

# Économie de course comparée de trois super shoes à plaque carbone chez un triathlète élite de longue distance : étude pilote en sujet unique sur tapis roulant

Benjamin Pernet<sup>1</sup> · Matthieu Bolzer<sup>2</sup> · Emilien Fronzaroli<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Entraîneur, BPC Triathlon Coaching — conception et analyse

<sup>2</sup> Athlète participant

<sup>3</sup> Dr Emilien Fronzaroli — supervision médicale et scientifique du protocole

Test réalisé le 30 avril 2026 · Pré-print rédigé en mai 2026 · Correspondance : bpernet@gmail.com

## Résumé

**Contexte.** Les chaussures de compétition à plaque carbone (« super shoes ») améliorent l'économie de course, mais la réponse est connue pour être individuelle et les écarts entre deux modèles récents peuvent être faibles. Chez le triathlète de longue distance, courant sous fatigue résiduelle, la question pratique est de savoir quelle paire coûte le moins cher physiologiquement à un athlète donné, à allure contrôlée.

**Objectif.** Comparer le coût en oxygène (économie de course) de trois super shoes chez un seul triathlète élite, à vitesse imposée sur tapis roulant, dans un plan intra-sujet à mesures répétées.

**Méthodes.** Matthieu Bolzer (71 kg, élite longue distance) a couru six blocs de 6 minutes selon une séquence fixe ABCBAC (chaque modèle testé deux fois), à 16,4 km/h et 1,0 % de pente. L'analyse a été conduite à partir des exports respiration-par-respiration du chariot métabolique : pour chaque bloc, les trois premières minutes ont été exclues et la VO<sub>2</sub> a été moyennée sur les deux dernières minutes du palier stable, puis normalisée à la masse corporelle. La fréquence cardiaque et la lactatémie ne figurent pas dans les fichiers et ne sont pas disponibles.

**Résultats.** L'analyse primaire, restreinte aux premiers passages (avant l'accumulation de fatigue de fin de séance), suggère un avantage de l'Asics Metaspeed Sky de ~1,8 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> (~3,3 %) sur la Puma Fast-R 3 et l'Adidas Adizero Adios Pro 4 (52,8 vs 54,6 vs 54,6), avec une seule observation par modèle. Sur l'ensemble des six blocs, les trois moyennes (Puma 55,0 / Asics 54,6 / Adidas 53,8) tiennent dans 1,1 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> — un écart inférieur à la variabilité entre les deux passages d'une même chaussure (jusqu'à 3,7 pour l'Asics). La séquence ABCBAC place systématiquement l'Asics en positions tardives (3 et 6, moyenne 4,5) tandis que les deux autres modèles occupent des positions plus précoces (moyenne 3,0) ; toute dérive de fin de séance pénalise donc mécaniquement l'Asics au second passage. Le RER reste compris entre 0,87 et 0,91 sur tous les blocs.

**Conclusion.** Les résultats sont non concluants. Le sous-ensemble propre (premiers passages, avant fatigue) suggère un avantage de l'Asics du même ordre de grandeur que l'effet typique des super shoes rapporté dans la littérature, mais repose sur n = 1 par modèle. Le plan ABCBAC, qui ne neutralise pas la position temporelle, empêche d'attribuer aux chaussures plutôt qu'à l'ordre la perte de cet avantage au second passage. Ces résultats, issus d'un sujet unique et de la seule VO<sub>2</sub>, sont exploratoires.

**Mots-clés :** économie de course · VO2 · super shoes · plaque carbone · triathlon · sujet unique · tapis roulant

## 1. Introduction

L'arrivée des chaussures de compétition à semelle épaisse, mousse à fort retour d'énergie et plaque rigide en fibre de carbone a modifié les repères de la course à pied de performance. La littérature a montré que ces modèles peuvent réduire le coût métabolique de la course de l'ordre de 4 % en moyenne par rapport à des chaussures de course établies (Hoogkamer et al., 2018), tout en soulignant une variabilité interindividuelle marquée et des écarts souvent faibles entre deux modèles de même génération. L'économie de course — la quantité d'oxygène consommée pour soutenir une vitesse donnée — est un déterminant majeur de la performance en endurance (Saunders et al., 2004 ; Barnes & Kilding, 2015). À allure sous-maximale stable, une VO2 plus basse traduit directement un coût énergétique plus faible.

Chez le triathlète de longue distance, la course suit plusieurs heures de vélo et s'effectue sous fatigue résiduelle. Le choix d'une chaussure devrait donc tenir compte du coût physiologique réel pour l'athlète concerné. La question posée ici n'est pas « quelle chaussure est magique ? » mais « à allure contrôlée, quelle paire permet à cet athlète de courir au coût en oxygène le plus bas ? ».

Cette étude pilote, en sujet unique, compare le coût en oxygène de trois super shoes chez un triathlète élite de longue distance, à vitesse imposée sur tapis roulant. L'analyse est conduite directement à partir des exports bruts du chariot métabolique, afin de fonder les conclusions sur les données sources plutôt que sur des lectures d'écran.

## 2. Méthodes

### 2.1 Participant

Le participant est Matthieu Bolzer, athlète masculin de niveau élite en triathlon longue distance (masse corporelle 71 kg ; profil : Ironman de l'ordre de 7 h 50, marathon ≈ 2 h 38 ; athlète de référence du programme « Performance Durable » de BPC Triathlon Coaching). Le test a été réalisé en laboratoire, en présence de l'athlète et de son entraîneur (Benjamin Pernet), sous la supervision du Dr Emilien Fronzaroli.

### 2.2 Conditions (chaussures)

Trois modèles de super shoes à plaque carbone ont été comparés, désignés A, B et C pour le plan de passage :

- A — Puma Fast-R 3 ;
- B — Adidas Adizero Adios Pro 4 ;
- C — Asics Metaspeed Sky.

### 2.3 Plan expérimental

Le test a été conduit sur tapis roulant, selon un plan intra-sujet à mesures répétées. Chaque modèle a été testé deux fois, selon une séquence fixe ABCBAC : bloc 1 Puma, bloc 2 Adidas, bloc 3 Asics, bloc 4 Adidas, bloc 5 Puma, bloc 6 Asics. Chaque bloc durait 6 minutes à vitesse imposée (≈ 16,4 km/h), maintenue jusqu'à stabilisation des échanges respiratoires, suivi d'une récupération tapis arrêté. Note importante : cette séquence n'équilibre que partiellement les positions temporelles — l'Asics occupe les positions 3 et 6 (moyenne 4,5), tandis que la Puma

et l'Adidas occupent les positions {1, 5} et {2, 4} (moyenne 3,0 chacune). Toute dérive de fin de séance pénalise donc mécaniquement l'Asics ; un latin square strict aurait été préférable (voir Limites).

## 2.4 Acquisition et traitement des données

Les six blocs ont été enregistrés par un chariot métabolique en mode respiration-par-respiration (fichiers test 1 à test 6), comprenant notamment la VO<sub>2</sub> et la VCO<sub>2</sub> absolues (L·min<sup>-1</sup>), la ventilation, la vitesse et la pente. Pour chaque bloc, conformément au protocole, les trois premières minutes ont été exclues pour s'approcher d'un état stable ; la valeur retenue est la moyenne de la VO<sub>2</sub> sur les deux dernières minutes de la phase de course stable (vitesse ≥ 15 km/h), avant la décélération de récupération. Cette phase utile dure 4,6 à 5,1 min selon le bloc. La VO<sub>2</sub> absolue a été convertie en ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> en la rapportant à la masse corporelle (71 kg). Le quotient respiratoire (RER = VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>) a été calculé sur la même fenêtre. La robustesse du résultat a été vérifiée en répétant le calcul sur plusieurs fenêtres (minutes 3–5, 3–6, 4–6, et dernières minutes du palier) : le classement des moyennes est inchangé. Néanmoins, un examen minute par minute révèle qu'un véritable plateau n'est pas atteint : la VO<sub>2</sub> continue d'augmenter de 1 à 2 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> entre les minutes 3 et 5 dans la quasi-totalité des blocs. Les valeurs retenues correspondent donc à la fin du bloc plutôt qu'à un état strictement stationnaire — cette dérive intra-bloc est prise en compte dans l'interprétation et listée comme limite (Section 5).

**Mesures non disponibles.** Les colonnes de fréquence cardiaque et de lactatémie des fichiers sont vides (valeurs nulles) : ces indicateurs, prévus au protocole, ne sont pas exploitables. Le ressenti de l'athlète n'est pas non plus disponible. L'analyse repose donc sur la seule VO<sub>2</sub> (et le RER).

**Note de provenance.** Une lecture initiale des valeurs « à l'écran » sur les dernières minutes de chaque passage avait suggéré un avantage marqué de l'Asics (VO<sub>2</sub> notées jusqu'à 50 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>). La ré-extraction systématique depuis les fichiers bruts ne confirme pas cette observation (voir Section 4) : cet épisode illustre un biais de confirmation classique, favorisé par la lecture d'une valeur instantanée plutôt que d'une moyenne sur fenêtre. Les valeurs présentées ci-dessous sont celles, reproductibles, issues des exports.

## 2.5 Homogénéité des conditions

La vitesse est homogène entre les six blocs (≈ 16,4 km/h, écart < 0,1 km/h). La pente est également homogène à 1,0 % sur les six blocs, confirmée par l'opérateur du test.

**Note méthodologique sur l'export du chariot métabolique.** Une première lecture des exports respiration-par-respiration laissait apparaître une valeur de 0,5 % dans la colonne « Pente » pour les blocs 5 et 6, contre 1,0 % pour les quatre premiers. Vérification faite auprès de l'opérateur du test, la pente effective du tapis est restée à 1,0 % sur l'ensemble des six blocs : la divergence vient d'un champ logiciel du chariot qui n'a pas été synchronisé avec le réglage réel du tapis. Toutes les analyses qui suivent sont conduites sur l'hypothèse — confirmée — d'une pente strictement homogène à 1,0 %.

## 2.6 Considérations statistiques

Avec un seul athlète et deux observations par condition, aucune inférence statistique formelle n'est appropriée ; l'analyse est strictement descriptive. Les écarts entre modèles sont interprétés au regard de la variabilité observée entre les deux passages d'une même

chaussure, utilisée comme estimation grossière du bruit de mesure. À partir de la chaussure dont les deux passages occupent les positions d'ordre les plus rapprochées et donc les moins affectées par une éventuelle dérive de fin de séance (Adidas, blocs 2 et 4, étendue 1,5 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>), on peut estimer un écart minimal détectable (MDE) réaliste de l'ordre de 3 à 5 % ; un effet réel inférieur à ce seuil serait indétectable avec ce dispositif. Les écarts faibles (typiquement < 1,5 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) ne sont pas surinterprétés.

### 3. Résultats

Tableau 1. VO<sub>2</sub> par bloc (moyenne sur les 2 dernières minutes du palier stable, 71 kg).

Bloc	Chaussure	Passage	Pente	Vitesse	VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )
1	Puma Fast-R 3 (A)	P1	1,0 %	16,4 km/h	54,6
2	Adidas Adios Pro 4 (B)	P1	1,0 %	16,4 km/h	54,6
3	Asics Metaspeed Sky (C)	P1	1,0 %	16,4 km/h	52,8
4	Adidas Adios Pro 4 (B)	P2	1,0 %	16,4 km/h	53,1
5	Puma Fast-R 3 (A)	P2	1,0 %	16,4 km/h	55,3
6	Asics Metaspeed Sky (C)	P2	1,0 %	16,4 km/h	56,4

Tableau 2. VO<sub>2</sub> moyenne par modèle et variabilité entre passages.

Chaussure	Passage 1	Passage 2	Moyenne	Étendue
Puma Fast-R 3 (A)	54,6	55,3	<b>55,0</b>	0,7
Asics Metaspeed Sky (C)	52,8	56,4	<b>54,6</b>	3,7
Adidas Adios Pro 4 (B)	54,6	53,1	<b>53,8</b>	1,5

#### 3.1 VO<sub>2</sub> moyenne par modèle

Sur l'ensemble des six blocs, les VO<sub>2</sub> moyennes s'échelonnent de 53,8 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> (Adidas) à 55,0 (Puma), l'Asics se situant entre les deux à 54,6 — écart maximal 1,1 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> (≈ 2 %). Ce classement global est cependant fragile : la variabilité entre les deux passages d'une même chaussure atteint 3,7 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> pour l'Asics (Section 3.2), et la séquence ABCBAC place systématiquement ce modèle en positions tardives (Section 3.3). La sous-analyse des premiers passages, qui neutralise la fatigue de fin de séance, modifie le classement (Section 3.4).

#### 3.2 Variabilité intra-chaussure

L'étendue entre les deux passages d'un même modèle atteint 0,7 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> pour la Puma, 1,5 pour l'Adidas et 3,7 pour l'Asics (52,8 puis 56,4). Pour l'Asics, la variabilité entre passages dépasse l'écart séparant les moyennes des trois modèles, ce qui implique que le « signal » inter-chaussures observé en valeurs globales tient en partie dans le bruit intra-chaussure. À partir de la chaussure dont les deux passages s'inscrivent dans la position d'ordre la plus homogène (Adidas, blocs 2 et 4), l'étendue de 1,5 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> correspond à un écart minimal détectable (MDE) approximatif de ~3-5 %, en dessous duquel aucun écart réel ne serait détectable.

### 3.3 Effet d'ordre

La séquence ABCBAC n'équilibre pas les positions temporelles : l'Asics court en positions 3 et 6 (moyenne 4,5), la Puma en 1 et 5, l'Adidas en 2 et 4 (moyenne 3,0 chacune). Toute dérive de fin de séance pénalise donc mécaniquement l'Asics. Or, à pente strictement identique sur les six blocs, on observe précisément un profil compatible avec une telle dérive : la VO<sub>2</sub> augmente de l'Asics P1 (bloc 3, 52,8) à l'Asics P2 (bloc 6, 56,4), soit +3,6 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>. La Puma, qui occupe les positions intermédiaires (1 et 5), montre une faible dérive ascendante (+0,7) ; l'Adidas (positions 2 et 4) en montre une descendante (-1,5), compatible avec un effet d'échauffement encore présent. Le RER, compris entre 0,87 et 0,91 sur tous les blocs, confirme un état d'effort sous-maximal stable d'un bloc à l'autre. Faute d'un véritable contrebalancement, ces tendances peuvent autant refléter un effet d'ordre/fatigue qu'un effet propre du modèle ; la section suivante neutralise ce confondant en restreignant la comparaison aux premiers passages.

### 3.4 Sous-analyse des premiers passages (avant fatigue de fin de séance)

En ne retenant que les premiers passages, tous courus à 1,0 % de pente et avant l'accumulation de fatigue de fin de séance, on obtient une comparaison nettement plus propre : Puma P1 = 54,6 ; Adidas P1 = 54,6 ; Asics P1 = 52,8 — soit un avantage de l'Asics de 1,8 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> (~3,3 %) sur les deux autres modèles. Cet ordre de grandeur correspond à celui rapporté dans la littérature pour le gain typique des super shoes par rapport à des chaussures classiques (Hoogkamer et al., 2018). Avec une seule observation par modèle dans ce sous-ensemble, et l'impossibilité de répliquer la mesure sans réintroduire l'effet de position, aucune conclusion ferme ne peut en être tirée. Le signal n'est toutefois pas nul, et il s'aligne avec l'attente théorique d'un avantage d'économie des super shoes : il est plus parcimonieux de retenir cette lecture comme l'analyse primaire, et de considérer les valeurs globales (qui mêlent effet d'ordre et effet de modèle) comme une analyse secondaire moins interprétable.

## 4. Discussion

Le résultat principal est que les données ne permettent pas de trancher entre les trois super shoes, mais le signal disponible va dans une direction. La sous-analyse primaire des premiers passages (Section 3.4), avant l'accumulation de fatigue de fin de séance, suggère un avantage de l'Asics Metaspeed Sky de ~1,8 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> (~3,3 %) sur la Puma Fast-R 3 et l'Adidas Adizero Adios Pro 4 ; cet ordre de grandeur correspond à celui rapporté dans la littérature pour le gain typique des super shoes (Hoogkamer et al., 2018), et oriente la lecture. Sur l'ensemble des six blocs, en revanche, les trois moyennes s'inscrivent dans 1,1 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> et la hiérarchie change — mais cette lecture mêle effet de modèle et effet d'ordre, l'Asics ayant été placée systématiquement en positions tardives. La conclusion globale reste non concluante : avec  $n = 1$  par modèle dans le sous-ensemble propre et une séquence ABCBAC qui n'équilibre pas les positions, on ne peut affirmer ni l'avantage de l'Asics, ni l'équivalence des trois modèles.

Ce résultat corrige une lecture initiale. Lors du test, l'observation « à l'écran » des dernières minutes avait laissé penser que l'Asics était nettement plus économe (valeurs notées jusqu'à 50 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>). L'examen des fichiers bruts montre que la VO<sub>2</sub> respiration-par-respiration oscille fortement sur le palier stable (~38 à 69 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, avec un écart-type breath-by-breath de l'ordre de 4 à 5 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> et un minimum global mesuré autour de 38 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>). Lire une valeur instantanée sur l'écran expose donc à capter un creux

transitoire non représentatif de l'état stable, et favorise un biais de confirmation lorsque l'opérateur connaît la chaussure portée. Le moyennage systématique sur les dernières minutes nuance fortement la spécificité de l'Asics. Cet épisode illustre l'intérêt d'analyser les exports bruts plutôt que des relevés ponctuels, et plaide pour un masquage de l'écran du chariot pendant la séance.

Deux biais structurels de l'étude méritent d'être soulignés. D'abord, la séquence ABCBAC n'équilibre pas les positions temporelles : l'Asics court systématiquement en positions tardives (3 et 6, moyenne 4,5) tandis que les deux autres modèles occupent des positions plus précoces (moyenne 3,0). L'Asics est donc la chaussure la plus exposée à toute dérive de fin de séance — un latin square aurait été préférable. C'est précisément la raison pour laquelle la sous-analyse des premiers passages (Section 3.4) a été retenue comme primaire. Ensuite, avec deux observations par modèle, le pouvoir de détection est limité à des écarts de l'ordre de 3 à 5 % (Section 2.6) : un effet réel inférieur à ce seuil ne pourrait pas être mis en évidence, et l'avantage de  $\sim 3,3$  % observé sur les premiers passages se situe précisément à la frontière de cette zone de détectabilité.

Une lecture pratique reste possible, mais hors du domaine d'évidence stricte de cette étude. À défaut de différence physiologique tranchée dans ce test, le choix entre ces trois paires peut raisonnablement se faire à partir de critères non mesurés ici — confort et ajustement, dynamique de foulée et ressenti, stabilité, tolérance sur longue distance et durabilité — sachant que ces critères sortent du périmètre des mesures réalisées.

## 5. Limites

Plusieurs limites encadrent l'interprétation :

- Sujet unique. Un seul athlète : les résultats valent pour l'individualisation du matériel de ce participant et ne sont pas généralisables.
- Un seul indicateur. L'analyse repose sur la seule VO<sub>2</sub> (et le RER). La fréquence cardiaque et la lactatémie sont absentes des fichiers, et le ressenti n'est pas disponible : aucun croisement multi-indicateurs n'a pu être réalisé.
- Contrebalancement imparfait. La séquence fixe ABCBAC place l'Asics en positions 3 et 6 (moyenne 4,5), tandis que la Puma et l'Adidas occupent des positions plus précoces (moyenne 3,0). Toute dérive de fin de séance pénalise donc mécaniquement l'Asics et confond effet de modèle et effet de position dans la comparaison sur l'ensemble des six blocs. Un latin square strict avec randomisation aurait été préférable.
- Deux observations par condition. La variabilité intra-condition n'est qu'estimée grossièrement et aucune statistique inférentielle n'est possible ; l'écart minimal détectable réaliste avec ce dispositif est de l'ordre de 3 à 5 % — un effet réel inférieur ne pourrait pas être mis en évidence.
- Hypothèses de traitement. Le résultat dépend de la masse retenue pour la normalisation (71 kg, valeur communiquée par l'entraîneur sans pesée pré-test documentée — un écart de 1 kg correspond à  $\sim 0,8$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) et de la définition de la fenêtre utile (testée sur plusieurs fenêtres avec un classement stable).
- Dérive intra-bloc. La VO<sub>2</sub> augmente de 1 à 2 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> entre les minutes 3 et 5 dans la quasi-totalité des blocs : un véritable plateau n'est pas atteint. Les valeurs

retenues reflètent donc plutôt la fin du bloc qu'un état strictement stationnaire, ce qui amplifie le biais d'ordre temporel et désavantage les blocs tardifs.

- Divergence entre exports et conditions réelles. La colonne « Pente » de l'export du chariot affichait 0,5 % pour les blocs 5 et 6 alors que le tapis est resté à 1,0 % (confirmation opérateur). L'écart est sans conséquence pour la présente analyse mais souligne la nécessité de vérifier la cohérence entre exports logiciels et réglages physiques avant interprétation.
- Variables non contrôlées. Familiarisation aux trois modèles non documentée ; différences de drop, de hauteur de pile et de masse entre paires non prises en compte ; durée exacte de la récupération inter-blocs non standardisée ; aucune mesure du confort ou du ressenti.
- Séance unique et tapis roulant. Mesures issues d'une seule séance, sans test-retest ; le tapis ne reproduit pas exactement la course au sol, et la fatigue cycliste préalable propre au triathlon n'a pas été imposée.

## 6. Conclusion

Sur la base des exports métaboliques bruts, et à pente strictement homogène (1,0 % confirmée) et vitesse contrôlée ( $\approx 16,4$  km/h), les résultats sont non concluants — mais orientés. L'analyse primaire retenue, sur les seuls premiers passages (avant l'accumulation de fatigue de fin de séance), suggère un avantage de l'Asics Metaspeed Sky de  $\sim 1,8$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> ( $\sim 3,3$  %) sur la Puma Fast-R 3 et l'Adidas Adizero Adios Pro 4. Cet ordre de grandeur correspond à celui rapporté dans la littérature pour le gain typique des super shoes par rapport à des chaussures classiques, et il s'inscrit à la frontière de la zone de détection du dispositif. L'analyse globale sur les six blocs ne le confirme pas, mais elle est confondue par la séquence ABCBAC qui place systématiquement l'Asics en positions tardives : la perte de l'avantage Asics au second passage peut tout autant refléter un effet d'ordre/fatigue qu'un effet de modèle. Avec  $n = 1$  par modèle dans le sous-ensemble propre et un plan non contrebalancé, le signal ne peut être ni affirmé ni écarté. L'avantage de l'Asics suggéré par une lecture instantanée initiale (jusqu'à 50 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) n'est, lui, pas reproductible et tenait probablement à un biais de confirmation sur les valeurs d'écran.

En pratique, le signal directionnel modeste en faveur de l'Asics, et l'absence d'écart franc entre les trois modèles, suggèrent que des critères non mesurés ici (confort, ajustement, dynamique de foulée, durabilité) peuvent légitimement entrer dans le choix de matériel, en gardant à l'esprit que ces critères sortent du domaine d'évidence de la présente étude. Pour confirmer ou infirmer l'avantage Asics observé sur les premiers passages — écart de l'ordre de 3 % — un protocole révisé devrait : (i) appliquer un véritable contrebalancement (latin square avec randomisation), (ii) garantir au moins trois passages par modèle, (iii) intégrer la fréquence cardiaque, la lactatémie et le ressenti, (iv) masquer l'écran du chariot durant la séance pour éviter toute lecture instantanée par l'opérateur, et idéalement (v) reproduire la fatigue cycliste préalable propre au triathlon.

---

## Déclarations

Disponibilité des données. Exports respiration-par-respiration du chariot métabolique pour les six blocs (fichiers test 1 à test 6). Fréquence cardiaque et lactatémie absentes des fichiers ; ressenti non disponible.

Supervision et contributions. Protocole conçu et analysé par Benjamin Pernet (entraîneur, BPC Triathlon Coaching), réalisé sous la supervision médicale et scientifique du Dr Emilien Fronzaroli. Athlète participant : Matthieu Bolzer.

Conflits d'intérêts. Aucun conflit d'intérêt déclaré ; aucun lien commercial avec les fabricants des modèles testés.

Financement. Aucun financement externe.

## Références

Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine – Open*, 1(8).

Hoogkamer, W., Kipp, S., Frank, J. H., Farley, C. T., & Kram, R. (2018). A comparison of the energetic cost of running in marathon racing shoes. *Sports Medicine*, 48(4), 1009–1019.

Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465–485.