pourtant que des charges élevées (6, 13, 14) correspondant à 80% de la masse corporelle ou plus des sujets, augmenterait la Pmax, la Fmax théorique mais aussi l'application de la force au sol avec le ratio

de force maximale (3, 13, 14). Il est donc important d'explorer pour le STExe des zones de force élevée. Pour finir, Ghigiarelli et ses collaborateurs n'explorent pas les relations charge-vitesse proposées par le STExe, alors que c'est un élément inévitable pour pouvoir utiliser l'appareil convenablement en RST.

L'objectif de notre étude est d'explorer l'utilisation du Speed Trainer EXER-GENIE® en le calibrant dans la même optique que l'étude de Ghigiarelli (8), c'est-à-dire quantifier les charges des différents crans. Il s'agit ainsi de définir puis comparer les forces horizontales de résistance proposées par trois STExe, à différentes distances du câble, ainsi qu'entre les deux sorties du câble, et à différents crans du STExe en explorant des zones de force plus élevées que celles étudiées par Ghigiarelli (8). L'étude consiste ensuite à analyser les relations charge-vitesse du STExe pour proposer un moyen de conversion entre le chariot et le STExe.

Nous supposons que la relation charge-vitesse du chariot est linéaire et permet d'être exploitée pour l'entraînement. Nous supposons aussi qu'il existe des relations permettant de convertir la charge placée sur un chariot (en kg) en crans du STExe.

5. Matériels & Méthodes

5.1. Calibration

5.1.1. Design Expérimental

Pour calibrer le STExe, la force horizontale de résistance (Fhzt) a été mesurée pour trois dispositifs différents. La Fhzt a été mesurée pour quatre charges (en crans) correspondant à quatre Fhzt différentes. Les quatre crans ont été choisis pour exploiter un large éventail de force. De plus, ce sont ces mêmes crans qui seront utilisés pour établir les relations charge-vitesse. La Fhzt a été mesurée pour les deux sorties du câble du STExe et pour deux distances du câble (de 5m à 10m et de 25m à 30m).

5.1.2. Procédure

La calibration a été réalisée pour trois Speed Trainer de la marque EXER-GENIE® (Thousand Oaks, CA). Deux STExe (STExe 1 et STExe 2) étaient neufs et le troisième (STExe 5) était usé par un an d'utilisation régulière par des athlètes. La force horizontale a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre de traction K-Pull de la marque KINVENT. Il permet de mesurer la force en instantané et de l'enregistrer grâce à une connexion Bluetooth à un iPad de la marque Apple. Le K-Pull mesure la force à une précision de 0,1 %.

Les STExe ont été calibrés les uns après les autres. Sur chaque STExe, la Fhzt a été mesurée pour quatre charges : le quatrième cran, le septième cran, le neuvième cran et le onzième cran correspondant respectivement aux mesures marquées sur le STExe à 5 oz, 12 oz, 1 lb et 2 lb (Annexe 1). Pour chaque cran, des mesures ont été faites pour les deux sorties ainsi qu'à deux niveaux du câble du STExe (au début : de 5 à 10m et à la fin : de 25 à 30m). Les mesures de Fhzt ont été répétées 6 fois par sortie, par niveau et par cran du STExe. C'est-à-dire qu'il y a eu au total : 24 mesures de Fhzt par crans et ainsi 96 mesures pour chaque STExe. Les STExe étaient accrochés à un point fixe à hauteur de hanche humaine en condition d'utilisation. Un expérimentateur tirait horizontalement le dynamomètre K-Pull accroché au câble du STExe. Il devait le tirer à vitesse constante, pour la première sortie, sur la distance du câble de 5 à 10m, puis de 25 à 30m, et ensuite il répétait l'action pour la deuxième sortie. Toutes les mesures ont été réalisées dans les mêmes conditions expérimentales.

5.1.3. Analyse statistique

L'analyse descriptive est présentée comme moyenne \pm SD pour chaque groupe de mesure. C'est-à-dire pour chaque STExe, chaque cran, de 5 à 10m et pour les deux sorties. La normalité des données a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk ainsi que l'homogénéité des variances par le test de Levene's. La comparaison des sorties du câble 1 et 2, ainsi que des distances de câble (5 à 10m et 25 à 30m) a été réalisée grâce à un test de T de Student sur séries non-appariées. La comparaison des trois STExe ainsi que des quatre crans a été réalisé grâce à une ANOVA à 1 facteur. La localisation des différences a été réalisée grâce à un test post-hoc (test de Tuckey, avec la correction de Games-Howell lorsque l'homogénéité des variances n'était pas respectée). Pour les données qui ne respectaient pas la loi normale, la significativité de la différence a été étudiée par le test de Kruskal-Wallis, puis la différence a été localisée avec le test de Mann-Whitney avec correction de Bonferroni. L'analyse a été effectuée grâce au logiciel JASP.

5.2. Relation charge-vitesse et conversion

5.2.1. Design expérimental

Pour tracer les relations charge-vitesse avec les deux dispositifs, afin de pouvoir ensuite effectuer une conversion, seize sujets ont effectué un total de huit sprints. Trois sprints avec une traction d'un chariot contenant une charge équivalente à 25%, 50% et 75% de leur masse corporelle. Un sprint sans charge correspondant à un sprint à vitesse maximale. Quatre sprints avec le STExe, avec une résistance réglée respectivement aux quatrième, septième, neuvième et onzième cran (Cran 4, Cran 7, Cran 9, Cran 11). Ces quatre crans représentaient pour chaque sujet à une zone assez large de décroissance de leur vitesse maximale.

5.2.2. Sujets

Seize sujets dont 5 femmes et 11 hommes (âge : $19,9 \pm 2,9$; masse : $65,9 \pm 9$ kg ; taille : $174,3 \pm 7,2$ cm) ont été recrutés pour participer à cette étude. Deux sujets avaient une faible pratique du sprint, six sujets en avaient une moyenne, et huit une pratique élevée. Une pratique

faible correspond à moins d'un entraînement en sprint par mois, une moyenne à un entraînement par semaine, et une pratique élevée à plus de trois entraînements en sprint par semaine. Tous les sujets avaient déjà pratiqué du sprint avec résistance, et étaient tous familiarisés avec l'utilisation du Speed Trainer EXER-GENIE®.

5.2.3. Procédure

Chaque sujet a été évalué séparément mais dans des conditions expérimentales identiques (installation, instruction...). Tous les sprints ont été réalisés sur la ligne droite opposée du stade Henri-Lux à Saint-Etienne. La piste devait être sèche pour ne pas modifier le coefficient de friction du chariot (9). La vitesse des sujets a été mesurée par un dispositif GPS (Global Positioning System) de la marque GPEXE. Le GPEXE GK permet de traquer la position du sujet et ainsi de calculer la vitesse. Il recueille des données à une fréquence de 18 Hz. Le GPS était placé dans un gilet près du corps, au niveau de la nuque des sujets. Plusieurs études ont validé l'utilisation des GPS pour mesurer la vitesse de déplacement (16).

Le même chariot d'une masse de 3 kg a été utilisé pour chacune des évaluations possédant un coefficient de friction avec la piste de 0,32 (9). Quatre Speed Trainer EXER-GENIE® neufs (STExe 1, STExe 2, STExe 3, STExe 4) ont servi pour cette étude. Leurs utilisations ont été réparties entre les sujets afin d'obtenir une usure similaire.

Après un échauffement standardisé, orienté pour la pratique en sprint (étirement dynamique, mobilisation articulaire, gammes athlétiques, accélération sub-maximale puis maximale) et se terminant par un sprint maximal et un sprint avec STExe réglé au septième cran, chaque sujet a effectué un total de 8 sprints entrecoupés par trois minutes de récupération. Les sujets ont d'abord réalisé 3 sprints maximaux avec un chariot sur une distance de 30 mètres. Une charge (en kg) représentant 25%, 50% et 75% de leur masse corporelle était disposée sur le chariot (masse du chariot comprise). Les sujets ont réalisé, ensuite, 1 sprint maximal sans aucune résistance sur une distance de 40 mètres. Puis pour finir, les sujets ont effectué 4 sprints maximaux avec le STExe sur une distance de 28 mètres. Pour tous les sprints avec de la résistance (chariot et STExe), les sujets tiraient le chariot ou le STExe avec une sangle attachée au niveau de leur bassin. Chacun des sprints devait être effectué avec l'intention d'atteindre sa vitesse maximale. Des encouragements étaient donnés pour aider les sujets. Pour chaque sprint, les sujets devaient chercher à avoir la vitesse la plus élevée possible jusqu'à ce qu'ils passent le plot symbolisant la fin du sprint positionné à 30m pour le chariot, 28m pour le STExe et à 40m pour le sprint sans charge. Pour les sprints avec STExe contrairement aux deux autres

modalités, les sujets avaient seulement 8m pour décélérer et s'arrêter car le câble des STExe mesure 36m. Cela demandait une décélération soutenue pour la première charge du STExe (quatrième cran). Pour les autres charges, la résistance diminuait suffisamment la vitesse pour permettre aux athlètes de s'arrêter facilement. De nombreuses études montrent que 30m est une distance suffisante pour obtenir une accélération maximale et ainsi atteindre une vitesse maximale (2, 3, 4).

5.2.4. Analyse statistique :

Les données de vitesse ont été filtrées par le logiciel GPEXE. Les pics de vitesse maximale ont été déterminés à l'aide du logiciel. Les relations charge-vitesse avec chariot et avec STExe, ont été établies pour chaque sujet sur Excel. La fiabilité des relations a été vérifiée grâce au coefficient de détermination (R^2).

6. Résultats

Les tables 1, 2, 3 et 4 montrent les résultats de la calibration et donc les mesures de force horizontale. Les résultats sont présentés en moyenne \pm écart-type de chaque groupe de mesure détaillé dans les méthodes ainsi que la mise en évidence des différences en newton et en pourcentage entre les groupes de mesure.

La figure 1 montre pour un sujet un exemple des relations de vitesse (en mètres par seconde) en fonction de la charge d'un STExe (en cran) et de la charge d'un chariot (en pourcentage de masse corporelle). La figure 2 montre pour un sujet un exemple des relations charge STExe et chariot en fonction de la décroissance de la vitesse. La figure 3 montre la relation charge du STExe en fonction de la décroissance de la vitesse et montre ainsi les écarts de charge à 25 %, 50 % et 75 % de V_{dec} entre les sujets. La figure 4 montre pour l'ensemble des sujets, et en moyenne, la relation de conversion entre les charges du STExe et du chariot.

Table 1

Comparaison des mesures de force horizontale de résistance en newton et en pourcentage entre les trois Speed Trainer Exer-genie (STExe) pour la sortie 1 sur la distance de 25 à 30m du câble pour quatre crans (4,7,9 et 11)

Analyse force : STE 1 vs. STE 2 vs. STE 5									
	STExe 1 (N)	STExe 2 (N)	STExe 5 (N)	STExe 1 – 2 (N)	Δ (%)	STExe 2 – 5 (N)	Δ (%)	STExe 1 – 5 (N)	Δ (%)
Cran 4	0.65 \pm 0.11	1.5 \pm 0.13	0.57 \pm 0.08	-0.84 ***	-57%	0.92 ***	162%	0.08	14%
Cran 7	1.58 \pm 0.07	2.97 \pm 0.11	1.85 \pm 0.11	-1.39 ***	-47%	1.11 ***	60%	-0.27 ***	-15%
Cran 9	3.39 \pm 0.32	5.06 \pm 0.34	4.62 \pm 0.27	-1.67 ***	-33%	0.44	10%	-1.23 ***	-27%
Cran 11	5.43 \pm 0.48	5.76 \pm 0.19	9.58 \pm 0.56	-0.33	-6%	-3.82 ***	-40%	-4.15 ***	-43%

Note : *** différence significative ($p < 0,001$). Δ (N) = différences entre les STExe en newton. Δ (%) = différences entre les STExe en pourcentage.

Table 2

Comparaison des mesures de force horizontale de résistance entre les quatres crans de trois Speed Trainer Exer-genie (STExe) pour la sortie 1 sur la distance de 25 à 30m du câble

Analyse force : Cran 4 vs. Cran 7 vs. Cran 9 vs. Cran 11							
	Cran 4 – 7 (N) Δ (%)		Cran 4 – 9 (N) Δ (%)		Cran 4 – 11 (N) Δ (%)		
STExe 1	-0.93 ***	-59%	-2.75 ***	-81%	-4.78 ***	-88%	
STExe 2	-1.47 ***	-50%	-3.57 ***	-71%	-4.26 ***	-74%	
STExe 5	-1.28 ***	-69%	-4.05 ***	-88%	-9.01 ***	-94%	

	Cran 7 – 9 (N) Δ (%)		Cran 7 – 11 (N) Δ (%)		Cran 9 – 11 (N) Δ (%)	
STExe 1	-1.81 ***	-53%	-3.85 ***	-71%	-2.03 ***	-37%
STExe 2	-2.1 ***	-41%	-2.79 ***	-48%	-0.69 ***	-12%
STExe 5	-2.77 ***	-60%	-7.73 ***	-81%	-4.96 ***	-52%

Note : *** différence significative ($p < 0,001$). Δ (%) = différence entre les crans en pourcentage.

Table 3

Comparaison des mesures de force horizontale de résistance entre la sortie 1 et la sortie 2 du câble (de 25 à 30m) pour quatre crans de trois Speed Trainer Exer-Genie (STExe)

		Analyse force : Sortie 1 vs. Sortie 2			
	Cran	Sortie 1 (N)	Sortie 2 (N)	Δ (N)	Δ (%)
STExe 1	4	0.65 ± 0.11	0.67 ± 0.06	-0.02	-3%
	7	1.58 ± 0.07	1.57 ± 0.08	0.01	1%
	9	3.39 ± 0.32	3.31 ± 0.3	0.09	3%
	11	5.43 ± 0.48	5.64 ± 0.22	-0.21	-4%
STExe 2	4	1.5 ± 0.13	1.48 ± 0.08	0.01	1%
	7	2.97 ± 0.11	2.97 ± 0.1	-0.01	0%
	9	5.06 ± 0.34	5.25 ± 0.74	-0.18	-3%
	11	5.76 ± 0.19	5.28 ± 0.27	0.47 *	9%
STExe 5	4	0.57 ± 0.08	0.52 ± 0.07	0.04	9%
	7	1.85 ± 0.11	1.87 ± 0.05	-0.02	-1%
	9	4.62 ± 0.27	4.18 ± 0.3	0.44 *	11%
	11	9.58 ± 0.56	10.31 ± 0.53	-0.73 *	-7%

Note : * différence significative (p < 0,05). Δ (N) = différences Sortie 1 - Sortie 2 en newton. Δ (%) = différences Sortie 1 - Sortie 2 en pourcentage.

Table 4

Comparaison des mesures de force horizontale de résistance entre deux distances de câble (5 à 10m et 25 à 30m) pour la sortie 1 de quatre crans de trois Speed Trainer Exer-Genie (STExe)

		Analyse force : 5 à 10m vs. 25 à 30m			
	Cran	5 à 10m (N)	25 à 30m (N)	Δ (N)	Δ (%)
STExe 1	4	0.92 ± 0.17	0.65 ± 0.11	0.28 **	-30%
	7	2.86 ± 0.21	1.58 ± 0.07	1.28 ***	-45%
	9	4.85 ± 0.59	3.39 ± 0.32	1.45 ***	-30%
	11	8.09 ± 0.23	5.43 ± 0.48	2.66 **	-33%
STExe 2	4	2.15 ± 0.14	1.5 ± 0.13	0.65 ***	-30%
	7	4.97 ± 0.79	2.97 ± 0.11	1.9 ***	-39%
	9	7.47 ± 0.6	5.06 ± 0.34	2.4 ***	-32%
	11	8.34 ± 0.21	5.76 ± 0.19	2.58 ***	-31%
STExe 5	4	1.25 ± 0.05	0.57 ± 0.08	0.68 ***	-54%
	7	3.89 ± 0.13	1.85 ± 0.11	2.04 ***	-52%
	9	9.22 ± 0.76	4.62 ± 0.27	4.6 ***	-50%
	11	18.18 ± 1.17	9.58 ± 0.56	8.59 ***	-47%

Note : ** différence significative (p < 0,01). *** différence significative (p < 0,001). Δ (N) = différences des distances de câble en newton. Δ (%) = différences des distances de câble en pourcentage.

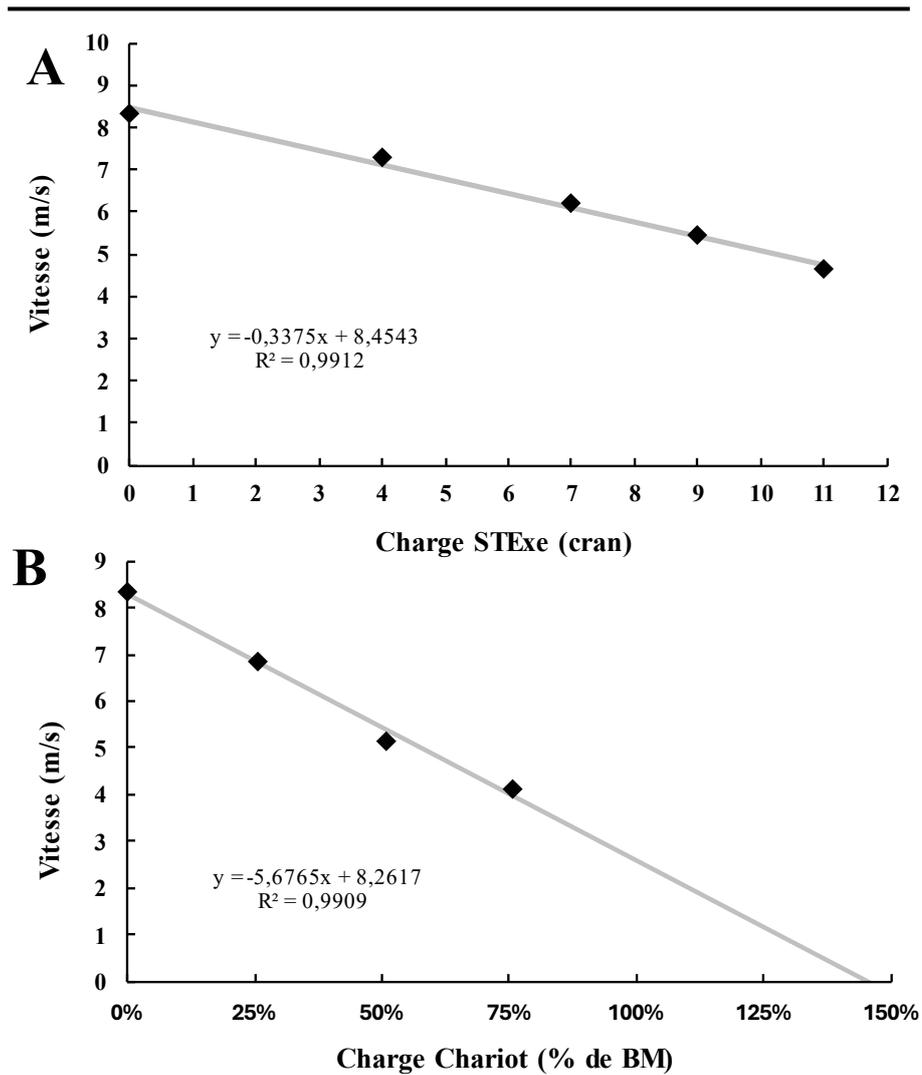


Figure 1 : Exemple de la relation vitesse en fonction, pour le A de la charge en cran d'un Speed Trainer Exer-Genie (STExe), pour le B de la charge en pourcentage de masse corporelle d'un chariot pour un sujet.

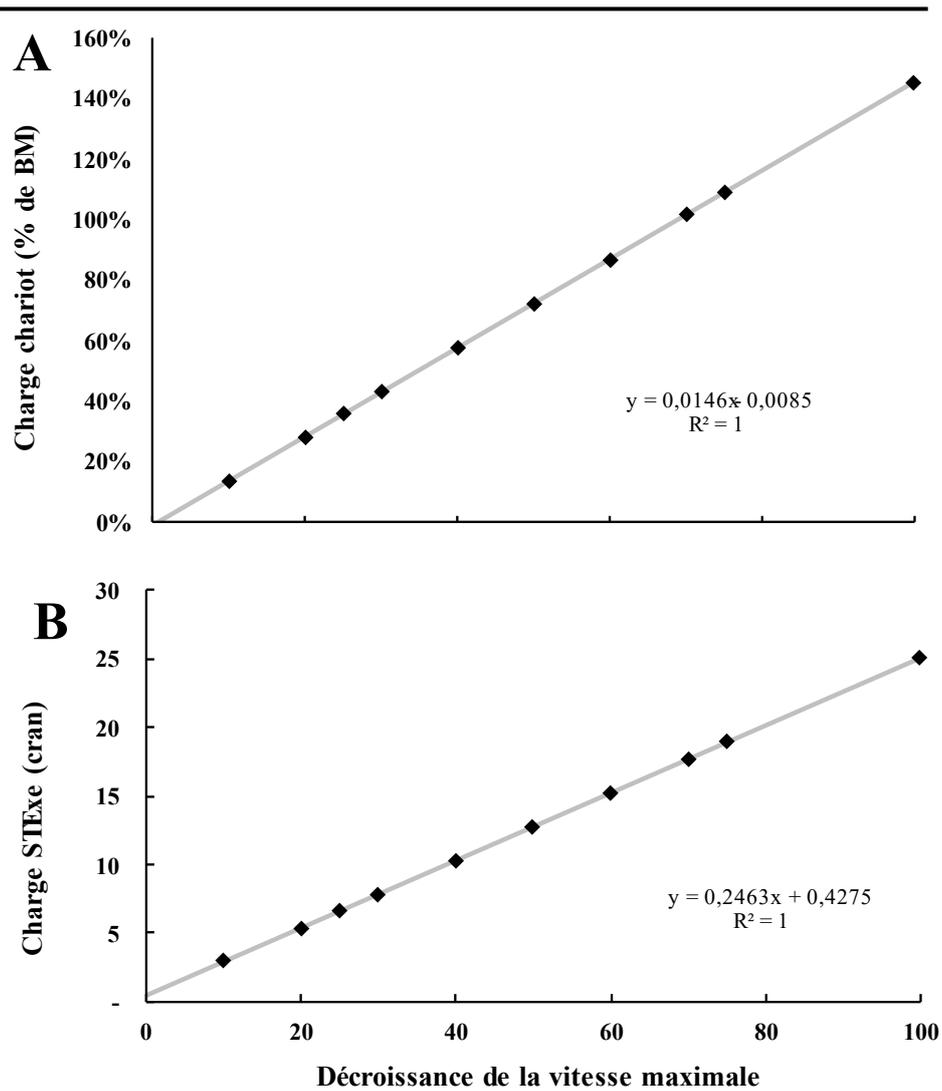


Figure 2 : Exemple de la relation, pour le A : charge en pourcentage de la masse corporelle d'un chariot, pour le B : charge en cran d'un Speed Trainer Exer-Genie (STExe), en fonction de la décroissance de la vitesse maximale pour un sujet.

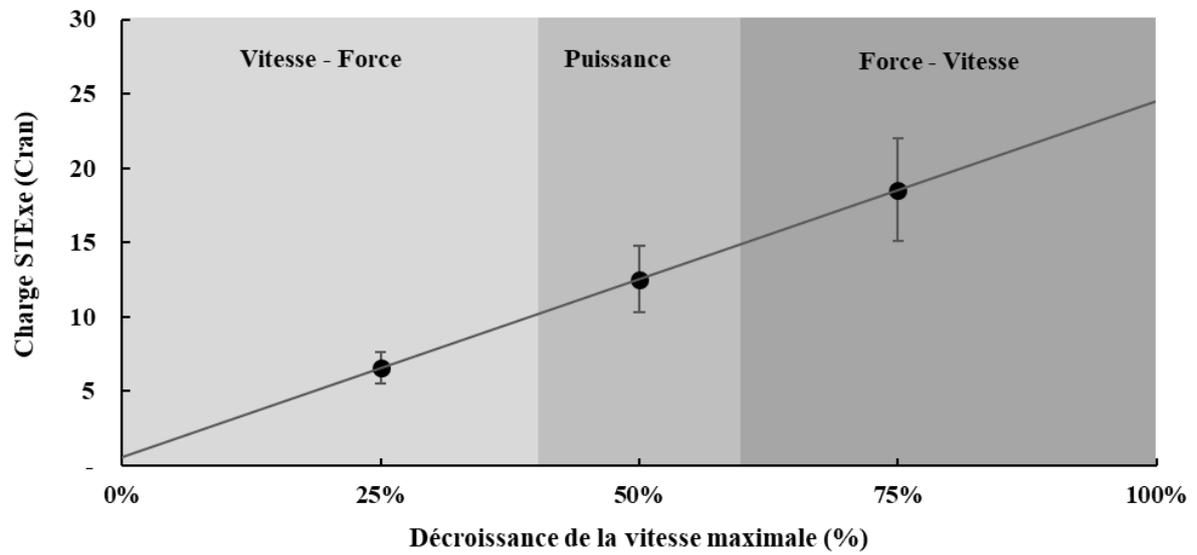


Figure 3 : Relation charge d'un Speed Trainer Exer-Genie (STExe) en fonction de la décroissance de la vitesse maximale pour l'ensemble des sujets.

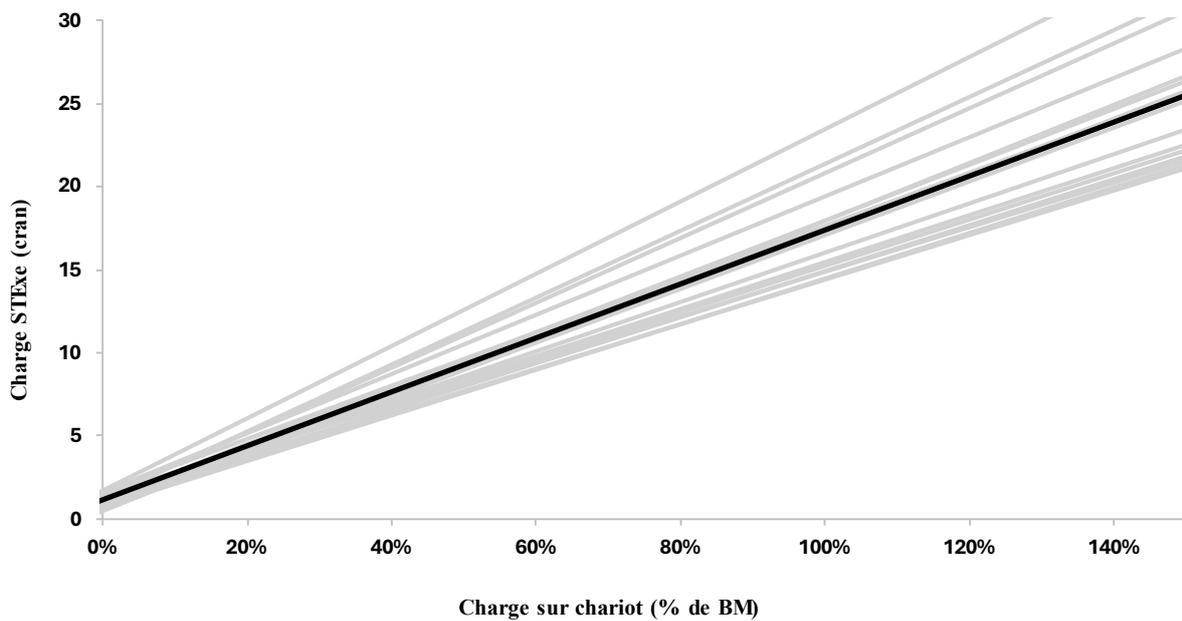


Figure 4 : Relation de chaque sujet (en gris) et relation moyenne (en noir) de la charge en cran d'un Speed Trainer Exer-Genie (STExe) en fonction de la charge en pourcentage de la masse corporelle d'un chariot.

7. Discussion

L'objectif de cette étude était d'explorer les possibilités et limites du Speed Trainer EXER-GENIE® grâce aux différentes mesures de force horizontale de résistance. La calibration a montré des résultats à la fois logiques et étonnants. Tout d'abord, pour la comparaison des STExe, nous obtenons des mesures de force très différentes en fonction de chaque dispositif. On s'attendait à obtenir des résultats distincts entre les STExe neufs (1 et 2) et le STExe 5 usé. En effet, l'utilisation régulière de l'appareil provoque un empoussiérage du câble et de la bobine, ce qui augmente à terme la force de friction. Cependant, nous ne nous attendions pas à trouver des résultats aussi éloignés entre les deux STExe neufs. Nous trouvons une différence significative pour trois des crans testés. Par exemple, pour le 7^{ème} cran, une différence de 1,39 newton correspondant à environ 4 kg sur un chariot avec un coefficient de friction à 0,32 (7) peut être non négligeable en fonction des exigences de l'entraînement. Ces résultats pourraient s'expliquer par des variations de fabrication sur la composition et le montage des appareils mais aussi par des erreurs de mesure dans notre étude. L'étude de Ghigiarelli (8) montre aussi des différences entre leurs deux STExe à 36m. Cependant, ils trouvent une augmentation beaucoup plus uniforme entre chaque cran. En termes de ressenti par les sujets, les STExe neufs ne montrent pas tant de dissemblance entre eux.

Comme attendu, nous constatons des différences entre les quatre crans testés. Même si ces derniers étaient légèrement espacés nous supposons tout de même qu'une rotation d'un seul cran provoque un changement de force significatif.

Les deux sorties du câble montrent très peu de différence pour les trois STExe. Pour les crans 9 et 11, les variations de force sont plus importantes. Outre la variabilité des mesures, il est normal de trouver des différences plus prononcées lorsque la surface de friction entre le câble et la bobine augmente.

Le point le plus intéressant est la différence entre la Fhzt de résistance demandée lorsque le câble est tiré sur une distance de 5 et 10m par rapport à une distance de 25 à 30m. Il y a environ entre 30% à 50% de différence entre les deux sorties pour chaque cran. Cela s'explique par plusieurs raisons. Tout d'abord, lorsque le câble est peu tiré, la partie avant du câble traîne sur le sol devant le STExe. En revanche, lorsque le câble est complètement tiré, il se situe alors derrière et est suspendu en l'air. Cela entraîne forcément une augmentation de la force de friction entre le câble et le sol diminuant au fur et à mesure que le câble se déroule. Puis, on

suppose aussi qu'avec l'augmentation de la vitesse, la cinétique de frottement du câble dans la bobine peut être modifiée.

Un aspect qui n'a pas été traité dans notre étude à cause de sa complexité de mise en place est la différence entre un STExe chaud et froid. Le retour d'expérience de certains entraîneurs utilisant le STExe ainsi que le blog de J.B. Morin (11) indiquent qu'il pourrait y avoir une différence entre les deux modalités. Durant une séance, une augmentation prononcée de la chaleur est provoquée par l'utilisation répétée du dispositif. On suppose que cette chaleur modifie la cinétique de friction entre le câble et la bobine métallique.

La calibration confirme parfaitement que le STExe propose des charges et donc des forces de résistance très distinctes allant de faibles à très élevées. Par conséquent, le STExe peut être utilisé pour faire du RST.

Une étude de Cahill (2) montre que la relation charge-vitesse en RST avec chariot est linéaire permettant de tracer des profils charge-vitesse individuels pour les athlètes. Le but de l'étude était de savoir si le STExe le permettait également. Et en effet, nous obtenons des résultats très similaires (figure 1) : les relations charge-vitesse en STExe sont très linéaires ($R^2 > 0,95$) pour l'ensemble des sujets. Malgré la linéarité des deux relations charge-vitesse en chariot et en STExe, nous obtenons deux profils différents (coefficients de pente différents). Ce qui est tout à fait logique puisque les relations n'ont pas été établies avec les mêmes charges. La méthode consistant à quantifier les différentes forces de résistance en décroissance de la vitesse maximale (V_{dec}) est très intéressante dans ce contexte (2, 3). En effet, des études ont démontré que la relation charge- V_{dec} en chariot est linéaire (2, 3). Comme illustré dans la figure 2, nos relations charge- V_{dec} en STExe et en chariot révèlent une linéarité parfaite ($R^2 = 1$) pour l'ensemble des sujets. De ce fait, nous avons des coefficients (pente et ordonnée à l'origine) permettant de tracer des relations charge du STExe en fonction de la charge du chariot pour chaque sujet (Figure 3). Ces relations et coefficients permettent de convertir une charge en chariot en cran du STExe. Il faut tout de même faire attention avec cette conversion. Tout d'abord, ce résultat ne compte que pour le chariot et sur la piste utilisés pour l'étude (7). Mais aussi, les résultats sont assez hétérogènes au niveau des coefficients de pente des relations chargeSTExe – chargeChariot de chaque sujet. Plus la Fhzt de résistance est élevée, plus il y a des disparités entre les sujets au niveau de la conversion. Ces résultats sont en parti explicables par l'utilisation de quatre STExe différents. Ces derniers proposent certainement des Fhzt de résistance différentes comme démontré dans la calibration. Cependant, nous aurions dû obtenir des coefficients variés entre les STExe, mais des coefficients similaires pour plusieurs sujets sur un même STExe. Les sujets réagissent différemment aux dispositifs que ce soit du chariot

ou du STExe. Pour les relations situées en-dessous de la relation moyenne, pour la même Vdec, ces sujets arrivent à mettre plus de poids sur le chariot que sur le STExe. Pour les relations au-dessus de la moyenne, c'est l'inverse. On peut donc supposer qu'il y a des préférences de dispositif de RST et/ou des différences au niveau de la familiarisation. Les coefficients de relation moyens pourraient être utilisés pour convertir entre le STExe et le chariot. Mais, il y aurait une erreur de précision trop élevée pour proposer un entraînement qualitatif. Pour faire une conversion précise, il faut traiter chaque athlète et chaque outil indépendamment.

La figure 4 permet de comprendre en partie les différences individuelles. Pour 25% de Vdec, nécessitant, pour la plupart des sujets, des charges faibles et donc de petites Fhzt de résistance, nous avons des petites disparités. Tandis qu'à 75% de Vdec, demandant des Fhzt de résistance élevées, nous avons des disparités qui se sont amplifiées. Cela s'explique premièrement par les différences entre les STExe qui sont supérieures lorsque nous avons des forces de résistance élevées. Dans son étude, Cahill (2) obtient les mêmes résultats pour un chariot donc ces disparités ne sont pas produites par les dispositifs. De fait, chaque athlète est unique avec des qualités physiques différentes et possède donc son propre profil charge-vitesse et charge-Vdec. L'hétérogénéité des profils charge-Vdec est explicable par des disparités au niveau du profil force-vitesse des sujets (15). De récentes études sur le profil force-vitesse en sprint montrent qu'il existe un profil optimal pour développer le plus de puissance horizontale. Les athlètes sont plus ou moins éloignés de leur profil optimal que ce soit au niveau de la vitesse ou de la force (9, 15). Ainsi pour une même charge en STExe ou en chariot, deux athlètes avec une vitesse maximale similaire pourraient sprinter à des vitesses complètement différentes.

Des études ont montré que le RST a une influence très élevée sur le profil force-vitesse des athlètes (9, 15). Il est donc très important d'individualiser le RST, que ce soit en chariot en utilisant la décroissance de la vitesse maximale plutôt qu'un pourcentage de la masse corporelle ou encore qu'un cran en STExe. Il faut établir un profil charge-vitesse du STExe pour chaque athlète, puis établir un profil charge-Vdec pour pouvoir correctement calibrer l'entraînement.

Cette étude présente certaines limites, notamment au niveau de la calibration. La méthode peut être critiquée. En effet, les mesures de forces ont été effectuées manuellement, nécessitant qu'un expérimentateur tire le STExe à vitesse constante. Il est donc possible qu'il y ait eu de légères variations de vitesse modifiant légèrement la Fhzt de résistance. Cependant, les coefficients de variation restent tout de même faibles. Bien que la plupart des données pour chaque catégorie de mesure soient assez proches, certaines dénotaient complètement indiquant une erreur de mesure. Seulement six mesures ont été réalisées pour chaque catégorie, ce qui est trop faible pour avoir une puissance statistique optimale. Nous avons également comparé

seulement trois STExe, ils seraient intéressants de comparer plus de STExe entre eux. Pour les relations charge-vitesse ainsi que la conversion, les principales limites sont directement dues aux sujets. En effet, une telle étude demande la même intention maximale pour chaque sprint. Les résultats montrent bien que les sujets n'ont pas appréhendé les dispositifs de la même manière. Certains sujets ont peut-être été légèrement gênés par le fait d'avoir seulement 8 mètres pour décélérer pour les sprints avec STExe.

8. Conclusion

L'objectif de cette étude était d'explorer les avantages et les limites qu'un Speed Trainer EXER-GENIE® pourrait offrir lors d'un entraînement en sprint avec résistance et ainsi de le comparer par rapport à un chariot. L'analyse des Fhzt de résistance du STExe montre qu'il est parfaitement utilisable pour du sprint avec RST. Cependant, chaque STExe demande une calibration individuelle pour pouvoir quantifier les forces de résistance. Il serait intéressant pour explorer davantage le dispositif, d'analyser comment il réagit après une utilisation intensive, y compris sous la pluie, mais aussi de comparer plus de STExe pour conclure des différences ou non. Le gros avantage du STExe est qu'il peut être utilisé sur tout type de surface et de terrain que ce soit de l'herbe, une piste ou encore de la glace. Une calibration n'est pas obligatoire pour utiliser un STExe de manière précise. En effet, il faut individualiser au maximum l'entraînement, et pour cela il faut connaître le profil charge-vitesse de l'athlète. La mesure de la vitesse sur un sprint maximal et trois sprints avec des charges différentes du STExe est suffisante pour tracer une relation fiable.

Nous avons supposé qu'une conversion entre le STExe et le chariot était possible. Il existe bel et bien des coefficients permettant cela mais cette méthode est compliquée à mettre en place. Elle fonctionne de façon individuelle. Elle est adaptée pour un seul athlète et un seul dispositif EXER-GENIE®. Une conversion moyenne est trop imprécise car il y a trop de données pouvant l'influencer, que ce soient les différences entre les athlètes, les coefficients de friction des chariots ou encore les STExe.

En conclusion, le STExe, tout comme le chariot, nécessite une évaluation des athlètes pour une utilisation optimale. Il faut faire attention de bien prendre en compte les différences de force entre le début et la fin du câble. Cependant, le STExe par son prix attractif et sa facilité d'utilisation peut présenter des bénéfices par un rapport à un chariot classique.

9. Perspectives

Je souhaite pour l'année universitaire prochaine poursuivre le master E.I.P.S de Saint-Etienne en deuxième année. En parallèle, je vais continuer à entraîner et coordonner un groupe d'athlètes pratiquant les épreuves combinées de niveau régional à national au sein du Coquelicot 42 Athlétisme. Cette expérience professionnelle me permet de mettre en pratique et d'explorer l'entraînement axé sur la performance. J'aimerais me rapprocher le plus possible de l'optimisation de très haute performance. Ainsi, dans les années avenir, je suis déterminé à acquérir et développer autant de connaissances et de compétences que possible.

Le Master est un excellent moyen d'obtenir des qualifications dans l'évaluation de la performance. De plus, le stage de fin d'étude proposé en master 2 me permettra de continuer à découvrir le monde professionnel. Je souhaiterais faire un stage de recherche pratique. De recherche, car pour moi, il est inéluctable que la recherche scientifique est la clé du développement de la performance. Et pratique, car je souhaite faire un stage contextualisé, concret, proche de ce qui se passe sur le terrain. Le domaine du développement et l'évaluation des qualités physiques pour des sports explosifs m'intéresse vraiment.

Enfin, le certificat universitaire sur le Trail que proposera probablement le S.T.A.P.S. pourrait aussi m'intéresser pour élargir mes connaissances.

10. Bibliographie

1. **Cahill MJ, Cronin JB, Oliver JL, P. Clark K, Lloyd RS, Cross MR.** Sled Pushing and Pulling to Enhance Speed Capability. *Strength & Conditioning Journal* 41: 94–104, 2019.
2. **Cahill MJ, Oliver JL, Cronin JB, Clark KP, Cross MR, Lloyd RS.** Sled-Pull Load–Velocity Profiling and Implications for Sprint Training Prescription in Young Male Athletes. *Sports* 7: 119, 2019.
3. **Cahill MJ, Oliver JL, Cronin JB, Clark K, Cross MR, Lloyd RS, Lee JE.** Influence of Resisted Sled-Pull Training on the Sprint Force-Velocity Profile of Male High-School Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 34: 2751–2759, 2020.
4. **Cross MR, Brughelli M, Samozino P, Brown SR, Morin J-B.** Optimal Loading for Maximizing Power During Sled-Resisted Sprinting. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12: 1069–1077, 2017.
5. **Cross MR, Lahti J, Brown SR, Chedati M, Jimenez-Reyes P, Samozino P, Eriksrud O, Morin J-B.** Training at maximal power in resisted sprinting: Optimal load determination methodology and pilot results in team sport athletes. *PLoS ONE* 13: e0195477, 2018.
6. **Cross MR, Samozino P, Brown SR, Lahti J, Jimenez-Reyes P, Morin J-B.** Comment on: “The Effectiveness of Resisted Sled Training (RST) for Sprint Performance: A Systematic Review and Meta-analysis.” *Sports Med* 49: 349–351, 2019.
7. **Cross MR, Tinwala F, Lenetsky S, Samozino P, Brughelli M, Morin J-B.** Determining friction and effective loading for sled sprinting. *Journal of Sports Sciences* 35: 2198–2203, 2017.
8. **Ghigiarelli JJ, Ferrara KJ, Yang Y, Abrechsten JD, Barat VM, Sell KM, Gonzalez AM.** Quantification of horizontal force for the EXER-GENIE® resisted sprint training device. *Front Sports Act Living* 5: 1231371, 2023.
9. **Lahti J, Jiménez-Reyes P, Cross MR, Samozino P, Chassaing P, Simond-Cote B, Ahtainen JP, Morin J-B.** Individual Sprint Force-Velocity Profile Adaptations to In-Season Assisted and Resisted Velocity-Based Training in Professional Rugby. *Sports* 8: 74, 2020.

10. **Martínez-Valencia MA, Romero-Arenas S, Elvira JLL, González-Ravé JM, Navarro-Valdivielso F, Alcaraz PE.** Effects of Sled Towing on Peak Force, the Rate of Force Development and Sprint Performance During the Acceleration Phase. *Journal of Human Kinetics* 46: 139–148, 2015.
11. **Morin J-B.** Sprint « Velocity-Based Training » : it all starts with individual load-velocity profiling. *JB Morin, PhD – Sport Science Understand – Evaluate – Improve – Enjoy*, 2022.
12. **Morin J-B, Bourdin M, Edouard P, Peyrot N, Samozino P, Lacour J-R.** Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol* 112: 3921–3930, 2012.
13. **Morin J-B, Capelo-Ramirez F, Rodriguez-Pérez MA, Cross MR, Jimenez-Reyes P.** Individual Adaptation Kinetics Following Heavy Resisted Sprint Training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 36: 1158–1161, 2022.
14. **Morin J-B, Petrakos G, Jiménez-Reyes P, Brown SR, Samozino P, Cross MR.** Very Heavy Sled Training for Improving Horizontal-Force Output in Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12: 840–844, 2017.
15. **Morin J-B, Samozino P.** Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 11: 267–272, 2016.
16. **Morin J-B, Samozino P,** editors. A Simple Method for Measuring Force, Velocity and Power Capabilities and Mechanical Effectiveness During Sprint Running. In: *Biomechanics of Training and Testing* : 254. 2018.
17. **Petrakos G, Morin J-B, Egan B.** Resisted Sled Sprint Training to Improve Sprint Performance: A Systematic Review. *Sports Med* 46: 381–400, 2016.

11. Annexes

Annexe 1

Equivalence des unités de mesure d'un Speed Trainer Exer-Genie (STExe) en cran

Tour 1	Cran	0	1	2	3	4	5	6	7
	Unité STExe	0 oz	1 oz	2 oz	3 oz	5 oz	8 oz	10 oz	12 oz
Tour 2	Cran	8	9	10	11	12	13	14	15
	Unité STExe	1 lb	2 lb	3 lb	4 lb	5 lb	6 lb	7 lb	8 lb
Tour 3	Cran	16	17	18	19	20	21	22	23
	Unité STExe	9 lb	10 lb	12 lb	16 lb	20 lb	24 lb	32 lb	36 lb
Tour 4	Cran	24	25	26	27	28	29	30	31
	Unité STExe	42 lb	50 lb	60 lb	70 lb	80 lb	90 lb	100 lb	110 lb
Tour 5	Cran	32	33	34	35	36	37	38	39
	Unité STExe	130 lb	160 lb	190 lb	220 lb	250 lb	280 lb	310 lb	350 lb
Tour 6	Cran	32	33	34	35	36	37	38	39
	Unité STExe	390 lb	430 lb	470 lb	500 lb	510 lb	520 lb	550 lb	600 lb

Annexe 2

Figure provenant de l'étude de Ghigiarelli et al. Elle montre un Speed Trainer EXER-GENIE® avec et sans la protection plastique laissant apparaître la bobine métallique autour duquel s'enroule câble.



FIGURE 1
EXER-GENIE® device with and without the outer covering shell.