

# Stratégies optimales de vitesse en course cycliste

## Stratégies optimales en cyclisme lors d'une course de côte

Le cycliste est soumis à des contraintes, aussi bien environnementales que physiologiques, qui influencent le choix de sa vitesse tout au long d'un parcours pour atteindre l'arrivée le plus efficacement possible.

Etant intéressé par le cyclisme et après avoir visionné une conférence sur l'optimisation de la performance dans le sport, j'ai voulu étudier comment un cycliste, lors d'une course de côte, pouvait tirer le maximum de son potentiel uniquement en régulant sa vitesse, sans aide extérieure de type alimentaire ou matérielle.

### Positionnement thématique (étape 1)

*PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées).*

### Mots-clés (étape 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Cyclisme</i>	<i>Cycling</i>
<i>Optimisation</i>	<i>Optimization</i>
<i>Variation de vitesse</i>	<i>Pacing variation</i>
<i>Profil topographique</i>	<i>Gradient</i>
<i>Energie anaérobie</i>	<i>Anaerobic energy</i>

### Bibliographie commentée

Les disciplines sportives constituent pour les scientifiques un terrain de jeu très récent sur lequel ils peuvent s'aventurer. Le cyclisme est en particulier représentatif de ce regain d'intérêt : les industriels développent des vélos toujours plus légers et l'entraînement tend à s'adapter à chaque individu. Améliorer sa performance, c'est en effet d'abord connaître ses capacités mais aussi ses limites, et donc être capable d'identifier les paramètres qu'il est possible d'optimiser.

Le sport supposant le mouvement, le principe fondamental de la dynamique fournit la première équation régissant le comportement du cycliste. Il s'agit ainsi de déterminer les forces qui s'opposent à son avancée. Di Prampero [1], en s'appuyant sur des faits d'expérience réalisées en extérieur, décrit la force de frottement solide qui s'exerce entre la roue et la route et s'intéresse à l'évolution de la résistance aérodynamique en fonction de la pression et de la température. Il obtient ainsi, sous réserve que la vitesse soit constante, une relation très simple entre la puissance développée par le cycliste et sa vitesse.

Toutefois, si les lois de la mécanique peuvent s'appliquer aussi bien à un humain qu'à une machine, force est de constater que l'homme ne dispose pas de ressources énergétiques infinies. Keller [2], en s'intéressant fondamentalement à la course à pied en 1973, est ainsi le premier à proposer une modélisation simple, intuitive mais non moins efficace fondée sur la conservation de l' "énergie" du

sportif. Sa recherche lui permet de trouver, sur des distances en deçà du kilomètre, la vitesse qu'il faut avoir à chaque instant pour parcourir le plus vite possible une distance donnée. Ce travail pionnier, qui concorde alors avec les records d'athlétisme de l'époque, est ensuite approfondi par divers physiciens. Sundstrom et Carlsson [3] précisent entre autres le concept d' *"énergie"* dont parlait Keller [2] en séparant clairement l'énergie anaérobie et l'énergie aérobie au moyen d'une analogie hydraulique parlante.

Dès lors, avec ces premières tentatives de couplage mécanique et énergétique, des mathématiciens essaient d'utiliser le calcul des variations et la théorie du contrôle optimal pour aider les athlètes à battre des records. Ambitieux, Woodside [4] se propose de prolonger l'étude de Keller [2] sur la course à pied sur des distances qui dépassent alors la dizaine de kilomètres et innove en compliquant encore davantage le modèle énergétique en considérant un terme de fatigue lié à l'énergie aérobie, par ailleurs corroboré par la réalité. Quatre ans plus tard, Maronski [5] lui emboîte le pas sur le vélo mais s'intéresse à un problème double : minimiser l'énergie dépensée compte-tenu d'un temps donné ou réciproquement minimiser le temps compte tenu d'une quantité d'énergie puisqu'il prouve que les deux problèmes sont équivalents.

Aujourd'hui, les progrès techniques en soufflerie ou sur ergomètre ont rendu encore plus simple la détermination de ces forces résistives [6] et l'équipe de Hanon [7] a permis d'obtenir des valeurs énergétiques très fiables. Ces expériences récentes, couplées aux données de sportifs professionnels sont très pratiques pour affiner les simulations. C'est ainsi que l'équipe de Dahmen, Wolf et Saupe [8] parvient, malgré un modèle simplifié, à esquisser des commandes optimales en vitesse pour un cycliste en fonction notamment du profil topographique. Cependant, en 2014, Aftalion, Bonnans [9] et Fiorini [10] vont encore plus loin et proposent enfin une modélisation inédite sur la course à pied en envisageant la possibilité de *"recréer de l'énergie"* lors d'un ralentissement, alors qu'elle était auparavant toujours considérée décroissante. Leurs travaux démontrent rigoureusement à l'aide d'outils sophistiqués (tels que le principe du maximum de Pontryagin) qu'une gestion de vitesse optimale passe par des phases périodiques d'accélération-décélération.

## **Problématique retenue**

Pendant une course de côte, à partir de paramètres environnementaux comme la pente et les frottements et de contraintes physiologiques telles que la capacité respiratoire, je me propose d'étudier comment le cycliste peut choisir une stratégie optimisée lui permettant d'atteindre le plus rapidement possible l'arrivée sans tomber de fatigue.

## **Objectifs du TIPE**

- Proposer une modélisation couplée, mécanique et physiologique, du comportement du cycliste prenant en compte les paramètres essentiels pour une course de côte, obtenus à l'aide d'expériences en extérieur ou grâce à des données de sportifs professionnels.
- Etudier plusieurs commandes de vitesses sous certaines hypothèses supplémentaires, programmer à l'aide de Python les algorithmes de recherche optimale, discuter de leur pertinence et comparer les solutions théoriques à des relevés d'expériences réelles.

- Envisager qualitativement l'utilité concrète de tels résultats à travers la durée de vie de la batterie du vélo à assistance électrique ou d'une application de suivi d'entraînement.

## Abstract

The purpose of this paper is to determine at any given moment the local and optimal velocity of a cyclist that minimises the total time of ascent taking into account the evolving gradient of the slope and considering the finite energy level of the cyclist. After having established a coupled model of the athlete's behaviour based on Newton's second law and the conservation of energy, some simulations realized on Python return the optimal profile of pacing and are compared to effective races. According to the behaviour wished, the optimal velocity is either constant or changing with a pseudo-periodic pattern.

## Références bibliographiques

- [1] P.E DI PRAMPERO, G. CORTILLI : Equation of motion of a cyclist : *Journal of Applied Physiology*, volume 47-1 (1979), pages 201 à 206
- [2] JOSEPH KELLER : A theory of competitive running : *Physics Today*, volume 26-9 (1973), pages 42 à 47
- [3] DAVID SUNDSTROM, PETER CARLSSON : A four compartment-model on human exercise bioenergetics : *Procedia Engineering*, volume 112 (2015), pages 4 à 9
- [4] WILLIAM WOODSIDE : The optimal strategy for running a race (a mathematical model for world records from 50 m to 275 km) : *Mathematical and Computer Modelling*, volume 15-10 (1990), pages 1 à 12
- [5] RYSZARD MARONSKI : On optimal velocity during cycling : *Journal of Biomechanics*, volume 27-2 (1994), pages 205 à 213
- [6] P. DEBRAUX : Méthodes de l'évaluation de l'aérodynamisme en cyclisme, consulté le 16 novembre 2016 : <http://www.sci-sport.com/dossiers/002.php>, *Sciences du sport*, 2012, consulté le 16 novembre 2016
- [7] CHRISTINE HANON, CLAIRE THOMAS : Pacing strategy and VO<sub>2</sub> kinetics during a 1500-m race : *International journal of sports medicine*, volume 29-3 (2008), pages 206 à 211
- [8] THORSTEN DAHMEN, STEFAN WOLF, DIETMAR SAUPE : Applications of Mathematical Models of Road Cycling : *IFAC Proceeding Volumes*, volume 45-2 (2012), pages 804 à 809
- [9] AMANDINE AFTALION, FRÉDÉRIC BONNANS : Optimization of running strategies based on anaerobic energy and variations of velocity : *SIAM Journal of Applied Maths*, volume 74-5 (2014), pages 1615 à 1636
- [10] CAMILLA FIORINI : Optimization of running strategies according to the physiological parameters for a two-runners model : *Bulletin of Mathematical Biology*, 2016