

Biomécanique

- Le pédalage -

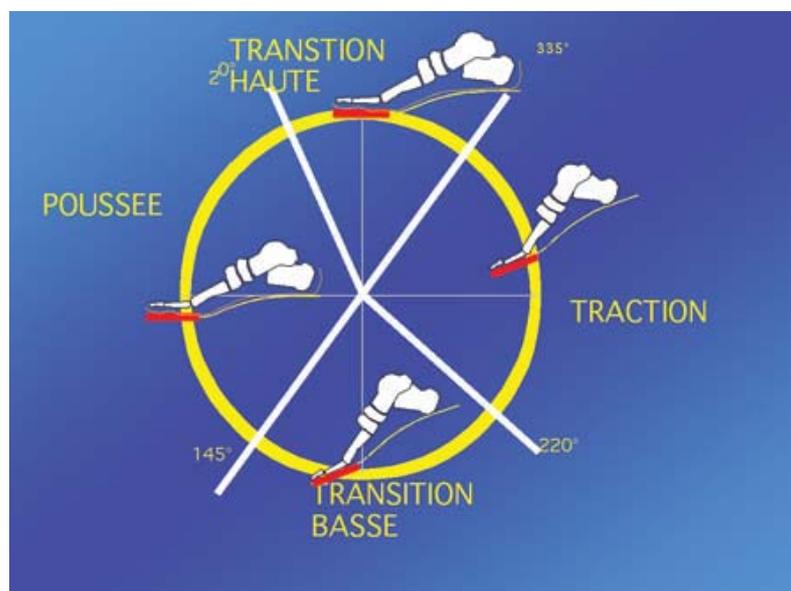
Sources : Pratique du cyclisme. Peter Konopka, Paris, Vigot, 1987.
Cyclisme et optimisation de la performance. F.Grappe, De Boeck, Paris, 2005.
Cyclisme et performance, G.Haushalter, Chiron, Paris, 1990.
La biomécanique en cyclisme. Biologie et médecine du sport, FFC, Paris, 1994.
Site Internet : http://www.msport.net/newSite/index.php?op=aff_article&id_article=606

Il ne suffit pas d'appliquer une force importante sur les pédales (dimension bioénergétique), il faut aussi l'orienter efficacement (dimension biomécanique et technique) sans quoi il existe une perte de travail mécanique. Comme le mouvement de pédalage est répété des milliers de fois lors d'une compétition qui peut s'étendre jusqu'à 6-7 heures d'effort, l'efficacité du pédalage entretient des relations avérées avec le niveau de fatigue générale et musculaire. La technique de pédalage (le « coup de pédale ») contribue donc fortement à la performance en cyclisme, et mérite à ce titre de faire l'objet d'un processus d'optimisation.

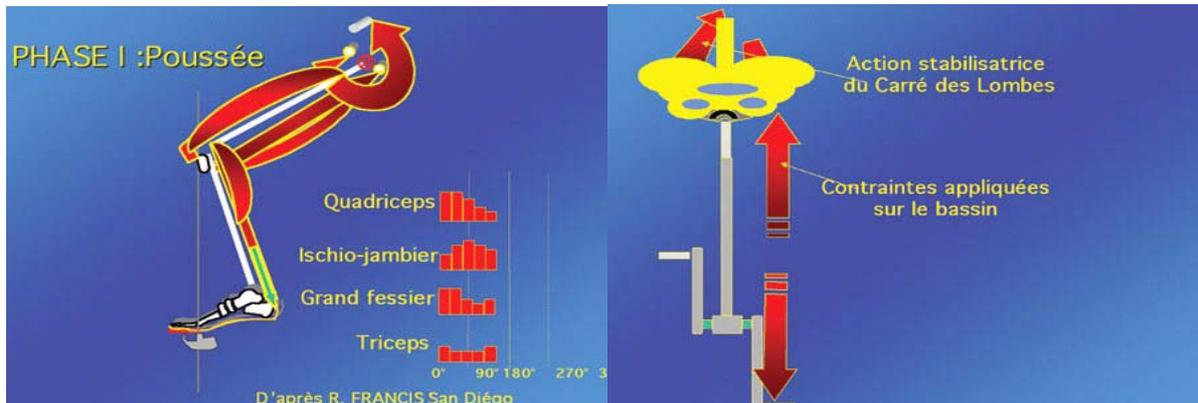
I. Analyse

Le mouvement idéal serait celui qui consisterait à faire varier constamment en direction la force exercée sur la pédale, de façon qu'elle soit à chaque instant perpendiculaire à la manivelle (en physique, une force qui agit sur un levier est plus efficace lorsqu'elle agit perpendiculairement à cet levier). Le mouvement de pédalage est beaucoup plus complexe que ce qu'une analyse superficielle pourrait laisser supposer. Le pédalage est une véritable habileté motrice, dont la maîtrise conditionne l'efficacité du déplacement à vélo (c-a-d la combinaison de l'efficacité et de l'économie).

Le mouvement de pédalage est artificiellement décrit en 4 phases qui s'enchaînent les unes aux autres. Les études biomécaniques soulignent l'aspect dynamique (c-a-d participant à la propulsion) de ces 4 phases : on ne parle plus de point mort bas ou haut, mais de zones de moindre efficacité (ou zones de transition). Pour autant, le cycle de pédalage permet, pour chaque groupe musculaire, l'alternance de phases de travail et de récupération.



Phase 1 (de 20 à 145°) = phase de poussée. C'est la plus rentable sur le plan biomécanique et la plus instinctive. La phase de poussée correspond à une extension active de la hanche essentiellement grâce au moyen et au grand fessier, associée à une extension active du genou par le quadriceps. Durant la phase de poussée, le bassin doit être fixé par des stabilisateurs (abdominaux, carré des lombes).

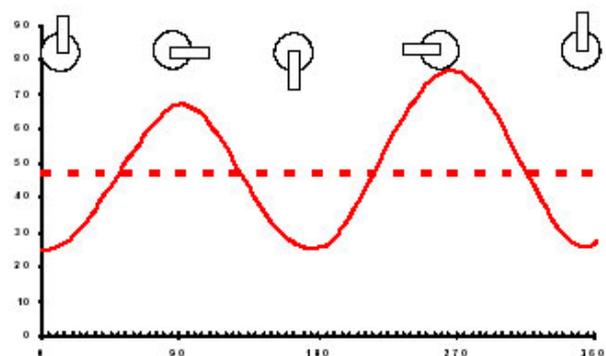


Phase 2 (de 145° à 220°) = phase de transition basse. Elle assure la transition entre la phase de poussée et la phase de traction. L'extension de hanche se poursuit, mais est maintenant associée à un début de flexion active du genou. L'action des ischio-jambiers et du triceps est prépondérante pour conserver l'énergie cinétique accumulée lors de la phase de descente de la pédale. La cheville est en flexion plantaire de quelques degrés. Cette phase doit s'enchaîner de la façon la plus souple et coordonnée avec la phase qui la précède et celle qui la suit.

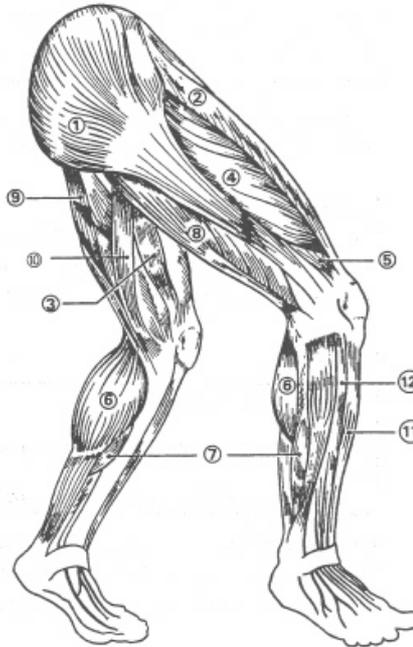
Phase 3 (de 220° à 325°) = phase de traction. C'est la phase la moins instinctive du pédalage. La traction n'est possible que sur les vélos équipés de cale-pieds ou mieux, de pédales automatiques. Elle est réalisée par une flexion active de hanche et de genou. La flexion de hanche est due à l'action du psoas iliaque, du couturier et des muscles abdominaux. La flexion de genou est essentiellement due aux ischio-jambiers, qui se contractent de façon concentrique. C'est une phase de relâchement et de récupération pour le quadriceps et le triceps et tout le segment jambier (on ne retrouve quasiment aucune activité musculaire au-dessous du genou). Cette traction se déroule alors que le membre inférieur controlatéral est en phase de poussée. Comme pour la phase 1, il est essentiel que le bassin constitue un point fixe. Les muscles stabilisateurs du bassin (abdominaux, carrés des lombes, etc.) sont donc sollicités.

Phase 4 (325° à 20°) = phase de transition haute. Elle permet de remettre le membre inf. en position de poussée. C'est la seule phase où interviennent les releveurs du pied. Elle consiste à faire tourner la manivelle avec flexion dorsale du pied comme si la pointe du pied donnait un « coup de pied ».

Graphes de transmission des forces au cours du cycle de pédalage



	HANCHE	GENOU	CHEVILLE
EXTENSION	MOYEN FESSIER	LES QUADRICEPS : • droit antérieur ② • vaste interne ③ • vaste externe ④ • crural ⑤	MUSCLES DES "MOLLET" TRICEPS SURAL • 2 jumeaux ⑥ • solaire ⑦
	GRAND FESSIER ①		
FLEXION	PSOAS ILIAQUE	LES ISCHIOS-JAMBIER • biceps crural ⑧ • demi-membraneux ⑨ • demi-tendineux ⑩ • couturier ⑪	• jambier antérieur ⑫ • extenseurs des orteils



II. Coordination, efficacité et indice d'efficacité du pédalage

Lors du pédalage, si le membre en flexion repose passivement sur la pédale, alors il se crée un couple moteur résistant lors de la phase de remontée de la pédale contre lequel le membre qui pousse en phase de descente doit lutter. En d'autres termes, un travail supplémentaire est réalisé par le membre qui pousse sur la pédale. Les non spécialistes de l'activité exploitent surtout la 1^{ère} phase (phase d'appui) et laissent inconsciemment leur jambe arrière en appui sur la pédale qui remonte. Cela représente une perte d'énergie considérable vu le poids d'un membre inférieur (une dizaine de kilos).

Remarque : l'exploitation optimale des quatre phases est fortement dépendante du matériel employé, et notamment de pédales automatiques ou de cales pieds. Depuis la fin des années 80 on a constaté une accélération de l'évolution du matériel. Au chapitre des révolutions, on retrouve l'apparition des pédales automatiques qui ont permis de solidariser le pied à la pédale sans altérer la liberté du pied et de la cheville. Les avantages sont multiples :

- plus de sécurité (déchaussage rapide) ;
- plus de rendement (efforts de tractions sur la pédale facilités) ;
- plus de confort (plus besoin de serrage des sangles de cale-pieds).

La coordination des quatre phases va conditionner l'efficacité du geste de pédalage, c'est à dire son rendement. Cette efficacité se mesure par l'indice d'efficacité du pédalage (IEP) qui correspond au ratio entre la force efficace F_u , perpendiculaire à la manivelle, et la force résultante F_r . Comme le geste est répété des milliers de fois, les gains, même lorsqu'ils sont minimes, peuvent faire la différence entre des sujets possédant des qualités bioénergétiques et mentales comparables. Un bon rendement permet une diminution du coût énergétique (= de la consommation d'oxygène), et une épargne musculaire qui peut être décisive dans les derniers kilomètres. Le geste de pédalage n'est donc pas un geste frustré, mais un geste complexe, qui peut faire l'objet d'une optimisation par l'apprentissage et l'entraînement : il existe une efficacité technique du pédalage !

Des études ont montré que l'habileté à diriger la force de manière optimale sur la pédale diminue de façon constante lorsque la fréquence de pédalage augmente. Cette diminution de l'efficacité avec le rythme de pédalage provient de difficultés de coordination gestuelle : le muscle ne parvient plus à se relâcher et à se contracter assez rapidement. Dès lors, la jambe qui remonte et son poids exercent une force frénatrice contre laquelle la jambe qui descend doit lutter. On comprend alors l'intérêt de l'entraînement pour améliorer le timing d'application de la force sur la pédale grâce à une meilleure technique de pédalage permettant d'optimiser la direction et la magnitude de la force efficace (F_u).

En revanche, d'autres études ont montré que l'IEP augmentait de manière significative avec la force développée sur la pédale. Réciproquement, il est plus difficile de diriger la force de manière optimale sur les pédales lorsque la puissance est faible.

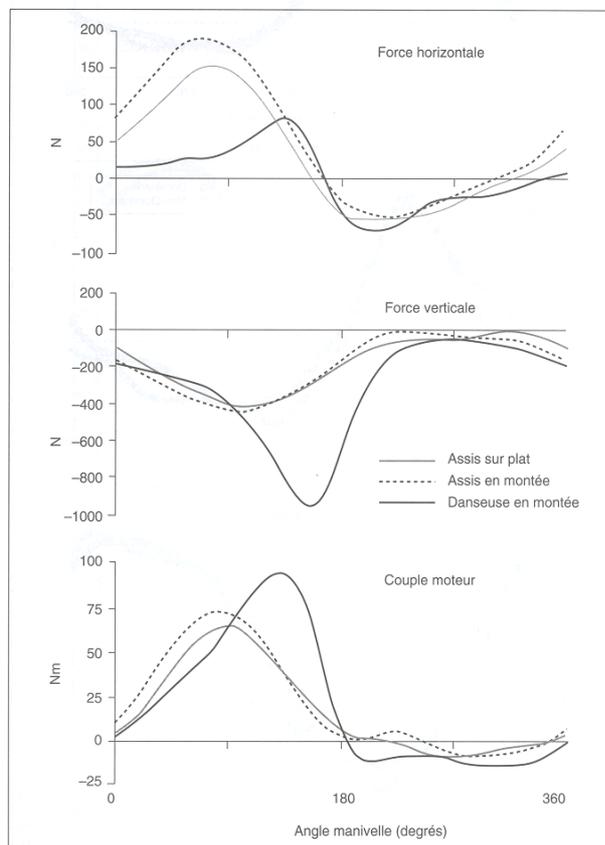
III. Pédalage assis et pédalage en danseuse

Les positions assises et en danseuse génèrent des patterns de pédalage complètement différents avec des couples de force décalés en fonction de l'angle de la manivelle. De plus, le pédalage en montée semble générer des patterns différents comparés à ceux sur le plat.

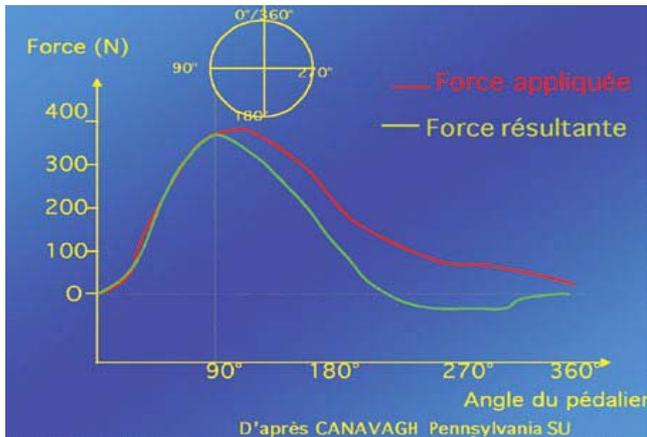
	Assis sur le plat	Assis en montée	Danseuse en montée
Pic de la force résultante (N)	438 ± 68	480 ± 73	965 ± 190
Angle de manivelle (°)	107 ± 13	101 ± 9	155 ± 9
Pic du couple (N.m)	68 ± 12	77 ± 11	101 ± 13
Angle de manivelle (°)	94 ± 7	86 ± 7	131 ± 9

Tableau 8.1

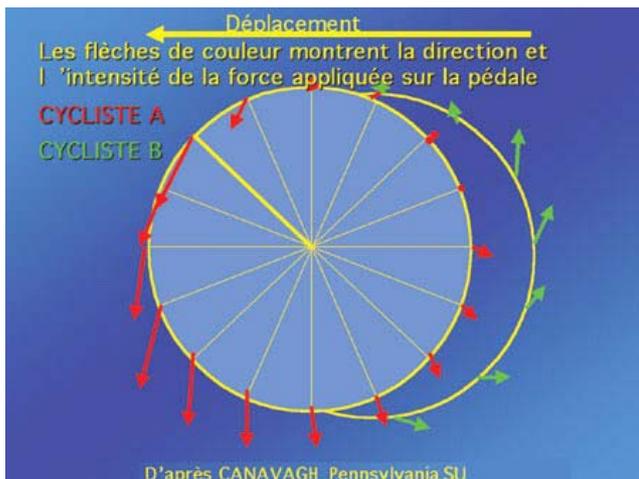
Données cinématiques et cinétiques sur le pattern de pédalage dans différentes positions (2)



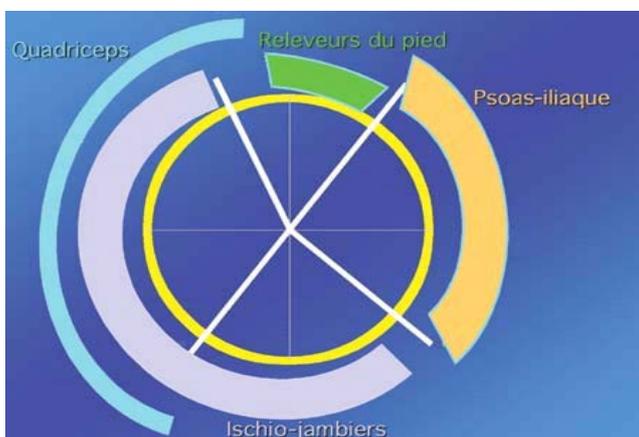
Remarques : lorsque le cycliste applique une force sur la pédale, seule la composante tangentielle à la trajectoire de la pédale est rentable. Les autres composantes sont perdues. Canavagh a étudié l'application des forces sur les pédales lors d'un cycle de pédalage et mis en évidence une différence entre la force appliquée par le cycliste et la composante utile de cette force. Le diagramme suivant montre cette différence :



On note que la phase de poussée est très rentable sur le plan mécanique. C'est au niveau des phases de transition et des phases de tirage que le "gaspillage" est le plus important. L'auteur a aussi mis en évidence la différence de rendement entre les différents cyclistes inclus dans son étude. Certains font de la phase de tirage une phase rentable, d'autres ne l'utilisent que très peu (figure ci-dessous). On peut penser que, pour les seconds, une meilleure utilisation de cette phase pourrait donner des gains de performance significatifs.



Le cycle de pédalage permet, pour chaque groupe musculaire, l'alternance de phases d'activité et de récupération. Plus le cycliste sera coordonné et relâché, plus il pourra bénéficier de ces phases de récupération.



IV. Procédures d'entraînement (optimisation du « coup de pédale »)

Malgré sa simplicité apparente, le pédalage est un mouvement qui doit s'apprendre, ou plutôt s'optimiser si l'on souhaite exploiter au mieux ses ressources bioénergétiques. L'essentiel du travail technique porte sur l'orientation du pied sur la pédale pendant le cycle de pédalage afin d'optimiser le couple de force.

Selon F.Grappe (2005), « *le coureur qui maîtrise bien l'enchaînement des phases de poussée et de traction de la pédale à partir d'une excellente technique de pédalage est certainement l'américain Lance Armstrong. La grande souplesse de sa cheville et la fluidité de sa gestuelle de pédalage lui permettent certainement d'optimiser son rendement mécanique* ».

L'importance que nous avons accordée aux quatre phases dynamiques de pédalage suppose des procédés d'entraînement spécifiques :

- pédalage à des cadences très élevées, assis sur la selle et bassin fixé (descente avec développement court en ayant toujours une action propulsive du pied sur la pédale) ;
- pédalage à des cadences très basses, assis sur la selle et bassin fixé (montées avec développement long, mains posés sur le cintre au lieu de le tenir, ou éventuellement mains derrière le dos) ;
- méthode des contrastes consistant à alterner petit et grand braquet (par exemple montée avec 52X13 ou 14, et descente avec 42X19 ou 17) ;
- comme les patterns de pédalage sont différents assis et en danseuse, et différents sur le plat et en montée, il semble nécessaire d'alterner ces différents façons de pédaler ;
- séquences courtes et alternées de pédalage d'une seule jambe (500m d'abord, puis jusqu'à 1km d'une seule jambe), qui permettent d'améliorer la coordination de chaque membre ;
- utilisation de dynamomètres embarqués qui permettent d'apporter un feedback en temps réel (type SRM ou Powertap). F.Grappe (2005) conseille d' « *entretenir les moments où le cycliste visualise sur l'écran avec des moments sans aucun feedback. Par la suite, l'entraîneur diminuera de plus en plus la durée des feedback et augmentera la durée pendant laquelle l'athlète doit grâce à ses propres sensations produire un pédalage fluide et symétrique. Ces exercices devront être réalisés à différents niveaux d'intensité et de fatigue* ».

A ces différents exercices centrés sur l'efficacité du mouvement de pédalage peut s'ajouter une consigne du type « pédaler rond » (à l'instar des techniques de concentration de Jacques Anquetil, avant un contre-la-montre). Les pistards d'Allemagne de l'Est ont même utilisé avec succès un petit dispositif qui émettait un signal sonore chaque fois que la jambe remontait était en appui au lieu d'exercer une traction.