

Contexte

Dans le sport, plus encore dans le cyclisme d'endurance, la puissance de l'athlète et la dépense énergétique sont deux concepts clés. En effet, lors du Tour de France, un athlète consomme en moyenne 6000 à 9000 kcalories (soit 25104 à 37656 kJ) pour finir une étape, soit l'énergie consommée par un moteur de 3,5CV d'une tondeuse à gazon pendant une heure.

Comme les athlètes ne disposent pas de ressources énergétiques illimitées, on peut considérer que celui qui gagne la course est celui qui gère le mieux son effort et sa dépense énergétique. Afin d'améliorer encore les performances, il est intéressant de voir quels paramètres pourraient être optimisés dans le cyclisme.

I. La puissance du cycliste

Pour se mouvoir dans l'espace, un cycliste doit inévitablement développer une certaine puissance et ce via ses pédales.

- Mais du fait de son mouvement, il doit vaincre 3 types de forces résistantes :
- la pesanteur (R_G),
 - une force résistante due à l'interaction pneu/route (R_R), la résistance au roulement,
 - une force résistante due à l'aérodynamique du cycliste (R_A), la traînée.



Figure 1 – Forces appliquées au cycliste

- (1) $R_G = m \times g \times \sin \theta$
- (2) $R_R = C_R \times m \times g$ avec
- (3) $C_R = 0.1071 \times P^{-0.477}$
- (4) $R_A = 0.5 \times \rho \times A_p \times C_D \times V_f^2$

m : masse du système [cycliste+vélo] [kg]
 ρ : masse volumique de l'air ambiant [kg/m³]
 A_p : surface du cycliste face au vent
 V_f : vitesse du fluide autour du corps du cycliste[m/s]
 C_D : coefficient de traînée
 P : pression des pneus [kPa]
 θ : angle de la route / horizontal

Les équations (1,2,3,4) permettent de tracer les courbes iso puissances. Pour une puissance développée par le coureur et pour une pente donnée, la vitesse du coureur peut ainsi être prédite.

Cependant, pour développer une certaine puissance, un coureur peut choisir de pédaler rapidement ou bien de développer un fort couple en modifiant son braquet. Grâce à des tests spécifiques, il est intéressant de tracer le profil Puissance/Force-Vitesse pour déterminer l'habileté du coureur à développer un grand couple ou une grande fréquence de pédalage.

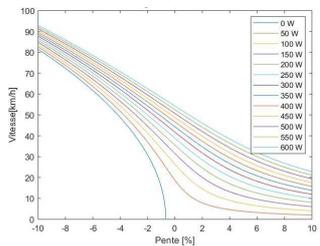


Figure 2 – Iso puissances du cycliste sur route

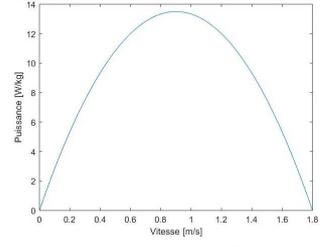


Figure 3 – Profils Puissance-Vitesse et Force-Vitesse d'un coureur

II. Fréquence de pédalage

L'un des paramètres les plus étudiés pour augmenter les performances en cyclisme est l'optimisation de la fréquence de pédalage. En effet, de nombreuses études visaient à déterminer le taux de pédalage le plus efficace pour développer une certaine quantité de puissance. Dans Bieuzen et al. (2007) [1], les chercheurs ont établi plusieurs paramètres pour déterminer la cadence optimale, tels que l'absorption d'oxygène VO₂ [ml.min⁻¹.kg⁻¹] ou le signal électromyographique de surface intégré iEMG, qui illustre la contraction des muscles étudiés: le vaste latéral et le biceps fémoral.

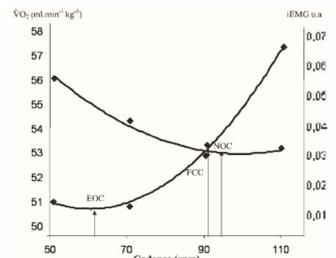


Figure 4 – Optima physiologiques et cadence préférée dans la population expérimentale – réf: BIEUZEN, ET AL. 2007 [1]

La cadence optimale (EOC) lors de cette étude était d'environ **63,5 tr/min** et est liée à la charge maximale supportée par le cycliste. Cependant la cadence préférée et celle qui optimise l'EMG (resp. FCC et NOC) sont autour de 90 tr/min. D'après les auteurs de l'article, la valeur de l'EOC est intimement liée à la force de l'athlète et à sa capacité à solliciter ses fibres musculaires. En effet chez les cyclistes à grande capacité de contraction, **une faible cadence** leur permet de solliciter majoritairement les **fibres de type 1**, ce qui est plus efficace énergétiquement.

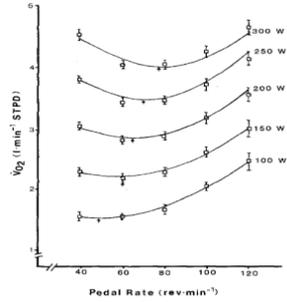


Figure 5 – Comparaison de la consommation en oxygène (VO₂) pour différentes puissances de sortie – réf: COAST AND WELCH 1985 [2]

Une autre étude développée par Coast and Welch (1985) [2] permet de comprendre l'évolution de la fréquence de pédalage optimale en fonction de la puissance développée. **Plus la puissance développée est importante, plus la cadence optimale est grande.** Cependant le domaine des fréquences de pédalage qui minimisent la dépense énergétique est toujours dans l'intervalle [60;80] tr/min.

IV. Autres paramètres optimisant la dépense énergétique du cycliste

Les deux paramètres principaux qui peuvent être optimisés en cyclisme sont la **fréquence de pédalage** et la **longueur du pédalier**, mais d'autres paramètres tels que l'**angle de selle**, la **hauteur de l'assise** et la **position longitudinale du pied** sur la pédale sont des paramètres importants qui influent sur le coût énergétique du pédalage.

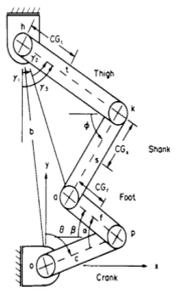


Figure 7 – Modèle de Gonzalez et Hull 1989 [5]

Pour déterminer un ensemble de cinq paramètres optimal pour la dépense énergétique du cycliste, **Gonzalez et Hull (1989) [5]** ont développé un modèle cinématique : une liaison à cinq barres contraintes en mouvement dans le plan visant à reproduire le mouvement de pédalage. En utilisant des résultats expérimentaux (tailles, moments d'inerties des membres etc.) et la simulation numérique du modèle, ils ont pu déterminer l'ensemble des cinq paramètres énergétiquement optimaux pour trois coureurs pour une puissance demandée de 200W.

Le critère d'optimisation à minimiser était le MCF, Moment Cost Function défini par :

$$(6) MCF = \sum_{i=1}^N [M_{gi}^2 + M_{hi}^2]$$

N : nombre de points simulés
 M_{gi} et M_{hi} sont les moments dans les genoux et les hanches

Au niveau des résultats, les angles de selles étaient compris entre **73,2°** (plus grand coureur) et **78,3°** (plus petit coureur), les hauteurs de l'assise étaient proportionnelles à la taille du cycliste (entre 0,737m et 0,876m). La longueur de manivelle optimale était de **140 mm**.

III. La longueur de la manivelle

Un autre paramètre important dans l'optimisation de l'énergie du cycliste est la longueur de la manivelle. En effet celle-ci influe sur le couple transmis par le cycliste à la roue arrière mais aussi sur la posture de l'athlète.

De nombreuses études ont essayé de prouver que la longueur optimale de manivelle était proportionnelle à la taille du sportif. Cependant selon Sanderson et Sprules [3], la longueur de **170 mm** utilisée comme standard dans l'industrie est suffisante.



Figure 6 – Illustration de la manivelle

Néanmoins, même si le bénéfice est limité, une longueur optimale de la manivelle peut être calculée grâce à la formule de **Too et Williams [4]** en fonction de la longueur de jambe et la longueur de jambe basse (du genou à la cheville) du cycliste :

$$(5) L_{manivelle} = 238 - 0.25 \times L_{jamb} + 0.3 \times L_{genou_talon}$$

Conclusion

L'optimisation énergétique du coureur cycliste est un sujet complexe car elle repose sur de nombreux paramètres, notamment la **fréquence de pédalage**, la **longueur de la manivelle**, l'**angle de selle**, la **hauteur de l'assise** et la **position du pied** sur la pédale. Cet ensemble de paramètres doit être optimisé en fonction de la taille globale et de la taille des membres inférieurs de l'athlète, ainsi que de la puissance à développer.

Certaines tendances méritent d'être soulignées: il faut privilégier les **cadences les plus basses**, entre **60 et 90 tr/min** mais plus la demande de puissance est élevée, plus la cadence optimale est élevée. En outre, plus le cycliste est grand, plus la longueur de la manivelle est longue, ce qui doit généralement être compris entre **120 et 160 mm**. L'**angle de selle** optimale est d'environ **75°** mais doit être adapté en fonction de la taille du cycliste.

Références

[1] Bieuzen F, Vercruyssen F, Hausswirth C, et al. Relationship between Strength Level and Pedal Rate. Int. J. Sports Med. 2007; 28: 585-589.
 [2] Coast J and Welch H. Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. Eur. J. Appl. Physiol. 1985; 53: 339-342.
 [3] Sanderson D, and Sprules E. The Biomechanical Effects of Crank Arm Length on Cycling Mechanics. Report, University of British Columbia, Canada, n.d.
 [4] Too D and Williams C. Determination of the optimal crank arm length to maximize peak power production in an upright cycling position. Report, The College at Brockport, USA, n.d.
 [5] Gonzalez H and Hull M. Multivariable Optimization of cycling biomechanics. J. Biomech. 1989; 22: 1151-1161.