

**UNIVERSITE DE MONTPELLIER**

**UFR STAPS**

Rapport de recherche présenté en vue de l'obtention du

**Master 1**

**Mention STAPS EOPS**

**Parcours STEP**

Dynamique du muscle et métabolisme (DMeM)

**EFFET DU PLATEAU OSYMETRIC SUR LA PERFORMANCE  
EN CYCLISME**

Présenté par

SENIA Florent

Sous la direction de CANDAU Robin (professeur des universités)  
Et BRIOCHE Thomas (maître de conférences)

Mai 2022



**UNIVERSITÉ  
DE MONTPELLIER**



Remerciements

A **Candau Robin** et **Brioche Thomas**, qui m'ont aidé, orienté et soutenu durant toute la durée de l'étude

A **Jean-Louis Talo**, inventeur des plateaux O'symétric, pour son accueil, sa gentillesse, son expérience et surtout pour la confiance accordée dans la réalisation de cette étude.

A l'**UFR STAPS Montpellier**, pour leur aide pour le prêt de matériel et la logistique de l'étude.

Au **laboratoire DMeN et EuroMov**, pour leur prêt de matériel de haute technologie.

A la **société Myocène**, pour leur prêt de l'appareil de mesure de fatigue musculaire durant toute la durée des tests.

A l'**ensemble des coureurs** qui se sont investis pleinement dans les tests : Guillaume, Sacha, Lucas, Antonin, Grégoire, Robin, Thomas, Maylis, Amelie, Zoe, Yannis, Sacha, Luca, Paul, Maxence, Thibault, Baptiste, Leopold, Florian

## Table des matières

<b>I. Abréviations</b> .....	<b>4</b>
<b>II. Introduction :</b> .....	<b>5</b>
II.1) Préambule .....	5
II.2) Revue de littérature .....	6
<b>III) Méthodes :</b> .....	<b>12</b>
III.1) Sujets .....	12
III.2) Protocole .....	12
III.3) Analyses statistiques .....	15
<b>IV) Résultats</b> .....	<b>15</b>
IV.2) Fatigue musculaire .....	15
IV.1) Données de puissance.....	16
IV.3) Lactatémie lors du 20 minutes au cours du PPR .....	18
IV.4) RPE post séance PPR .....	19
IV.4) Consommation d’oxygène Pic atteinte lors de la séance du PPR .....	20
IV.5) Rendement musculaire calculé lors de la phase de 20 minutes du PPR.....	21
<b>V) Discussion</b> .....	<b>21</b>
Conclusion .....	24
<b>VI) Bibliographie</b> .....	<b>25</b>
<b>VII) Annexe</b> .....	<b>26</b>
Résumé :.....	28

## I. Abréviations

PPR = Profil de Puissance Record

FTP = Functional Threshold Power

RPE = Rating of Perceived Exertion (perception de l'effort)

Min = minutes

Sec = seconde

Moy = moyenne

Max = maximum

P = Probabilité statistique (p value)

PMA = puissance maximale aérobie

W = Watts

## II. Introduction :

### II.1) Préambule

Le cyclisme, et plus particulièrement le cyclisme de haut niveau est un sport où la composante technologique de nos jours est un moteur à la performance. Elle joue un rôle majeur dans la détermination de la performance. En effet avec les nouvelles méthodes d'entraînement, de récupération, et leur optimisation, on observe chez les meilleurs coureurs des différences de plus en plus minimes. Un enjeu sur lequel les équipes, les marques, et les industriels du cycle apportent beaucoup d'importance et investissent de gros moyens dans la recherche et le développement du matériel. Que ce soit au niveau du coureur avec leurs équipements toujours plus performants (casques, tenues...) ou bien sur le matériel et le vélo. Les marques n'ont cessé de développer leur matériel afin d'optimiser leur utilisation vis-à-vis du coureur. De nombreux domaines sont alors touchés par cette guerre à la technologie :

- Aérodynamisme, du cycliste, sa tenue et de son engin. Avec des tests en soufflerie permettant de connaître la traînée aérodynamique qu'aura le cycliste sur la route
- Conception de cadre, rigidité, souplesse, agilité
- Transmission, devenue électrique et Bluetooth
- Résistance de frottement de l'air mais aussi de roulements.
- Et bien sûr efficacité de pédalage, capteur de puissance...

Le rôle principal de toute cette industrie, n'est autre que d'améliorer le confort et la performance des cyclistes qui l'utilisent. Les courses et étapes, notamment lors de grands tours, ne cessent de s'allonger, et de se complexifier. Les étapes durent souvent plus de 4h, les routes pas toujours goudronnées, avec des passages dans des chemins, sur les pavés...mettent à rude épreuve les machines et les cyclistes qui l'utilisent. Une guerre effrénée se joue entre les différents constructeurs afin d'optimiser les performances des coureurs. Cette guerre au matériel et à la performance, passe notamment par une optimisation de l'efficacité de pédalage. L'efficacité mécanique du pédalage est définie comme étant le rapport de la force utile appliquée perpendiculairement à la manivelle (et transmise quasiment intégralement jusqu'à la roue arrière) sur la force totale appliquée à la pédale. L'efficacité mécanique du pédalage est de l'ordre de 60% sur l'ensemble du cycle de pédalage et varie de façon extrêmement marquée avec une valeur proche de 0% de force transmise jusqu'à la roue arrière pour la zone de point mort haut et bas proche de 100% lorsque la manivelle est horizontale et la force perpendiculaire. Les plateaux non-circulaires

visent à limiter le temps passé au cours du cycle de pédalage dans les zones de faible efficacité mécanique et augmenter celui qui correspond aux zones de grande efficacité mécanique. Les différents modèles de plateaux non-circulaires y parviennent avec des succès très variables et cela en raison de leurs géométries différentes.

Un vent de nouveauté et d'interrogation surviennent durant l'été 2012. La lumière portée sur le Tour de France et son vainqueur Bradley Wiggins suivit de son dauphin Christopher Froome récidivant tous deux quelques semaines plus tard lors des Jeux Olympiques à Londres. La raison de ce coup de projecteur ? Des plateaux d'un autre genre, loin de la forme ronde que l'on connaît tous. Les plateaux ovoïdes (O'symétric) suscitent interrogations et certains engouements de la part de la presse, rapidement rappelée à l'ordre par les géants du cyclisme, et leurs lobbys.

En parallèle de ce « buzz » médiatique, quelques rares études se sont intéressées à ces plateaux, souvent conduites par les défenseurs du plateau traditionnel, montrant peu, voir aucun effet positif ou négatif à la performance.

Là est tout l'enjeu de l'étude que je présente, sans conflits d'intérêts, et sans idées déjà fondées sur la performance de ces plateaux, à savoir, est-ce que l'utilisation des plateaux O'symetric impactent la performance en cyclisme ?

## II.2) Revue de littérature

La bicyclette, ou autrement dit le vélo, est un sport mécanique, nécessitant « un véhicule à deux roues sans moteur, mû par un système de pédalier, dirigé par un guidon ». Là est la définition exacte du vélo. Or la bicyclette n'a pas toujours été ainsi. Elle voit le jour en 1818, grâce au baron allemand Karl Friedrich, qui invente ce premier deux roues. Objet qui portera alors son nom et sera l'ancêtre du vélo moderne que nous connaissons actuellement ; la draisienne. Cette machine à courir, ne sera dotée que de simples roues avant et arrières, sans pédale, avec simplement un guidon et une selle. Ce n'est que plus tard dans les années 1861, que l'on retrouvera des pédales sur la roue avant. La bicyclette voit alors le jour. Quelques années plus tard apparaîtra notre semblable aux vélos actuels, en 1885, l'artisan serrurier Michaux et son fils, placeront le pédalier dans sa configuration actuelle et relié à la roue arrière par l'intermédiaire d'une chaîne. S'en suit une multitude d'évolutions esthétiques et techniques sur les vélos. Optimisation des matériaux les rendant toujours plus légers, maniables et énergiques. Avec le passage des cadres en acier vers ceux en aluminium

et enfin ceux actuels en carbone. Les roues ont subi elles aussi beaucoup de changements, de par leur diamètre, leur matériau, le rayonnage...tout pour l'optimisation du complexe « cycliste-machine ». Les deux dernières principales évolutions qu'a subi le cyclisme moderne n'est autre que le passage de vitesse devenu électrique et Bluetooth pour plus de fluidité, de facilité dans les passages de vitesses et également de légèreté. La deuxième évolution tout à fait récente, est le passage aux freins à disques hydrauliques permettant un freinage plus sûr et une rigidité accentuée.

L'évolution du vélo est croissante, et toujours dans un but de répondre aux demandes des coureurs dans une optique d'améliorer leur performance. Un élément, pourtant pas des moindres, la transmission et plus particulièrement les plateaux, est un élément qui n'a pratiquement jamais évolué. Seul ses matériaux et son diamètre ont changé gardant au fil des évolutions sa forme originelle ronde.

Le plateau fait partie de ce que l'on appelle la chaîne de transmission. Celle-ci est composée des éléments suivants :

- Dérailleurs avant et arrière
- De la roue arrière
- Des pignons qui constituent la cassette
- De la chaîne
- Des plateaux
- Des manivelles (plus pédales)

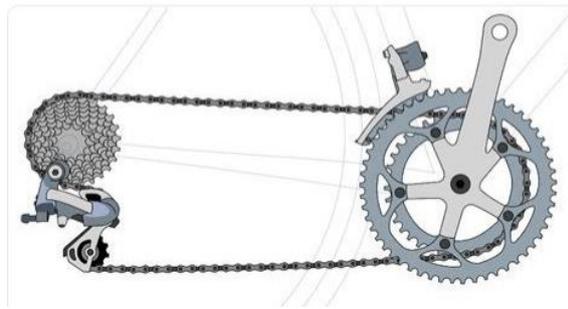


Figure 1 : Chaîne de transmission vélo

L'ensemble de ces éléments qui constituent la chaîne de transmission permettent en outre de transmettre la force utile induite par les membres inférieurs lors du cycle pousser-tirer à la roue arrière par l'intermédiaire des pignons actionnés par le bras de levier manivelles-plateaux. Une puissance alors en découle qui permet à la roue arrière d'être actionnée et de créer une distance plus ou moins longue. Cette conséquence est appelée développement qui s'exprime en mètre. En appliquant cette force et en jouant sur le

développement, le cycliste peut alors trouver sa cadence optimale qui lui permettra d'être le plus efficace selon la pente du parcours.

Les plateaux ronds du fait de leur circonférence, optent pour que le bras de levier soit le même à chaque angle du cycle de pédalage avec une force pour entrainer le système qui devrait être identique à chaque moment du cycle de pédalage. Or comme nous le savons, du fait de notre anatomie, les membres inférieurs sont incapables de fournir une force égale à chaque moment du cycle de pédalage.

Si nous en revenons au cycle de pédalage, celui-ci est décrit dans la littérature selon 4 phases (henke t 1998, Rasach et Zajac 1999). La première phase, ne débutant pas de l'angle  $0^\circ$  mais de  $45^\circ$  jusqu'à  $135^\circ$ . Cette phase est appelée communément la phase de poussée, qui selon Kautz et al en 1991 détermine cette phase comme celle avec la plus grande production de puissance mécanique, environ 96%. Anatomiquement correspondant à l'extension du membre inférieur. La seconde phase appelée point mort bas, est comprise entre  $135^\circ$  et  $225^\circ$ . C'est une phase où la production de force est faible du fait de l'extension complète du membre inférieur. La troisième phase dite de tirée ou de remontée, est comprise entre  $225^\circ$  et  $315^\circ$ . Cette phase n'est pas utilisée à chaque cycle de pédalage, car très couteuse en énergie. Elle est souvent passive sauf en danseuse et lors de puissances maximales développées. Enfin la quatrième phase dite de point mort haut, comprise entre  $315^\circ$  et  $40^\circ$  et à l'inverse de la deuxième, une flexion complète des membres inférieurs ne produisant aucune force. Toutes ces phases sont identiques quels que soient les plateaux utilisés. La seule variation possible est le temps passé dans chacune des phases du cycle de pédalage. A partir de cette observation faite, bons nombres d'inventeurs se sont penchés sur la question et ont tenté de faire évoluer les plateaux en changeant le temps passé dans les phases de cycle de pédalage.

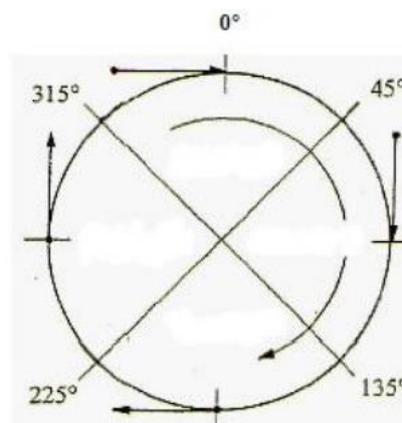
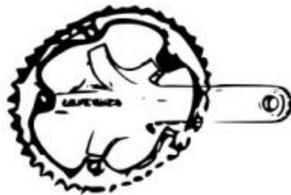


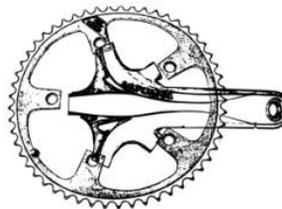
Figure 2 : Cycle de pédalage en 4 phases

Edmond Polchlopek fut le premier à modifier la forme originelle d'un plateau. Coureur professionnel dans les années 1960, il commercialise son plateau qui portera son nom, en 1978. Le plateau a été conçu afin de diminuer le bras de levier dans les deux zones de points morts afin d'y passer le moins de temps possible. Le ratio grande diagonale – petite diagonale est de 1,214, ainsi souhaitant augmenter le bras de levier lors de la phase de poussée pour espérer un gain de vitesse. Une seule étude théorique basée sur un modèle mathématique (Malfait et coll 2010) prouve que les plateaux pourraient améliorer de 1,5% la puissance mécanique du cycliste. Quelques années plus tard, c'est le géant Shinano qui se lance dans les plateaux non-circulaires avec le Biopace sortie en 1983. Plateaux que très légèrement ovalisés avec un ratio de 1,04. L'argument marketing avancé à l'époque était d'augmenter le bras de levier dans les phases de points morts pour augmenter la force et ainsi avoir un coup de pédale plus fluide et mieux réparti sur toute la révolution du cycle de pédalage. Quelques études se sont penchées sur le sujet, comme celle de Hull et al en 1992, ne mettant en évidence qu'une augmentation de la cadence. Deux autres études ont suivi également, ne mettant pas en valeur de gains significatifs grâce aux plateaux. Une décennie plus tard, en 1993, Ogivale sort un plateau qui portera le nom de l'entreprise et comme étant le plateau de l'emblématique Bernard Hinault. Un plateau qui malgré son ratio de 1,235, selon l'étude de de Malfait et coll en 2010 ont démontré grâce à un modèle mathématique, une perte de puissance de l'ordre de 6,4%. Une perte de puissance conséquente vis-à-vis de l'explication du constructeur qui selon leur dire évoque une variation de 42,1% du diamètre du plateau entre les phases de transition et les phases de poussées-tirées par rapport au plateau rond qui devrait alors mieux répartir les forces. Malheureusement la seule étude sur le sujet a démontré le contraire. Le plateau le plus récent et le plus commercialisé de nos jours depuis 2005, n'est autre que le Q-ring. Avec un ratio de 1,1, le constructeur a cherché à diminuer le temps passé sur les points morts tout en augmentant le temps dans la zone poussée-tirée. De nombreuses études ont été menées sur ce type de plateau, à commencer par une étude interne de Cordova et al en 2006 qui montre 3% d'augmentation de la puissance en test incrémental. Sur des sprints d'une durée de 20 sec, ils ont démontré une amélioration des pics de puissance de l'ordre de 4 à 6%. De plus, en termes de production de lactate, à PMA, l'on observe une diminution de cette production par rapport aux plateaux ronds de -1,2 mmol/L. Ces effets sur la performance se confirment également dans une autre étude de Rodriguez (Rodriguez-Marroyo et al 2009) montrant une augmentation de la puissance pic de 4 à 9% sur un test de Wingate. Résultats similaires confirmés en 2012 par

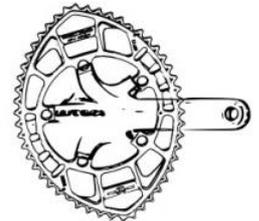
l'étude sur les performances anaérobies et le phénomène d'habitué par O'hara (O'hara et al 2012) avec en moyenne une augmentation de la puissance sur chacun des tests (+ 20 w). L'étude a également révélé qu'au fil des semaines les performances avec le plateau Q-ring ne cessaient d'augmenter. Le Q-ring améliorerait les performances anaérobies et le phénomène d'habitué au plateau augmenterait également l'efficacité du coureur à produire son effort. En revanche l'impact du plateau sur la performance aérobie semblerait n'avoir aucun effet ni positif ni négatif (Peiffer et Abbis 2010, Lucia et al 2004, O'hara et al 2012). Seule une étude réalisée via un test incrémental montrerait une augmentation significative de 3% sur le test (Cordova et al 2006). Plateau plus récent et qui fera l'objet de mon étude, n'est autre que l'O'symetric. Commercialisé dès le début des années 1990 en



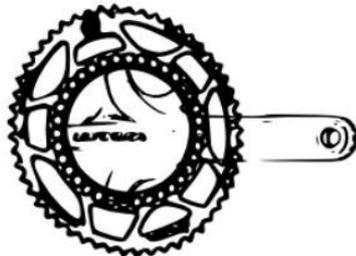
A : Plateau Polchlopek 1978



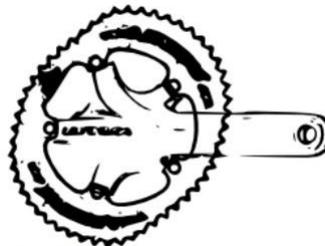
B : Plateau Shinano Biopace 1983



C : Plateau Ogival 1993



D : Plateau Q-ring 2005



E : Plateau O'symétric 1993

Figure n°3 : Principaux plateaux non-circulaire étudiés dans la littérature.

1993, le plateau présente un ratio de 1,21 entre le plus petit et le plus grand rayon. Le rayon du plateau varie proportionnellement à la force utile transmise à la roue arrière en fonction de l'angle de la manivelle. L'objectif de O'symetric est de diminuer le temps passé, au sein de la zone angulaire « de point mort haut et bas » à l'intérieur de laquelle le rapport force utile sur force totale est le plus dégradé, la jambe possède le moins de liberté pour générer une force. Ainsi le fait de passer plus rapidement les points morts, un plateau de 52 dents O'symétric aurait pour équivalent en plateau circulaire un 56 dents dans les phases de

poussées-tirées et un plateau de 48 dents sur les phases de points morts. Quelques très rares études se sont intéressées à ces plateaux, voir même certaines jamais publiées. La première fut celle de Barani Didier en 1993 dès la sortie des plateaux. Cette étude révèle une augmentation de puissance observée selon différentes zones de l'ordre de 6 à 18% de puissance supplémentaire avec les plateaux O'symetric. Également l'étude nous démontre une adaptation musculaire et cardiaque permettant un temps de maintien supérieur par rapport au plateau circulaire. Les tests PMA ont révélé une augmentation de 4,4% de puissance supplémentaire ce qui équivaudrait à +0,7 km/h. Augmentation confirmée par dans une étude plus récente (Hintzy et al 2012) montrant une augmentation de la PMA de 8%. Plus en amont, en 2007, l'équipe de Horvais ont démontré une accélération de la vitesse de rotation sur les points morts contrecarré par une diminution de cette vitesse lors des phases de poussée-tirée. La présente étude a aussi montré pour une même  $vo_2$  max une augmentation de la PMA de 3,7%. Etudes et avis divergent face à ces plateaux sur les performances car certaines études aboutissent à l'absence de différence entre les plateaux (Ratel et al 2004, Rambier et al 2013)

Comme nous l'avons vu de nombreux constructeurs et scientifiques se sont intéressés aux plateaux non-circulaires. Les résultats divergent selon la forme du plateau, et le protocole effectué. Toutefois, la forme non-circulaire des plateaux exercerait une influence sur la performance principalement anaérobie selon les études. Mais qu'en est-il sur la performance globale, comprenant les performances anaérobies dans le domaine du sprint, de la capacité anaérobie, de la puissance aérobie et de l'endurance ? Aucune étude systématique n'a été conduite précisément sur le sujet. Par ailleurs, sur la base des observations empiriques rapportées par les compétiteurs et d'un passage plus rapide des plages angulaires de faibles efficacité mécanique avec le plateau O'symétric, nous émettons l'hypothèse que ce dernier améliorera la performance en cyclisme quel que soit le domaine énergétique. D'autre part, pour les mêmes raisons qu'évoquées précédemment, nous formulons l'hypothèse d'une fatigue musculaire minimisée pour une puissance mécanique externe donnée par rapport à un plateau circulaire. Ainsi le but de notre étude était de tester l'effet du plateau O'symétric sur la performance en cyclisme évaluée à travers les profils de puissances records de 21 cyclistes experts de niveau national à régional en référence à un plateau circulaire.

### III) Méthodes :

Afin de connaître l'impact des plateaux O'symétric sur la performance en cyclisme, nous allons le tester dans deux conditions différentes. Ces deux conditions seront réalisées en laboratoire. La première condition est un test de fatigue sur home trainer afin d'analyser les effets du plateau sur la fatigue musculaire. La fatigue était analysée par un myocapteur (Myocène myo-capteur, sté Mycoène Liège) La seconde session était réalisée sur le même home trainer avec capteur de puissance (SRM grade Science, SRM\_ACC\_CABLE, Matsport.) sur un test de puissance record (PPR) (J.pinot – F.grappe 2006.) afin de mesurer l'impact du plateau sur la performance dans différents domaines énergétiques.

Dans cette étude, il n'y a aucun conflit d'intérêt à déclarer. Les plateaux O'symmetric ont été achetés par nos soins.

#### III.1) Sujets

18 cyclistes ont participé à notre étude. L'échantillon était composé de 15 garçons et 3 filles. L'ensemble des coureurs évoluent en haut niveau amateur en triathlon et cyclisme. L'étude était conforme à la déclaration d'Helsinki. Tous les participants ont donné leur consentement écrit après une description des procédures de l'étude et des risques associés.

	Age	Taille (cm)	Poids (kg)
Moyenne	22,4	172,2	67,3
Ecart type	9,5	9,3	8,4

Tableau 1 : Caractéristiques de l'échantillon

#### III.2) Protocole

Les participants sont venus 4 fois pour réaliser le protocole. Deux fois la première semaine, avec le premier jour la séance de fatigue musculaire, suivi d'un wash-out de 24h, et la séance PPR. Tous les tests ont été effectués sur home trainer (Tacx Flux 2 smart, Garmin). Une semaine après les premiers tests, les participants ont réalisé le deuxième test

aux heures de la semaine précédente. Tous les participants sont passés sur les 2 types de plateaux, soit Rond et O'symétric. Afin de randomiser l'étude, le groupe fut séparé en deux échantillons égaux, un commençant par les tests sur plateaux ronds, puis sur O'symétric, et inversement. Un temps d'adaptation d'une semaine aux plateaux O'symétric était obligatoire afin de se familiariser au pattern de pédalage. Les sujets sont arrivés dans les mêmes conditions lors des 2 phases de tests (aucune séance d'entraînement dans les 48h).

Le tableau 2 montre la chronologie de l'épreuve de fatigue réalisée le premier jour. La séance commençait par un réveil musculaire de 5 minutes à allure libre. Puis, une première mesure de l'état de fatigue du sujet était réalisée avec le myocène. Puis s'en suivait la première partie de la séance avec un échauffement de 15 minutes et un test de 20 minutes à la plus haute intensité régulière possible (cadence au choix du coureur). Une mesure de lactate sanguin était réalisée dans la minute suivant l'arrêt de l'exercice (Lactate scout + EKF, EKF\_Scout+\_KIT, Ekf) et une période de retour au calme de 7 minutes était observée avant une pause de 15 minutes en position assise (les athlètes buvaient et mangeaient une barre énergétique). Suite à cette pause, la séance reprenait par le même échauffement avant d'enchaîner sur un exercice intermittent (8 x 3 min, r : 1'30) basé sur la puissance du test de 20 minutes précédent (calculée de la manière suivante : Watts (moyens sur les 20 min) x 0,94 = FTP). Une nouvelle mesure de lactate sanguin était effectuée avant un retour au calme de 7 minutes. La séance se terminait par une mesure de l'état de fatigue du sujet avec le myocène. Il été demandé également à la fin des 20 min la perception de l'effort (RPE) selon l'échelle de Borg (notée de 1 à 10).

	Temps
Réveil musculaire	5 min
Mesure Myocène	
Echauffement	15 min
Puissance maximale	20 min
Mesure lactate sanguin	
Récupération	7 min
Perception effort 15 min de récupération position assise Mesure Myocène	
Echauffement	15 min
Exercice FTP	8 x 3 min (récupération 1min30 entre chaque 3 min
Mesure lactate sanguin	

Récupération	7 min
Mesure Myocène Perception effort	

Tableau 2 : échelle de temps du protocole de fatigue musculaire

Le tableau 3 montre la chronologie du test du profil personnel record (PPR) réalisé le deuxième jour. Ce test consiste à la réalisation d'un échauffement libre de 10 minutes suivant d'un premier sprint de 10 secondes et de 4 minutes 50 secondes de repos, puis un sprint de 30 secondes et de 4 minutes 30 secondes de récupération, puis un nouveau sprint de 10 secondes et 4 minutes et 50 secondes de repos. Suite à cela, le sujet devait pédaler 5 minutes à la plus haute intensité régulière possible avec une période de 10 récupérations. Enfin, le sujet devait pédaler 20 minutes à la plus haute intensité régulière possible suivi de 7 minutes de récupération. La mesure de la puissance était mesurée tout au long de la séance avec le capteur SRM scientifique. La mesure de fatigue musculaire grâce à l'outil Myocène (Myocène capteur, sté Myocène). La prise de lactate était faite avec un lactate scout. La cadence était libre pour tous les sujets. La consommation d'oxygène (VO<sub>2</sub>) a été mesurée lors du PPR (K5 Cosmed, France) sur une partie des sujets afin de calculer le rendement musculaire.

	Temps
Réveil musculaire	5 min
Mesure Myocène	
Echauffement	10 min
Puissance Maximale	10 sec
Récupération	4min50
Puissance Maximale	30 sec
Récupération	4min30
Puissance Maximale	10 sec
Récupération	4min50
Puissance Maximale	5 min
Récupération	10 min

Puissance Maximale	20 min
Prise de lactate	
Récupération	7 min
Perception effort Mesure Myocène	

Tableau 3 : Echelle de temps du PPR

### III.3) Analyses statistiques

Les données sont présentées sous forme de moyenne et écart type. La normalité des différentes séries de données a été testée par le test du Shapiro Wilk. L'ensemble des données étant normales, la présence de différences significatives entre le plateau O'symétric et celui circulaire sur l'épreuve de fatigue musculaire et durant le PPR a été analysée grâce à un test T de Student pour échantillon apparié, l'athlète étant son propre contrôle. Toutes les analyses statistiques ont été conduites grâce au logiciel Jamovi. Le seuil de significativité des tests a été fixé à  $p < 0,05$ . La taille d'effet a été calculée avec le g de Hedges.

## IV) Résultats

### IV.2) Fatigue musculaire

La Figure 4 présente les variations de l'index de fatigue calculé par le myocène entre le début et la fin de la séance « fatigue musculaire ». Nos résultats rapportent un score de fatigue de -13,4 avec le plateau rond et de -12,3 avec le plateau O'symétric. Il y a donc une différence de l'index fatigue de 8,3% significativement inférieure avec le plateau O'symétric comparé au plateau rond ( $p < 0,03$ ). Aussi, nos résultats indiquent une taille d'effet de 2,20.

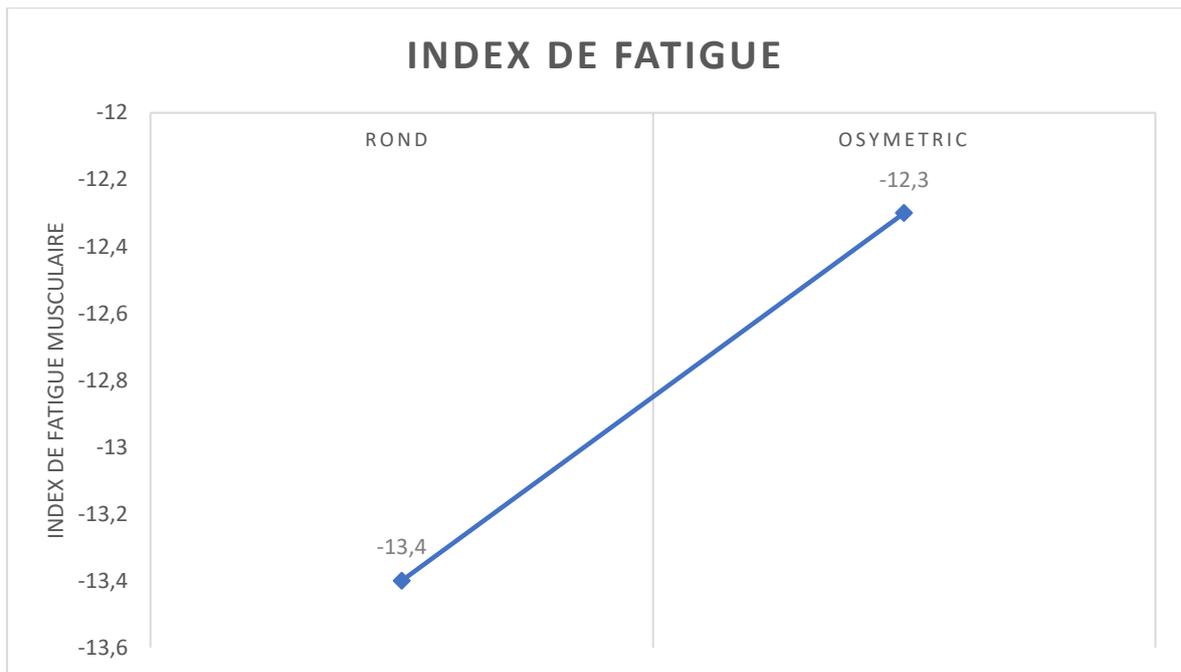


Figure 4 : fatigue musculaire induite à l'exercice

#### IV.1) Données de puissance

La figure 5 présente les données de puissance obtenues lors du PPR avec plateau rond et plateau osymétric.

**Le gain relevé en puissance maximale est de 12,1% de puissance supplémentaire** par rapport au plateau Rond, un gain de 100,4 watts en moyenne.

La figure A) représente la puissance moyenne développée par les athlètes lors des deux épreuves maximales réalisées entre les plateaux ronds et O'symetric. La puissance maximale 1 sec est augmentée significativement ( $p < 0,001$ ) de 12,1%,  $\pm 10\%$ . La taille d'effet associé est de 1,26. Il est important de remarquer que quasiment l'ensemble des cyclistes ont bénéficié d'un gain de performance avec le plateau O'symetric

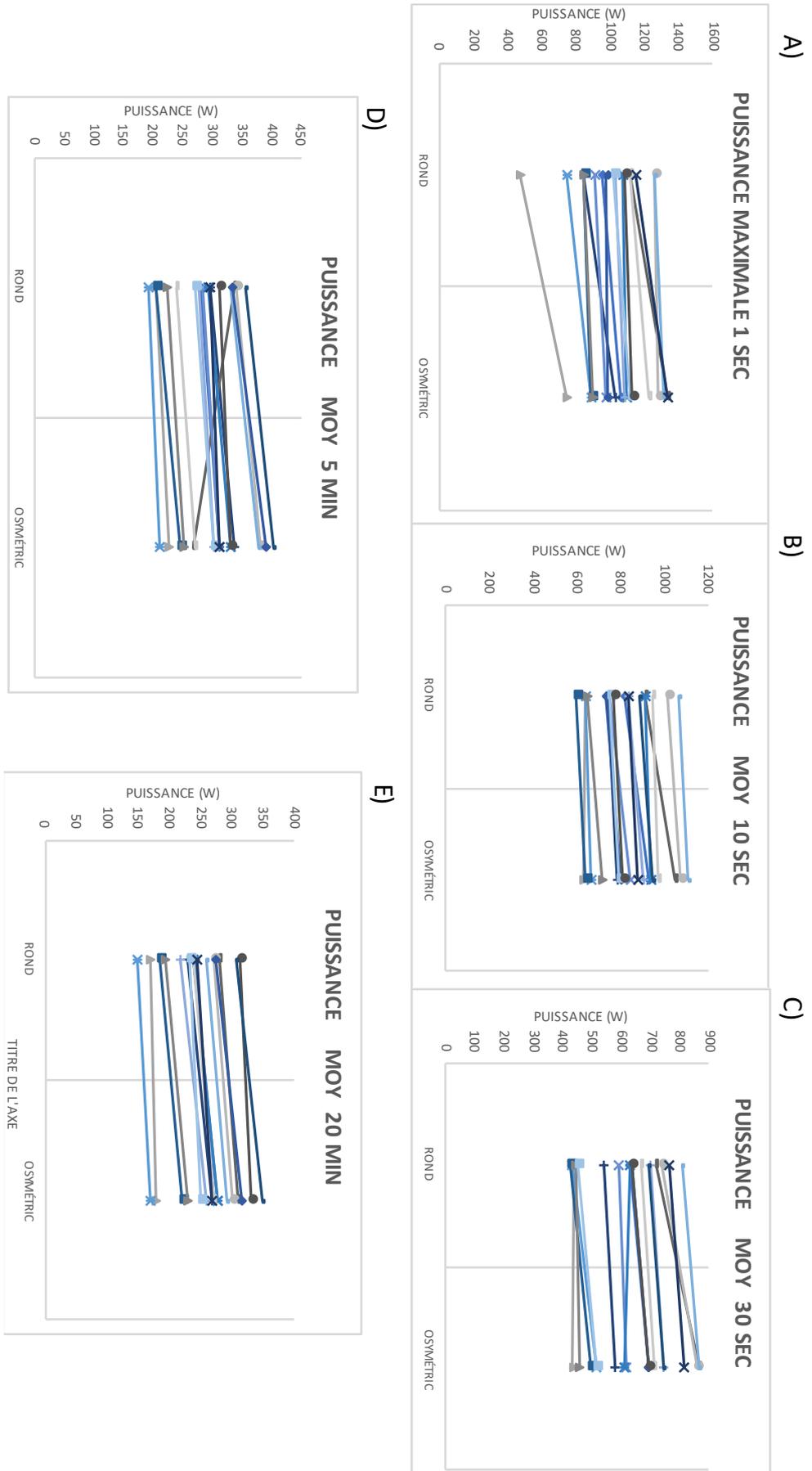


Figure 5 : Puissance (watts) obtenues lors du PPR

La puissance moyenne sur 10 sec, 30 sec, 5 min et 20 min a également été comparée ci dessous :

A la vue des résultats, la puissance moyenne sur 10 secondes (figure B) est augmentée de 7%  $\pm$ 3% en moyenne pour les plateaux O'symétric comparés aux plateaux ronds ( $p < 0,001$ ). Ceci représente un gain de 54 W en moyenne avec les plateaux O'symétric. Aucun sujet ne présente de diminution de performance avec le plateau O'symétric. La taille de l'effet représenté est de 1,60 pour le test 10 sec du PPR.

Au regard de la puissance moyenne sur 30 secondes (figure C), le gain moyen est de 9% de puissance supplémentaire avec le plateau O'symetric ( $p < 0,001$ ). Ce qui représente un gain de 54 W. Aucun sujet ne présente de diminution de performance avec le plateau O'symétric. La taille de l'effet pour les 30 sec du test du PPR est de 1,42.

Lors des 5 min du test PPR (figure D), nous avons également relevé un écart de puissance de l'ordre de 10% de puissance pour le plateau O'symetric ( $p < 0,001$ ), ce qui correspond à une augmentation de puissance de 27 W en moyenne sur 5 min. La taille d'effet obtenue est importante avec 1,04.

Un écart de puissance d'autant plus important pour les 20 minutes (figure E) en faveur du plateau O'symetric a été noté ( $P < 0,01$ ) et un gain de 13,5% de puissance supplémentaire pour le plateau O'symetric confirmant ainsi le bénéfice important apporté par le plateau sur l'efficacité de pédalage. La taille d'effet représentée est de 3,28 pour le test 20 min du PPR.

#### IV.3) Lactatémie lors du 20 minutes au cours du PPR

La figure 6 présente la lactatémie atteinte suite à l'effort maximale de 20 minutes lors de la réalisation du PPR.

Ci-dessous le lactate sanguin apprécié et mesuré après l'effort réalisé par les sujets.

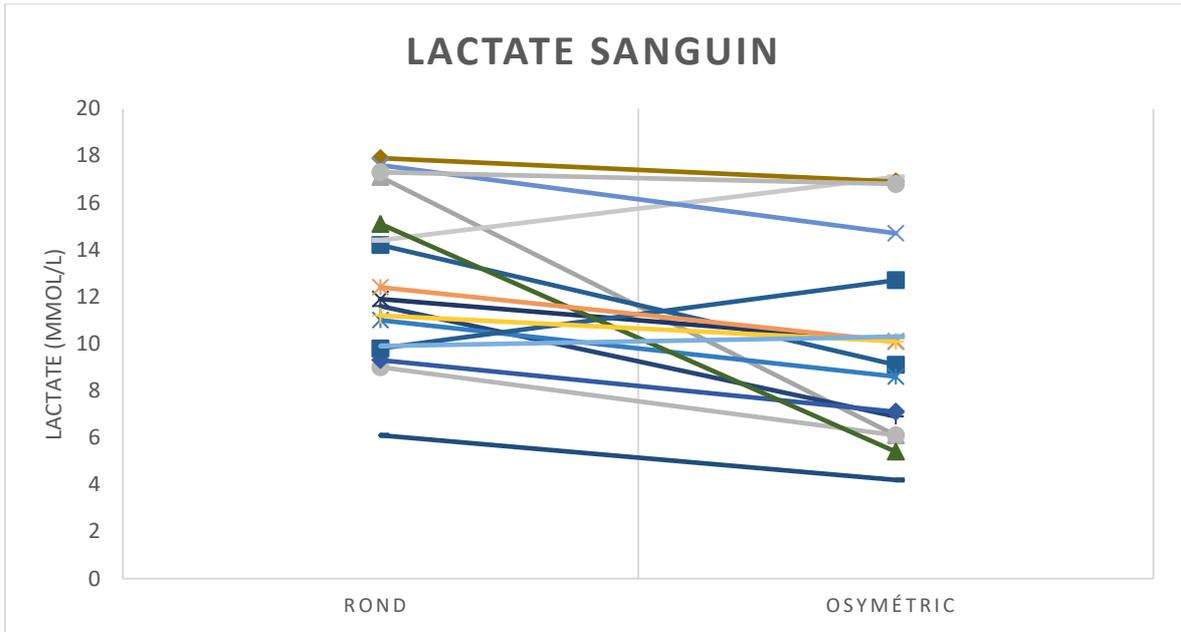


Figure 6 : Lactate sanguin exprimé en mmol/L après les 3 efforts réalisés

Les résultats obtenus pour le lactate sanguin sont de **21,7% en moins** avec l'utilisation des plateaux **O'symetric**, équivalent à -2,4 mmol/L. Confirmation avec les tests statistiques montrant une grande taille d'effet de l'ordre de 0,9 pour un seuil fixé à 95% et un  $p < 0,001$

IV.4) RPE post séance PPR

La figure présente les données de perception de l'effort évalué au travers de l'échelle RPE (Rate Perceived exercise) notée de 1 à 10

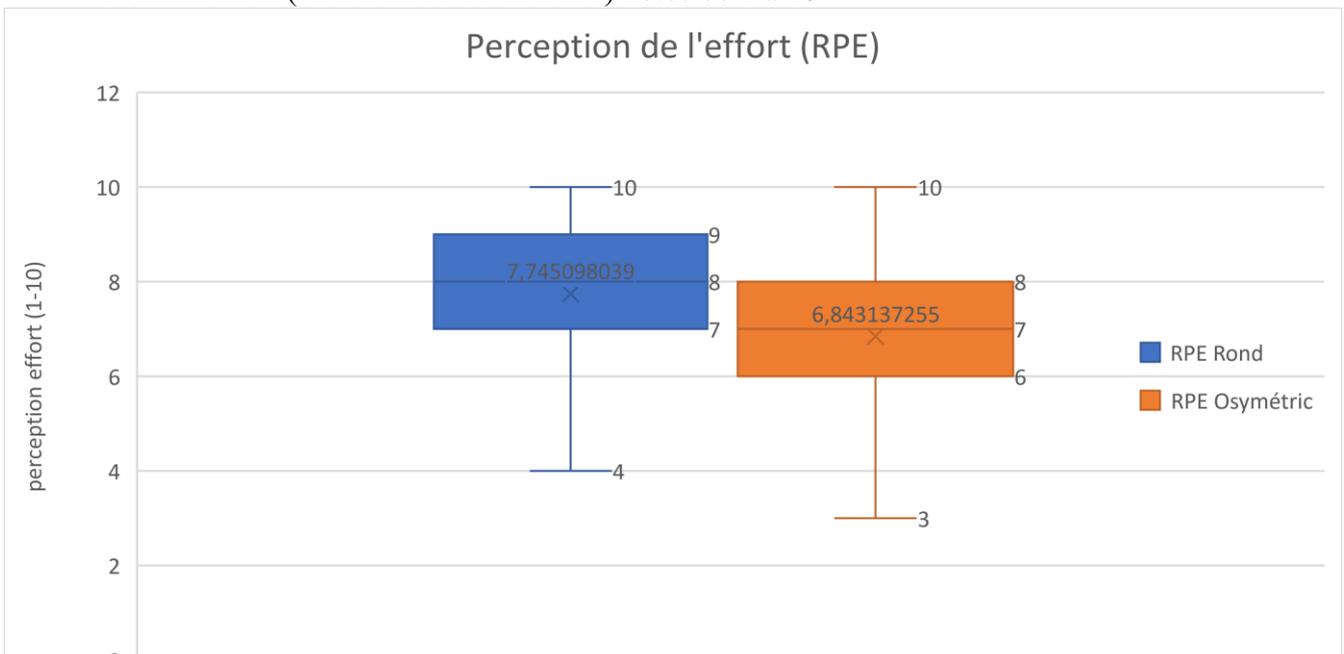


Figure 7 : Perception de l'effort selon l'échelle de Borg (1-10)

La perception de l'effort a été appréciée après chaque test, avec un écart de l'ordre de 11,8%. Soit -0,9 ua en faveur des plateaux O'symetric. Cette fois ci la taille d'effet est modérée avec 0,7 pour un seuil fixé à 95% et un  $p < 0,001$

#### IV.4) Consommation d'oxygène Pic atteinte lors de la séance du PPR

Ci-dessous les mesures VO<sub>2</sub> Pic (consommation maximale d'oxygène sur 30 secondes) réalisées sur 5 sujets, lors de l'épreuve du PPR. Les efforts étant maximaux, nous avons choisi ces intervalles de temps afin d'avoir un VO<sub>2</sub> max la plus exacte possible.

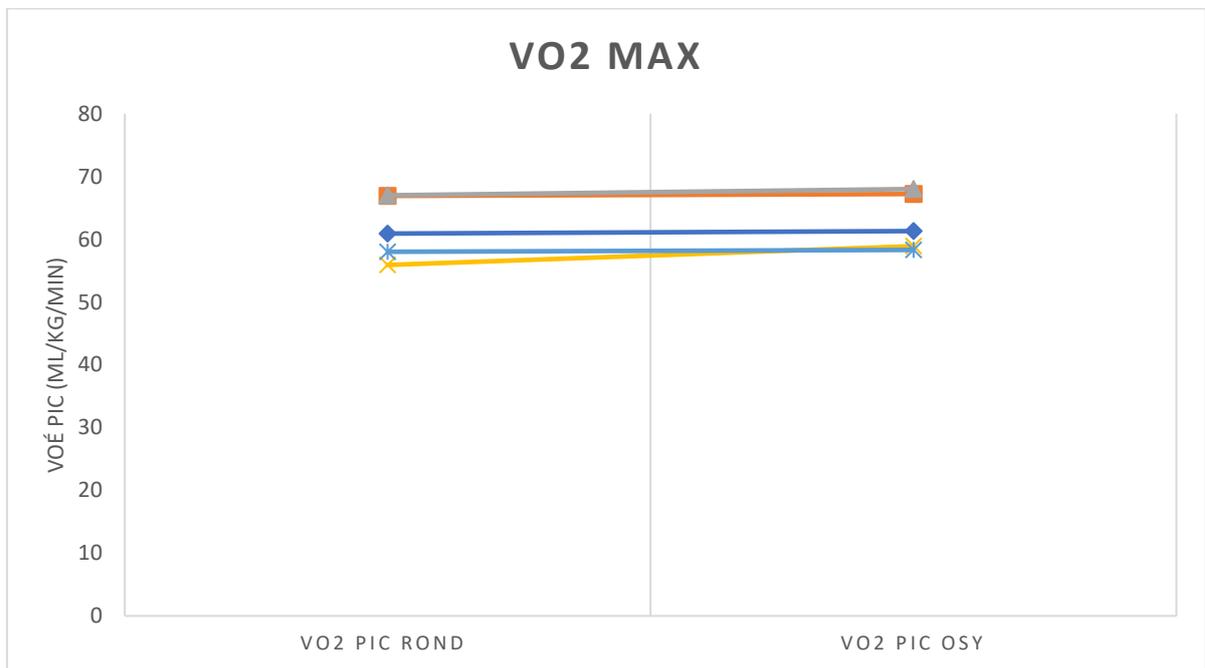


Figure 8 : VO<sub>2</sub> pic enregistrée entre les plateaux Ronds et O'symétric

La VO<sub>2</sub> pic mesurée sur ces 5 sujets a montré des écarts non significatifs de l'ordre de 1,70% en moyenne (+/- 2%) en faveur des plateaux O'symétric. Cependant, cette différence tend à être significative comme en atteste la valeur du p ( $p=0,063$ ). La taille d'effet est forte avec  $g=0,8$ .

IV.5) Rendement musculaire calculé lors de la phase de 20 minutes du PPR

Le rendement énergétique a également été calculé d'après la figure 9 :

Ce rendement musculaire a été obtenu grâce au rapport de la puissance mécanique sur la puissance consommée. Les puissances ont été relevées lors du test 20 min du PPR entre la 4 et 7<sup>e</sup> minutes, lors d'une phase d'état stable.

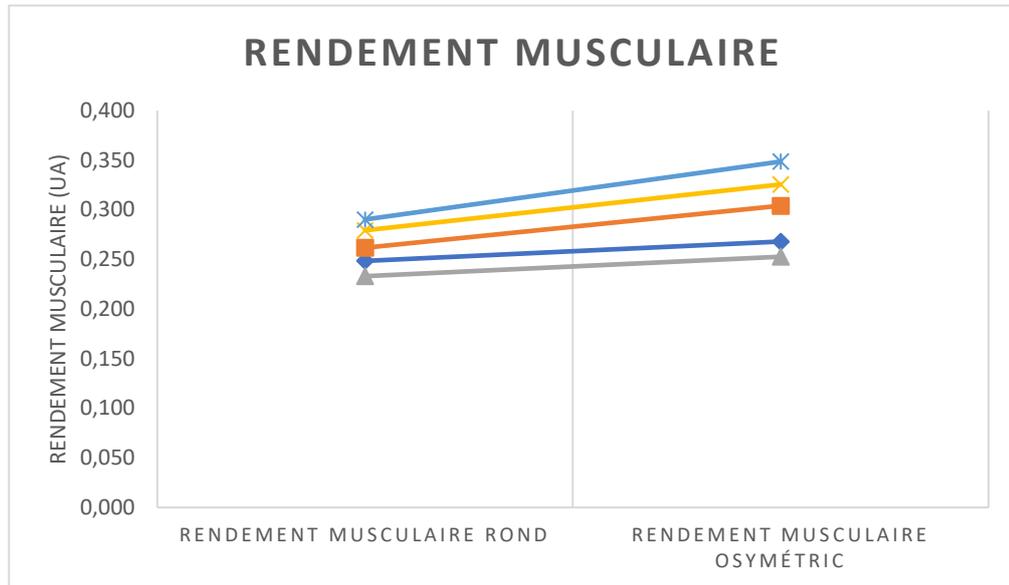


Figure 9 : Rendement énergétique Rond vs O'symétric

Malgré une VO<sub>2</sub> max non significative au seuil de significativité fixé à 95%, nous avons tout de même calculé le rendement énergétique associé. À la vue des résultats et du test statistique t de Student pour échantillons appariés ( $p < 0,001$ ), nous observons un rendement énergétique en moyenne de +13% (+5%) pour les plateaux O'symétric par rapport aux plateaux Ronds. La taille de l'effet quant à elle est de 3,8.

## V) Discussion

L'objectif de ce mémoire était d'étudier l'effet d'un modèle de plateau non circulaire (modèle O'symétric) sur la performance en cyclisme et de manière secondaire sur la fatigue musculaire en comparaison à un plateau rond. Les principaux résultats montrent que le plateau O'symétric permet d'augmenter la puissance produite quel que soit le domaine énergétique tout en diminuant le ressenti de la difficulté de l'effort et la lactatémie.

D'après la présente étude, l'utilisation des plateaux O'symétric aurait un impact positif sur la performance. En effet quel que soit les tests laboratoires réalisés, une augmentation des performances a été enregistrée.

L'étude que nous avons réalisée étant princeps dans ce domaine, seul un mémoire de master 2 et une étude non publiée ce sont également intéressés aux performances de ces plateaux. Les principaux résultats obtenus par Barani.D (O'symétric site) sur l'évolution du métabolisme aérobie entre plateaux ronds et O'symétric confirme les résultats obtenus avec en moyenne une puissance supplémentaire pour les plateaux O'symétric de l'ordre de 6% à 18% pour un rendement amélioré de 7%. L'étude nous dévoile également que l'adaptation musculaire à l'effort est meilleure suggérant une quantité de travail supérieure vis-à-vis des plateaux ronds, hypothèse vérifiée comme le suggère la figure 10 (annexe).

Les plateaux O'symétric, de leur conception, facilitent le passage des zones de points morts (haut et bas). Effectivement, comme vu précédemment et du fait de leur forme, les plateaux permettent une accélération de la vitesse angulaire aux niveaux des zones de points morts (haut et bas). Cette accélération due à la diminution du bras de levier du plateau à ces endroits précis. De cette accélération angulaire, nous supposons que celle-ci entraînerait une inertie de pédalage et par conséquent une augmentation des cadences de pédalages corroborée par une augmentation de puissance.

La principale observation de la présente étude réside dans (i) un gain de l'ordre de 10% obtenu sur les performances. Ce gain est associé à une réduction de l'ordre de 10% du diamètre utile du plateau dans la zone des points morts hauts et bas ce qui autorise une vitesse angulaire augmentée également de 10% au sein de cette zone et donc un temps passé dans la zone de faible efficacité mécanique diminuée dans le même ordre de grandeur. Conséquence logique, le temps passé est augmenté dans la plage angulaire de grande efficacité mécanique où la force appliquée à la pédale est presque intégralement transmise en mouvement au niveau de la roue arrière. Seuls 3 athlètes présentaient des performances stables quel que soit le plateau employé. Ces 3 athlètes étaient ceux qui possédaient la phase d'habitation la plus réduite suggérant que le bénéfice sur la performance dans le domaine de la puissance aérobie et l'endurance ne se manifeste véritablement qu'après une période d'habitation consistante. En d'autres termes les performances sont essentiellement augmentées grâce à une efficacité mécanique majorée au sein du cycle de pédalage grâce au plateau O'symétric par rapport à celui circulaire. Le bénéfice apporté par le plateau O'symétric est observé aussi sur d'autres paramètres et outils de mesure totalement indépendants de la puissance développée.

En d'autres termes, la VO<sub>2</sub> pic étudiée sur quelques sujets, a permis de démontrer que les plateaux de type O'symétric amélioreraient de manière conséquente ce paramètre. Les relevés se sont mêmes révélés significativement plus performants avec une augmentation

moyenne de VO<sub>2</sub> max de l'ordre de + 1,70% lors d'un effort de type PPR. La puissance (watts) a également été récoltée suggérant que les plateaux O'symétric seraient d'autant plus performants qu'il y a un allongement de la durée de l'effort. Comme en témoigne le PPR moyen des sujets (Figure 11)

Des tests sur plus long terme et sur un panel de sujets plus complets serait intéressant à observer du fait du rendement musculaire et de l'aptitude à l'endurance associée. Un test terrain permettrait de mesurer le compromis des plateaux entre puissance supplémentaire et faible cout énergétique. Cette aptitude à l'endurance observée, permet de formuler l'hypothèse suivante selon laquelle, les plateaux O'symétric permettraient une moindre réduction de puissance au cours du temps par rapport à un plateau circulaire. Un effet d'autant plus appréciable que les puissances observées sont plus importantes également. Des tests terrains plus long permettraient de valider au mieux cette hypothèse. Des tests terrains seront conduits en 2023 sur vélodrome et sur des pentes régulières afin d'affirmer ou infirmer cette hypothèse.

De plus, les lactatémies atteintes sont systématiquement plus faibles avec le plateau O'symetric par rapport à celui circulaire bien que les puissances maintenues soient 10% supérieures suggérant une meilleure perfusion musculaire au cours du cycle de pédalage facilitée par le plateau O'symetric et donc une moindre dépendance vis-à-vis du métabolisme anaérobie. Cette hypothèse pourra être testée directement grâce au capteur dans le proche infra-rouge de type Moxy lors de la prochaine étude qui sera conduite en 2023. Mesures qui seront également complétées par un électromyogramme permettant ainsi de mesurer l'activité musculaire de l'ensemble des groupes musculaires acteurs lors du pédalage.

De façon intéressante le recueil systématique de la difficulté des exercices confirme les résultats obtenus avec la lactatémie dans la mesure où les puissances pourtant plus élevées maintenues grâce au plateau O'symetric sont associées avec des scores de RPE significativement plus faibles par rapport au plateau circulaire. D'avantage de plaisir serait éprouvé durant le pédalage avec les plateaux O'symétric. Le pattern de pédalage étant modifié, la sensation plus naturelle du « coup de pédale » se fait ressentir chez tous les sujets dès les premiers tours de manivelles. Mesure potentiellement mesurable via l'activité neuronale durant l'étude suivante.

Enfin l'aptitude à l'endurance telle que défini par Péronnet (Peronnet et al 1987), apparait majorée sous l'effet du plateau O'symétric ce qui autorise des gains de performance majorés sous l'effet de l'allongement de la durée des exercices. (Figure 12)

Cette endurance majorée est associée avec un score de difficulté perçue significativement plus faible.

Nous formulons là aussi l'hypothèse selon laquelle la perfusion musculaire est mieux assurée par suite d'un passage plus rapide au niveau des points morts haut et bas grâce au plateau O'symetric.

## Conclusion

La présente étude a donc permis de montrer **des gains de performances de l'ordre de 10% qui proviennent** (i) d'une efficacité mécanique de pédalage augmentée grâce à un temps passé dans la zone de points morts hauts et bas diminuée et une durée dans la plage angulaire d'efficacité mécanique augmentée ; (ii) d'une VO2 max sensiblement augmentée. (iii) D'une aptitude à l'endurance comme en témoigne la moindre réduction de puissance observée au cours du temps avec le plateau O'symétric. Si bien que les gains de performances augmentés sensiblement avec la durée de l'exercice pour atteindre des valeurs de l'ordre de 13% sur 20 minutes.

Une augmentation de VO2 max probablement par suite d'une meilleur dynamique de perfusion musculaire au sein du cycle de pédalage a été observée, un paramètre à creuser du fait du peu de nombre de sujets testés sur la VO2. S'en suit (iv) une moindre dépendance au métabolisme anaérobie comme en témoigne les lactatémies sanguines plus faibles, tout comme les perceptions d'effort et douleur musculaires observées également plus faibles dans la condition avec les plateaux O'symétric.

En somme, le pédalier O'symetric permet d'obtenir des gains de performances sensiblement différents de l'ordre de 10%, chez des athlètes bien, voir très bien entraînés pour des temps d'exercices allant de 1 sec à 20 min. Ces gains de performances sont corroborés par des mesures externes, des aptitudes énergétiques des athlètes qui sont majorées au total dans les mêmes proportions. Toutes les mesures convergent dans le même sens et d'autant plus que les sujets étaient entraînés voir très entraînés.

## VI) Bibliographie

- *Abbiss CR, Laursen PB. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. Sports Med. 2005;35(10):865-98. doi: 10.2165/00007256-200535100-00004. PMID: 16180946.*
- *B. Sesboüé, J.-Y. Guinestre, La fatigue musculaire, Annales de Réadaptation et de Médecine Physique, Volume 49, Issue 6, 2006, Pages 257-264, ISSN 0168-6054,*
- *Evaluation\_de\_la\_fatigue\_musculaire C.morana S.Perrey laboratoire efficience et defficiency motrices EA 2991 – UFR STAPS université de Montpellier 39<sup>e</sup> congrés national de la SFMKS aboratoire Efficience et déficiency motrices EA 2991 - UFR STAPS Université de Montpellier 1 (34*
- *Enoka RM, Stuart DG. Neurobiology of muscle fatigue. J Appl Physiol 1992;72(5): 1631-48*
- *Frédérique Hintzy & Nicolas Horvais (2015): Non-circular chainring improves aerobic cycling performance in non-cyclists, European Journal of Sport Science, DOI: 10.1080/17461391.2015.1086817*
- *AEROBIC METABOLISM EYOLLTfION COMPARATTVE STUDY DTJRING TRIANGIJLAR EFFORT TEST ON BICYCLE EQUIPPED WITTI A CIRCUIAR OR A NON CIRCUI-}{R CHATN wmEL Didier BARANI*
- *Hintzy F, Grappe F, Belli A. Effects of a Non-Circular Chainring on Sprint Performance During a Cycle Ergometer Test. J Sports Sci Med. 2016 May 23;15(2):223-8. PMID: 27274658; PMCID: PMC4879434.*
- *2012 – 2013 direction Frederic.Grappe N.rambier effet de l'utilisation du plateau osymétric sur la performance du cycliste*
- *Barani. 1993. « aerobic metabolism evolution comparative study during triangular effort test on bicycle equipped with a circular or a non circular chain wheel ». Rapport interne. nice.*
- *Carpes, Dagnese, Mota, et Stefanyshyn. 2009. « Cycling with noncircular chainring system changes the three-dimensional kinematics of the lower limbs ». Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports 8 (4) (novembre): 275-283.*
- *Cordova, Villa, Seco, et Latasa. 2006. « Analysis of physiological and biomechanical effect of oval variable geaed chainrings in comparaison to conventional cicrular chainrings ».*

- Ericsson, Nisell, Arborelius, et Ekholm. 1985. « Muscular activity during ergometer cycling ».
- Goto, Toyoshima, et Hoshikawa. 1976. « Study of the integrated EMG of the leg muscles during pedalling at various loads, frequency, and equivalent power ».
- Hansen, Jensen, Hallén, Rasmussen, et Pedersen. 2009. « Effect of chain wheel shape on crank torque, freely chosen pedal rate, and physiological responses during submaximal cycling ». *Journal of physiological anthropology* 28 (6) (novembre): 261-267.
- Hintzy, F., A. Belli, J.-D. Rouillon, et F. Grappe. 2012. « Effet d'un plateau non circulaire sur la relation force-vitesse obtenue lors de sprints sur cycloergomètre ». *Science et motricité* (40): 42-47.
- Horvais; N, Hintzy F, et Hautier C. 2007. « effet d'un plateau non circulaire Osymetric sur la puissance maximale aérobie chez des sujet non spécialistes en cyclisme ». • Hull, Beard, et Varma. 1990. « Goniometric measurement of hip motion in cycling while standing. »

## VII) Annexe

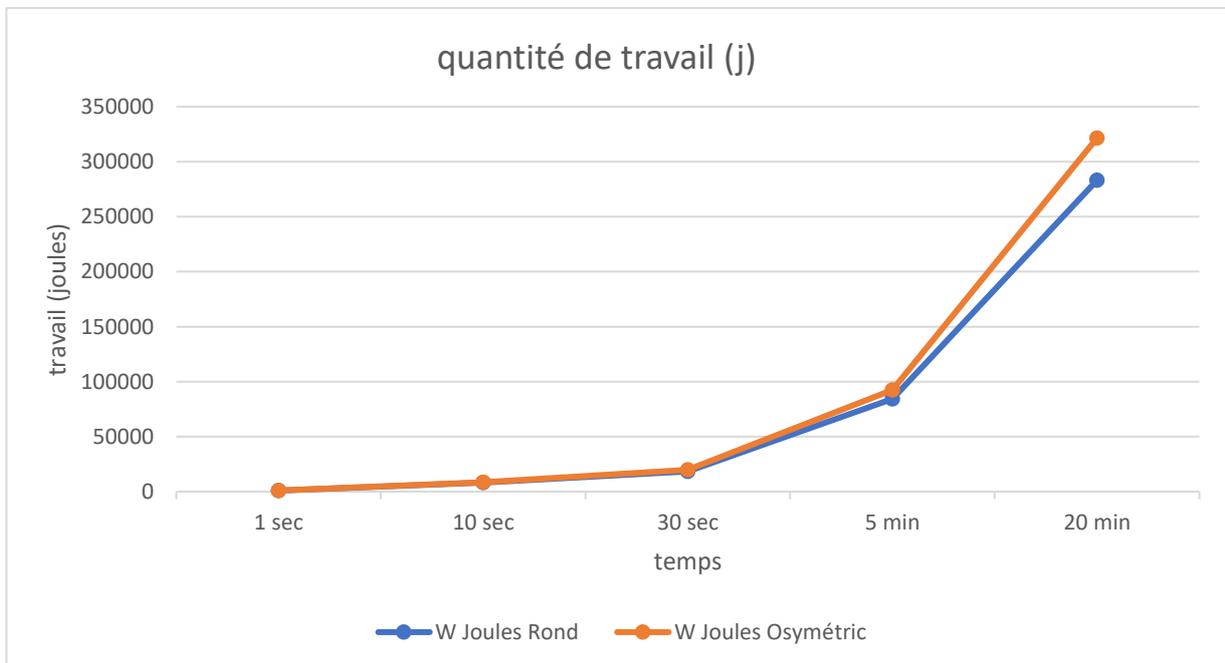


Figure 10: Quantite de travail lors du PPR

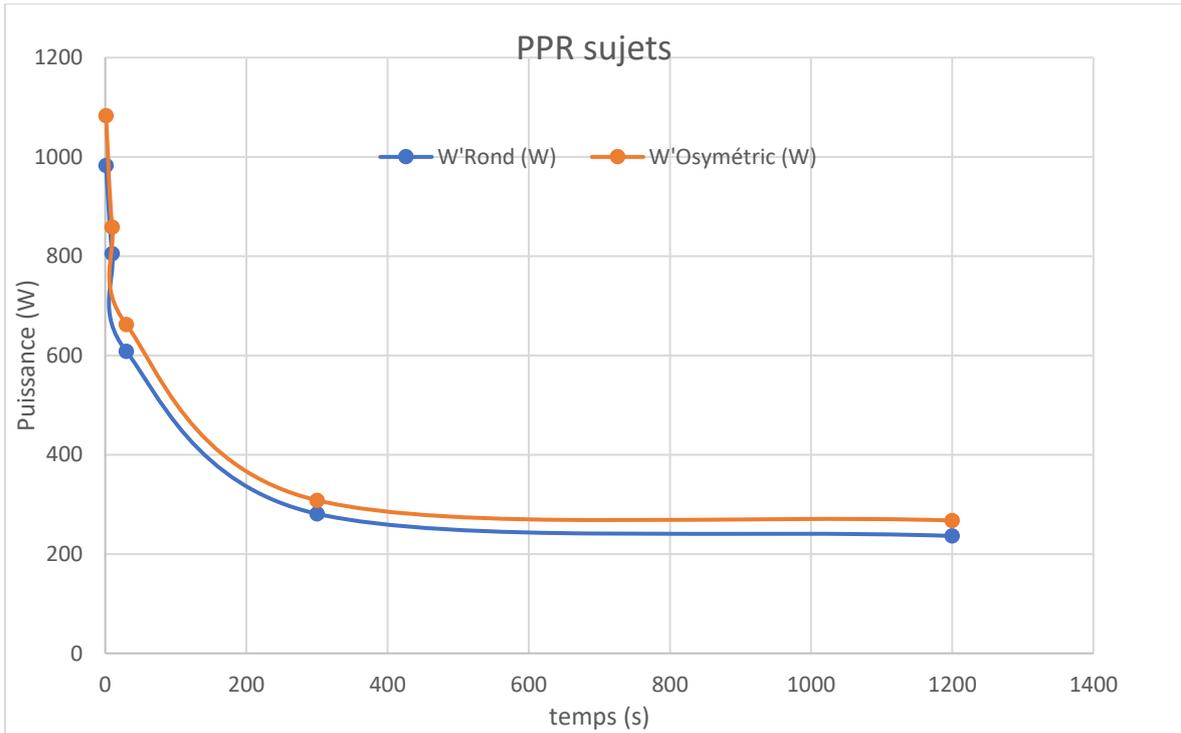


Figure 11: PPR moyen

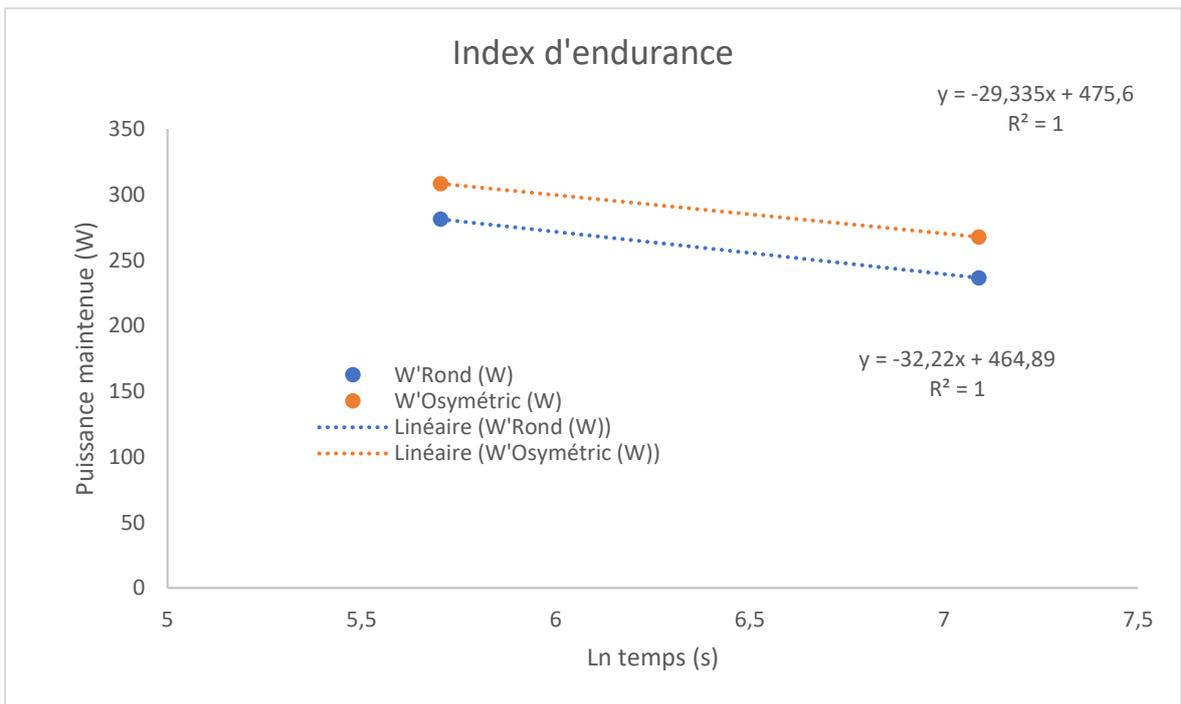


Figure 12 : Index d'endurance moyen Rond vs O'symétric (5min et 20min)

Résumé :

La présente étude réalisée sur une population de cyclistes de tous niveaux a permis de démontrer que les plateaux O'symétric avaient un impact positif sur la performance en cyclisme par rapport aux plateaux circulaires. En effet les résultats obtenus en termes de fatigue musculaire, performances anaérobies et aérobies se sont révélées significativement supérieures vis-à-vis des plateaux circulaires. Des écarts de l'ordre de 10% ont été obtenus sur l'ensemble des tests réalisés en laboratoire. Les analyses statistiques réalisées par le biais de t des student pour échantillons appariés, ont montré de manière significative, que les plateaux O'symétric influençaient la performance en cyclisme. **Les puissances obtenues sont en moyenne 10% supérieures par rapport aux plateaux circulaires pour des lactatémies inférieures de 21%.** Un phénomène principalement expliqué par le passage des points morts hauts et bas passés plus rapidement permettant une économie du cycle de pédalage pour une optimisation de celui-ci. Le pattern de pédalage étant ainsi modifié, l'utilisation à long terme des plateaux O'symétric permettraient un rendement d'autant plus important que ces derniers sont utilisés dans la durée.

Mots clés : **Puissance – Pattern de pédalage – Fatigue musculaire – Lactatémie**

Abstract :

The present study carried out on a cyclist's population of all levels has shown that O'symmetric trays have a positive impact on cycling performance compared to circular trays. Indeed, the results obtained in terms of muscle fatigue, anaerobic and aerobic performance have proven to be significantly superior compared to circular trays. Deviations of the order of 10% were obtained on all the tests carried out in the laboratory. Statistical analyses carried out through t of students for matched samples, showed significantly, that O'symmetric trays influenced performance in cycling. **The powers obtained are on average 10% higher than circular trays for lactatemia 21% lower.** A phenomenon mainly explained by the passage of high and low dead points passed more quickly allowing an economy of the pedaling cycle for an optimization of it. The pedaling pattern being thus modified, the long-term use of the O'symmetric trays would allow a yield all the more important as they are used for a long time.

Key words : **Power – Pedal pattern – Muscle fatigue – Lactatemia**