

Université de Franche-Comté  
U.P.F.R. Sports Besançon

Projet Tuteuré  
Diplôme de MASTER Spécialité : EMIS

**Validité et Reproductibilité des Pédales P1 sur le terrain en comparaison avec le SRM**

Maxime CZAJKOWSKI, Antonin DAURIANNES et Maxim FREMEAUX

Directeur Projet : Frédéric GRAPPE  
EA4660 Département Sport - Santé C3S

Année 2016-2017

## Table des matières

Table des matières .....	2
Liste des abréviations .....	3
I. Introduction .....	4
II. Méthode.....	6
1) Sujets .....	6
2) Matériel .....	6
a) Calibration des systèmes de mesure.....	6
b) Recueil des données .....	7
3) Protocole.....	7
4) Analyse statistique.....	8
III. Résultats .....	9
1) Analyse du PPR.....	9
2) Effet de la température .....	10
3) Effet de la position .....	10
4) Effet de la cadence .....	11
5) Analyse des sprints.....	12
6) Reproductibilité.....	13
IV. Discussion .....	13
V. Conclusions .....	15
VI. Bibliographie.....	16

## Table des abréviations

<b>Abréviations</b>	<b>Signification</b>	<b>Unité de mesure</b>
Hz	Fréquence	Hertz
PMA	Puissance Maximale Aérobie	Watts (W)
$P_{\text{méca}}$	Puissance mécanique	Watts (W)
$VO_2$	Consommation d'oxygène	(ml/min/kg)
J	Travail mécanique	Joules

## I. Introduction

Le coureur cycliste doit, pour se déplacer, produire une puissance mécanique ( $P_{\text{méca}}$ , en W). La puissance est une quantité de travail (J, en joules) réalisé par unité de temps (t, en secondes). En effet, pour évoluer dans son environnement le cycliste doit appliquer constamment une force (N, en newton) sur les pédales mais aussi combiner une fréquence gestuelle sur celles-ci. La résultante de ces actions forme le pédalage. Ce mouvement demande donc un travail mécanique et une coordination des membres inférieurs afin que la locomotion soit réalisable (Grappe, 2012).

La  $P_{\text{méca}}$  varie en fonction de la demande de l'exercice mais aussi en fonction de facteurs externes comme les résistances à l'avancement : l'air, la gravité mais aussi la résistance aux roulements. Cette demande va engendrer un ensemble de réponses complexes produites par le corps humain. Elle inclue les variables physiologiques (fréquence cardiaque,  $VO_2$ , lactatémie, ventilation, etc.), psychologiques (motivation, perception de l'effort, etc.) et la fatigue. Ces facteurs sont en constantes interactions et constituent le modèle holistique du cycliste comme source de puissance développée (Grappe, 2012). La  $P_{\text{méca}}$  va donc déterminer la capacité du coureur à évoluer dans un contexte particulier mais aussi sa capacité à répondre aux efforts spécifiques de l'activité.

Depuis le milieu des années 1980, la mesure de la  $P_{\text{méca}}$  est réalisable en condition de locomotion sur le vélo. Le coureur dispose donc d'un appareil de mesure portatif qui lui indique l'énergie mécanique qu'il produit en temps réel. L'outil de référence de mesure de la  $P_{\text{méca}}$  en cyclisme est le système SRM (Schoberer Rad Messtechnik, Welldorf, Allemagne). Sa capacité à fournir des mesures précises et répétables lui permet d'être considéré comme le « Gold Standard » (Gardner et coll., 2004, Lawton et coll., 1999) des capteurs de puissance et ainsi d'être utilisé comme référence pour valider d'autres systèmes de mesure.

Il existe aujourd'hui de nombreux constructeurs sur le marché qui créent leur propre outil de mesure de la  $P_{\text{méca}}$  (Tableau 1). Cependant la validité et la reproductibilité de ces outils restent à être démontrées.

**Tableau 1** : Lieux sur le vélo des mesures de la puissance en fonction des constructeurs.

Lieu sur le vélo des mesures de puissance	Constructeur
Pédalier	SRM, QUARQ, Power2Max, Pioneer
Manivelle	Stage, Rotor
Boitier de pédalier	Ergomo
Moyeu de la roue arrière	PowerTap
Cales des chaussures	Brimborthers
Plateaux	PowerTap
Chaine	Polar
Pédales	Garmin, Look, PowerTap
Compteur (mesure indirecte)	I-bike

En 2016, une étude préliminaire a été menée afin de vérifier la validité des pédales Powertap P1 (Czajkowski et al., 2016) en condition de laboratoire. Les résultats de cette étude ont montré que les P1 étaient un système valide et répétable pour mesurer la  $P_{méca}$  en laboratoire. En revanche, jusqu'à ce jour, aucun test n'a été effectué sur le terrain.

L'objectif de l'étude était donc d'étudier la validité et la reproductibilité des P1 comparé au système SRM, en tenant compte de l'ensemble des facteurs pouvant induire des variations de  $P_{méca}$  (intensité, cadence, position et température). Powertap affirme une précision de +/- 1,5%. Nous pouvons donc nous attendre à ce que les pédales nous donnent des mesures de  $P_{méca}$  valide et reproductible.

## II. Méthode

### 1) Sujets

Trois cyclistes masculins volontaires (âge :  $22,7 \pm 1,6$  ans, poids :  $63,7 \pm 3,8$  kg, taille :  $179,7 \pm 5,7$  cm) ont participé à cette étude ayant pour but de vérifier la mesure de la  $P_{\text{méca}}$  des pédales P1 sur le terrain. L'étude s'est déroulée sur 2 mois de novembre à décembre 2016. Chaque sujet a effectué 3 tests séparés d'une semaine pour étudier la reproductibilité. Tous les sujets ont utilisé la même paire de pédale et le même pédalier SRM durant le déroulement de l'étude.

### 2) Matériel

#### a) Calibration des systèmes de mesure

L'appareil de mesure de la  $P_{\text{méca}}$  servant de système de référence pendant les tests était le SRM (photo 1). La calibration (« OFFSET ») a été effectuée avant chaque exercice à partir d'une procédure réalisable en routine qui prend en compte la température du lieu, selon les recommandations du constructeur. De même que la calibration, la pente (« SLOPE ») a été étalonnée avant les sessions de tests. La pente d'étalonnage correspond à la pente de la régression linéaire entre la fréquence mesurée ( $\text{Hz}_m$ ) et le couple appliqué au niveau de la manivelle ( $\text{N.m}^{-1}$ ). Dans le cas présent, la pente correspondait à  $34,9 \text{ Hz/N.m}^{-1}$ . Une variation de la valeur de calibrage  $\text{Hz}_0$  de 10 Hz et de la pente de  $0,1 \text{ Hz/N.m}^{-1}$  détermine une erreur de mesure de 0,5%.



**Photo 1** : Pédalier SRM équipé des pédales Powertap P1.

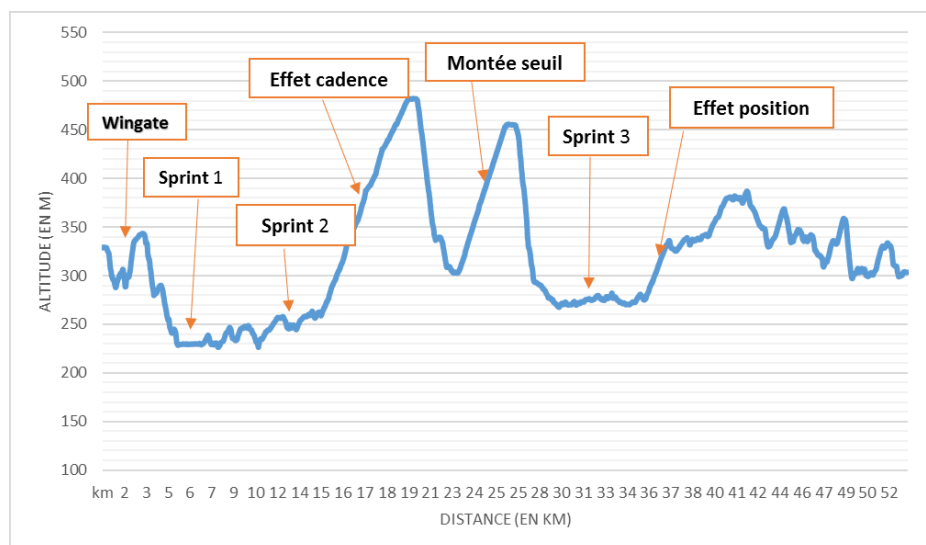
Le couplage des P1 est directement effectué par le fabricant. La pédale droite (esclave) est couplée de façon permanente à la pédale gauche (maître). La pédale gauche associe ses données à celle de la pédale droite et transmet l'ensemble des données à un moniteur Garmin 810 (Olathe, USA) grâce à la communication ANT+. Le réglage de la longueur des manivelles se fait sur l'application « PowerTap Mobile ». Quant à la calibration, celle-ci se règle directement sur le moniteur et a été effectuée avant chaque session.

b) Recueil des données

Les moniteurs étaient fixés à l'avant du cintre grâce à un support pour faciliter la lecture des données. La  $P_{méca}$  affichée sur le compteur correspondait à une moyenne lissée sur 3 secondes pour éviter des variations trop brusques de lecture des valeurs de puissance lors des tests. Les sujets s'appuyaient sur les données du SRM afin de définir l'intensité à maintenir selon l'exercice. La fréquence d'échantillonnage était de 1 Hz pour les deux systèmes de mesure. L'ensemble des données de  $P_{méca}$  ont été analysées avec le logiciel GoldenCheetah.

3) *Protocole*

Le protocole comprenait un circuit de 52 Km et cherchait à évaluer les facteurs de position, de cadence, d'intensité et de température. L'ensemble de ces facteurs ont été répartis sur la totalité du parcours (Figure 3).



**Figure 3** : Circuit utilisé pour le test.

Chaque coureur effectuait sur le circuit :

- Un sprint long en montée (I6)
- 3 min Puissance Maximale Aérobie (PMA, I5) avec différentes cadences (60, 80 et 100 rpm)
- Une montée au seuil (I4)
- 3 sprints maximaux (vélocité, modéré et force) (I7)
- Une alternance de position assise et danseuse en montée (même braquet)

L'influence de la cadence a été testée pendant les enregistrements à PMA (60, 80 et 100 rpm) sur 1 minute pour chaque cadence (stabilisation de la cadence durant 10 secondes et traitement des données sur les 50 secondes restantes). Le temps de récupération entre les sprints étaient compris entre 3 et 5 minutes selon les sujets. Pour mettre en relation les données obtenues par les pédales et le pédalier, la synchronisation des mesures étaient réalisées au niveau des pics de puissances des sprints.

Pour déterminer le Profil de Puissance Record (PPR), qui se définit comme les  $P_{méca}$  records issu de la relation logarithmique entre la puissance et le temps (Pinot et Grappe, 2011), les données ont été relevées sur 1, 5, 10, 15 et 30 secondes ; 1, 2, 5, 8, 10, 20, 30, 60 et 90 minutes.

#### 4) *Analyse statistique*

L'analyse statistique a été réalisée avec le logiciel XL STAT (Addinsoft, Paris, France). Pour l'ensemble des variables, les moyennes et les écarts types ont été calculés. Un PPR a été réalisé afin de recueillir l'ensemble des données de  $P_{méca}$  records sur chaque test. Une analyse ANOVA a été effectuée pour les facteurs cadence, position et sprint. Une analyse Bland et Altman a aussi été établie pour comparer les données de  $P_{méca}$  pour chaque condition. Un coefficient de détermination ( $r^2$ ) a été calculé entre la température extérieure et la différence moyenne des  $P_{méca}$  du PPR. Un coefficient de variation (CV, en %) a été effectué pour l'ensemble des valeurs du PPR. Un test-t de Student a ensuite été effectué pour déterminer si une différence significative existait entre les CV de chaque valeur du PPR.



### III. Résultats

#### 1) Analyse du PPR

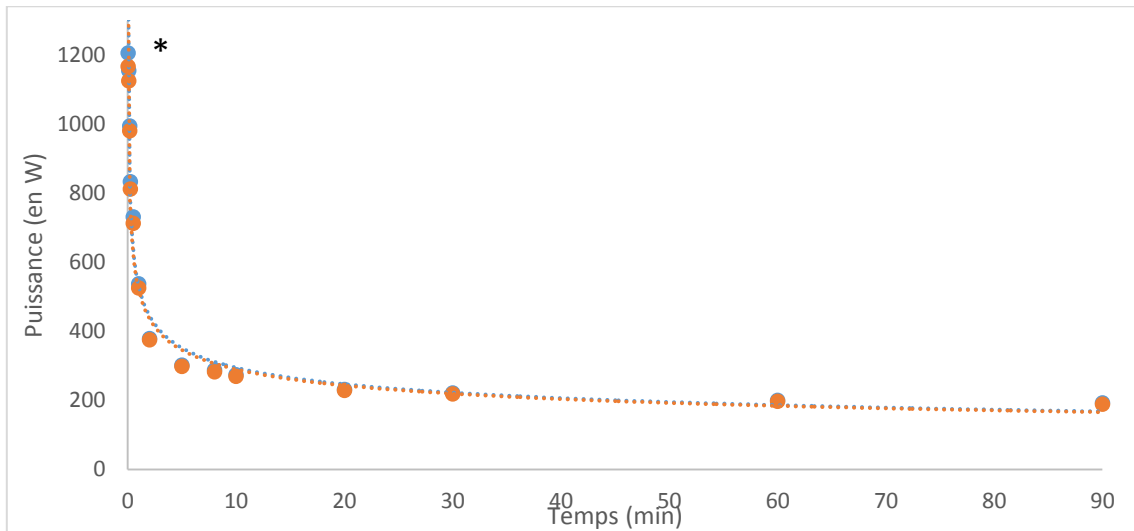
Le PPR moyen de l'ensemble des sessions est résumé dans le tableau 2.

**Tableau 2** : PPR moyen des capteurs P1 et SRM.

Temps	P1	SRM	Ecart P1/SRM (%)	Ecart type (%)
1 sec	1207	1167	+3,4%	1,9%
5 sec	1155	1126	+2,6%	1,4%
10 sec	996	981	+1,5%	1,4%
15 sec	833	812	+2,6%	3,0%
30 sec	732	713	+2,7%	1,6%
1 min	538	526	+2,3%	2,3%
2 min	379	375	+1,0%	2,7%
5 min	303	299	+1,2%	1,9%
8 min	289	283	+1,9%	2,1%
10 min	275	269	+1,9%	2,1%
20 min	232	229	+1,3%	2,0%
30 min	222	218	+1,5%	2,0%
60 min	200	197	+1,5%	1,7%
90 min	193	189	+1,9%	1,9%

Pour l'ensemble des valeurs du PPR, les P1 surestiment systématiquement la  $P_{méca}$ . L'analyse ANOVA montre qu'il existe une différence significative entre les 2 systèmes de mesure à la valeur du PPR correspondant à 1 seconde ( $p < 0,05$ ) (Figure 4). En revanche, aucune différence significative n'a été observée pour les autres valeurs du PPR.

Le PPR moyen de chaque test est représenté dans la figure suivante :



**Figure 4** : PPR moyen des capteurs SRM et P1 pour l'ensemble des tests.

\*différence significative ( $p < 0,05$ )

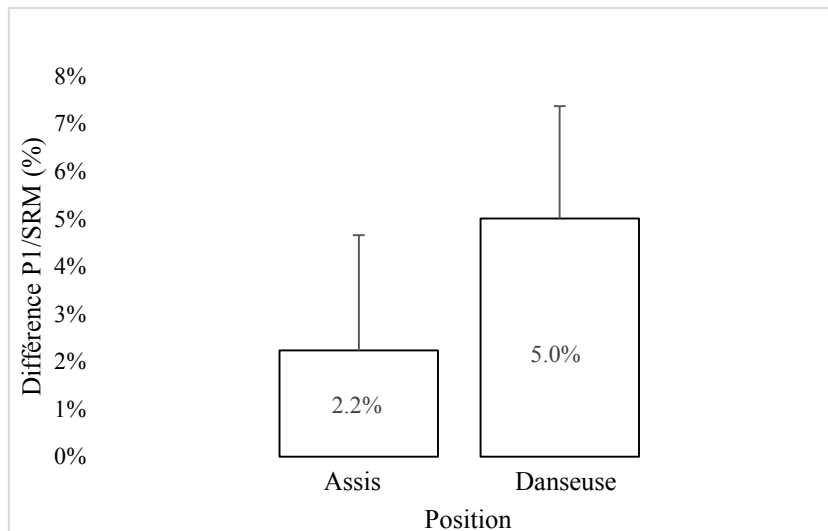
Afin de faciliter la lecture de cette figure, les écart-types n'ont pas été introduit.

## 2) Effet de la température

L'ensemble des tests ont été réalisés à des températures comprises entre 2,3°C et 12°C. Le coefficient de détermination entre la température extérieure et la différence de  $P_{\text{méca}}$  des valeurs du PPR est nul ( $r^2 = 0,07$ ).

## 3) Effet de la position

La position n'a pas d'effet significatif sur la mesure de  $P_{\text{méca}}$  d'après l'analyse ANOVA. En revanche, les différences de  $P_{\text{méca}}$  en danseuse étaient supérieures qu'en position assise (Figure 5).

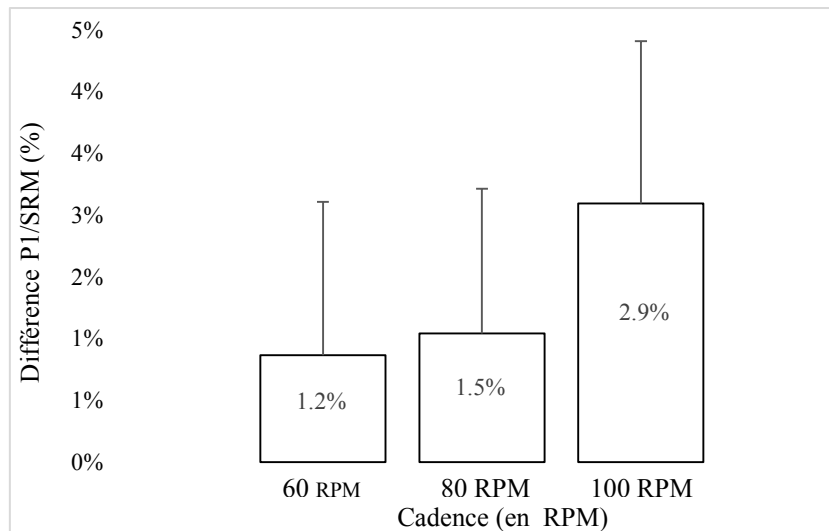


**Figure 5** : Influence de la position sur la  $P_{méca}$  des Pédales P1 comparé au SRM.

Le biais moyen défini par l'analyse Bland et Altman indique que les P1 surestiment la puissance de 15 W comparé au SRM. L'intervalle de confiance (IC) délimité par les limites d'accordance est de 11 W (9 à 20 W).

#### 4) Effet de la cadence

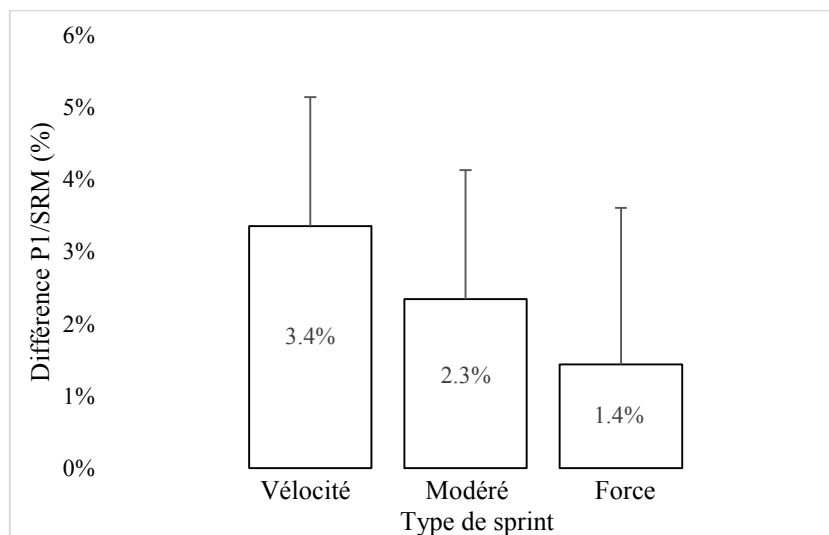
La cadence n'a pas d'effet significatif sur la  $P_{méca}$  ( $p < 0,05$ ) à une intensité égale à la PMA. En revanche, nous observons que plus la cadence est élevée et plus l'écart entre les 2 systèmes est important (Figure 6). À 60 rpm, la différence est de +1,2% soit 4 W. L'écart est de +1,6% soit 5 W à 80 rpm. Enfin, l'écart entre les 2 systèmes est surtout marqué à 100 rpm ou la différence est de +2,9% soit 11 W.



**Figure 6 :** Influence de la cadence sur la  $P_{méca}$  (à des intensités égales à la PMA) des P1 en comparaison avec le SRM.

### 5) Analyse des sprints

L'analyse ANOVA ne montre aucune différence significative entre le type de sprint (vélocité, modéré, force) et la  $P_{méca}$  moyennée sur 5 secondes. En revanche, les différences sont plus importantes lors des sprints en vélocité. Plus le sprint est associé à une haute fréquence de pédalage et plus les différences sont importantes (Figure 7).

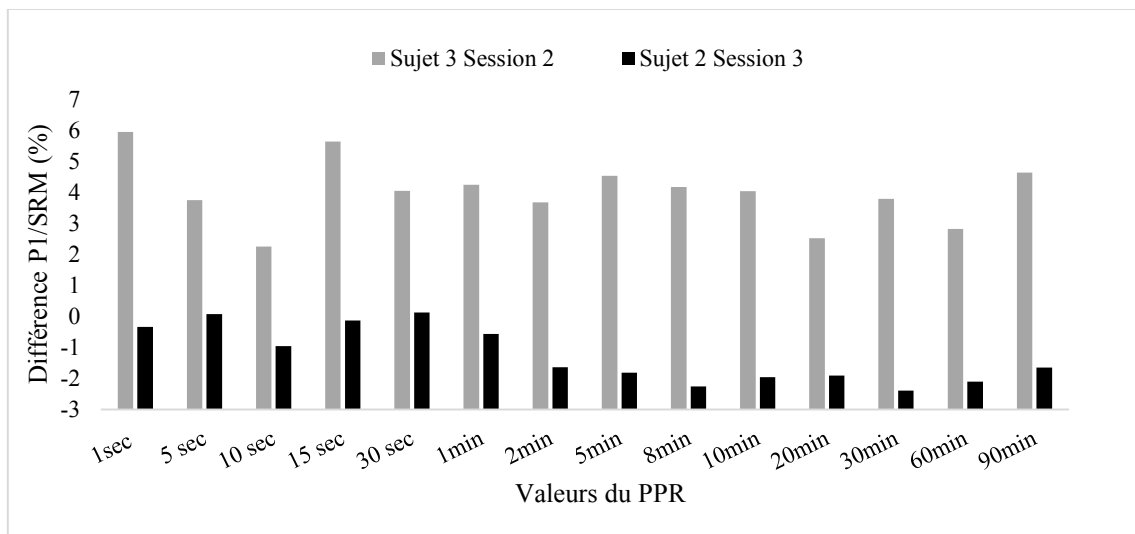


**Figure 7 :** Différence de  $P_{méca}$  entre les P1 et le SRM lors des différents sprints.

L'analyse Bland et Altman montre que le biais moyen lors de sprints en vélocité est de +35 W. L'intervalle de confiance (IC) délimité par les limites d'accordance est de +23 W (+24 à +47 W).

## 6) Reproductibilité

Les P1 obtiennent un CV de 6,1% lorsque l'on moyenne l'ensemble des CV du PPR. Le SRM obtient lui un CV 5,5%. De plus, des tests-t de Student ont été réalisés pour l'ensemble des CV des durées du PPR. Ces tests indiquent qu'il n'y a pas de différence significative de CV ( $p < 0,05$ ) entre les deux capteurs hormis pour les  $P_{méca}$  associés aux durées 1 et 2 minutes du PPR ( $p = 0,012$  et  $p = 0,006$ ).



**Figure 8** : Différences de  $P_{méca}$  observées lors de 2 sessions différentes en prenant en compte les valeurs du PPR.

Cette figure montre que les différences entre les 2 systèmes de mesures peuvent varier de manière importante d'une session à l'autre. Ainsi, cette figure remet en cause la reproductibilité intersession.

## IV. Discussion

Cette étude est la première à s'intéresser à la validité et à la reproductibilité des P1 sur le terrain. Les faibles écarts de  $P_{méca}$  observés sur les PPR montre que les pédales procurent des données valides. Effectivement une seule différence significative a été observée concernant la  $P_{méca}$  associée à la valeur 1 seconde du PPR. Cet écart entre les 2 capteurs est tout de même à prendre avec précaution car nous sommes dépendants des systèmes de mesure et des technologies associés à ceux-ci. Il est possible que les valeurs de  $P_{méca}$  ne soient pas recueillies

au même moment lors du pédalage. La grandeur des signaux électriques de sortie est en constante variation lors du cycle de pédalage. Si l'information envoyée au compteur via l'ANT+ n'est pas effectuée au même moment du cycle, les moniteurs n'afficheront pas la même  $P_{méca}$ . De plus, lors des sprints, où les forces appliquées sur les jauges de contraintes sont plus importantes, une fréquence qui n'est pas enregistrée au même moment du cycle engendrera des variations plus importantes de  $P_{méca}$ , ce qui pourrait expliquer la différence entre les deux systèmes de mesure lors d'efforts maximaux.

Les P1 surestiment la puissance par rapport au SRM lors des tests. Cette différence entre les deux systèmes de mesure peut s'expliquer par la perte mécanique qu'il y aurait entre les pédales et le pédalier. Le tube de déformation (D-tube) associée aux P1 est en contact permanent avec la surface d'appuis (la cale) alors que le capteur de déformation du SRM est quant à lui situé dans l'étoile du pédalier. La déformation subie aux niveaux des pédales pourrait donc être plus importante que sur l'étoile, ce qui expliquerait cette surestimation de la  $P_{méca}$ .

La cadence semble aussi avoir un impact sur les différences de  $P_{méca}$  entre les P1 et le SRM. Même si cette différence n'est pas significative, elle semble s'accroître lorsque la cadence augmente (Figure 6). Ces résultats sont conformes avec l'étude préliminaire que nous avons effectuée en laboratoire (Czajkowski et coll., 2016).

Un des critères des tests était l'influence de la position sur les différences de  $P_{méca}$ . Caldwell et coll. (1998) montrent qu'à 80% de la PMA, les forces appliquées sur les pédales ne sont pas les mêmes en positions assises et danseuses. Lors de la phase de poussée, les forces sont plus importantes en position danseuse. La perte mécanique pourrait être un argument valable à l'origine de cette différence entre les 2 systèmes de mesures. Ce changement de position se traduit aussi par une hausse du rendement énergétique à travers une augmentation de la  $P_{méca}$  en danseuse (Bouillod et coll., 2014). Ces variations de puissance engendrées par les changements de position sont observées par les 2 systèmes de mesure. De plus, la déformation des jauges de contraintes est accentuée en danseuse car l'ensemble du poids du corps est supporté par les pédales, contrairement à la position assise où le poids est supporté par l'assise. Les P1 sont donc sensibles à une variation de position.

La plupart des tests statistiques accordent qu'un CV inférieur à 5% soit considéré comme faible. Cependant Hawley et coll. (2001) ont montré que si l'on veut quantifier une performance sur un suivi longitudinal, il est préférable de tendre vers un CV de 2%. A l'issu

des tests réalisés dans cette étude, les CV associés aux  $P_{méca}$  du PPR sont respectivement de 5,5% pour le SRM et 6,1% pour les P1. Ces CV supérieurs à 5% s'expliquent du fait que lors de chaque session, la  $P_{méca}$  n'était pas imposée hormis lors de la montée à PMA et au seuil. Il est donc normal que les CV soient importants. Ce sont les écarts de CV entre les 2 systèmes qui étaient à prendre en considération. Les tests de Student confirment qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux capteurs hormis pour les CV associées aux  $P_{méca}$  1 et 2 minutes du PPR. Les P1 sont donc reproductibles.

Mais les écarts intersessions observées lors de différents tests (Figure 8) viennent remettre en cause ces propos. Le faible nombre de test effectué dans cette étude ne permet pas d'affirmer que les facteurs externes (météo) ont un impact sur les différences de  $P_{méca}$ . Il n'existe d'ailleurs aucune corrélation entre les écarts de  $P_{méca}$  et la température externe. Cependant, lors des tests, l'étalonnage des pédales ne variait pas ou peu avec les changements de température. En effet, le zéro « Offset » prend en compte la température du lieu et du couple à vide (chaîne-pédalier). Une variation de température de 1°C détermine une variation moyenne du zéro « Offset » de 7 Hz (Wooles et coll., 2005). Or, la valeur zéro « Offset » des pédales ne variait pas lorsque la température diminuait. En ce qui concerne le SRM, les valeurs de « Offset » diminuaient lorsque la température du milieu diminuaient. Ainsi, pour un test effectué à 2,3 °C la valeur de remise à zéro des P1 correspondait à 3 (valeur inconnue, non détaillée par le constructeur) alors que, pour une session à 10°C la valeur était aussi de 3. La valeur de calibration des P1 pourrait ainsi expliquer ces différences intersessions.

## V. Conclusions

Les P1 sont donc un outil de mesure valide de  $P_{méca}$  sur le terrain. Les faibles différences mesurées lors des tests montrent que les mesures sont proches et pas significativement différentes en comparaison avec le système de référence. De plus, les différences observées entre les positions assise et danseuse montrent que les pédales sont sensibles aux changements de position. La localisation de ce capteur est aussi un avantage car il est directement en contact avec la surface d'appuis. Le capteur serait ainsi donc moins exposé aux pertes mécaniques. Ce système de mesure peut donc être utilisé pour effectuer des tests d'évaluation du potentiel physique grâce à sa validité mais aussi sa facilité de montage sur un vélo, contrairement au SRM. Cependant, seuls les coureurs équipés de cales Look (Cadex, France) peuvent utiliser ce système. Les écarts importants observés sur certaines sessions sont à prendre en considération si l'on souhaite travailler avec précision et exactitude.

Les futures investigations devront s'intéresser à mesurer la  $P_{méca}$  dans des conditions climatiques différentes et bien ciblées afin de déceler d'où viennent ces différences. Des tests à puissance imposée seront aussi à effectuer afin d'approuver si les P1 fournissent des données de  $P_{méca}$  répétibles (CV inférieur à 2%). Un éclaircissement sur la remise à zéro des pédales devra aussi être effectué afin de comprendre le mécanisme de celles-ci. Les fonctionnalités telles que l'efficacité mécanique et l'enregistrement des forces en deux dimensions sont aussi à valider. De même, la robustesse qui désigne la capacité d'un système de mesure à reproduire des données valides dans le temps devra être testée. Dernièrement, la société Powertap a développé une nouvelle version de pédales : les P1s. Cette dernière a pour particularité d'avoir qu'une pédale mesurant la  $P_{méca}$  (pédale gauche). La mesure de la puissance n'est donc réalisée que sur une seule jambe, en considérant un équilibre parfait entre les deux membres inférieurs. La validité et la fiabilité de ce nouvel appareil restent donc à être démontrées.

## VI. Bibliographie

Bertucci W, Duc S, Villerius V, Pernin JN, Grappe F (2005). Validity and reliability of the powertap mobile cycling power meter when compared the SRM device. *J Sports Med*, 26(10): 868-873.

Bouillod, A., Pinot, J., Valade, A., Cassirame, J., Soto Romero, G., & Grappe, F. (2014). Gross efficiency is improved in standing position with an increase of the power output. *Journal of Science and Cycling*, 3, 6.

Caldwell G., Li L., McCole S., Hagberg J. (1998). Pedal and crank kinetics in uphill cycling. *Journal of Applied Biomechanics* 14: 245-259.

Czajkowski M, Bouillod A, Dauriannes A, Soto-Romero G, Grappe F; (2016). Validity and reproducibility of the Powertap P1 power meter when compared with SRM device.

Gardner AS, Andrew S, Stephens S, Martin DT, Lawton E, Lee H, Jenkins D (2004). Accuracy of SRM and Power Tap Power Monitoring Systems for Bicycling. *Med. Sci. Sports Exercise*, Vol. 36, No. 7, pp. 1252–1258.

Grappe, F (2009). *Cyclisme et optimisation de la performance: Science et méthodologie de l'entraînement*. Bruxelles: de Boeck Université.

Grappe, F (2012). *Puissance et performance en cyclisme*. Bruxelles: de Boeck Université.



Hopkins, W.G., Schabort, E.J, & Hawley, J.A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Medicine*, 31, 211-234.

Lawton EW, Martin DT, Lee H (1999). Validation of SRM power cranks using dynamic calibration. *Paper presented at: Fifth IOC World Congress*; October 31 to November 5, Sydney, Australia.

Pinot J, Grappe F (2011). The power profile to assess performance in elite cyclists. *Int J Sports Med*, 32: 839-844.

Wooles A, Robinson AJ, Keen PS (2005). A static method for obtaining a calibration factor for SRM bicycle power cranks. *Sports Engineering*, 8: 137-144.