

# OPTIMISATION DU BRAQUET EN CYCLISME SUR PISTE

**Author:** Christophe Clanet<sup>1</sup> [clanet@ladhyx.polytechnique.fr](mailto:clanet@ladhyx.polytechnique.fr)  
**Co-auteur:** Caroline Cohen, Emmanuel Brunet, Romain Labbé, Jean-Philippe Bouchet, Hector Abel1<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Ecole polytechnique

Conférence Sciences<sup>2024</sup>, saison 2021

<https://sciences2024.polytechnique.fr>

May 28, 2021

**Mots clés:** Dynamique de course, relation force-vitesse, optimisation homme-machine

## 1 Introduction

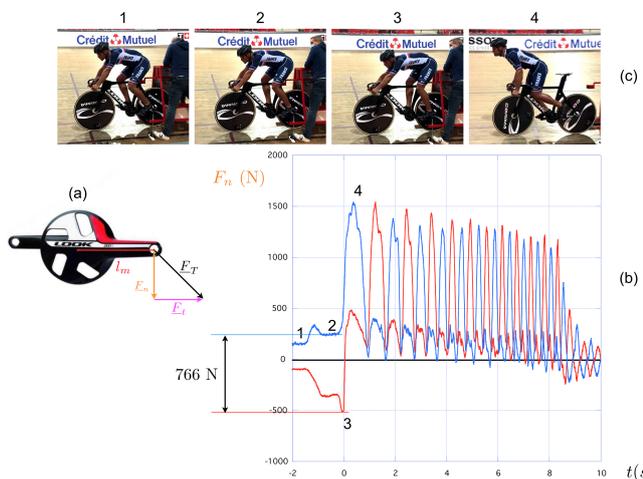


Figure 1: (a) Pédalier ZED de Look montrant la décomposition de la force totale exercée par le cycliste  $F_T$  en une composante normale  $F_n$  et une tangente  $F_t$ . (b) Evolution temporelle de la force normale  $F_n$  pour chacune des jambes: la gauche est en rouge et la droite est en bleu. (c) Position du cycliste à différents instants indiqués par 1,2,3,4 à la fois sur (b) et (c).

Les courses en cyclisme sur piste se divisent en deux catégories, les courses de sprint avec une distance  $D$  inférieure à 1 km et les courses d'endurance avec des distances  $D$  qui vont de 3 km à 50 km [1]. Les courses de sprint comprennent le sprint individuel, le sprint par équipe, le contre-la-montre et le Keirin alors que les courses d'endurance sont composées de poursuite individuelle, de poursuite par équipe, de la course aux points, de la Madison, du scratch et de l'Omnium.

Le départ arrêté est utilisé dans quatre épreuves différentes, deux en sprints (sprint par équipe et contre-la-montre) et deux en endurance (poursuite individuelle et poursuite d'équipe). Pour ces courses, les questions du départ et de la phase d'accélération sont cruciales [2]. L'utilisation de capteurs de couple ou de pédales instrumentées [3], ont permis d'étudier

plusieurs caractéristiques du départ arrêté dont la longueur de la manivelle [4] ou encore la position initiale de la pédale [5].

Ici, nous nous concentrons sur la question du braquet optimal. En effet, toutes les disciplines se pratiquent avec des braquets fixés (pas de changement de vitesse) ce qui implique que pour une course de distance fixée, le coureur doit pré-sélectionner le braquet qui va lui permettre de minimiser le temps.

## 2 Méthode utilisée

Le dispositif expérimental est présenté à la figure 1: Un sprinter de l'équipe de France est initialement immobile dans la cage Swiss Timing qui est le dispositif UCI utilisé pour les départs arrêtés dans les compétitions internationales. Après un décompte de 12 secondes, les mâchoires qui retiennent la roue arrière du vélo s'ouvrent et le cycliste s'élanche (1-(c)). Le vélo est équipé d'un pédalier ZED dont chacune des manivelles a été instrumentée par Phyling ce qui permet de récupérer les forces normales à 200 Hz (1-(a)). Comparée à la gamme 1-2 Hz de la cadence de pédalage, cette fréquence d'acquisition est élevée ce qui permet avec plus de 100 points par cycle d'avoir une bonne évaluation des forces instantanées. Un exemple d'enregistrement est présenté sur la figure 1-(b).

## 3 Résultats obtenus

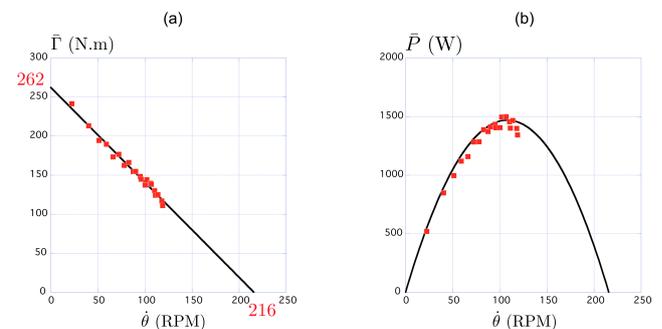


Figure 2: (a) Evolution du couple moyen par cycle en fonction de la cadence. (b) Evolution de la puissance moyenne par cycle en fonction de la cadence.

L'acquisition haute fréquence permet de moyennner par cycle de pédalage. On présente sur la figure 2 l'évolution du couple moyen exercé par le cycliste sur les manivelles (a) et la puissance correspondante (b).

La figure 2-(a) montre que le couple diminue linéairement avec la cadence, ce qui est une caractéristique générale de la biomécanique humaine [6, 7, 8, 9]. La puissance moyenne correspondante a un comportement parabolique avec un maximum de l'ordre de 1500 W obtenu pour une cadence de l'ordre de 105 RPM.

## 4 Modèles

L'équation du mouvement du pistard s'obtient en décrivant l'évolution de l'énergie mécanique:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} M V_G^2 + Mgz \right) = P_m(t) - P_f(t) \quad (1)$$

où  $M = M_c + M_v$  est la masse totale du système cycliste+vélo,  $V_G$  la vitesse du centre de masse,  $z$  son élévation dans le vélodrome,  $P_m(t)$  la puissance musculaire à l'instant  $t$  et  $P_f(t)$  la puissance dissipée par friction au même instant. Lorsqu'il reste à la noire ( $z = cte$ ) cette équation se simplifie et l'on peut utiliser la variation linéaire du couple mesurée sur la figure 2 pour obtenir une equation différentielle pour  $V_G$ :

$$\frac{d}{ds} \left( \frac{1}{2} M V_G^2 \right) = \frac{\Gamma_{max}}{GR} \left( 1 - \frac{V_G}{RG\dot{\theta}_{max}} \right) - \frac{1}{2} \rho S C_D V_G^2 - \mu M g \quad (2)$$

où  $s$  est la coordonnée curviligne et  $G$  le braquet. Dans cette equation, les deux derniers termes représentent respectivement la friction aérodynamique et la friction de roulement pneu-sol. Pour un  $G$  donné cette équation peut être résolue numériquement de  $s = 0$  jusqu' à la distance de la course  $s = D$  ce qui permet d'obtenir le temps de la course  $T_{course}(G) = \int_{s=0}^{s=D} ds/V(s)$ . L'évolution  $T_{course}(G)$  en fonction du rbraquet est présentée sur la figure 3 pour  $D = 250$ m (en rouge) et  $D = 100$ m (en bleu). Dans les deux cas, il existe un braquet optimal  $G_{opt}$  qui minimise  $T_{course}$  et dont on observe une augmentation avec la longueur de la course:  $G_{opt} = 2,45$  pour  $D = 100$ m m et  $G_{opt} = 3,18$  pour  $D = 250$ m.

## 5 Conclusion et perspectives

En utilisant une mesure haute fréquence des forces exercées sur les manivelles, nous mesurons la relation force-vitesse lors d'un départ arrêté et utilisons la loi trouvée pour en déduire, via l'équation du mouvement du cycliste dans le vélodrome, le braquet optimal. Les résultats présentés sont obtenus sur des courses courtes et doivent maintenant être étendus à des course longues dans lesquelles la fatigue devra être prise en compte ainsi que la transition danseuse-assis.

## 6 Remerciements

Nous remercions Florian Grengbo et son entraîneur Herman Terryn de nous avoir permis de participer à leur séance d'entraînement. Nous remercions également

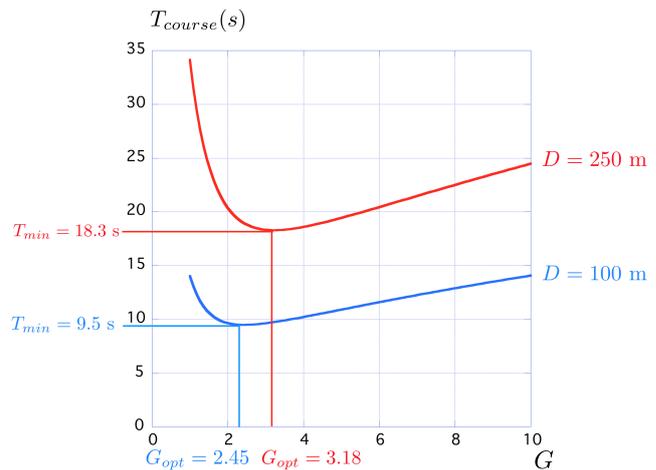


Figure 3: Evolution du temps de course  $T_{course}$  en fonction du braquet  $G$  pour deux distances de course différentes  $D = 100$ m en bleu et  $D = 250$ m en rouge.

William Denise et Cyrille Perrin pour le soutien mécanique qu'ils ont apporté lors des expériences. Nous remercions enfin François Xavier Gerbeaux et Laurent Lanquetin d'avoir permis à Hector Abel de participer à cette étude lors de son doctorat à SEGULA Technologies

## References

- [1] N.P. Craig and K.I. Norton. Characteristics of track cycling. *Sports Med*, 31(7):457–468, 2001.
- [2] C. Jansen and J. McPhee. Predictive dynamic simulation of olympic track cycling standing start using direct collocation optimal control. *Multibody Syst Dyn*, 49:53–70, 2020.
- [3] P. Barratt. Srm torque analysis of standing starts in track cycling. *The Engineering of Sport*, 7:443–448, 2009.
- [4] J. Martin and W. Spirduso. Determinants of maximal cycling power: Crank length, pedaling rate and pedal speed. *European journal of applied physiology*, 84:413–418, 05 2001.
- [5] J. Padulo, G. Laffaye, W. Bertucci, A. Chaouachi, and D. Vigi-giano. Optimisation of starting conditions in track cycling. *Sport Sci Health*, 05 2014.
- [6] A. J. Sargeant, E. Hoinville, and A. Young. Maximum leg force and power output during short-term dynamic exercise. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol*, 51:1175–1182, 1981.
- [7] H. Vandewalle, G. Peres, J. Heller, J. Panel, and H. Monod. Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol*, 56:650–656, 1987.
- [8] S. Dorel, C. A. Hautier, O. Rambaud, D. Rouffet, E. Van Praagh, J.-R. Lacour, and M. Bourdin. Torque and power-velocity relationships in cycling: Relevance to track sprint performance in world-class cyclists. *Int J Sports Med*, 26:739–746, 2005.
- [9] J.R. Rivière, N. Peyrot, M. Cross, L. Messonnier, and P. Samozino. Strength-endurance: Interaction between force-velocity condition and power output. *Frontiers in Physiology*, 11:1237, 2020.