



**Université de Franche-Comté**

**U.P.F.R des sports de Besançon**

Mémoire pour l'obtention du diplôme master 2

Entraînement Management Ingénierie de la Performance

**EFFET DE L'UTILISATION DU PLATEAU O'SYMETRIC  
SUR LA PERFORMANCE DU CYCLISTE**

Rambier Nicolas

Sous la direction de F.Grappe

Année universitaire 2012-2013

## *Remerciements*

A **Frédéric Grappe**, qui m'a aidé et orienté durant toute l'étude

A **Jean Louis Talo**, inventeur des plateaux O'symmetric, pour m'avoir fait confiance dans la réalisation de cette étude,

Aux **doctorants**, Alexandre Abel, Julien Pinot, Romain Bouzigon pour leurs expériences et savoir-faire partagés

A **l'ensemble des coureurs** qui se sont investi dans les tests : Alexandre Gloriod, Benjamin Becasseau, Cécile Delaire, Cédric Doney, Denys Marhem, Martial Kneisky, Pierre-Emmanuel Baurand, Thomas Goguely, Julien et Christophe Tisserand, Tom Dureux, Flavien Soenen, Jean-Charles Demoussis, Julien Billod Morel, Pierre Letard, Thierry Minetti.

A **ma famille** pour son soutien

A l'ensemble de la promo EMIS . .

# Table des matières

I.	Abréviations .....	5
II.	Introduction .....	6
1.	Revue de littérature .....	8
2.	Biomécanique de pédalage.....	14
a.	Cycle de pédalage.....	14
b.	Activités articulaires lors du pédalage .....	16
c.	Activité musculaire lors du cycle de pédalage.....	17
d.	Vecteurs de force sur la pédale.....	18
e.	Définition du moment de force .....	19
f.	Mesure du couple.....	20
3.	Perspectives .....	21
III.	Méthodes :.....	22
1.	Tests laboratoire.....	22
a.	Sujets .....	22
b.	Protocole en laboratoire.....	23
c.	Analyse statistique .....	24
d.	Résultats.....	25
e.	Discussion.....	35
2.	Test terrain.....	36
a.	Sujets : .....	36
b.	Protocole :.....	37
c.	Analyse statistique .....	38
d.	Résultats.....	39
e.	Discussion.....	43
3.	Expérimentations annexes.....	46
a.	Mesure EMG .....	46
b.	Accélérométrie .....	50
IV.	Discussion générale .....	53
V.	Conclusion.....	56
VI.	Bibliographie .....	57
VII.	Table des figures .....	60
VIII.	Annexes.....	62

# I. Abréviations

RPM = rotation par minutes

PMA = puissance maximale aérobie

P1, P2, P3... = Palier 1, Palier 2, Palier 3...

SpV = sprint véloce

SpO = sprint optimal

SpF = sprint Force

Fc = fréquence cardiaque

W = watts

Osym = Plateau O'symetric

Rd = plateau Rond

P = probabilité statistique

\* = résultats significativement différents ( $p < 0,05$ )

Min = minutes

Sec = secondes

Moy = moyenne

Max = maximum

N.m = newton mètre

42\*19 = développement utilisé, plateau 42dents, pignon de 19dents

EMG = électromyogramme

Rad/s = vitesse en radian par seconde

## II. Introduction

Le cyclisme de haut niveau est un sport où la composante technologique prend une place de plus en plus importante dans la performance du coureur. En effet, avec l'optimisation des méthodes d'entraînement et de récupération, nous pouvons observer une diminution des différences entre les meilleurs coureurs. Un des leviers sur lequel les équipes et les coureurs peuvent agir, pour faire la différence avec les adversaires, c'est sur le matériel. Les équipes professionnelles, et nationales, en association avec les industriels du cycle, investissent beaucoup en recherche et développement pour rendre le matériel de plus en plus performant. Le sport cycliste touche ainsi à beaucoup de domaines d'ingénierie dans un but de rendre le matériel toujours plus performant :

- Optimisation de la forme du vélo, et de la position du cycliste
- Vêtements plus performants (respirant tout en gardant l'imperméabilité aux éléments extérieurs)
- Pneumatiques / boyaux plus performants en terme d'adhérence, résistance au roulement
- Capteur de puissance, changement de vitesse électronique
- Roue plus aérodynamique, rigide, avec un effet d'inertie, plus légère
- Cadre plus léger, plus résistant et plus rigide tout en gardant une maniabilité...

Cette liste non exhaustive, illustre les nombreux domaines qui peuvent améliorer l'efficacité du cycliste. Le rôle de l'ingénieur de la performance est de faire le tri entre ce qui peut être une amélioration pour le coureur et ce qui ne l'est pas. Il doit avoir en tête que le meilleur matériel ne suffit pas mais qu'il faut surtout qu'il soit adapté au coureur pour qu'il permette un gain de performance.

Dans une quête de matériel le plus performant, l'été dernier (2012), un gros coup de projecteur a été porté durant le Tour de France et les JO 2012 sur les plateaux ovoïdes (O'symmetric) avec le vainqueur (Bradley Wiggins, Médaillé d'or) et le second (Chris Froome, Médaillé de bronze) (voir annexe p 64).

Un « buzz » médiatique s'est alors créé autour de ces plateaux leur attribuant une part de l'hégémonie de ces coureurs sur les routes du Tour et des jeux olympiques.

Loin du tapage médiatique, de nombreuses études ont été antérieurement conduites. D'une manière générale, elles n'ont pas permis d'affirmer ou d'infirmer l'effet de ces plateaux sur les performances des coureurs sur le terrain.

A partir de ce constat, l'étude que je présente devra répondre à cette problématique à savoir, est-ce que l'utilisation des plateaux O'symmetric permet une réelle amélioration de la performance ?

L'hypothèse de travail suggère que l'utilisation des plateaux O'symmetric engendre une modification positive du pattern de pédalage. Cette modification de pattern pourrait entraîner une meilleure efficacité de pédalage du coureur qui se traduirait par un gain significatif de performance.

# 1. Revue de littérature

La paternité de la création de la bicyclette n'est pas clairement définie dans l'histoire. Elle a connu de nombreuses améliorations techniques. On se souvient de la draisienne, ce vélocipède commercialisé par Michaux, dans les années 1850 qui peut être considérée comme les origines du vélo. Mais l'engin qui se rapprocherait plus du vélo actuel serait à mettre à l'actif de la « *Coventry sewing machine company* » (qui deviendra Rover). En 1884, elle sort le premier vélo avec une chaîne de transmission. Depuis lors de nombreuses améliorations techniques ont été apportées.

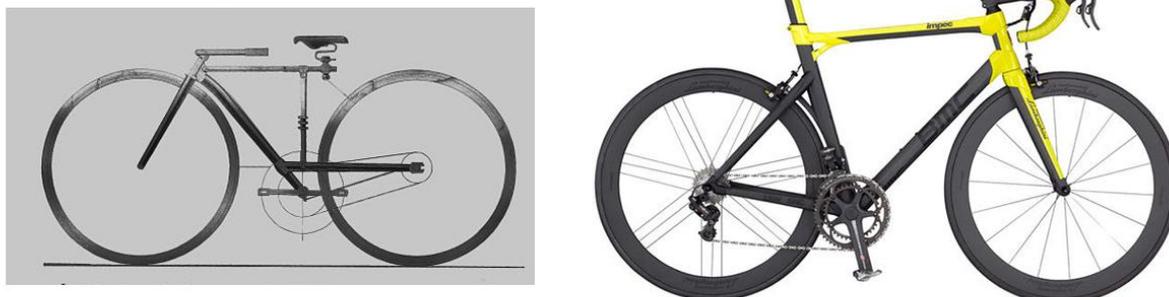


Figure 1 : premier vélo vs plus moderne

L'évolution a été progressive et croissante. Tout a été optimisé dans le but de rendre plus efficace l'interaction entre l'homme et la machine. Il n'y a que dans le système de transmission où un élément n'a pratiquement pas évolué : le plateau. Mise à part son diamètre, il a gardé au cours du temps sa forme originelle.

Définissons le plateau. Il fait partie de la chaîne de transmission sur le vélo. La chaîne de transmission étant composée :

1/ Des deux manivelles

2/ Des plateaux,

3/ De la Chaîne,

4/ Du dérailleur,

5/ Des pignons

6/ De la roue.

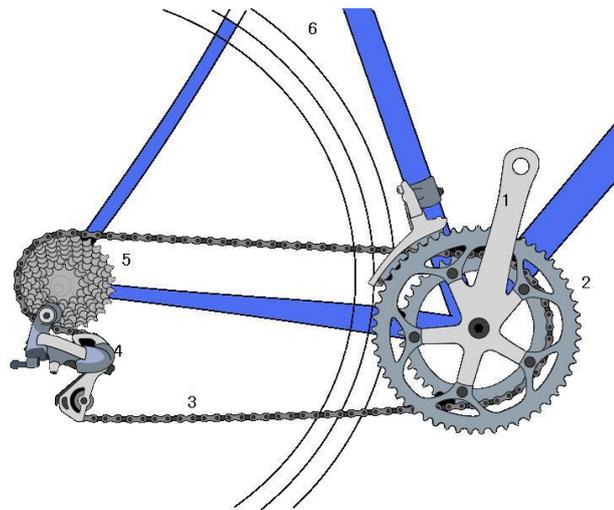


Figure 2 : chaîne de transmission vélo

Cette chaîne de transmission doit permettre de transférer la force utile des membres inférieurs à la roue arrière pour avancer. Les plateaux et les pignons permettent de démultiplier la force produite par le cycliste. Le plateau et le pignon sont des bras de levier plus ou moins importants permettant de faire parcourir à la roue une distance plus ou moins grande. C'est ce qu'on appelle le développement qui s'exprime en mètre. Cela permet au cycliste d'adapter la distance parcourue sur chaque coup de pédale en fonction de la vitesse de déplacement et surtout des difficultés du parcours. En jouant judicieusement avec le développement il peut ainsi toujours trouver une cadence optimale, c'est à dire celle où il se sent le plus efficace. Par exemple sur des parcours plats avec un vent favorable les vitesses sont plus importantes, donc pour continuer à pédaler avec une cadence optimale le coureur devra mettre un plus grand braquet.

Traditionnellement les plateaux sont ronds. Cela signifie que le bras de levier est le même à chaque angle du cycle de pédalage et que la force théorique nécessaire pour entrainer la roue est la même à chaque instant du cycle de

pédalage. Or dans la pratique, le membre inférieur n'est pas capable de fournir la même force sur la totalité du cycle de pédalage. C'est à partir de cette observation que de nombreux inventeurs se sont penchés sur une évolution possible des plateaux. Voici une revue de tous les plateaux qui ont été, ou qui sont commercialisés.

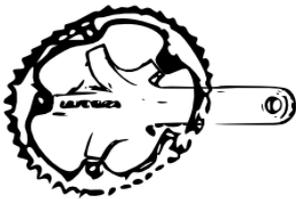


Figure 3 : le polchlopek (78)

Le premier d'entre eux fût commercialisé en 1978 par Edmond Polchlopek. Il porte le nom de son inventeur. Les caractéristiques techniques de ce plateau sont les suivantes

- 1) ratio grande diagonale – petite diagonale est de 1,214
- 2) l'orientation de la grande diagonale est de  $-36^\circ$  par rapport à la manivelle. L'objectif du constructeur était de diminuer le bras de levier aux points morts hauts et bas pour permettre un passage plus rapide. Il souhaitait dans le même temps augmenter le bras de levier dans la phase de puissance de du membre inférieur. Ainsi, il pouvait espérer un gain de vitesse.

Une seule étude a été répertoriée sur l'efficacité de ce plateau (Malfait et coll, 2010). C'est une étude théorique se basant sur un modèle mathématique qui montre que l'utilisation de ce genre de plateau pourrait améliorer de 1,5 % la puissance mécanique du cycliste.

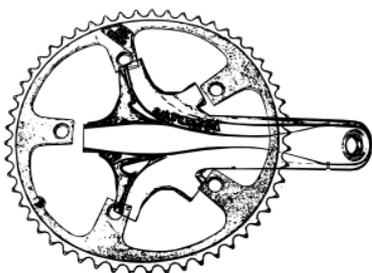


Figure 4 : Biopace (83)

En 1983, la société Shimano sort à son tour un plateau ovoïde, le biopace. C'est un plateau légèrement ovalisé avec un ratio de 1,04. L'axe majeur de l'ovale se situe en retrait de  $8^\circ$  de l'axe de la manivelle. L'objectif du constructeur était d'augmenter le bras de levier aux points mort haut et

bas pour augmenter la force. Il espérait ainsi donner un coup de pédale plus homogène au coureur en optimisant la répartition de la force appliquée sur la pédale tout le long du cycle de pédalage. Plusieurs études ont été menées avec ce plateau. La première (Hull et al, 1992) n'a pu mettre en évidence qu'une augmentation significative de la cadence de pédalage (+ 5 rpm à 60 % VO<sub>2</sub>max et + 6 rpm à 80 % VO<sub>2</sub> max). Tous les autres marqueurs physiologiques restaient inchangés.

La seconde (Hansen et al, 2009), a permis de mettre en évidence une diminution significative de 0,2 % de la production de lactate sur 10 min à 180 W.

La dernière étude répertoriée sur ce plateau a mis en évidence une diminution de la puissance produite de l'ordre de 0,2 % par rapport à un plateau traditionnel (Malfait et col,l 2010).

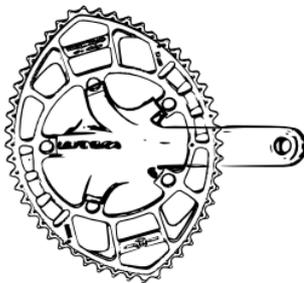


Figure 5 : Ogival (93)

En 1993 un nouveau plateau apparaît: l'ogival. Commercialisé par SAS Ogival, il est plus connu comme étant le plateau ovale de B.Hinault. Son ratio grand axe sur petit axe est de 1,235. L'orientation du grand axe est de - 54 ° par rapport à la manivelle. Le constructeur justifie la variation de 42,1 % du diamètre de son plateau par le fait que c'est la valeur variation de force qu'il a pu observer avec un plateau traditionnel entre les phases de transition et les phases de poussée/traction de la pédale.

Une étude basé sur un modèle mathématique menée avec ce plateau (Malfait et coll, 2010), a montré une perte de 6,4 % de puissance mécanique.

Le Q-ring commercialisé en 2005 est le plus récent. Il est sans doute un des produits les plus répandus sur le marché. Il se caractérise par un ratio grand axe sur petit axe de 1,1 et d'un angle grand axe/manivelle de 75 °. Le but recherché par

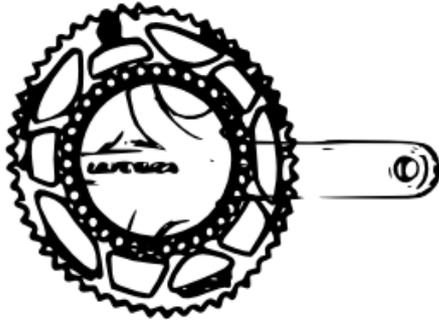


Figure 6 : Q-ring (05)

le constructeur était de diminuer le temps passé sur les points morts et d'augmenter le temps passé sur les points forts.

Beaucoup d'études ont été menées sur ce plateau. Tout d'abord un rapport interne, (Cordova et al, 2006) montre une augmentation de 3 % de la puissance lors d'un test

incrémentale. A PMA, ils observent une augmentation du temps de maintien et une diminution de la production de lactate (- 1,2 mmol/L). Sur des sprints (20 sec) ils mettent en évidence une amélioration des pics de puissance de 4 à 6 % avec le Q Ring. Cet effet sur la performance anaérobie se confirme dans une autre étude menée par Rodriguez (Rodríguez-Marroyo et al, 2009). Elle montre que sur des tests de wingate une augmentation de la puissance pic de 4 à 9 % et moyenne de 0,7 à 4,7 %, qu'une augmentation de la cadence moyenne de 5 rpm.

Une autre étude a été menée en 2012 sur les performances anaérobies et sur le phénomène d'habituation par O'hara (O'Hara et al, 2012). Des résultats similaires ont été trouvés avec une augmentation de la puissance moyenne (+ 20 W) sur chacun des tests. De plus au fil des semaines les performances avec le Q-ring ne faisaient qu'augmenter et le retour au plateau rond en fin d'expérimentation donnait des résultats sur les tests plus faibles. Au final, le Q-Ring améliorerait les performances anaérobies et l'habituation permettrait d'augmenter l'efficacité du coureur avec ce plateau.

L'impact du Q-ring sur la performance aérobie, il semblerait qu'il n'y ait aucun effet particulier (Peiffer et Abbiss 2010, Lucía et al, 2004, O'Hara et al, 2012,

Rodríguez-Marroyo et al, 2009). Une seule étude montre une augmentation non significative de 3 % sur un test incrémental (Cordova et al, 2006).

L'utilisation du Q-ring pour une même puissance entrainerait une augmentation du pic de force de 0,3 N/kg par rapport au plateau traditionnel (Schwameder et al. 2012).

Le plateau qui fera l'objet de mon étude est l'O'symetric Harmonic (voir en annexe p63). Il a été commercialisé en 1993. Ses spécificités techniques sont un ratio petit axe sur grand axe de 1,21 et une orientation du grand axe de  $-78^\circ$  par

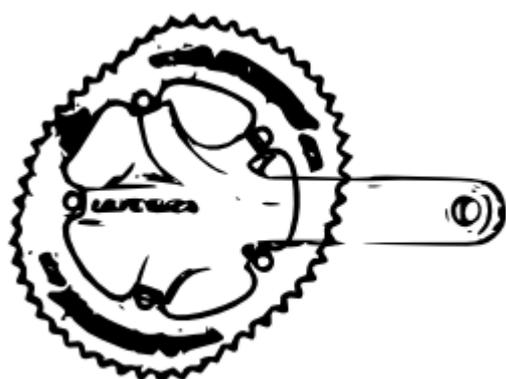


Figure 7 : O'symetric harmonic

rapport à la manivelle. L'objectif du constructeur est de faire varier le rayon du plateau proportionnellement à la force capable d'être développée par le membre inférieur. L'objectif est encore une fois de diminuer le couple de force aux points morts haut et bas là où la jambe est la moins forte et augmenter le rayon du

plateau là où la jambe est la plus forte. Ainsi, avec un plateau O'symetric avec un développement de 52 dents, on aurait une augmentation du rayon du plateau permettant d'arriver à l'équivalent d'un plateau circulaire de 56 dents durant la phase forte de la jambe et un rayon équivalent à 48 dents durant la phase plus faible de la jambe. Donc, plus qu'un plateau ovale, on parlerait davantage d'un plateau « bi-came ».

Des études ont montrés une accélération de la vitesse de rotation au point mort haut et bas avec l'O'symetric tandis qu'il y a une diminution de la vitesse de rotation en phase de poussée-traction (Horvais et col, 2007). Cette même étude a montré une augmentation de la PMA de 3,7 % pour une même  $VO_2$  max. Un

rapport interne montre aussi une augmentation du rendement énergétique au seuil anaérobie de 2 pts (barani 1993). Dans une étude plus récente (2012), les auteurs ont montrés une augmentation de la PMA de 8 % (Hintzy et al, 2012). Les avis sont divergents sur l'augmentation des performances aérobies grâce à ces plateaux, certaines études aboutissent à une absence de différence entre les plateaux ronds et osymétriques (Ratel et al, 2004).

Pour les efforts anaérobies alactiques de type sprint court, un consensus semble exister. Malgré le faible nombre d'études s'étant intéressées à ce type d'effort, elles ne montrent pas d'amélioration de la puissance maximale. Mais on remarque une augmentation de la cadence optimale et maximale d'environ 7 % (Ratel et al, 2004, Hintzy et al, 2012).

## **2. Biomécanique de pédalage**

L'étude que nous allons mener va tenter de déterminer l'influence des plateaux O'symetric sur la performance du cycliste. Rappelons l'hypothèse de départ. Les plateaux O'symetric engendreraient une modification du pattern de pédalage et du coup de pédale du cycliste à la nouvelle forme des plateaux ce qui entrainerait une meilleur efficacité mécanique lors du déplacement.

Pour étudier cette hypothèse et mieux comprendre les éventuels effets engendrés par l'O'symetric, analysons dans un premier temps le pattern de pédalage avec des plateaux ronds.

### **a. Cycle de pédalage**

Le cycle de pédalage est définit dans la littérature en quatre phases (Henke T 1998, Raasch et Zajac 1999).

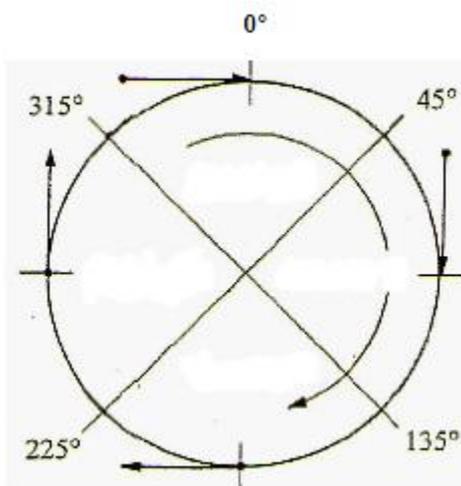


Figure 8 : Décomposition d'un cycle de pédalage

La première phase de  $45^\circ$  à  $135^\circ$  correspond à la phase de poussée. C'est lors de cette phase qu'il y a la plus grande production de puissance mécanique, soit 96 % (Kautz et al, 1991). C'est une phase d'extension du membre inférieur.

La seconde phase comprise entre  $135^\circ$  et  $225^\circ$  correspond au point mort bas ou aussi appelé la phase de transition basse. La force

produite est assez faible. C'est la transition entre la phase d'extension et de flexion du membre inférieur.

La troisième phase entre  $225^\circ$  et  $315^\circ$  est la phase de remontée. Le cycliste peut avoir deux attitudes, soit la remontée est active soit elle est passive. Une remontée passive demandera plus d'effort au membre qui est en phase de poussée.

La dernière phase entre  $315^\circ$  et  $40^\circ$  est la phase de transition haute. C'est le passage de la flexion à l'extension du membre inférieur.

Les quatre phases décrites ci-dessus restent identiques d'un plateau à l'autre. Ce qui va varier, ce sont les temps passés dans chacune de ses phases et le couple moteur développé. Dans le cadre d'une utilisation des plateaux O'symetric, on peut observer des variations de vitesses instantanées à chacune des phases. Une étude de Horvais (Horvais et col, 2007) a montré des variations significatives de vitesse instantanée au cours du cycle de pédalage. On note une augmentation de la vitesse instantanée au niveau de la transition des points morts hauts et bas, tandis qu'ils y a une diminution de la vitesse instantanée dans la phase de poussée

et de traction. Cette observation est tout à fait logique au regard des variations du bras de levier.

## b. Activités articulaires lors du pédalage

Lors du cycle de pédalage, il y a trois articulations qui interviennent : la hanche, du genou et du pied. Tout au long du cycle la hanche et le genou vont successivement être en flexion et en extension.

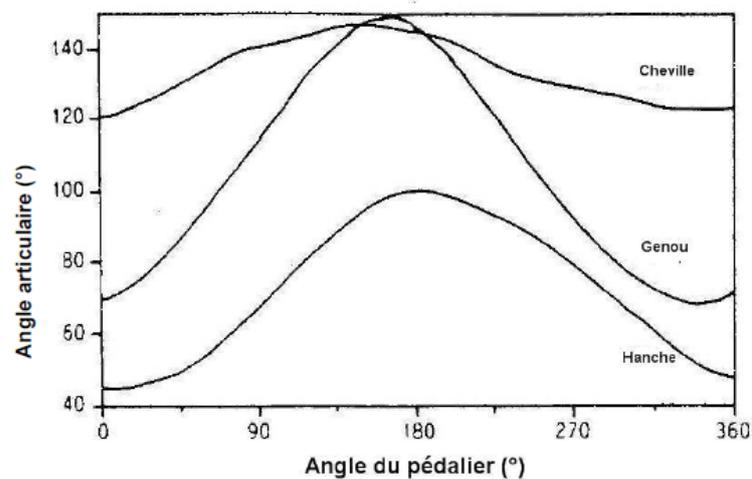
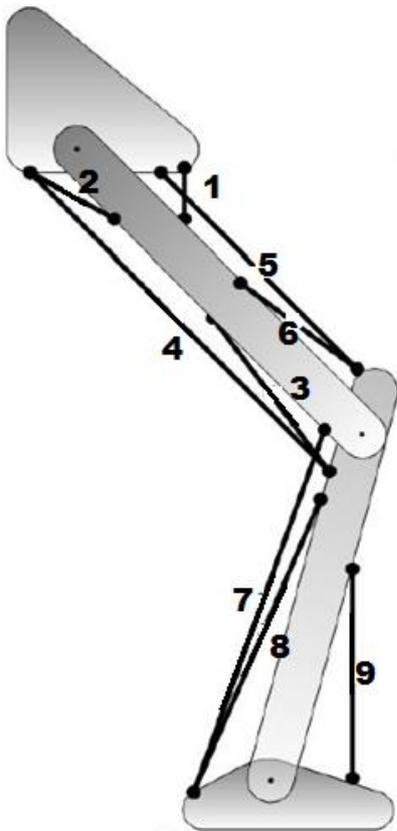


Figure 9 Variation angulaire des différentes articulations (Hull, Beard, et Varma 1990)

L'utilisation de plateau ovoïde influencerait aussi les variations articulaires durant le cycle de pédalage. Une étude conduite en 2009 (Carpes et al, 2009), a montré que l'utilisation de plateau ovoïde (Q-ring) induirait des variations significatives des amplitudes de mouvement. On note une augmentation de 5 ° pour la hanche, 12 ° pour le genou et de 3 ° pour la cheville.

### c. Activité musculaire lors du cycle de pédalage

Ce n'est pas moins de huit groupes musculaires (quatorze muscles en tout) qui se coordonnent lors du cycle de pédalage pour produire une force (Ericsson et al, 1985, Goto et col, 1976, Jorge et Hull 1986, Ryan et Gregor 1992). Ces muscles se divisent en deux groupes : les mono-articulaires qui produisent la force et les bi-articulaires orientent la force produite par les mono-articulaires.



1/ rectus femoris : fléchisseur de la hanche et extenseur du genou

2/ Gluteus maximus/medius extenseur de la hanche

3/ Biceps fémoris fléchisseurs du genou

4/ semi membraneux fléchisseurs du genou et extenseur de la hanche

5/rectus femoris extenseur du genou et fléchisseurs de la hanche

6/Vastus extenseur du genou

7/Gastrocnemius : flexion plantaire et du genou

Figure 10 : schéma fonctionnel (poirier 2009)

8/ soleus : flexion plantaire

9/Tibialis anterior : flexion dorsale du pied

Dans le mouvement de pédalage il y a une coordination d'un ensemble de muscles moteurs du membre inférieur. Il a été montré que le pédalage était la résultante de trois actions (Jorge et Hull 1986, Raasch et Zajac 1999) :

- 1) Lors de la phase de poussée, il y a une activation des extenseurs du genou et de la hanche et des fléchisseurs plantaires.
- 2) Dans les transitions hautes et basses, ce sont les muscles bi articulaires qui entrent en action.
- 3) Lors de la phase de traction, on retrouve une activation des fléchisseurs de la hanche et du tibiais antérieur..

En ce qui concerne la différence entre les plateaux elliptiques et les plateaux dits traditionnels, deux études se sont penchées sur la question de l'activation neuromusculaire (Neptune et Herzog 2000, Neptune et Kautz 2001). Dans ces deux études, des enregistrements EMG ont été réalisés sur les différents muscles effecteurs en utilisant des plateaux ronds et ovoïdes. Les résultats de ces études montrent qu'il n'existe pas de différence significative de coordination musculaire entre les différents plateaux aussi bien au niveau des sommations spatiales que temporelles excepté pour le tibiais antérieur et le rectus femoris où il a été observé une augmentation des sommations spatiales lors des passages des points morts. Ces résultats suggèrent que les muscles ont une activation différente avec l'utilisation de plateaux excentrique. Néanmoins le bémol que l'on pourrait apporter à ces études c'est que les protocoles ne prennent pas en compte l'habitation des cyclistes. On peut estimer qu'au cours du temps il y a une amélioration de la synchronisation neuromusculaire avec les plateaux non circulaires.

#### **d. Vecteurs de force sur la pédale**

Lorsque le coureur appuie sur la pédale, il génère une force qui se décompose en trois vecteurs (voir figure 10).

$F_i$  est la force normale (en vert sur les figures). Elle ne participe pas à l'action motrice car elle est toujours parallèle à la manivelle.

$F_e$  est la force efficace (en rouge sur les figures). Elle permet la propulsion. Elle est toujours orientée perpendiculairement à la manivelle. C'est cette force qui permet le déplacement du cycliste contre les forces de résistances à l'avancement.

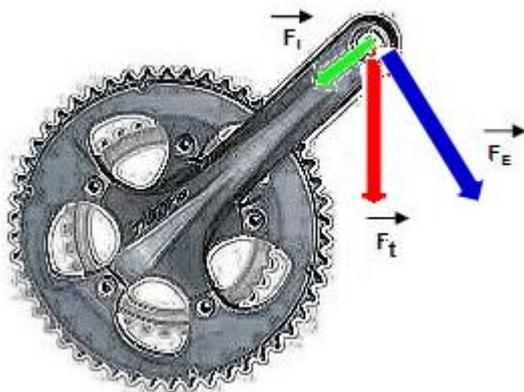


Figure 11 : vecteurs forces sur la pédale

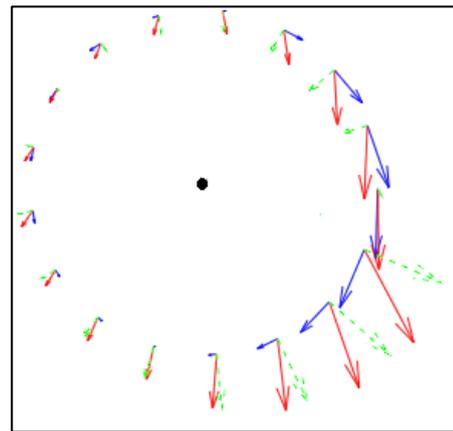


Figure 12 : évolution des vecteurs en fonction de l'angulation

## e. Définition du moment de force

Le moment de force est une grandeur physique (vecteur) permettant à une force perpendiculaire au bras de levier de faire tourner le système mécanique. Elle correspond au produit de la longueur du bras de levier par la force perpendiculaire qui lui est appliquée. Elle est exprimée en N.M.

$$\|\vec{M}_f\| = \|\vec{fe}\| \cdot d$$

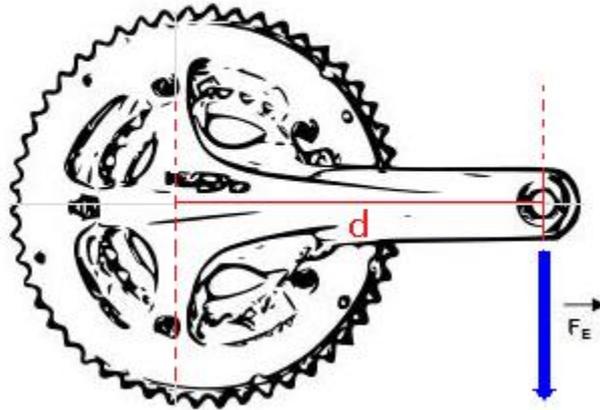


Figure 13 : moment de force

## f. Mesure du couple

Pour notre étude nous recherchons donc une éventuelle différence de pattern de pédalage entre les deux plateaux (circulaire et O'symetric). Nous allons ainsi mesurer la force utile développée par le cycliste durant le cycle de pédalage. Le SRM permet de mesurer le couple globale. Voici ci-dessous un exemple de relevé de pattern.

## Couple de pédalage

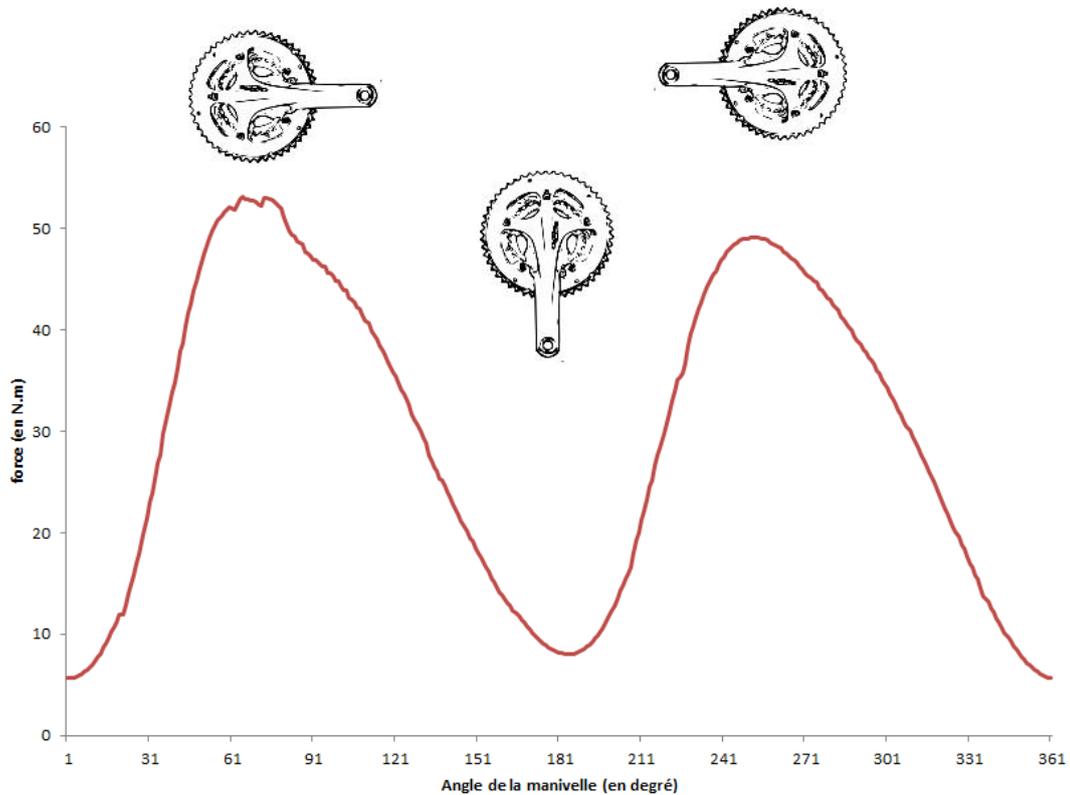


Figure 14 : pattern de pédalage et orientation de la manivelle

### 3. Perspectives

Nous l'avons vu, de nombreuses études ont été menées sur l'ensemble des plateaux ovoïdes présents sur le marché. Les résultats de ces études divergent en fonction des protocoles. Néanmoins, il semblerait qu'il y aurait une influence de la forme et de l'excentricité du plateau sur la performance. Cela laisserait supposer qu'il y a une adaptation du pattern de pédalage. Dans cette perspective, aucune étude n'a été conduite. Quelle est l'influence du plateau O'symetric sur le pattern de pédalage et sur la performance qui en découle ? Y a-t-il une adaptation du pattern de pédalage en fonction de la non circularité du plateau ? Notre étude va être conduite dans ce sens.

### III. Méthodes

Pour connaître l'impact que le plateau O'symetric peut avoir sur la performance, nous allons le tester dans deux conditions différentes.

La première en laboratoire doit nous permettre d'analyser l'influence du plateau sur le pattern de pédalage.

La seconde sur le terrain doit nous permettre de mesurer l'impact du plateau sur la performance.

Afin de mieux analyser les différences entre les plateaux circulaires et O'symetric, nous avons conduit une étude EMG et d'accélérométrie sur quelques sujets.

#### 1. Tests laboratoire

##### a. Sujets

Dix cyclistes ont participé à l'étude en laboratoire. L'échantillon était composé de 9 garçons et une fille. L'ensemble de ces coureurs évoluent au haut-niveau amateur. Six coureurs sur route évoluant au VC Ornans et Team Remy Meder (DN2). Deux coureurs appartenant à la DN3 VTT du VC Ornans. Et deux triathlètes de Dijon évoluant en national.

Tableau 1: caractéristiques de l'échantillon

	âge	Taille (cm)	Poids (Kg)
Moyenne	26,5	178,8	68,1
écart type	7,5	9,9	4,9

## b. Protocole en laboratoire

Les sujets sont venus deux fois pour réaliser un protocole avec chaque plateau (52 dents chacun), espacé d'une semaine. Le but était de mesurer le pattern de pédalage à différentes intensités de travail, pour standardiser le protocole, la puissance et la cadence étaient fixées

Tableau 2: échelle de temps du protocole

	Temps	Intensité	RPM
Échauffement	10 min	I1-I2	
sprint véloce	7 sec	0,3N/kg	
Récupération	5 min	I1-I2	
sprint optimal	7 sec	0,5N/kg	libre
Récupération	5 min	I1-I2	
sprint force	7 sec	0,7N/kg	
Récupération	5 min	I1-I2	
test PMA	2 min	100 W	70
	2 min	130 W	74
	2 min	160 W	78
	2 min	190 W	82
	2 min	220 W	86
	2 min	250 W	90
	2 min	280 W	94
	2 min	310 W	98
	2 min	340 W	102
	2 min	370 W	106
	2 min	400 W	110
2 min	430 W	114	
retour au calme	10 min	Libre	

Pour les sprints, après la calibration, le coureur effectuait son effort assis avec un départ à 60 rpm. Il devait développer assis le plus de puissance et/ou la plus grande cadence possible. Le sprint durait 7 sec.

Pour le test incrémental PMA, il était demandé au sujet de respecter une puissance et une cadence imposée. Il disposait d'un métronome pour se caler à la bonne cadence. Dès qu'il n'était plus capable de tenir la cadence ou la puissance, le test était interrompu.

La mesure de couple était enregistrée et moyennée sur 30 sec dès que le sujet était stabilisé dans le palier.

Il a été demandé à la fin de chaque palier la perception de la douleur générale et des membres inférieurs. Le sujet donnait une note en fonction de sa perception de l'exercice sur une échelle CR10 de Borg (cf annexes p 63). Il a aussi été demandé le plaisir ressenti au sujet. L'échelle de plaisir fonctionne comme l'échelle de Borg (note de 1 à 10).

### **c. Analyse statistique**

Les statistiques descriptives des tests de laboratoire sont présentées sous forme de moyenne. Pour s'assurer que les données entre le test avec les plateaux rond et les plateaux O'symetric sont comparables, nous avons utilisé un test T de Student. A chaque palier les données moyennes entre les deux types de plateau (O'symetric et rond) ont été testées.

Pour l'analyse du pattern de pédalage, à l'aide d'un test T apparié. Les valeurs moyennes de force développées par chacun des plateaux à chaque phase du cycle de pédalage (point mort haut, poussé, point mort bas et traction) ont été testées.

Les résultats de performance, des données psychophysiologiques et les valeurs moyennes, maximales et minimales de couple de pédalage, ont été analysés avec un test T apparié. Le seuil de significativité a été fixé à  $p= 0,05$ . L'ensemble des analyses ont été réalisées grâce au logiciel Satview.

## d. Résultats

La figure ci-dessous représente la puissance moyenne développée par l'échantillon lors des deux tests de PMA avec le plateau rond et O'symetric.

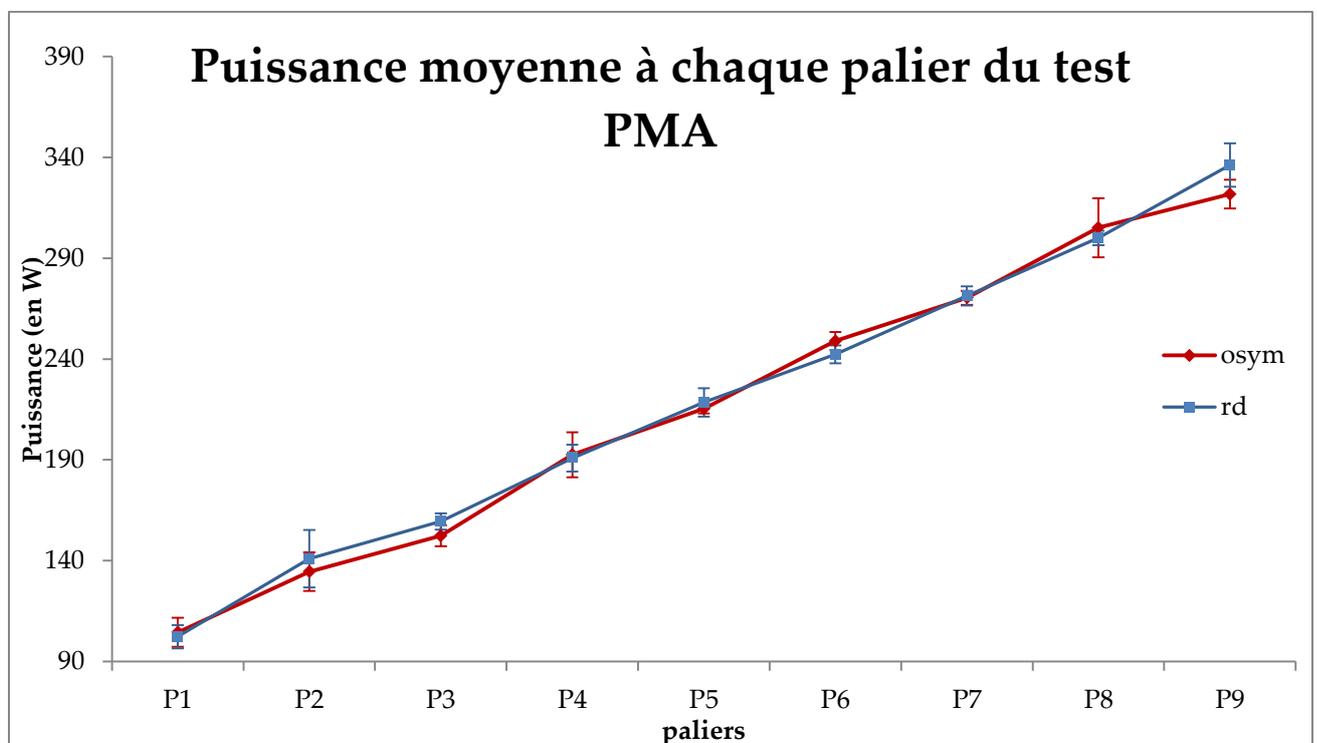


Figure 15 : puissance moyenne développée à chaque palier du test de PMA avec le plateau rond et O'symetric

Après une analyse statistique aucune différence significative n'a été mise au jour entre les deux tests de PMA. Cela signifie que les deux tests sont similaires, donc que les données qui en découlent sont comparables.

## ► Performances physiques

Ci-dessous la puissance pic enregistrée lors des différents sprints en laboratoire.

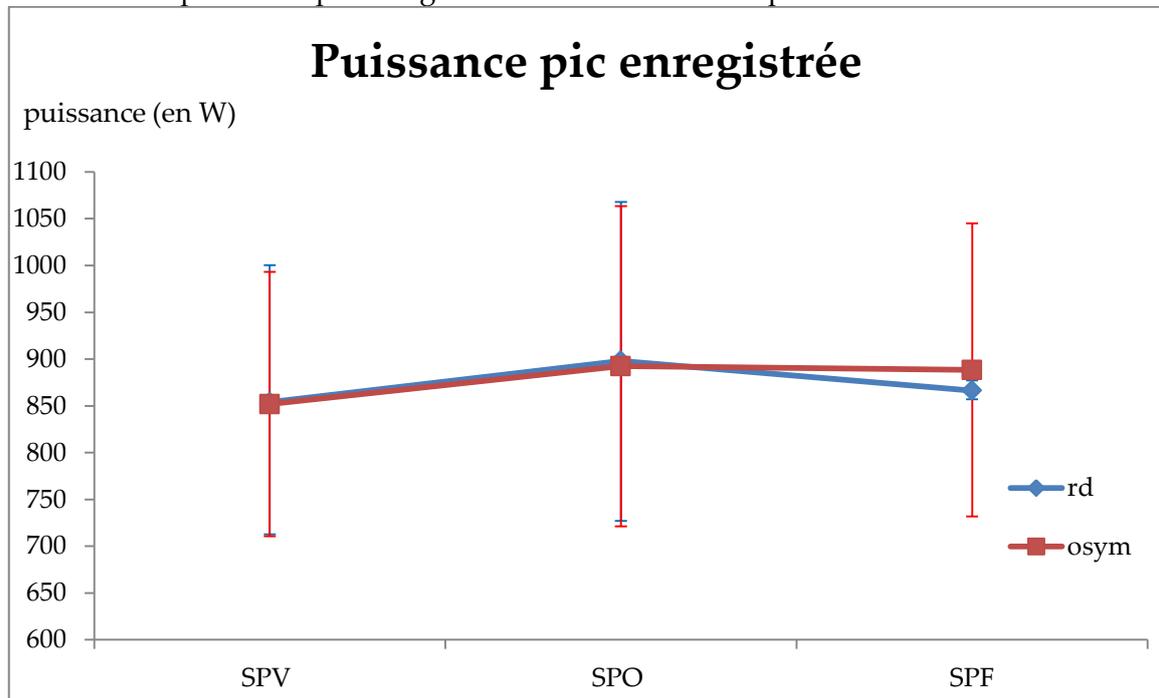


Figure 16 : puissance pic enregistré lors des différents type de sprints veloce (spv), optimum (spo), et force (spf) en laboratoire avec plateau rond et O'symetric

Ci-dessous le nombre rotation par minute pic enregistré lors des différents sprints en laboratoire.

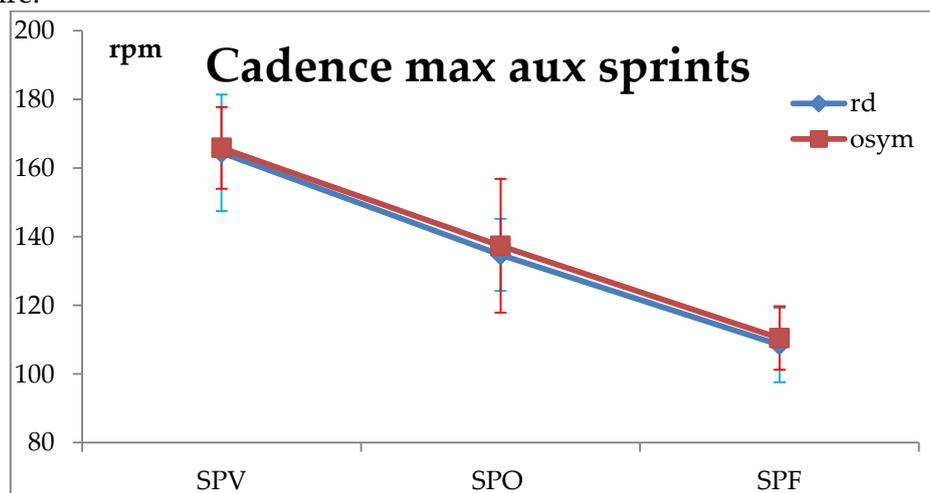


Figure 17 : cadence max enregistré lors des différents type de sprints veloce (spv), optimum (spo), et force (spf) sprints en laboratoire avec plateau rond et O'symetric

Les résultats des tests incrémentales PMA sont représenté dans le l'histogramme ci-dessous.

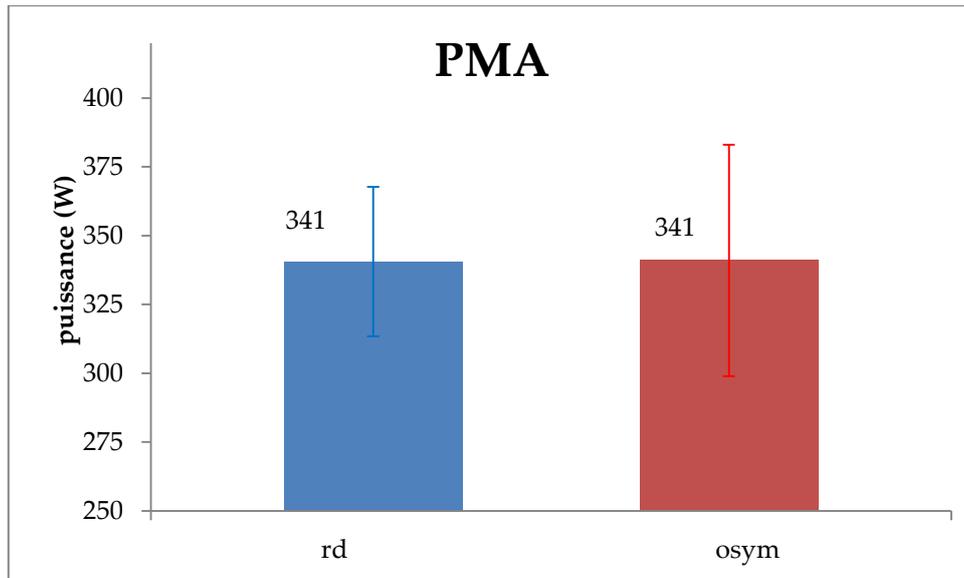


Figure 18 : résultats test PMA avec plateau rond et plateau O'symetric

### ► Données psychophysiologique

Ci-dessous les résultats de la perception de douleur dans les membres inférieurs.

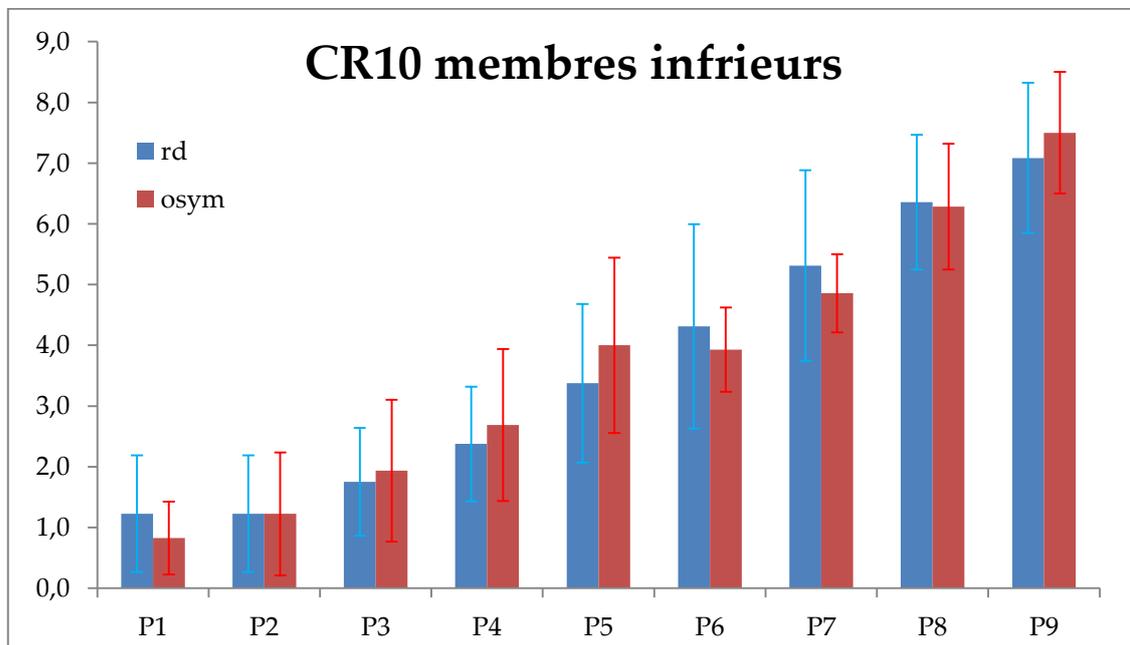


Figure 19 : perception de la douleur dans les membres inférieurs avec plateau rond et O'symetric

Le graphique ci-dessous représente la perception générale de l'effort.

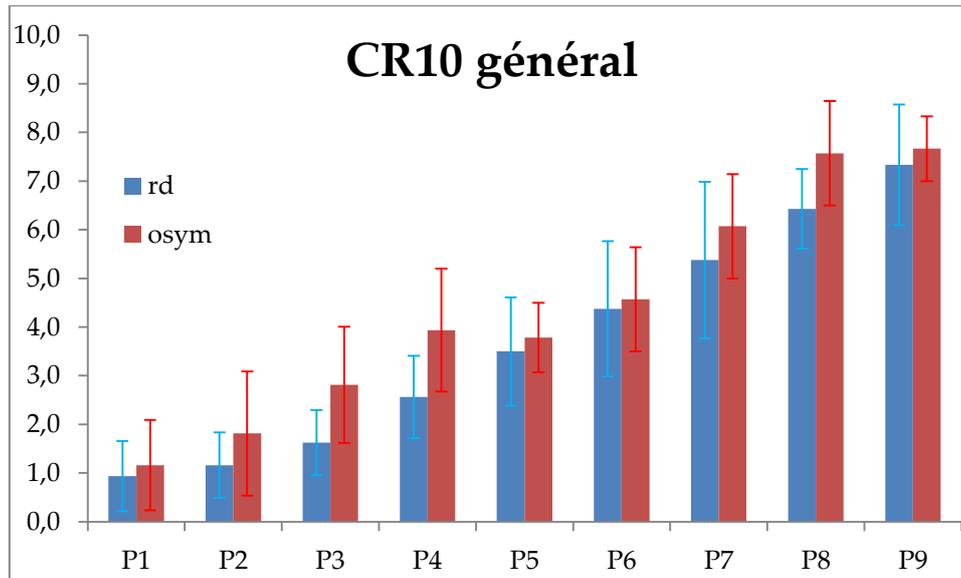


Figure 20: perception générale de la douleur avec plateau rond et O'symetric

Il n'y a aucun effet des plateaux sur le ressenti de l'effort et sur la douleur perçue à l'effort.

Ci-dessous la représentation graphique de la perception du plaisir des coureurs durant le test de PMA.

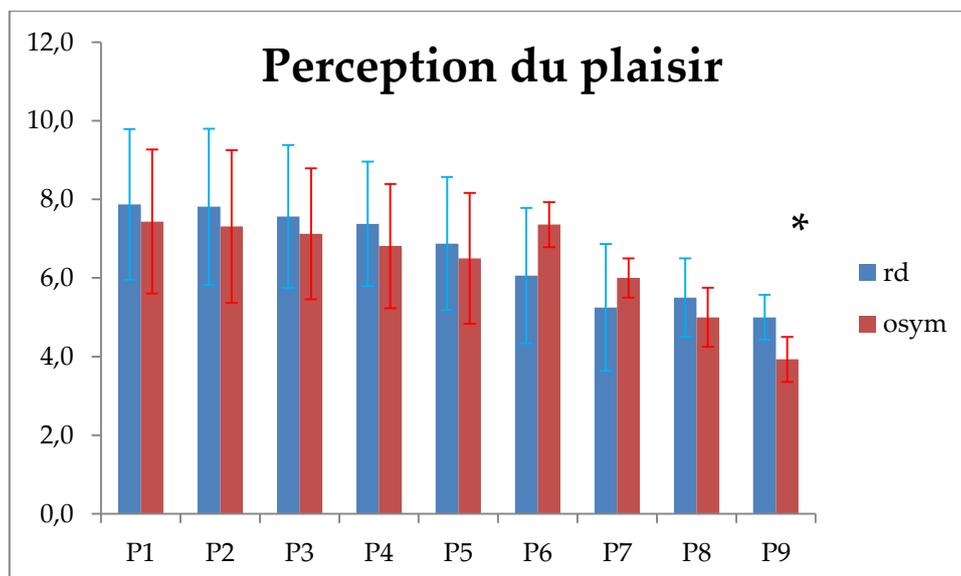
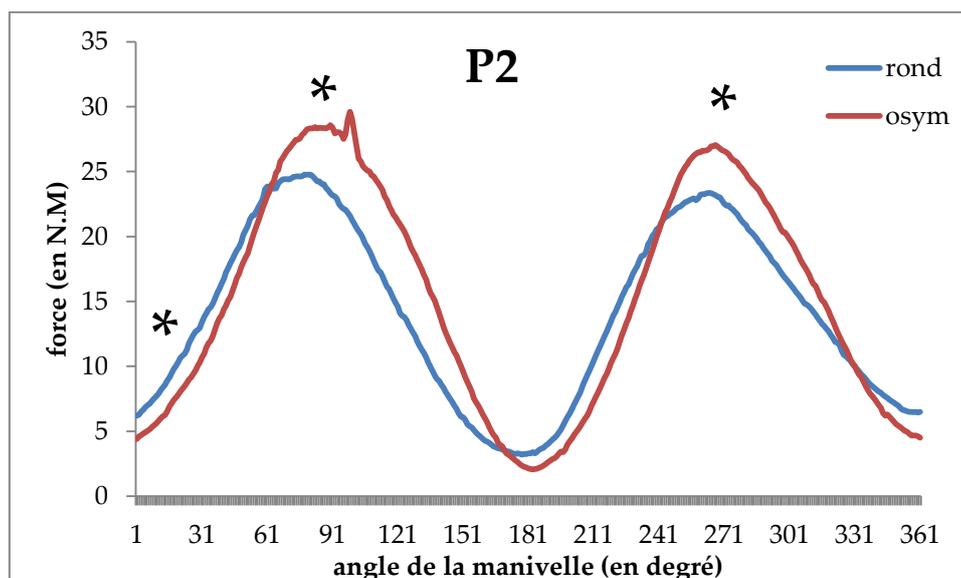
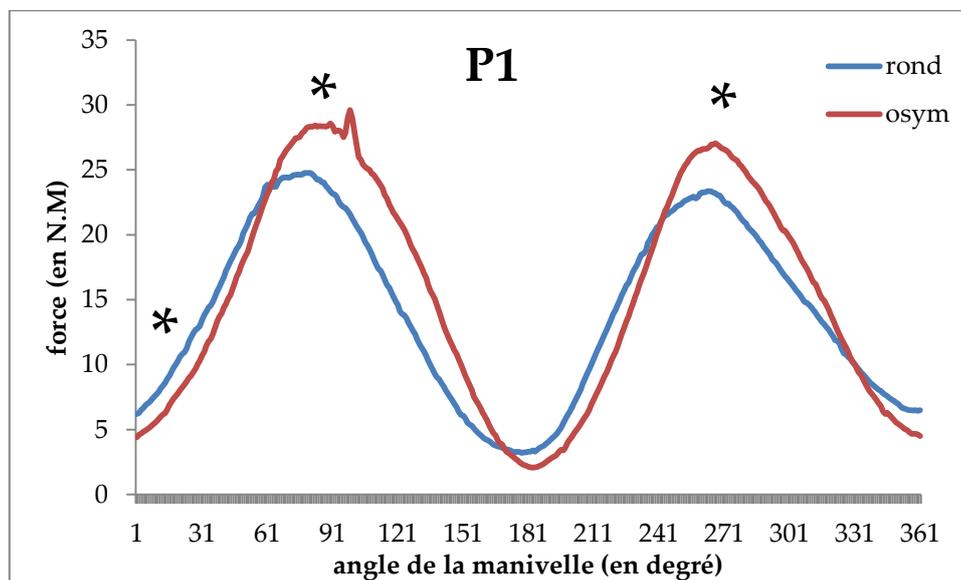


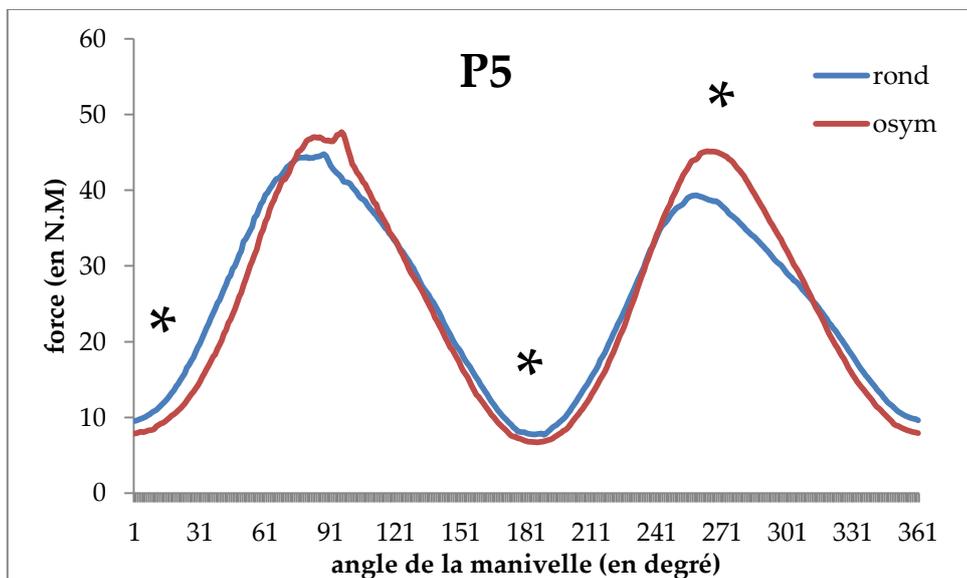
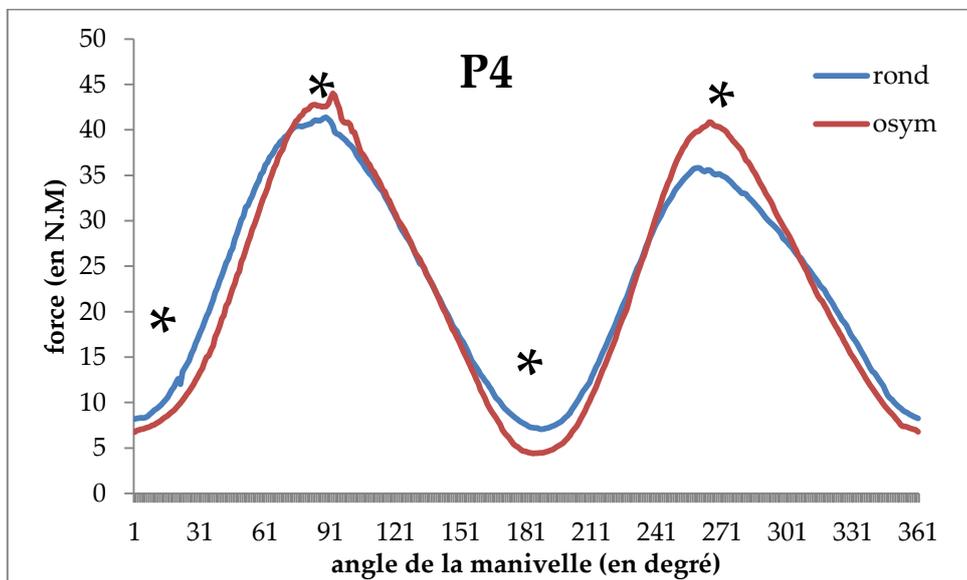
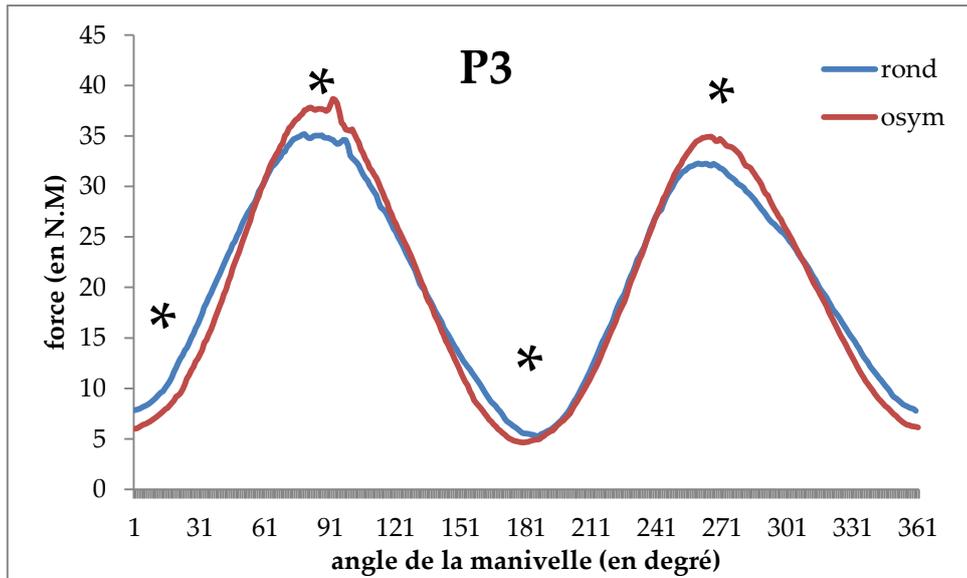
Figure 21 : plaisir ressenti à l'effort avec plateau rond et O'symetric

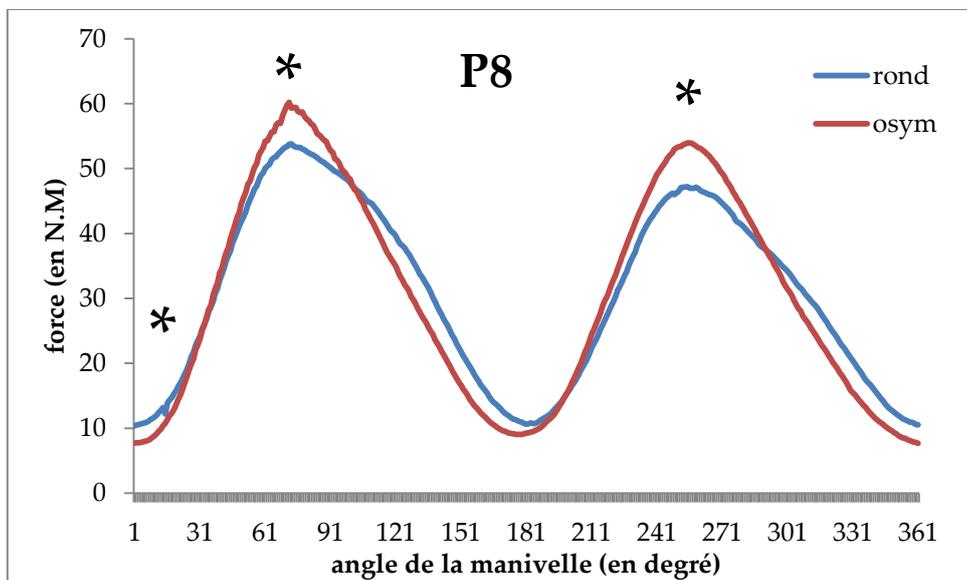
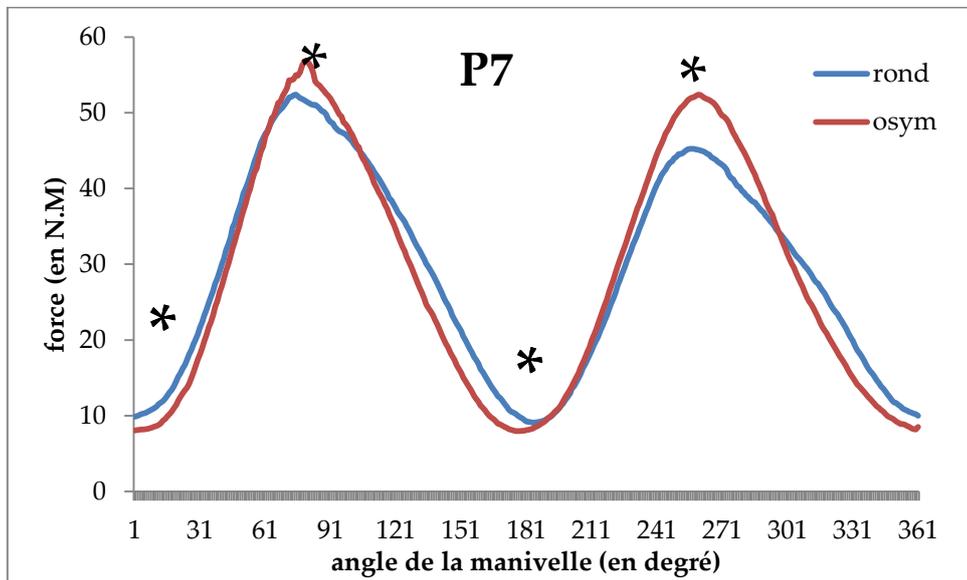
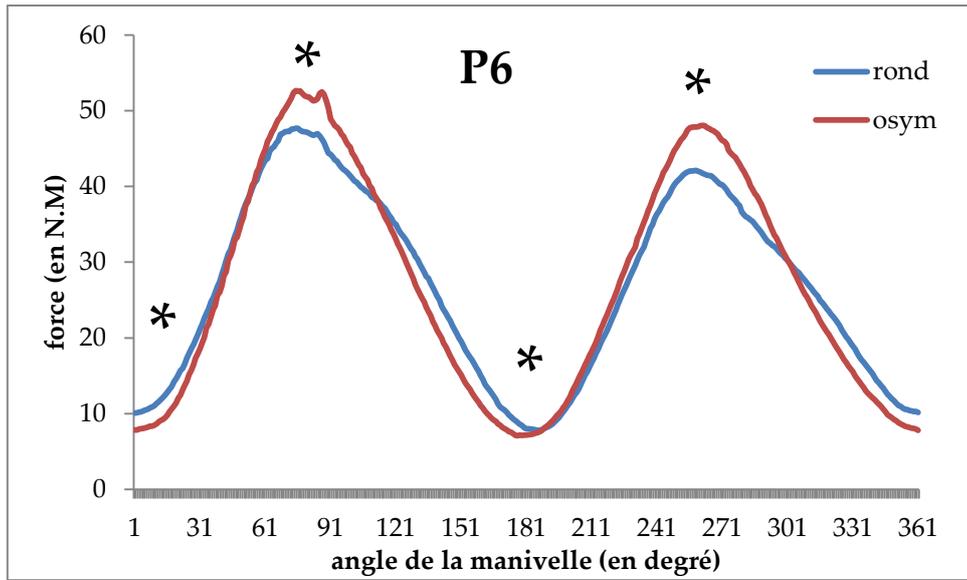
Pour le plaisir ressenti lors du test, on observe une différence significative ( $p=0,0117$ ) dans le palier 9. Les coureurs auraient plus de plaisir à rouler avec le plateau traditionnel à effort maximal.

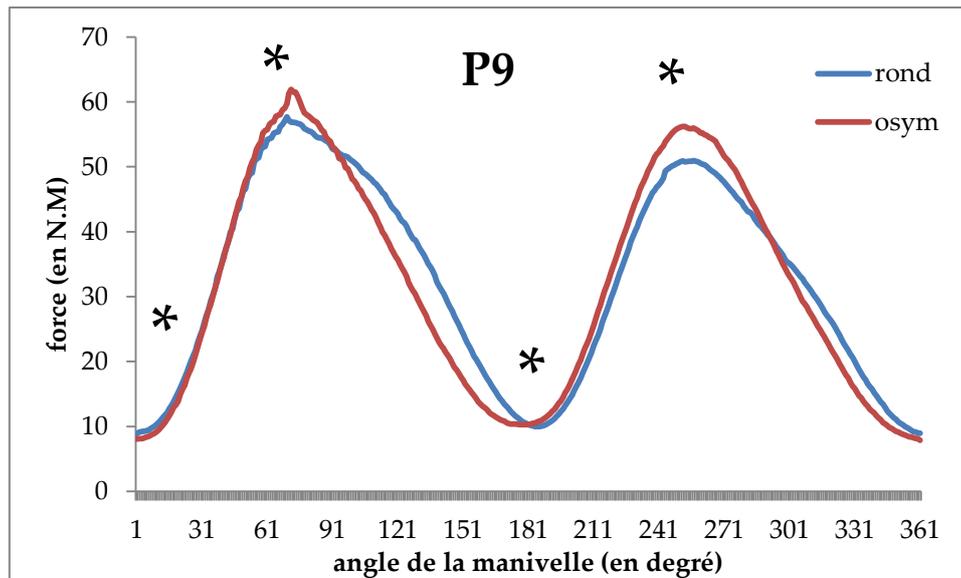
### ► Pattern de pédalage

Les figures qui suivent sont la représentation des résultats des relevés des patterns de pédalage à chaque palier.









D'une façon globale, on observe que pédaler en O'symetric renforce significativement les forces produites lors des phases de poussée/traction et diminue significativement aussi la force nécessaire pour passer les points morts hauts et bas.

### ► Données moyennes de force

Tableau 3 : force moyenne (en N) développée par la jambe gauche

force moyenne (en N) de la jambe gauche									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
rd	14,0 ± 0,9	18,8 ± 3,2	19,8 ± 1,2	21,8 ± 1,0	23,9 ± 0,7	25,3 ± 0,9	27,3 ± 1,2	29,3 ± 1,5	30,7 ± 0,8
osym	14,5 ± 1,1	17,5 ± 1,4	20,0 ± 0,9	22,4 ± 2,0	24,0 ± 0,6	25,9 ± 0,9	27,9 ± 0,7	30,8 ± 2,6	30,6 ± 1,5

Tableau 4 : force moyenne (en N) développée par la jambe droite

force moyenne (en N) de la jambe droite									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
rd	14,3 ± 0,9	18,5 ± 1,0	20,9 ± 1,0	24,6 ± 1,1	27,2 ± 1,3	28,6 ± 0,7	30,9 ± 0,8	32,7 ± 1,0	35,1 ± 1,4
osym	15,2 ± 1,2	18,4 ± 1,2	19,3 ± 2,2	24,4 ± 1,6	25,9 ± 1,0	28,2 ± 0,9	29,3 ± 1,2	31,8 ± 1,3	32,7 ± 0,9
			*				*		*

Les valeurs moyennes de force enregistrées sur la jambe gauche sont plus importantes avec les plateaux O'symetric, mais sans être significatives. Tandis que pour la droite c'est l'inverse qui se produit. Les valeurs pour le plateau rond sont plus importantes à droite qu'à gauche. Avec les plateaux O'symetric il y aurait une diminution de l'écart entre les deux jambes.

### ► Différence gauche-droite

Le graphique ci-dessous représente la répartition des forces entre les membres inférieurs gauches et droits.

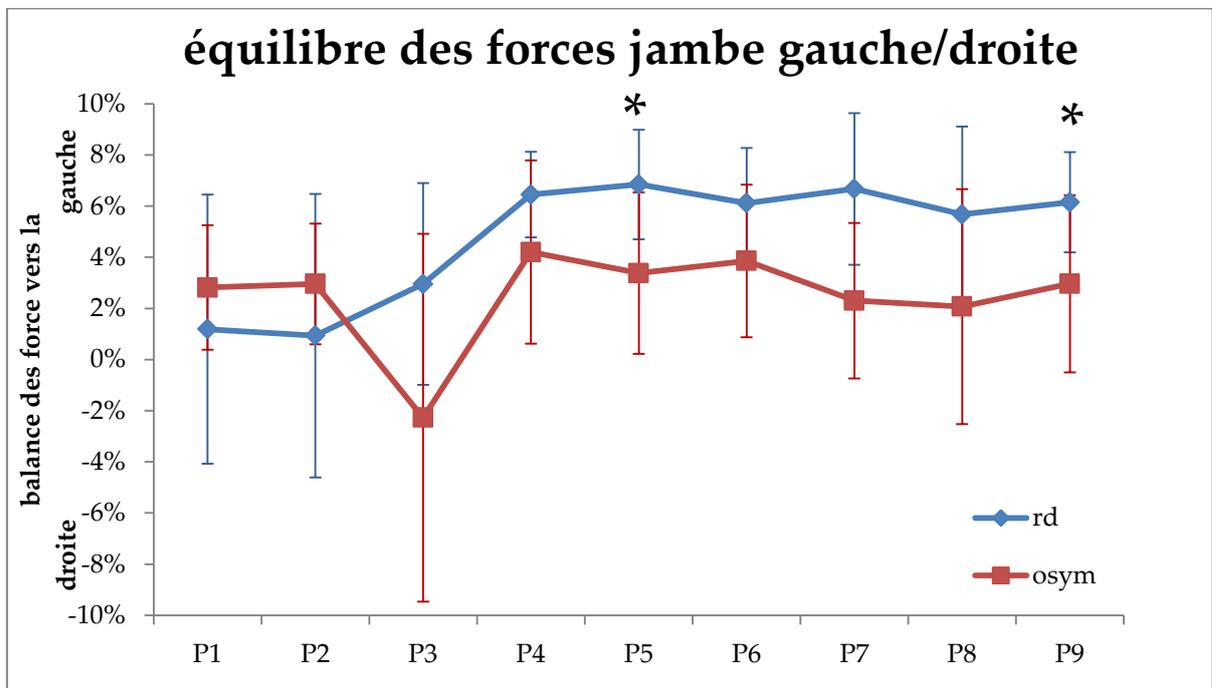


Figure 22 : équilibre des forces gauche droite avec le plateau rond et O'symetric sur chaque palier

Ces données ont été obtenues en soustrayant les valeurs moyennes de la force du membre inférieur droit à celle du membre inférieur gauche. Ce que l'on remarque d'une façon globale c'est que l'ensemble du groupe a sa jambe droite plus forte que sa jambe gauche. Mais l'utilisation des plateaux O'symetric auraient tendance à diminuer cet écart, et de façon significative au palier 5 et 9.

## ► Données minimums de force aux points morts

Tableau 5: force minimum (en N) produite par la jambe gauche

force minimum (en N) au point mort bas de la jambe gauche									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
rd	2,3 ± 0,8	3,8 ± 1,8	5,4 ± 2,3	5,5 ± 1,9	6,8 ± 1,5	7,0 ± 1,7	7,9 ± 2,1	9,6 ± 2,2	9,5 ± 2,5
osym	2,1 ± 1,7	3,6 ± 1,2	5,4 ± 1,0	4,8 ± 2,5	6,3 ± 1,6	6,6 ± 2,5	7,3 ± 2,2	8,0 ± 1,6	8,5 ± 1,7

Tableau 6 : force minimum (en N) produite par la jambe droite

force minimum (en N) au point mort bas de la jambe droite									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
rd	2,5 ± 1,4	3,8 ± 1,1	5,2 ± 1,3	6,0 ± 1,8	7,5 ± 1,8	7,4 ± 1,6	8,0 ± 1,8	8,6 ± 2,0	9,5 ± 2,5
osym	2,1 ± 1,4	3,8 ± 1,1	4,6 ± 1,4	4,8 ± 2,4	6,4 ± 1,5	6,1 ± 1,7	6,8 ± 2,2	7,8 ± 1,8	8,3 ± 1,7

Les valeurs minimum de force enregistrées lors des points morts sont toujours plus faibles avec les plateaux O'symetric, mais sans être significatives.

## ► Données maximums de force

Tableau 7 : force maximum (en N) jambe gauche

force maximum (en N) de la jambe gauche									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
rd	25,2 ± 1,9	30,6 ± 3,0	33,6 ± 2,0	37,0 ± 3,0	40,5 ± 2,8	44,3 ± 4,1	46,3 ± 3,1	48,5 ± 4,1	50,9 ± 3,9
osym	26,2 ± 2,8	31,6 ± 3,5	35,0 ± 2,6	41,5 ± 5,8	44,8 ± 3,7	48,4 ± 3,5	53,3 ± 3,5	54,7 ± 4,7	58,0 ± 4,7
					*	*	*	*	

Tableau 8 : force maximum (en N) jambe droite

force maximum (en N) de la jambe droite									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
rd	27,1 ± 3,0	33,7 ± 3,8	38,8 ± 3,1	43,7 ± 2,4	46,8 ± 2,1	50,4 ± 3,9	53,7 ± 3,7	55,2 ± 4,9	58,8 ± 3,9
osym	30,1 ± 3,0	35,4 ± 3,3	39,2 ± 2,3	45,7 ± 4,5	49,0 ± 3,0	55,6 ± 3,7	58,4 ± 4,6	62,6 ± 4,8	64,3 ± 4,5
	*					*	*	*	

Les valeurs pic de force atteinte lors de la phase de poussé sont toujours plus importantes avec le plateau O'symetric. Elles sont significatives sur quelques

palier ( $p=0,05$ ), pour la jambe gauche à P5, P6, P7, P8 et pour la jambe droite à P1, P6, P7 et P8.

## e. Discussion

Les tests en laboratoire n'ont pas mis en lumière d'augmentation de performance aérobie et anaérobie alactique avec les plateaux O'symetric. Les valeurs sont strictement identiques entre les plateaux circulaires et O'symetric. Néanmoins, on a pu observer une diminution significative de la fréquence cardiaque moyenne sur l'ensemble du test PMA avec une diminution de 5 pulsations. Cela peut s'expliquer par un meilleur rendement avec ces plateaux. Ce sont des résultats qui demandent à être confirmés avec de la mesure de VO<sub>2</sub> et des calculs de rendement beaucoup plus précis que des relevés de fréquence cardiaque.

Pour ce qui est des données psychophysiologique, aucun résultat significatif ne semble se dégager. Néanmoins, on peut observer quelques tendances. A intensité faible, inférieur au seuil, la douleur perçue dans les membres inférieurs serait plus importante avec les plateaux O'symetric. Mais quand le coureur passe le seuil anaérobie, cette tendance s'inverserait et c'est avec le plateau rond qu'il ressentirait le plus de douleurs. Pour le plaisir ressenti à pédaler avec les plateaux, les résultats sembleraient suivre la même tendance. Avec plus de plaisir avec les plateaux O'symetric au seuil. On sait qu'il y a une forte corrélation entre le plaisir et la douleur perçus. Il est donc normal d'observer des résultats qui vont dans le même sens. On peut tenter d'expliquer ces résultats, par le fait que lorsque le coureur est à effort sous max (I1-I2), il n'arrive pas à être efficace avec les plateaux O'symetric. Cela pourrait être dû à deux composantes, soit la force développée n'est pas assez importante, soit la cadence demandée n'est pas assez élevée. La seconde explication serait la plus probable, car après le palier 9, la tendance

s'inverse de nouveau. Donc on pourrait déduire une zone de confort d'utilisation des plateaux O'symetric qui se situerait entre 90 et 102 rotations par minutes.

Les patterns de pédalage sont significativement différents entre les deux types de plateaux. Les phases de transition haute (315 ° à 45 °) et basse (135 ° à 225 °) sont significativement inférieure avec les plateaux O'symetric. La force développée est inférieures là où la jambe est la moins efficace. Cela facilite donc bien le passage des points morts. Tandis que dans les phases de poussées/tractions (45°-135° et 225°-315°) la force développée est beaucoup plus importantes. Lorsque la jambe est en capacité de développer beaucoup de force, le plateau optimise cette phase. Ça pourrait permettre au coureur d'être plus efficace dans son coup de pédale, de mieux produire la force qu'avec un plateau rond.

Néanmoins aucune amélioration de performance n'est observée. Cela peut s'expliquer par le fait que les sujets ont découvert les plateaux le jour de l'expérimentation et donc n'ont pas eu le temps de s'habituer et d'apprendre à pédaler avec les plateaux.

## **2. Test terrain**

### **a. Sujets :**

8 sujets ont pris part aux tests de terrain, essentiellement des garçons. Pour des raisons techniques il s'agissait essentiellement de routiers, évoluant en 1<sup>er</sup>-2eme catégorie au VC Ornans (4), à l'US saint pierre des corps (2), et au VC Cournons d'Auvergues (1). Et il y avait également un triathlète.

Tableau 9 : caractéristique de la population

	Age	Taille (cm)	Poids (Kg)
moyenne	26,1	174,5	65,8
Ecart type	5,6	4,6	5,1

## b. Protocole :

Les tests de terrain ont pour but de connaître l'impact du plateau O'symetric dans des conditions de pratique courantes. Après une période d'entraînement d'une semaine avec le plateau O'symetric, le coureur a réalisé une séance test. L'ordre de passage avec le plateau rond ou O'symetric a été randomisé.

Lors de cette séance test, il a été mesuré au moyen d'un capteur powertap : la puissance, la cadence, la fréquence cardiaque. Lors des deux tests, les sujets devaient veiller à avoir une alimentation similaire avant et pendant le test, à être couvert de la même façon et à faire le même parcours. De plus, les conditions météorologiques devaient être très proche pour ne pas biaiser les mesures.

La sortie durait entre 3h et 3h30.

Echauffement	Test	Récupération	Test	Récupération	Spv	Récup 10	Spo	Récup 10	Spf	Retour
I1-I2	5min	15-20 min	20	20-30 min	10	min	10	min	10sec	au calme
1h	bosse		min		sec		sec			30 min

### ► Le test maximal sur 5 min en montée

Le test devait se dérouler dans une bosse que le coureur connaît bien. Elle devait faire plus de 5 minutes avec une pente comprise entre 5-10 % (proche des pourcentages que l'on peut rencontrer dans les cols). Il devait donc gravir cette

bosse le plus rapidement possible, avec l'idée de faire la meilleure performance possible. Il devait donc avoir une gestion de l'effort optimale pour ne pas s'écraser avant d'être arrivé au sommet ou au bout des 5 minutes. Cet effort devait simuler une montée rapide, un effort type PMA.

### ► Le test maximal sur 20 min plat

Lors de cet effort, le coureur devait trouver une route relativement plane, où il est prioritaire à toutes les intersections. Là encore, la gestion de l'effort était primordiale. Le coureur devait être le plus rapide possible sur les vingt minutes. Ça se rapproche d'un effort au seuil anaérobie. Un type d'effort que l'on peut retrouver sur les contres la montre.

### ► Les sprints

Les sprints placés à la fin de la sortie simulaient une arrivée, un sprint après une longue échappée pour la gagne par exemple. Le coureur devait réaliser trois sprints de 10 sec avec une dizaine de minutes de récupération entre chacun d'entre eux. Les sprints avaient tous une orientation différente, le premier devait être réalisé en vitesse (42x19), le second avec un développement optimal (52x19) et le troisième orienté en force (52x16).

## c. Analyse statistique

L'ensemble des résultats de terrain ont été testés avec le Test T apparié de Student. Le seuil de significativité a été fixé à  $p=0,05$ . Les résultats ont été traités à l'aide du logiciel Statview.

## d. Résultats

### ► Test maximal sur 5 min

Ci-dessous les résultats du test 5 min en montée.

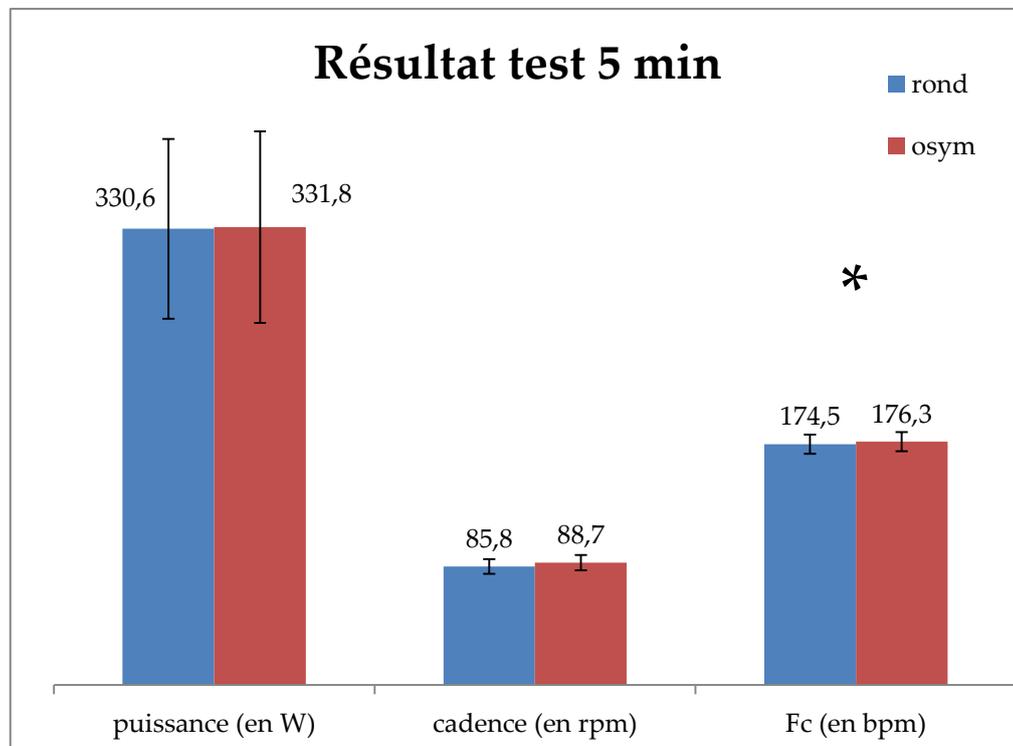


Figure 23 : résultats tests 5 min en montée entre les deux types de plateaux (O'symetric et rond)

La puissance et la cadence moyenne développées par les sujets, ne sont pas significativement différentes. Pour ce qui est de la fréquence cardiaque, on remarque un écart significatif ( $p=0,0034$ ).

### ► Test maximal sur 20 min

Les résultats du test 20 min sont présentés dans le graphique suivant.

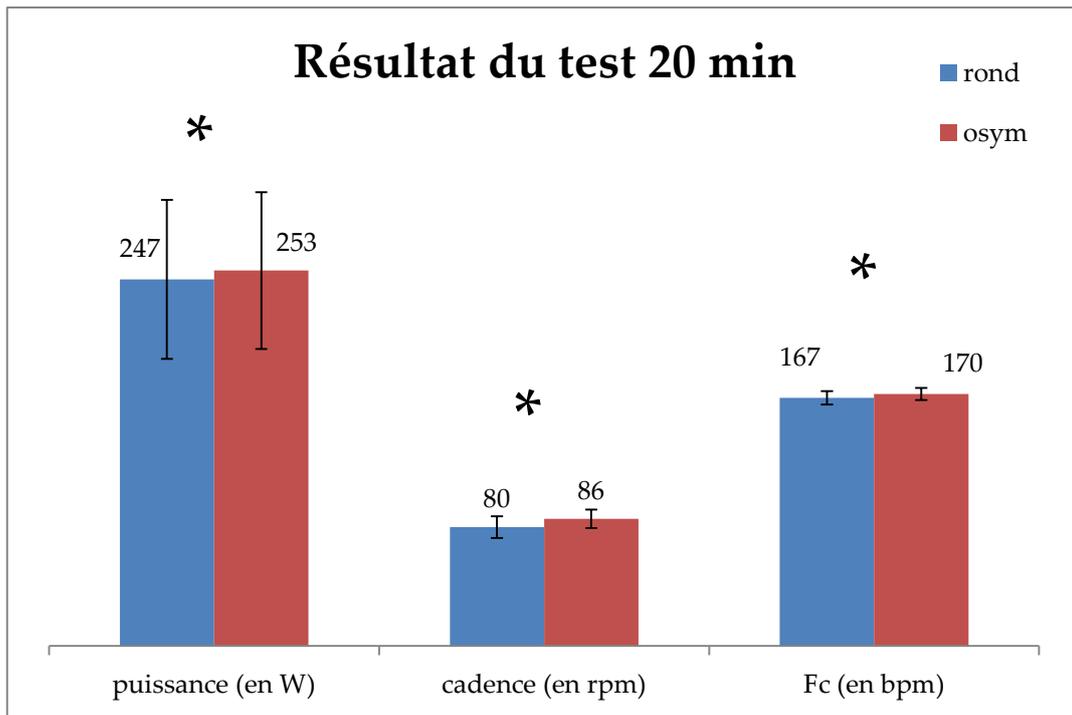


Figure 24 : résultat 20 min entre le plateau rond et le plateau O'symetric

Pour chacune des variables, l'utilisation des plateaux augmenterait de façon significative les valeurs de puissance ( $p < 0,0165$ ), de cadence ( $p < 0,0001$ ) et de la fréquence cardiaque ( $p < 0,0001$ ).

### ► Les sprints

Sur la figure suivante la puissance moyenne développée lors des 10 sec de sprint.

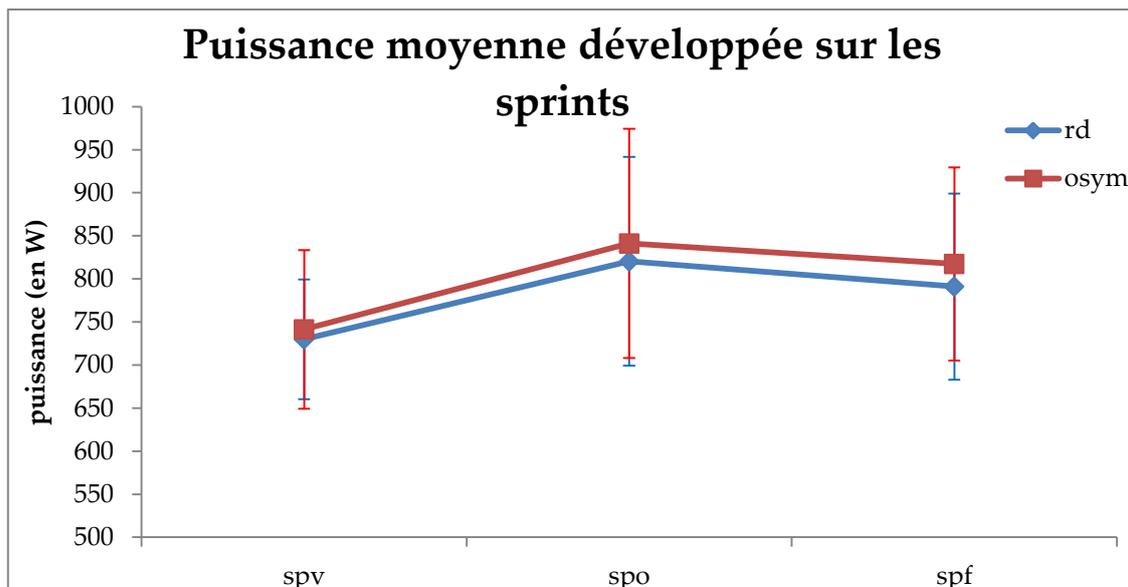


Figure 25 : puissance moyenne développée durant les 10 sec de sprint entre le deux plateaux

Les puissances moyennes développées avec le plateau O'symetric sont légèrement plus importantes qu'avec les plateaux ronds, mais sans être significatives.

Le graphique ci-dessous représente la puissance max atteinte lors des différents sprints de 10 sec entre les deux plateaux.

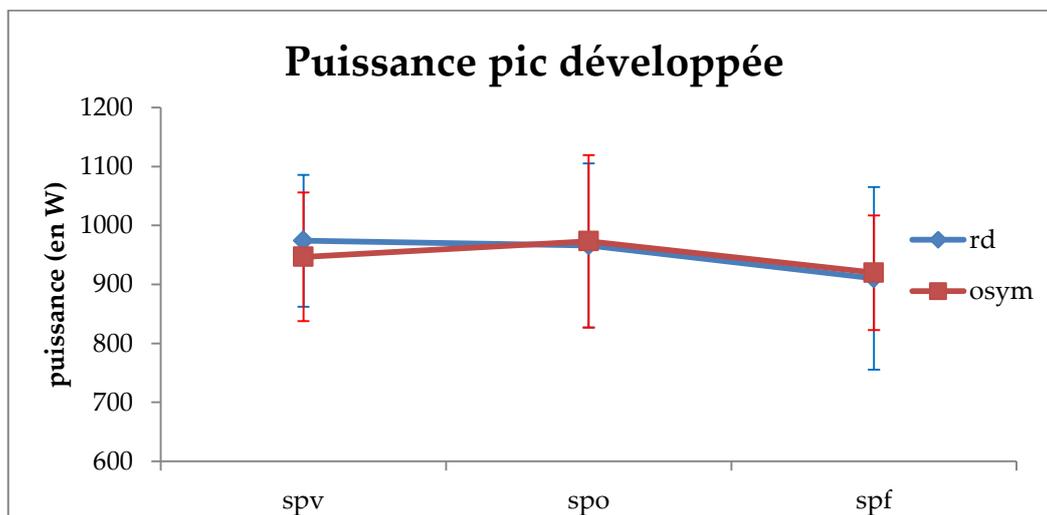


Figure 26 : puissance pic développée sur les sprints vélocé (spv), sprint optimum (spo) et sprint force (spf) de 10sec entre le plateau O'symetric et rond

Les puissances pic développées par les coureurs avec les deux plateaux (O'symetric et rond) sont similaires.

Ci-dessous la représentation de la cadence moyenne développée lors des sprints de 10sec.

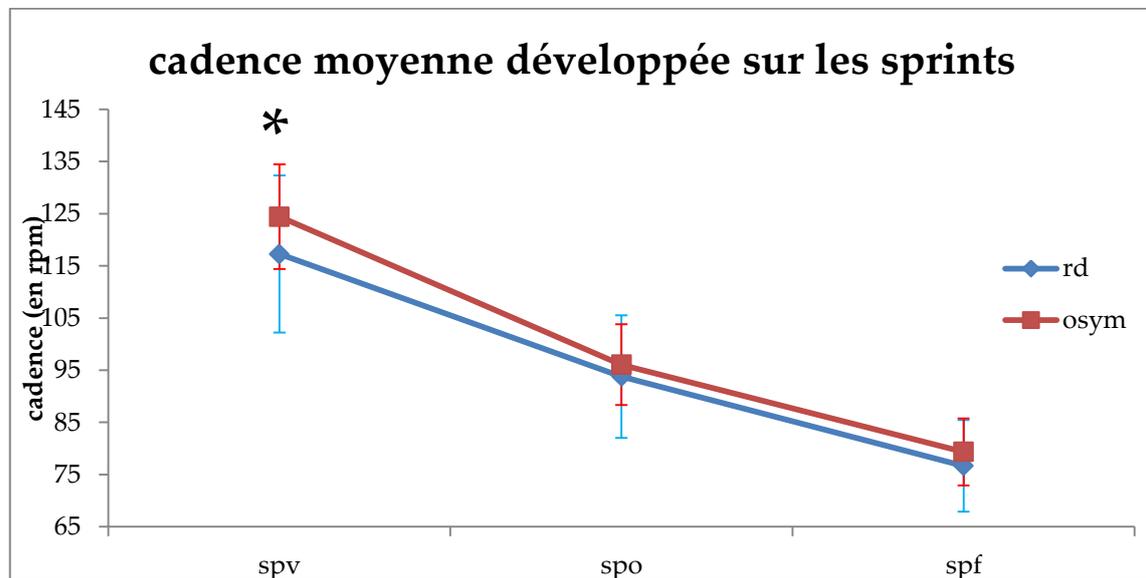


Figure 27 : cadence moyenne développée durant les 10 sec de sprint véloce (spv), sprint optimum (spo) et sprint force (spf) avec les deux types de plateau.

La cadence moyenne développée lors des sprints optimums et force sont similaires. Mais pour le sprint véloce il y a une différence significative entre les cadences moyennes développées ( $p=0,0007$ ), avec un gain de 8 rpm.

Ci-dessous, la représentation graphique des cadences pics atteintes lors des différents sprints.

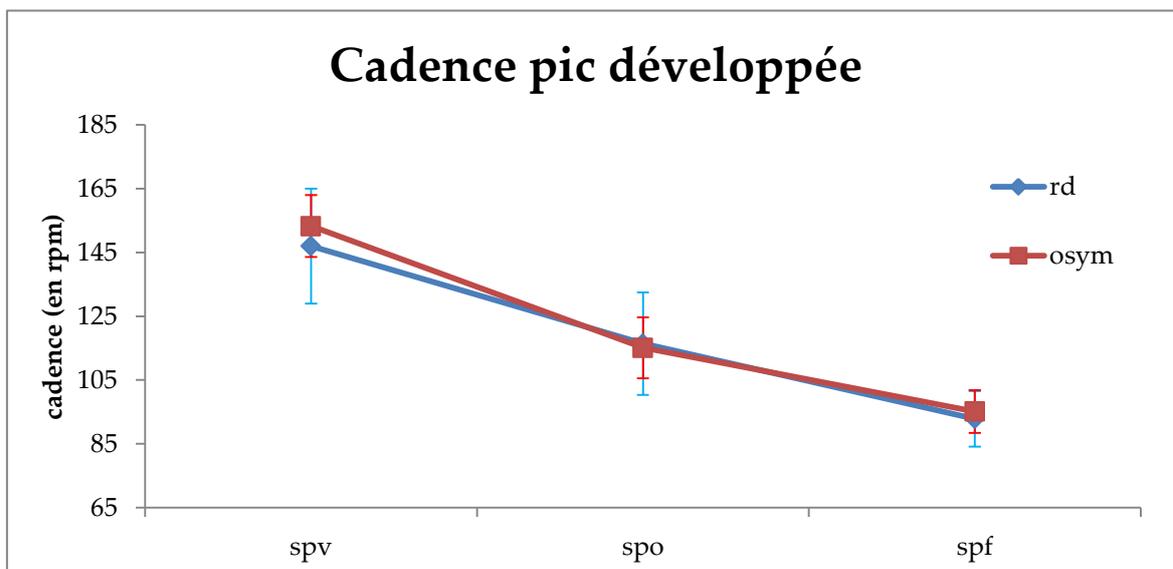


Figure 28 : cadence pic atteinte lors des sprints véloce (spv), sprints optimum (spo) et sprints force (spf) de 10 sec entre les deux plateaux.

Les cadences pics développées sont similaires entre les deux types de plateaux.

## e. Discussion

### ► Test maximal sur 5 min en montée

Le test maximal sur 5 min en montée n'a révélé aucune différence de performance entre les différents plateaux.

Seule la fréquence cardiaque est significativement plus importante (+ 1,1 %) avec le plateau O'symetric ( $p=0,0034$ ). Cette différence quoique significative est à prendre avec précaution, car les différences enregistrées peuvent par exemple venir de multiples événements extérieurs.

Les sujets lors du test ont ressenti une sensation de fluidité avec le plateau O'symetric. Le passage des points morts était plus facile, ils se sentaient moins en prise. Ils se sont sentis plus véloce avec le plateau O'symetric. Même si l'on

observe une augmentation de 6 % de la cadence de pédalage, les résultats ne sont pas significatifs ( $p=0,14$ ).

### ► Test maximal sur 20 min

L'utilisation du plateau O'symetric aurait une influence sur les résultats de ce test au seuil anaérobie. On observe de meilleures performances avec un gain significatif ( $p=0,0163$ ) de 6 watts. Sur ce test aussi les coureurs se disent plus véloce. Ça se confirme ici par une différence significative ( $p<0,0001$ ) de plus 5 rpm pour les plateaux O'symetric. Autres sensations perçues lors de ce test c'est un effet d'inertie du coup de pédale. C'est-à-dire qu'ils ont une sensation de facilité lors de la phase de traction. Cela pourrait s'expliquer de deux manières. La première, quand la jambe passe le point mort, elle prend de la vitesse (Horvais et col, 2007), cette vitesse supérieure pourrai permettre de passer plus rapidement et facilement les premiers degrés de la partie accentuée du plateau.

La seconde explication possible, c'est qu'il y aurait durant la phase des points morts, une sorte de période de « repos relatif » pour les muscles, ce qui leurs permettraient d'être plus efficace au moment de la poussée. Mais les ischios, principalement impliqués dans la traction se contracteraient beaucoup plus tard, d'où cette impression que la pédale remonte toute seule. Cela laisse sous-entendre un certain apprentissage du geste pour être efficace avec ce genre de plateau. Même si les relevés de fréquence cardiaque sont à prendre avec des pincettes, on observe là aussi une différence significativement supérieure ( $p<0,0001$ ) pour le plateau O'symetric (+ 3 puls/min).

### ► Les sprints

On observe peu de différences significatives entre les différents paramètres enregistrés lors des sprints. Néanmoins, on note des puissances moyennes et pic

supérieures avec les plateaux O'symetric. Cette puissance plus importante malgré des braquets similaires pourrait venir du fait qu'au sprint outre les qualités intrinsèques de l'athlète, intervient aussi le poids du corps qui permet d'accentuer la force produite en phase de poussée. C'est aussi lors de cette phase que la majorité de la puissance est produite au sprint. Or avec les plateaux O'symetric c'est lors de cette phase que l'on retrouve le plus grand bras de levier. Donc cela pourrait expliquer des valeurs de puissance plus élevées. La même observation est faite pour les puissances pic des sprints optimales et forces, mais pas pour les sprints véloces.

Les plateaux O'symetric demanderaient donc une coordination spécifique difficile à mettre en place quand on n'est pas habitué à des vitesses de rotation élevées. Les sujets lors des tests de sprints ont eu la sensation d'un coup de pédale haché, et ils avaient l'impression de subir le point mort dès que la vitesse devenait trop importante. Le fait que le point mort se passe extrêmement rapidement demande au coureur une réorientation de la cheville très rapide, et ce surtout s'il est debout sur les pédales. Cela demande un apprentissage plus long pour permettre au coureur d'être plus efficace au passage de ce point.

Malgré cela on observe des cadences moyennes significativement supérieures pour le sprint véloce et légèrement supérieures pour les autres types de sprint. Donc malgré le manque d'efficacité ressenti lors des sprints, le temps gagné au niveau des points morts permet d'avoir une cadence plus élevée.

Le manque de résultats significatifs au niveau du groupe n'est pas révélateur des adaptations individuelles de chacun

### 3. Expérimentations annexes

#### a. Mesure EMG

##### ► Protocole

Pour effectuer cette mesure EMG, on a placé trois électrodes : une sur le vaste médial, une sur un ischio (biceps femoris) et la dernière sur le rectus femoris. Le choix de ces muscles s'est fait en fonction de leurs implications dans le pédalage. Le vaste médial et le rectus femoris interviennent lors de la phase de poussé. Et l'ischio intervient lui dans la phase de remontée. C'est lors de cette phase de poussé/traction que l'on relève de plus grande production de force avec le plateau O'symetric. On cherche à déterminer si l'utilisation des plateaux O'symetric induirait une modification de l'activité EMG par rapport au plateau circulaire.

Les sujets vont effectuer deux sessions à 200 W et à 70 rpm durant deux minutes. Les enregistrements ont débuté dès que le sujet était stabilisé à la puissance et à la cadence ciblée.

## ► Résultats

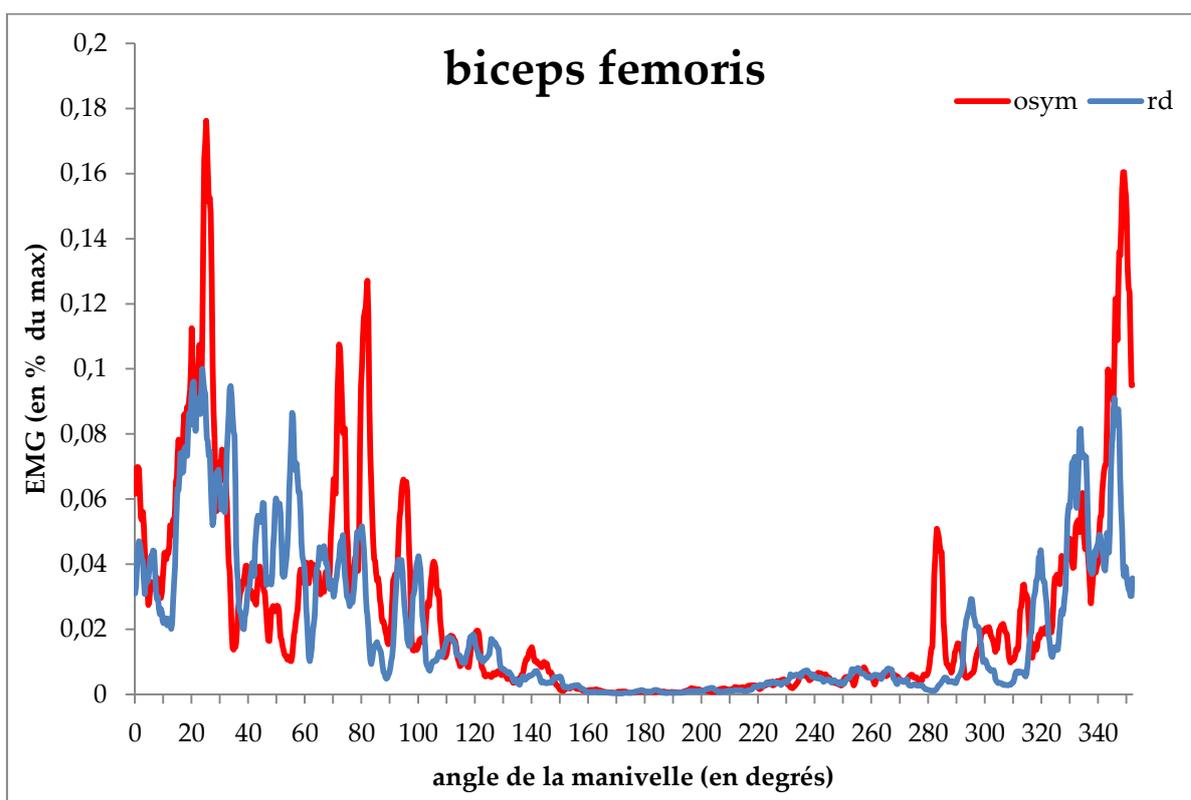


Figure 29 : Tracé EMG du biceps femoris

Le tracé EMG du biceps femoris révèle peu de différence d'activation au cours du cycle entre les deux plateaux. Avec le plateau O'symetric les niveaux de sommation sont plus importants. De plus toujours avec les plateaux O'symetric, l'activation se ferait plus tard au cours du cycle.

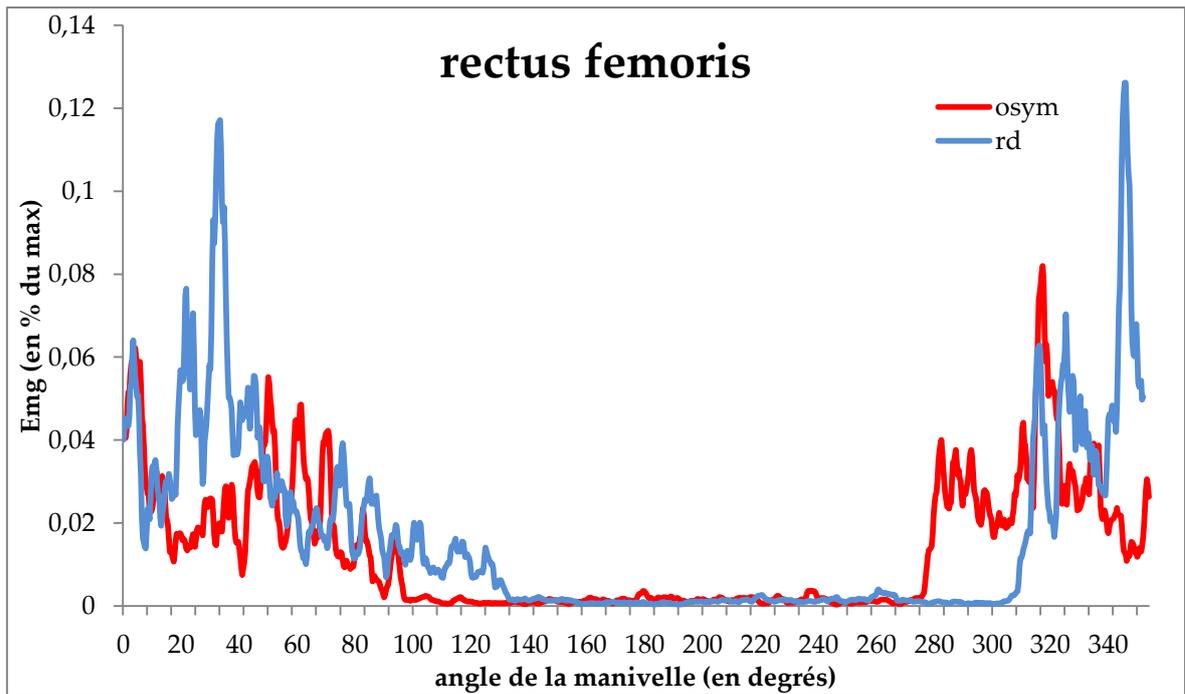


Figure 30 : tracé EMG du rectus femoris

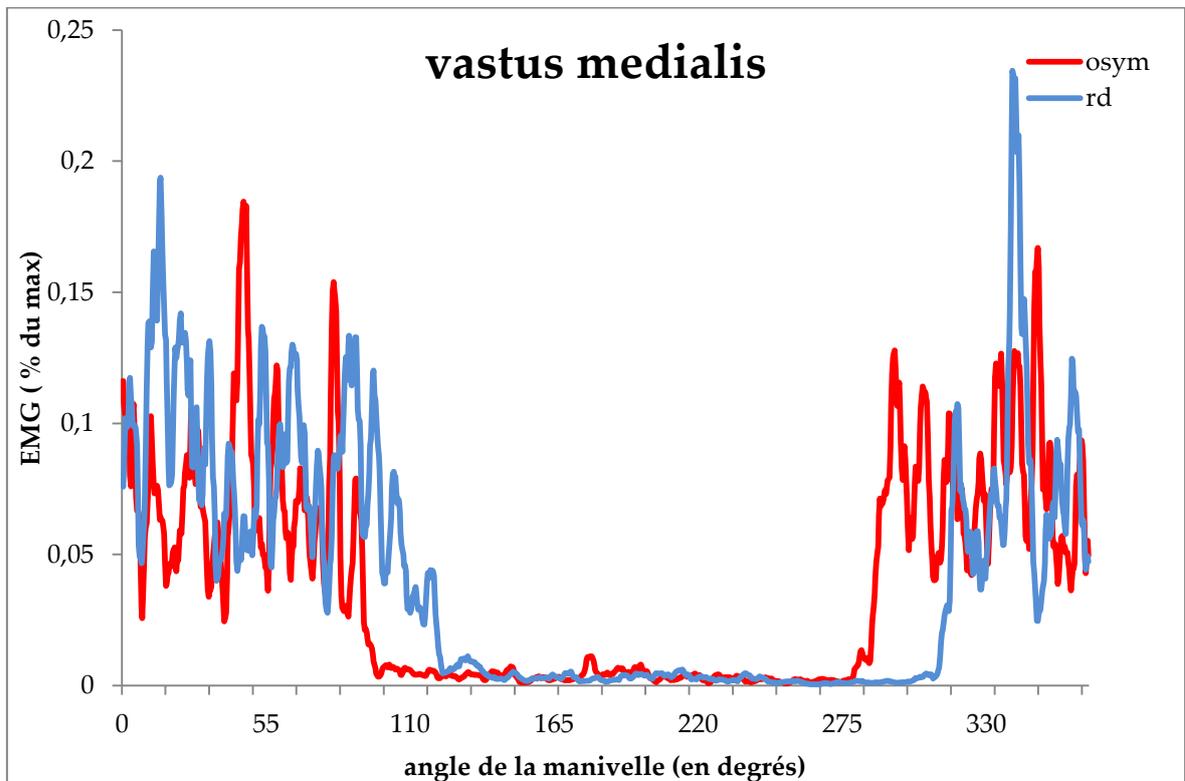


Figure 31 : Tracé EMG du vastus medialis

Les tracés du rectus femoris et du vastus medialis ont le même pattern. Cela s'explique par le modèle de coordination musculaire du pédalage mis en lumière par Raasch (Raasch et Zajac 1999). Le mouvement de pédalage est géré à partir de trois paires de groupes musculaires. Le rectus femoris et le vastus medialis font partie de la même paire, ce qui pourrait expliquer pourquoi ils ont un pattern EMG similaire. L'utilisation des plateaux O'symetric décalerait l'activation de ces deux muscles. Leur activation se ferait plus tôt dans le cycle.

### ► Discussion

L'utilisation du plateau O'symetric entraîne des développements de force plus importants au moment de la phase de poussée/traction. Cela pourrait s'expliquer par une activation plus précoce des muscles moteurs en phase de poussée. Étant donné que c'est lors de la phase de poussée et

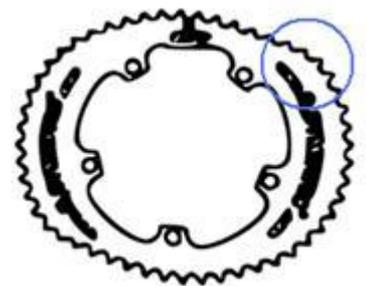


Figure 32 : rupture de forme du plateau o'symetric

notamment avant les 90° que la puissance mécanique totale est produite (Kautz, S.A et al. 1991), plus l'activation neuromusculaire est située tôt dans le cycle plus importante sera la force produite. Cette activation soudaine peut-être due à la forme du plateau pas tout à fait ovoïde. En effet, ce serait plus une bi came, deux cercles imbriqués. Donc l'activation plus précoce des muscles effecteurs pourrait être due à la rupture de force (voir figure 31 ci-contre).

L'activation du biceps femoris se fait au moment de la traction. Avec les plateaux O'symetric elle est beaucoup plus tardive. Quand on pédale avec l'O'symetric au début on a l'impression de « pédaler dans la semoule ». Une fois habitué, le geste devient plus fluide. On ne subit plus l'accélération causée par la diminution du bras de levier on la contrôle. Il y a une sorte d'inertie de la jambe.

La première partie de la phase de remontée se fait grâce à la vitesse produite dans le point mort bas. C'est ce qui peut expliquer l'activation plus tardive du biceps femoris.

L'utilisation des plateaux O'symmetric engendrerait aussi des variations de pattern EMG. Il serait intéressant d'approfondir la question en ayant des relevés sur d'autres muscles, tel que le gastrocnémien ou le long fibulaire à qui l'accélération au niveau des points morts hauts et bas demande une réactivité importante pour réorienter au plus vite le pied.

## **b. Accélérométrie**

### **► Protocole**

L'impression visuelle que donne le coup de pédale d'un coureur utilisant un plateau O'symmetric est celle d'un coup de pédale saccadé. Pourtant rapidement sur ergo cycle les coureurs disent ne plus la ressentir. Pour quantifier ces accélérations/décélérations, nous avons mesuré à l'aide d'un accéléromètre les variations de vitesse au cours du cycle. Nous avons fait ces mesures sur deux sujets lorsqu'ils réalisaient leur test de PMA. On effectuait les enregistrements d'accélération au même moment que la mesure de couple, c'est-à-dire quand le sujet était stabilisé en fréquence et en puissance.

Les données brutes obtenues avec l'accéléromètre ont été traitées par T.Goguely (étudiant en classe préparatoire à Besançon).

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel statview. Les valeurs moyennes de vitesse à chaque phase du cycle de pédalage ont été testées à l'aide d'un test T apparié de Student. Le seuil de significativité a été fixé à  $p=0,05$ .

## ► Résultats

Tableau 10 : vitesse moyenne en rad/s de la manivelle

	301°-60°	61°-121°	121°-241°	241°-301°	moyenne générale
<b>rond</b>	9,64	9,54	9,64	9,54	9,60
<b>osym</b>	10,43	9,36	10,42	9,37	10,09
	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001

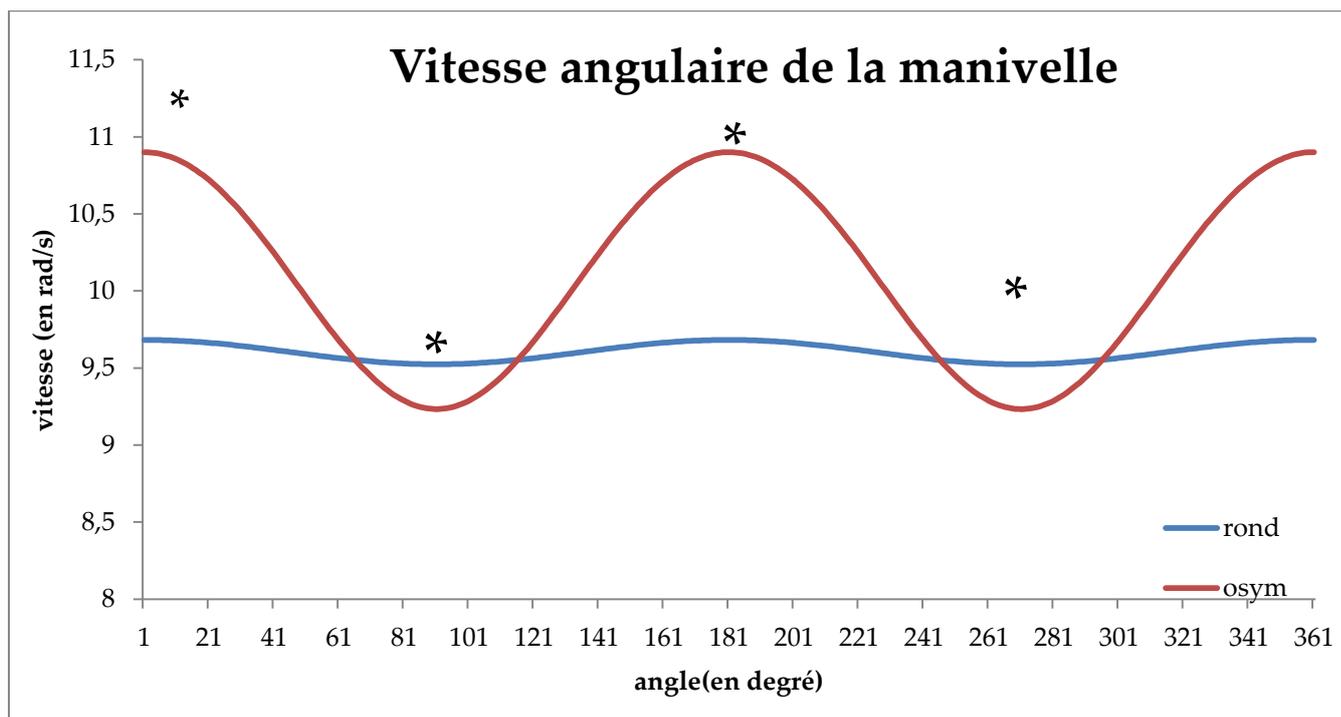


Figure 33 : vitesse de rotation en rad/s des manivelles en fonction de l'angulation entre plateaux ( $p < 0,0001$ )

La vitesse angulaire enregistrée sur un cycle de pédalage est significativement différente ( $p < 0,0001$ ) entre les plateaux ronds et les plateaux o'symetric.

## ► Discussion

L'impression visuelle d'un coup de pédale haché est confirmée par les relevés de l'accéléromètre. On note une nette accélération aux points morts haut et bas. Cette accélération confirme l'intérêt de l'utilisation d'un plateau ovoïde qui

permet de passer plus rapidement les points morts. C'est environs un gain de 12 % en vitesse pic et de 8 % en vitesse moyenne sur les points morts.

Tandis que pour le passage des zones de poussée/traction, on observe là une diminution de la vitesse de rotation. Une diminution de 2,8 % en pic et de 1,8 % en moyenne sur toute la phase. Donc une perte de vitesse minime. Elle peut s'expliquer par le fait que c'est lors de cette phase que la jambe produit le plus de force.

Ces résultats viennent confirmer et quantifier l'impression visuelle et le ressenti d'un coup de pédale saccadé. Outre cette observation sommaire, ces mesures révèlent d'autres adaptations. En effet, on remarque que la vitesse accumulée lors des passages de points morts haut/bas, est conservée bien après leur passage. L'inertie du coup de pédale permet à la manivelle de parcourir un peu plus de la moitié de la phase de poussée/traction avant que la vitesse devienne inférieure à celle des plateaux traditionnels.

Petit bémol de cette mesure, la vitesse d'acquisition de l'accéléromètre ne permettait pas d'avoir une donnée de vitesse pour chaque angle de la manivelle.

## IV. Discussion générale

L'utilisation des plateaux O'symetric n'aurait pas d'impact négatif sur la performance. En effet quel que soit les tests réalisés (terrain ou laboratoire), aucune mesure de diminution de la performance n'a été enregistrée.

Les premiers tours de roue avec le plateau sont très surprenants pour les coureurs. Même si l'on s'habitue rapidement au coup de pédale sur l'ergo-cycle (15min), l'habitué sur le terrain est beaucoup plus longue. Le coureur sent des à-coups pendant 2-3sorties d'entraînement. Le niveau d'ancienneté dans la pratique du cyclisme peut influencer cette période d'habitation. La différence d'habitué entre l'ergocycle et le terrain peut s'expliquer par le fait qu'en situation écologique les appuis sur les pédales servent de point d'équilibre. Mais une fois cette période passée les cyclistes ne ressentent strictement plus les variations du plateau. Le chemin inverse est aussi déroutant, quand on retourne au plateau circulaire, lors de la première sortie on ressent les mêmes sensations qu'avec l'O'symetric mais elle disparaît vite.

En ce qui concerne les tests de sprint, aussi bien sur le terrain qu'en laboratoire il n'a été observé aucune amélioration significative de performance. Même si les puissances moyennes enregistrées durant les 10 sec du sprint sont supérieures avec le plateau o'symetric, on n'observe aucune différence significative qui permettrait de mettre en avant un quelconque apport du plateau O'symetric. Les sensations perçues par les sujets, c'est-à-dire l'impression de tomber, de s'écraser au niveau du point mort, laisse néanmoins penser que la position dite « danseuse » ne soit pas la position la plus efficace pour utiliser un plateau O'symetric. En effet, celle-ci demande au sujet un dynamisme au niveau de la cheville pour réorienter rapidement son pied. Sinon le coureur semble subir le point mort et a une impression de tomber.

Pour les tests aérobies, le test PMA en laboratoire et le test maximal sur 5 min sur le terrain en montée n'ont révélés aucune amélioration de performance. Pour le test maximal sur 20 min, des différences notoires se sont révélées. Les puissances et les cadences étaient nettement plus élevées avec les plateaux O'symmetric. Et les sujets ont ressenti une sensation de pédalage plus rond ainsi qu'une inertie dans le coup de pédale. Les mesures d'accélérométrie ont confirmé de plus grandes variations de vitesse au niveau des points morts et la phase de poussée/traction. La vitesse accumulée durant le passage des points morts était maintenue durant une bonne partie du cycle de poussée. Cela semble permettre au coureur de développer plus de force lors de cette phase.

C'est effectivement ce qui a été observé avec les relevés de pattern de pédalage. Les pics de forces enregistrés sont nettement plus importants qu'avec les plateaux ronds, mais pas à tous les paliers d'intensité. La force moyenne développée lors de la phase de poussée est quant à elle significativement plus élevée dans tous les paliers. Le développement plus important du plateau lors de cette phase permet au coureur de développer plus de force. De plus, l'inertie accumulée lors du point mort permettrait d'accentuer la force produite lors de la phase de poussée.

Les tracés EMG montrent une activation plus précoce des muscles impliqués dans la phase de poussée : vastus medialis et rectus femoris. Cette activation plus précoce peut-être due à la rupture de forme du plateau O'symmetric. Elle pourrait aussi expliquer la force moyenne plus importante développée tout au long de cette phase.

Les plateaux O'symmetric auraient aussi pour vocation de faciliter le passage des points morts. Effectivement comme nous l'avons dit précédemment, il y a une accélération de la vitesse angulaire aux passages des points morts bas et haut. Cette accélération est causée par la diminution du bras de levier du plateau. Les

relevés de pattern de pédalage montrent des pics forces et de force moyenne légèrement inférieure à ceux observé avec le plateau rond. Il semblerait donc que la diminution de bras de levier soit partiellement compensée par l'accélération du mouvement ce qui permettrait donc de conserver le même niveau de production de force.

Les sujets ont ressenti une activation tardive des ischio. Perception confirmée par l'EMG pratiquée au niveau du biceps femoris. Ceci laisse suggérer que le plateau o'symetric demande une période plus importante. Ou alors es-ce un effet délétère de l'accélération angulaire ?

Cette accélération angulaire entrainerait une inertie de pédalage et de fait une augmentation des cadences de pédalages en position assis. En effet, on observe sur l'effort maximal de 5 min une augmentation non significative de 3 rpm, et sur le test maximal de 20 min une augmentation significative de 5 rpm. De plus lors des tests en laboratoire, il est noté un plaisir ressenti et une douleur perçue inférieurs lorsque les coureurs se situaient aux paliers 6-7-8. Cela laisse sous-entendre une utilisation optimale du plateau O'symetric se situant autour des 90 à 98 rpm (fréquence imposée à ces paliers). Les fréquences de pédalage enregistrées lors des tests de terrains étaient légèrement inférieures (86 rpm pour le 20 min). Cette différence peut avoir deux origines. La première, les populations étudiées sur le terrain et en laboratoire ne sont pas strictement identiques. Le seconde, pédaler sur ergocycle et sur la route sont deux situations différentes qui peuvent influencer la cadence de pédalage.

## V. Conclusion

Les différents tests réalisés en laboratoire et sur le terrain n'ont montré aucune diminution de performance en utilisant les plateaux O'symetric. Ils se sont même révélés significativement plus performants (+ 1,6 %) lors d'un effort au seuil anaérobie. Trois facteurs semblent être à l'origine de cette amélioration.

La forme du plateau permettrait de développer plus de force au moment de la phase de poussée/traction. Dans un second temps, le plateau faciliterait le passage des points morts en diminuant la force nécessaire à leur passage, mais l'accélération angulaire compenserait la perte de force pour conserver un niveau presque identique à celui d'un plateau rond.

Le second facteur est l'inertie de pédalage créé lors de l'accélération provoquée par les passages des points morts. Cette vitesse aiderait le coureur à développer plus de force au moment des phases de poussée traction.

Le dernier facteur serait une conséquence de la forme particulière du plateau O'symetric qui engendrerait une activation plus précoce des muscles intervenants dans la phase de poussée, mais aussi une activation plus tardive au niveau des muscles responsables de la traction.

Il ne fait nul doute que l'utilisation du plateau demande une période d'habitué plus longue que celle demandée dans l'étude (seulement 1 semaine). Chaque coureur en fonction de son expérience et de sa plus ou moins grande capacité à s'adapter, réagit de façon différente et donc a besoin de temps pour tirer toute la quintessence de la forme bi camé du plateau. Il est donc logique de penser qu'avec une plus grande expérience avec ce plateau, les différences entre les deux types de matériel pourraient s'accroître.

Il serait intéressant de mener une étude dans ce sens c'est-à-dire, en testant le plateau sur une plus longue période pour dans un premier temps savoir s'il y a un plus grand impact du plateau sur la performance avec l'habitué, pour savoir s'il y a un risque accru de blessures.

## VI. Bibliographie

- 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 geared chainrings in comparison to conventional circular 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.
- Henke T. 1998. « Real-time feedback of pedal forces for the optimisation of pedalling technique in competitive cycling » présenté à In Proceeding of the 16th Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports, University of Konstanz, Germany.
- 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. »

- Hull, M L, M Williams, K Williams, et S Kautz. 1992. « Physiological response to cycling with both circular and noncircular chainrings ». *Medicine and science in sports and exercise* 24 (10) (octobre): 1114-1122.
- Jorge, et Hull. 1986. « Analysis of EMG measurements during bicycle pedalling ».
- Kautz, S.A, Feltner, M.E, Coyle, E.F, et Baylor, A.M. 1991. « The pedalling technique of elite endurance cyclists: changes with increased workload at constant cadence. » (7): 29-53.
- L. Malfait, G. Storme, et M. Derdeyn. 2010. « Comparative biomechanical study of circular and non-circular chainrings for endurance cycling at constant speed ».
- Lucía, A, J Balmer, R C R Davison, M Pérez, A Santalla, et P M Smith. 2004. « Effects of the rotor pedalling system on the performance of trained cyclists during incremental and constant-load cycle-ergometer tests ». *International journal of sports medicine* 25 (7) (octobre): 479-485.
- Neptune, R R, et W Herzog. 2000. « Adaptation of Muscle Coordination to Altered Task Mechanics During Steady-state Cycling ». *Journal of Biomechanics* 33 (2) (février): 165-172.
- Neptune, R R, et S A Kautz. 2001. « Muscle Activation and Deactivation Dynamics: The Governing Properties in Fast Cyclical Human Movement Performance? » *Exercise and Sport Sciences Reviews* 29 (2) (avril): 76-80.
- O'Hara, Clark, Hagobian, et McGaughey. 2012. « Effects of Chainring Type (Circular vs. Rotor Q-Ring) on 1km Time Trial Performance Over Six Weeks in Competitive Cyclists and Triathletes ». *International Journal of Sports Science and Engineering* 6 (1) (mars 1): 25-40.
- Peiffer, et Abbiss. 2010. « The influence of elliptical chainrings on 10 km cycling time trial performance ». *International journal of sports physiology and performance* 5 (4) (décembre): 459-468.
- Raasch, Christine C., et Felix E. Zajac. 1999. « Locomotor Strategy for Pedaling: Muscle Groups and Biomechanical Functions ». *Journal of Neurophysiology* 82 (2) (janvier 8): 515-525.
- Ratel, Duché, Hautier, Williams, et Bedu. 2004. « Physiological responses during cycling with noncircular "Harmonic" and circular chainrings ». *European journal of applied physiology* 91 (1) (janvier): 100-104. doi:10.1007/s00421-003-0937-9.

- Rodríguez-Marroyo, García-López, Chamari, Córdova, Hue, et Villa. 2009. « The rotor pedaling system improves anaerobic but not aerobic cycling performance in professional cyclists ». *European journal of applied physiology* 106 (1) (mai): 87-94.
- Ryan, et Gregor. 1992. « EMG profiles of lower extremity muscles during cycling at constant workload and cadence ». *J. Electromyogr. Kinesiol.*
- Schwameder, Strutzenberger, Wunsch, et Kröll. 2012. « Knee Joint Forces in Cycling at Two Workloads with Circular and Non-circular Chainrings ». *ISBS - Conference Proceedings Archive* 1 (1).

## VII. Table des figures

Figure 1 : premier vélo vs plus moderne.....	8
Figure 2 : chaine de transmission vélo.....	9
Figure 3 : le polchlopek (78) .....	10
Figure 4 : Biopace (83) .....	10
Figure 5 : Ogival (93) .....	11
Figure 6 : Q-ring (05) .....	12
Figure 7 : O'symmetric harmonic.....	13
Figure 8 : Décomposition d'un cycle de pédalage .....	15
Figure 9 Variation angulaire des différentes articulations (Hull, Beard, et Varma 1990).....	16
Figure 10 : schéma fonctionnel (poirier 2009).....	17
Figure 11 : vecteurs forces sur la pédale.....	19
Figure 12 : évolution des vecteurs en fonction de l'angulation .....	19
Figure 13 : moment de force.....	20
Figure 14 : pattern de pédalage et orientation de la manivelle.....	21
Figure 15 : puissance moyenne développée à chaque palier du test de PMA avec le plateau rond et O'symmetric.....	25
Figure 16 : puissance pic enregistré lors des différents type de sprints veloce (spv), optimum (spo), et force (spf) en laboratoire avec plateau rond et O'symmetric.....	26
Figure 17 : cadence max enregistré lors des différents type de sprints veloce (spv), optimum (spo), et force (spf) sprints en laboratoire avec plateau rond et O'symmetric.....	26
Figure 18 : résultats test PMA avec plateau rond et plateau O'symmetric .....	27
Figure 19 : perception de la douleur dans les membres inférieurs avec plateau rond et O'symmetric.....	27
Figure 20: perception générale de la douleur avec plateau rond et O'symmetric.....	28

Figure 21 : plaisir ressenti à l'effort avec plateau rond et O'symetric.....	28
Figure 22 : équilibre des forces gauche droite avec le plateau rond et O'symetric sur chaque palier.....	33
Figure 23 : résultats tests 5 min en montée entre les deux types de plateaux (O'symetric et rond) .....	39
Figure 24 : résultat 20 min entre le plateau rond et le plateau O'symetric .....	40
Figure 25 : puissance moyenne développée durant les 10 sec de sprint entre le deux plateaux .....	41
Figure 26 : puissance pic développé sur les sprints véloce (spv), sprint optimum (spo) et sprint force (spf) de 10sec entre le plateau O'symetric et rond .....	41
Figure 27 : cadence moyenne développée durant les 10 sec de sprint véloce (spv), sprint optimum (spo) et sprint force (spf) avec les deux types de plateau. ....	42
Figure 28 : cadence pic atteinte lors des sprints véloces (spv), sprints optimum (spo) et sprints force (spf) de 10 sec entre les deux plateaux. ....	43
Figure 29 : Tracé EMG du biceps femoris .....	47
Figure 30 : tracé EMG du rectus femoris.....	48
Figure 31 : Tracé EMG du vastus medialis .....	48
Figure 32 : rupture de forme du plateau o'symetric.....	49
Figure 33 : vitesse de rotation en rad/s des manivelles en fonction de l'angulation entre plateaux ( $p < 0,0001$ ).....	51
Figure 34 : montage spécial descente pour F.Barel.....	64

## VIII. Annexes

1. Image plateau rond/O'symmetric.....	63
2. Utilisateurs plateau O'symmetric haut niveau.....	64
3. Echelle de CR10 de Borg.....	65

# 1. Image plateau rond/O'symetric

## ► *Poussée*



## ► *Points morts*



## 2. Utilisateurs plateau O'symmetric haut niveau

Les plateaux O'symmetric depuis 1993 ont séduit de nombreux cyclistes

### ► *Route*

- Alexandre Vinokourov (*champion olympique 2012*)
- David Millar (*Champion de Grande Bretagne du clm en 2006-07*)
- Bobby Julich (*vice-champion olympique 2004*)
- Laurent Brochard (*champion du monde 98*)
- Thierry Marie (*champion France du clm 1995*)
- Bradley Wiggins (*champion olympique clm 2012*)
- Christopher Froom (*vainqueur du tour de France 2013*)
- Pierre Roland (*victoire 19e étape du tour de France 2011*)

### ► *Triathlon*

- Frederick Van Lierde (*victoire ironman de France 2011-12*)
- Camilla PEDERSEN (*Championne europe triathlon longue distance 2011*)

### ► *VTT*

- Fabien Barel (*Champion du monde descente 2000-05*)
- Miguel martinez (*Champion olympique XC 04*)



Figure 34 : montage spécial descente pour F.Barel

### 3. Echelle de CR10 de Borg

(Borg CR10 Scale, Gunnar Borg, 1981, 1982, 1998)

0	Rien du tout	Pas de douleurs
0.3		
0.5	Extrêmement faible	A peine perceptible
1	Très faible	
1.5		
2	Faible	Légère
2.5		
3	modéré	
4		
5	Forte	Pénible
6		
7		
8		
9		
10	<b>Extrêmement forte</b>	<b>« Douleur max »</b>
11	Maximum absolu	Plus élevée possible

(Traduction A. Gros Lambert)

## **Effet des plateaux o'symetric sur la performance en cyclisme**

Mémoire soutenu en Septembre 2013

**Résumé :** en 1993, un inventeur, JL Talo, commercialise les plateaux o'symetric®. Ils font partis d'une nouvelle vague de plateau ovoïde. Après de nombreux kilomètres parcourus, ils ont défrayés la chronique en 2012 en se classant 1 et 2 du tour de France et de l'épreuve chronométrée des Jeux Olympique. L'impact du plateau o'symetric n'est pas clairement défini, certain le subjugue d'autre le remette en cause. C'est pour éclaircir et mieux connaitre leur réel impact sur la performance que cette étude a été menée. Elle propose une approche jamais abordée par les auteurs, avec une analyse du pattern de pédalage. Des mesures EMG et d'accélérométrie complètent l'analyse de laboratoire. Enfin des tests de terrain proches des conditions de pratique quotidienne des cyclistes ont été menés.

**Mots clés :** Cyclisme, plateau ovoïde, plateau o'symetric, pattern pédalage, tests physique,

**Abstract :** In 1993, an inventor, JL Talo, marketed o'symetric chainring. They are part a new wave of non-circular chainring. After many kilometers, they made about them in 2012 finishing 1 and 2 of the Tour de France and the Olympic Games time trial. Finally, field tests in daily practice conditions cyclists were conducted. The impact of o'symetric chainring is not clearly defined. This study was conducted to know the real impact of these chainring on performance. It has an innovative approach never conducted in the literature, with an analysis of the pattern of pedaling. To complete the laboratory analysis measurement, EMG and accelerometry were carried.

**Key Words:** Cycling, non circular chainring, o'symetric, pattern pedaling, cycling performance