

17. APPENDICE : LE CYCLISTE EST UN PIÉTON MIRACULÉ

« Pour aimer à la folie la bicyclette, il faut en faire beaucoup. Pour en faire beaucoup, il faut s'entraîner. Pour s'entraîner, il faut de la volonté. Pour avoir cette volonté, il faut aimer la bicyclette. Ce cycle, on le voit, est vicieux. Mais quelque apparence pitoyable que vous lui trouviez parfois, ne plaignez pas le cycliste : enviez-le. Il a découvert que le tapis volant et les bottes de sept lieues des contes existent bel et bien et, par la même occasion, le sérum de longue vie. Le cycliste n'est pas, comme on feint de le croire, un automobiliste déchu. C'est un piéton miraculé. »

Jacques FAIZANT, *Albina et la bicyclette*, Calmann-Lévy, Paris 1968, pages 59 et 60.

L'homme, en créant son propre mouvement, va plus vite sur un vélo que sur ses seuls membres inférieurs. Ainsi, chez les « athlètes de haut niveau », le record du monde du kilomètre à pied est de 2'11''96 (Noah NGENY en 1999) et de 58''875 à bicyclette (Arnaud TOURNANT en 2001). Sur une heure, le meilleur coureur à pied a parcouru 21,285 km (Hailé GEBRESELASSIE en 2007) et le meilleur coureur cycliste 56,375 km (Chris BOARDMAN en 1996 : c'est la meilleure performance, même si elle n'est pas officiellement homologuée). Ces temps ne concernent que le monde de la compétition et de la recherche de la plus grande performance. Qu'en est-il pour le randonneur pédestre ou à bicyclette ? C'est ce que nous allons voir ci-dessous, avec une méthode qui serait bien évidemment utilisable pour les compétiteurs.

17.1. UN CYCLISTE N'EST PLUS UN PIÉTON



Maurice grimpe normalement les cols mais il lui arrive, de temps en temps, de se retrouver à pied quand la pente est trop raide. Pas humilié pour autant, il constate alors que l'effort n'est pas le même et en profite pour se livrer à l'analyse des différences entre un cycliste et un piéton.



Figure 17.1. Reprise du kinogramme de la figure 2.12.

Le cycliste est donc, sauf en danseuse, assis sur la selle de son vélo. Par rapport à sa monture, seuls ses membres inférieurs sont en mouvement, entre deux points « fixes » : l'articulation de la hanche, quasi solidaire de la selle, et l'axe du pédalier. Sa trajectoire suit la surface de la route dans la translation de l'ensemble vélo + cycliste et son centre de gravité reste à la même distance du sol. Tout son travail vise à lutter contre les frottements, notamment avec l'air, variables en fonction de la vitesse, et contre la pesanteur, lorsqu'il grimpe une côte.

Nous avons vu tout cela dans les chapitres 2 et 10 à 12.

$$W_{\text{cycliste}} = W_{\text{frottements}} + W_{\text{pesanteur}}$$

Autrement dit, le cycliste, porté par son vélo, fait un minimum d'efforts pour se maintenir en position. Presque tout son travail musculaire est utilisé pour la seule locomotion, d'une manière très efficace. A vitesse de déplacement constante, il n'y a quasiment pas de « pertes » d'énergie cinétique et celles-ci ne concernent que les mouvements de la cuisse et de la jambe et n'affectent que 1% de l'énergie cinétique totale du cycliste (voir en 11.3). Mouvement totalement dédié au déplacement, pas de pertes. Comme disait Pierre TALBOT, par métaphore, le cyclisme est un sport « sans barrage » dont la limite se situe au niveau des performances des appareils cardio-vasculaire et respiratoire.

17.2. MAIS QUAND IL EST PIÉTON

Le piéton se propulse grâce à un geste « naturel », quotidien et fondamental, qui définit son statut de primate bipède : la marche. Geste banal mais un peu plus coûteux en énergie, comme nous allons le voir. La marche est un déplacement consistant en une translation de l'ensemble du corps, due à des mouvements alternatifs des deux membres inférieurs, le tronc restant en équilibre au dessus du bassin.

Pour chaque membre, le mouvement de la marche commence et finit au début de la phase d'appui de ce membre, au moment où le talon porté en avant prend contact avec le sol. L'alternance des phases d'activité est la suivante : pendant que l'un des membres soutient le poids du corps (phase d'appui), l'autre oscille et vient se placer en avant (phase d'oscillation). Il existe, toutefois, un bref instant pendant lequel les deux membres servent simultanément d'appui (phase de double appui). Ce fait distingue la marche de la course.

Le pas, ou cycle de la marche, est la distance de talon à talon séparant deux appuis du même pied. C'est l'intervalle pendant lequel l'un des membres inférieur présente une phase d'appui et une phase d'oscillation. Le demi-pas, ou enjambée, est l'intervalle séparant le contact du talon d'un pied et celui de l'autre pied. La longueur du pas est la distance (en m) qui sépare un point fixe du même pied entre deux appuis successifs. La cadence est le nombre de pas par minute et la vitesse v de progression du marcheur (en m/s) est telle que :

$$v = \text{cadence} \times \text{pas} / 60.$$

Par définition, le cycle de marche est divisé en 10 parts égales dans le temps.

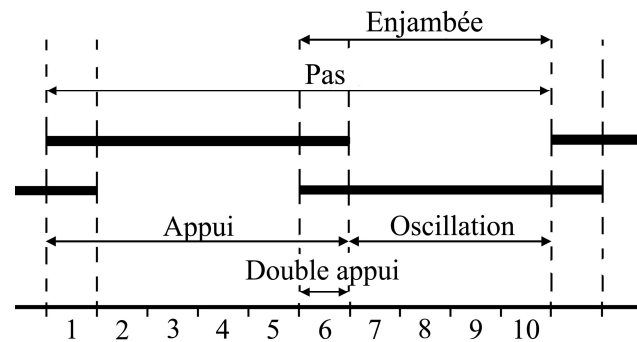


Figure 17.2. Le cycle de la marche

17.2.1. La phase d'appui

La première phase du cycle de la marche est dite d'appui : le pied est en contact avec le sol, d'abord avec le talon, puis avec tout le pied, enfin avec l'avant du pied : le pied se « déroule » du talon à la pointe du pied. Il commence son mouvement par une rotation du pied autour du talon, puis le continue par une rotation de la jambe autour de l'axe de cheville et le finit par une troisième rotation du pied autour de l'axe de flexion-extension de l'articulation métatarso-phalangienne du gros orteil (le point O décrit en 1.3.2.3 et 2.1.2).

La phase d'appui dure de 1 à 6. C'est le moment moteur, par mise en action des extenseurs de la hanche (temps 2 à 6) et surtout de la cheville (temps 5 et 6). Le pied s'appuie sur la route, ou le chemin, et la réaction du sol propulse le marcheur en avant. Notons ici que le temps 1 correspond au temps 6 du membre controlatéral. C'est le moment du double appui.

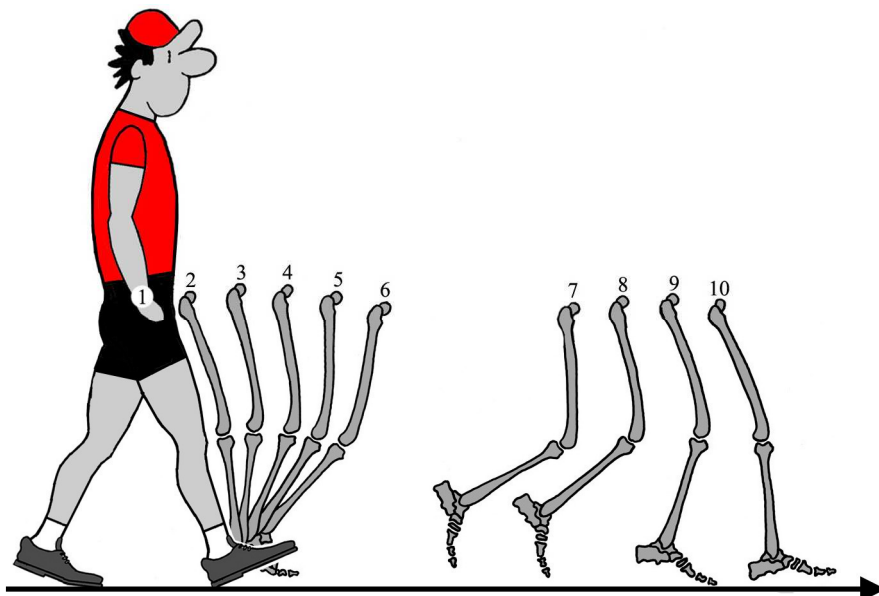


Figure 17.3. Les deux phases de la marche : appui et oscillation

17.2.2. La phase d'oscillation

La deuxième phase est dite d'oscillation : le talon puis le pied ont quitté le sol et le membre oscille rapidement vers l'avant. Elle dure de 7 à 10. Ce mouvement n'est pas passif : il est accéléré par l'action musculaire des fléchisseurs de la hanche et du genou, puis des extenseurs du genou. Les temps 7, 8, 9 et 10 correspondent aux temps 2, 3, 4 et 5 du membre controlatéral.

17.3. DES DÉPENSES SPÉCIFIQUES LIÉES À LA MARCHÉ

Dans le mouvement de la marche, la lutte contre les frottements est moins importante car la vitesse est moindre, comme nous le savons déjà et allons le confirmer ci-dessous. La lutte contre la pesanteur est plus aisée car il n'y a pas le poids du vélo. Ces actions sont régies par les mêmes lois que pour le cycliste. Mais la marche occasionne des dépenses supplémentaires liées au geste même.

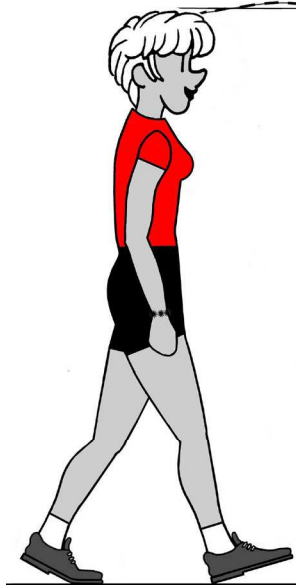


Figure 17.4. Déplacements verticaux pendant la marche.

17.3.1. Déplacements verticaux du centre de gravité

Une part importante des dépenses du piéton est due à l'oscillation verticale du centre de gravité du corps, à chaque pas, un peu comme dans le pédalage en danseuse. Elle est de quelques centimètres, avec un point haut à peu près à la verticale du pied en appui (temps 3 et 4). On voit bien ce phénomène, sur les figures 17.3, au niveau de la hanche du membre concerné, et 17.4, par rapport au centre de gravité. S'il n'y avait pas de mécanismes compensateurs, par simple effet géométrique lié à la taille des os, l'élévation du centre de gravité serait de 7,5 cm environ chez un homme adulte de taille moyenne. Le déplacement du centre de gravité général du corps humain est, en fait, atténué par des mouvements du bassin et par un amortissement combiné du genou et de la cheville.

Le bassin tourne autour d'un axe vertical et la hanche du côté oscillant se porte en avant. Cela permet d'augmenter la longueur du pas sans abaisser d'une manière excessive le centre de gravité. La ceinture scapulaire subit simultanément une rotation en sens inverse, quand la hanche droite est en avant, l'épaule gauche est en arrière. Le bassin s'incline du côté oscillant et se déplace latéralement vers le membre en appui, d'une part pour maintenir

l'équilibre comme on le verra ci-dessous, d'autre part pour atténuer les à-coups dans les changements de hauteur du centre de gravité. Au total, la marche provoque une oscillation à la fois verticale et horizontale, sinusoïdale, du centre de gravité.



On ne vous l'avait pas dit, mais Thérèse est belle, pas seulement aux yeux de Maurice. Il aime la voir partir devant lui en danseuse, dès que la pente devient un peu raide. Il aime aussi la regarder marcher lors de leurs randonnées à pied. Mais il n'avait jamais imaginé que ce déhanchement, si gracieux, n'était qu'un moyen pour économiser l'énergie et rationaliser la locomotion !

Enfin, le genou se fléchit légèrement au début de la phase d'appui (temps 2 et 3) et la cheville s'étend lors des temps 5 et 6, associant ainsi leurs effets d'atténuation des mouvements verticaux du centre de gravité. On voit bien cette flexion du genou et cette extension de la cheville sur les figures 17.3 et 17.6.

17.3.2. Pertes d'énergie cinétique et maintien de l'équilibre

Il y a, dans la marche, des « pertes » importantes d'énergie cinétique dues à des freinages et des accélérations successives de tout ou parties du corps, notamment des membres inférieurs (phase d'appui puis rapide phase d'oscillation). Seule la vitesse du haut du corps est à peu près constante pendant le cycle de la marche. Celle du centre de gravité général du corps est variable, avec un maximum aux moments des doubles appuis.

La marche est due à une succession de déséquilibres du corps qu'il faut maîtriser. Le centre de gravité est projeté, à chaque pas, en avant du polygone de sustentation. L'équilibre général n'est récupéré que lorsque le membre en oscillation reprend contact avec le sol. Pendant l'oscillation, pour éviter la chute, le centre de masse se porte au dessus du membre en appui.

Tous les muscles du corps participent à la bonne gestion de l'équilibre : les muscles de la hanche d'abord (notamment les petits et moyens fessiers), les muscles du rachis et du tronc et les muscles des membres supérieurs, qui jouent un rôle de balancier. Au total, il reste nécessaire, à chaque pas, de créer un peu d'énergie potentielle gravitationnelle, laquelle est restituée dans la phase suivante où elle est utilisée, en grande partie, pour le maintien de l'équilibre général du corps et pour combler les « pertes » d'énergie cinétique que la mécanique du mouvement de la marche a occasionnées.

$$W_{\text{piéton}} = W_{\text{frottements}} + W_{\text{pesanteur}} + W_{\text{marche}}$$

Le centre de gravité de Maurice se déplace de 4 cm de bas en haut, à chaque demi-pas.
Le travail contre la pesanteur est de $70 \times 9,81 \times 0,04 = 27,5$ joules, soit 36,6 J par mètre parcouru (avec un enjambée de 0,75 m il faut hisser le corps 1,33 fois par mètre).



Soustrayons l'énergie potentielle récupérée et ajoutons l'énergie dépensée par le balancement du membre en oscillation + le maintien de l'équilibre + l'amortissement du poids du corps quand le talon touche le sol + les pertes d'énergie cinétique à chaque enjambée.

On peut estimer que Maurice dépense 40 J à chaque mètre pour le geste de la marche proprement dit. Cette valeur de W_{marche} reste à peu près la même, quelque soit le terrain.

17.4. AVANTAGE AU VÉLO, MAIS PAS TOUT LE TEMPS

Postulons, dans un premier temps, que Maurice se déplace avec un débit d'énergie constant de 150 watts. C'est possible, comme nous l'avons vu au chapitre 14. On admettra aussi que le calcul de l'énergie dépensée dans les frottements lors de la marche, se fait en utilisant la même formule que pour le cycliste, ce qui est réaliste quand on intègre aux frottements les vibrations dues aux chocs des talons avec le sol, par exemple.



Pente (en %)	Vitesse (km/h)	
	Cycliste	Piéton
0	26,7	11,2
5	10,8	7
10	6	4,9
15	4,1	3,8
20	3,1	3

Le tableau ci-contre montre les vitesses atteintes par Maurice, à bicyclette (70 + 16 kg) et à pied (70 kg), sur le plat et sur des routes de plus en plus inclinées. Avantage au vélo sur le plat, se réduisant comme peau de chagrin au fur et à mesure que la route s'élève : sur son vélo Maurice va 2,4 fois plus vite qu'à pied, sur le plat, et à la même vitesse sur un mur de 20 %.

Dans la réalité les choses sont un peu différentes. Le cycliste qui randonne ne roule pas si vite sur le plat. Par contre, il mobilise plus de 150 watts dans les pentes les plus raides. À pied, il ne dépasse que rarement 6 km/h sur un terrain plat. Mais il dépense la même énergie qu'en bicyclette sur les chemins les plus pentus.



Quand il randonne à pied, Maurice est plutôt un marcheur rapide (entraînement à vélo oblige). Sa vitesse est de 6 km/h (1,67 m/s), la longueur de son pas est 1,50 m (demi-pas = 0,75 m) et sa cadence de marche est de 66,7 pas par minute, soit 133 demi-pas à la minute.

Toujours, il s'économise quand il le peut et s'emploie sérieusement quand le terrain devient moins comode. De plus, pour reprendre la métaphore de Pierre TALBOT, la marche est une activité physique « avec barrages » dus aux contraintes mécaniques, musculaires et articulaires, notamment parce que les articulations du membre inférieur portent le poids du corps. Il est difficile de dépasser 7-8 km/h. Le marcheur, par rapport au cycliste, sollicite donc moins son cœur, du moins sur le plat.



Pente (en %)	Vitesse (km/h) - puissance (w)	
	Cycliste	Piéton
0	22,5 (100 w)	6 (80 w)
5	11 (150 w)	5,3 (120 w)
10	7 (180 w)	4,7 (150 w)
15	4,9 (180 w)	4,3 (180 w)
20	3,7 (180 w)	4 (180 w)

Le tableau ci-contre montre les vitesses réelles et les puissances atteintes par Maurice dans les circonstances évoquées plus haut. La supériorité du cycliste est encore évidente sur le plat. Mais le piéton grignote son retard au fur et à mesure que la pente s'accroît et prend même l'avantage lorsque les inclinaisons sont les plus rudes.

Ainsi, sur le plat, Maurice va 3,8 fois plus vite à vélo mais il se fait doubler par son *alter ego* piéton dès que la pente atteint 16 ou 17 %.



Pour être tout à fait juste, il faut dire que Maurice arrivant dans des pentes supérieures à 15 % se transforme souvent en piéton. Il devient alors un marcheur très défavorisé car il ne laisse pas son vélo sur le bord de la route ! Pour une puissance de 180 w, sur une pente à 20 %, sa vitesse n'est plus que de 3 km/h. De toutes manières, il n'avait guère le choix, avec une vitesse de 3,7 km/h sur son vélo il ne pouvait plus tenir en équilibre, même avec des tous petits braquets.

Il est nécessaire de rendre, ici et une nouvelle fois, hommage à Carlo BOURLET. Ce mathématicien de renom, ancien élève de l'École Normale Supérieure, né à Strasbourg en 1866, mort à Annecy en 1913, fut notamment professeur de mécanique au Conservatoire National des Arts et Métiers. Il fut aussi un génial théoricien du vélo et il livra ses réflexions dans deux ouvrages fondamentaux (*Nouveau traité des bicycles & bicyclettes* et *La bicyclette, sa construction et sa forme* - voir en bibliographie) auxquels il est impossible de ne pas faire référence. Il avait, là encore, mis en évidence ce que nous venons de décrire, dès 1898. Le graphique de la figure 17.4 reprend et illustre tout ce que nous venons d'exposer, d'une manière plus parlante et limpide.

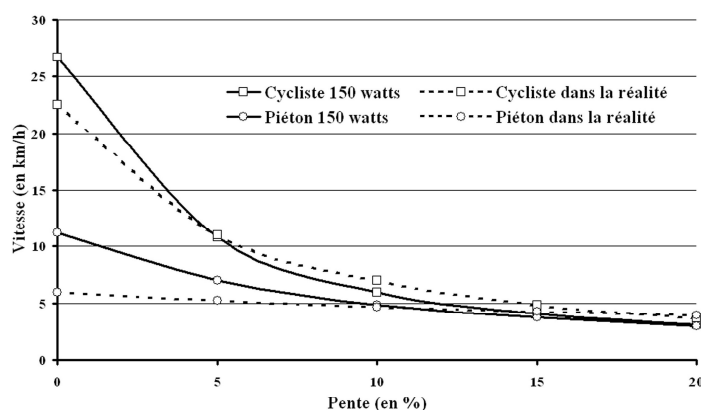


Figure 17.5. Les vitesses comparées du cycliste et du piéton.



Complétons cette description en constatant que Maurice, à pied, met 5 heures pour faire 30 km sur le plat alors que, sur son vélo, il ne met que 1 heure et 20 minutes. Il a alors dépensé 114 kcal sur sa bicyclette et 344 kcal à pied. Pour une même dépense énergétique, de 500 kcal par exemple, Maurice fait, sur le plat, 130 km sur son vélo et 44 km à pied.

Au total, sauf sur terrain ascendant très pentu, il y a un net avantage au vélo. Celui-ci ne s'explique pas que par des consommations d'énergie différentes et des problèmes de poids. Le cycliste bénéficie, en plus, des possibilités mécaniques perfectionnées de son instrument et d'une position de pédalage particulièrement favorable sur le plan de la biomécanique.

17.5. VIVE LA ROUE, VIVE LA ROUE LIBRE, LES DÉRAILLEURS ET LES PIGNONS !

Le premier avantage mécanique du cycliste c'est la roue. Géniale et éternelle. Merci la Mésopotamie ! Le deuxième c'est la roue libre. Dans les descentes, il peut, grâce à elle, récupérer quasi intégralement son énergie potentielle gravitationnelle (voir au chapitres 11 et suivants) alors que le piéton est obligé d'amortir chaque pas, notamment avec son quadriceps et de contrôler en permanence son équilibre. Sur terrain plat ou faiblement vallonné, le cycliste peut s'offrir des moments de répit en faisant un peu de roue libre, par exemple à l'abri d'un camarade. Il peut profiter de son énergie cinétique beaucoup plus que le piéton. Le troisième avantage mécanique pour le cycliste est le changement de vitesses, que nous avons étudié aux chapitres 14 et 16. Le jeu des braquets permet d'ajuster avec précision son effort. Si nous examinons la gamme de Maurice, son plus grand braquet (50/13) est 3,6 fois plus grand que son plus petit (30/28) et rien ne l'empêche de descendre à 26/28 ! Comme piéton, il peut faire varier la longueur de son pas de 0,5 à 1 m, par exemple, soit avec un coefficient de 2.

La fréquence de pédalage est, en partie, liée au braquet, comme nous l'avons vu en 14.3.4. Elle est aussi facilitée par la position et le contexte biomécanique que nous allons évoquer plus bas. Constatons que Maurice, par exemple sur le plat, peut aussi facilement faire varier sa fréquence de pédalage que sa cadence de marche, à peu près dans les mêmes marges. En montée les choses sont plus obligées. En descente, la fréquence de pédalage peut atteindre 150 tpm, alors que la cadence du pas est fortement contrainte par le respect dû aux articulations, du genou particulièrement.



Dans les pentes du Ventoux, Maurice grimpe sur un petit braquet (30/28), avec sa meilleure fréquence de pédalage (63 tpm) et avec un débit d'énergie qui lui convient (168 w). Comme piéton, il joue sur la longueur de ses pas (140 cm), qu'il raccourcit, et la cadence de ses pas (56 pas/minute), qu'il diminue, mais l'ajustement reste plus limité.

La descente sur le Chalet Reynard et Bédouin est rapide sur une route au revêtement parfait. Maurice flirte à plusieurs reprises avec les 70 km/h, sans autre effort que de serrer les freins de temps en temps et de rester vigilant. À pied, il ne dépasse pas 8 km/h, se retenant sans cesse, secouant sa carcasse à chaque choc de son talon sur la route, les cuisses et les genoux douloureux...

17.6. UN CONTEXTE BIOMÉCANIQUE IDÉAL POUR LE CYCLISTE

Jusqu'ici, le seul inconvénient du cyclisme, par rapport à la marche, reste le vélo, du moins son poids ! En dehors de ça et en terme de rendement de la locomotion, il n'y a que des avantages à rouler sur une bicyclette. Ajoutons-en un dernier, probablement essentiel : le geste du pédalage est, sur le plan biomécanique, plus efficace que le geste de la marche.

La raison en est que les articulations des membres inférieurs (la motricité est, dans les deux cas, de leur responsabilité principale) travaillent, chez le cycliste, dans des conditions plus favorables. En effet, la propulsion du cycliste ou du marcheur se fait lors de l'extension des trois articulations principales : hanche, genou et cheville et l'on sait, nous l'avons affirmé à plusieurs reprises, que cette extension est d'autant plus efficace qu'elle se fait à partir d'une position plus fléchie.

Pour faire la comparaison, reprenons les figures 2.10 et 2.11, en les mettant côte à côte (figure 17.4). Pendant la marche, la flexion de la hanche dépasse à peine 20° (temps 1) alors qu'elle est au minimum de 30° chez le cycliste, et atteint 70° à l'amorce du temps le plus fort du pédalage : l'extension du membre inférieur, pédale en avant (voir en 2.1.5 et ci-dessous). En fait, dans la marche, les muscles de la hanche, et surtout le petit et le moyen fessier, ne sont vraiment sollicités que pour le maintien du tronc et de l'équilibre.

Le maximum d'efficacité de l'extension du genou se situe entre 60 et 90° de flexion. Cela correspond, pendant le pédalage, à la plage d'action du genou, de 40° à 115° environ (voir en 2.1.4 et ci-dessous). Pendant la marche, la flexion du genou est presque toujours inférieure à 30° et si elle atteint quelques 60°, c'est au milieu de la phase d'oscillation du membre inférieur (temps 7 et 8), c'est-à-dire à un moment qui n'est pas, à proprement dit, moteur.

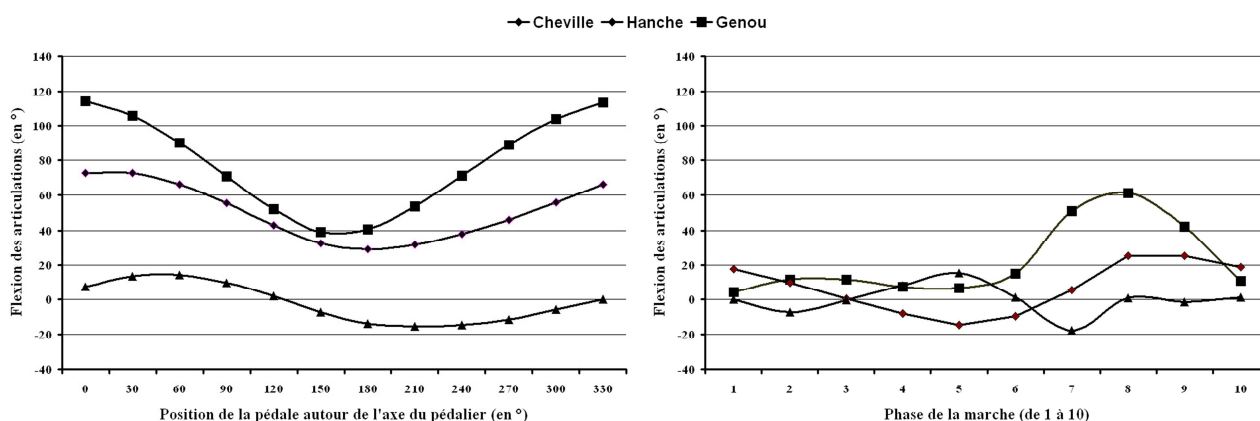


Figure 17.6. Comparaison des flexions des articulations du membre inférieur dans le pédalage et dans la marche.

Enfin, la cheville du piéton est mobilisée avec à peu près les mêmes amplitudes de travail que sur une bicyclette. Son efficacité motrice, lors de l'extension, est réelle car le triceps sural (le muscle du mollet qui est aussi fléchisseur du genou) travaille dans les meilleures conditions. Il joue ainsi un rôle essentiel dans la

marche, notamment à la fin de la phase d'appui (temps 5 et 6). Et les fléchisseurs du pied sont également sollicités sur les autres temps.

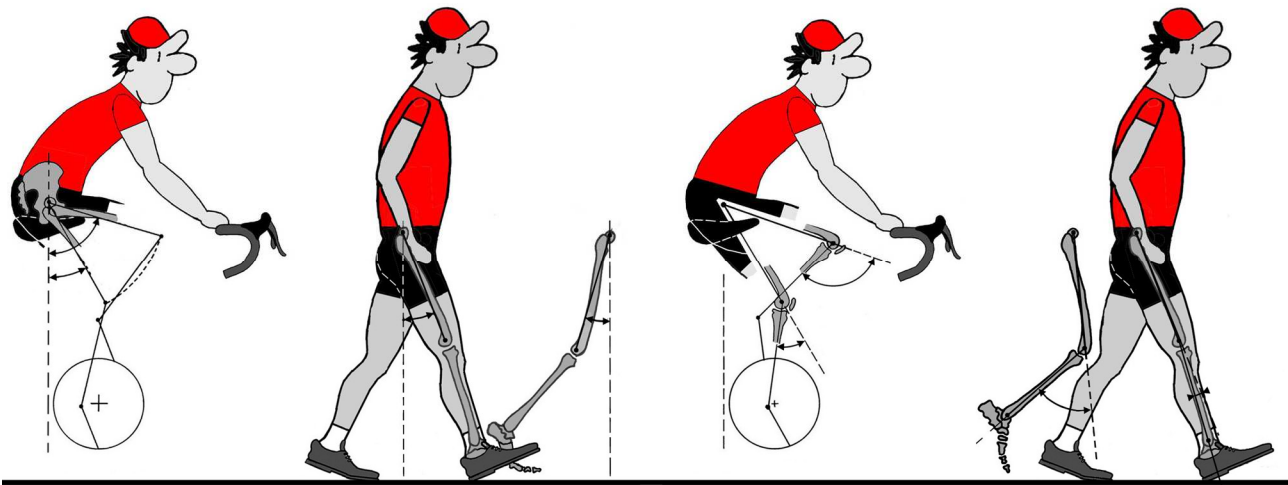


Figure 17.7. Amplitudes comparées de flexion de la hanche et du genou chez le cycliste et le piéton.

Constatons, pour finir, que plus le terrain est incliné, plus la hanche et le genou du marcheur sont fléchis pour aborder le moment moteur de l'extension. On se rend très bien compte de cela en montant un escalier (ce qui est impossible à faire sur une bicyclette en utilisant la technique habituelle de pédalage !). La différence en faveur du cycliste s'atténue donc au fur et à mesure de l'augmentation de la pente. Cela explique aussi, en partie, ce que nous avons noté plus haut.

17.7. UN CONTEXTE BIOMÉCANIQUE UN PEU MEILLEUR POUR LE COUREUR À PIED, MAIS AVEC DES PERTES IMPORTANTES D'ÉNERGIE

Dans la course à pied, comme dans la marche, le geste est caractérisé par deux phases dans le cycle locomoteur, d'appui et d'oscillation. Mais l'appui est de moins en moins long et il n'y a plus de double appui. Il y a donc un moment où le corps du coureur n'est plus en contact avec le sol, c'est la phase de suspension ou d'envol, qui est proportionnellement d'autant plus longue que la vitesse est plus grande.

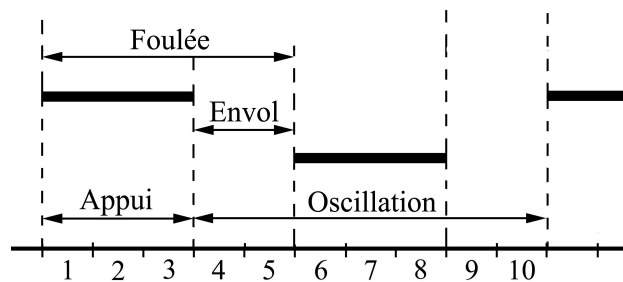


Figure 17.8. Le cycle de la course à pied

Le contact avec le sol se fait soit par le talon d'abord, comme dans la marche (c'est le cas dans les courses de demi-fond et de fond) soit par l'avant du pied seulement (c'est le cas du sprint). Notons que la frontière entre le demi-fond et le sprint se situe au niveau du 800 m, et que le coureur peut y utiliser les deux types d'appui selon le moment de la course. Notons enfin que bassin et buste sont penchés en avant.

L'amplitude des mouvements des articulations du membre inférieur est beaucoup plus importante que dans la marche, notamment en ce qui concerne la flexion. Ce point et la libération de « l'énergie potentielle élastique » ainsi emmagasinée dans les muscles explique le meilleur rendement de la course à pied par rapport à la marche. La flexion du genou et de la hanche peut même être très importante pendant la phase d'oscillation. Mais pendant la phase motrice d'appui, elle n'atteint pas les amplitudes constatées dans le geste du cycliste. Il n'en reste pas moins que les déplacements verticaux du centre de gravité du coureur à pied à chaque cycle de la course persistent, légèrement aggravés par les déplacements verticaux du membre inférieur notamment au niveau du genou et de la jambe. Voir la figure 17.9.

Arrêtons nous sur ce point. Dans le pédalage, le poids d'un membre inférieur qui remonte en arrière (entre 180 et 360 ° de rotation de la pédale) est compensé par le poids du membre inférieur qui descend en avant (de 0 à 180 °). Chez le coureur à pied, la remontée du pied en arrière, lors de la phase d'envol et d'oscillation, n'est pas compensée par l'autre pied. L'énergie potentielle gravitationnelle ainsi créée est réutilisée par le même membre pour lancer la cuisse en avant et remonter le genou. Mais il y a des pertes d'énergie et tout cela, ainsi que la persistance des contraintes musculaires et articulaires chez le coureur à pied, expliquent en grande partie l'avantage du cycliste, du moins sur le terrain plat.

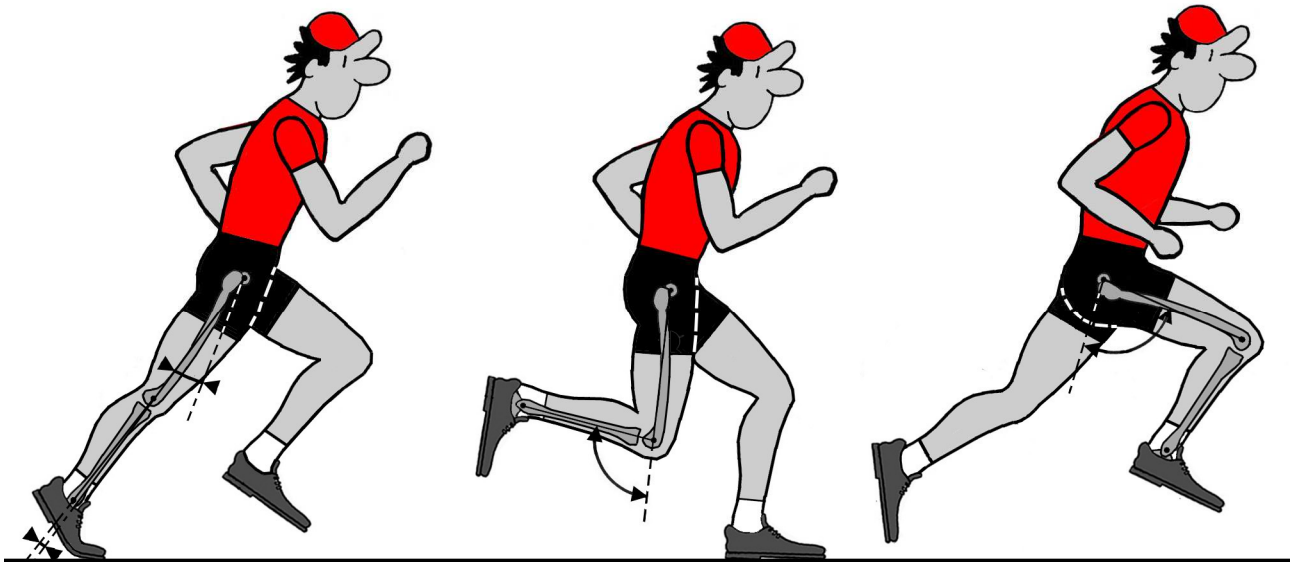


Figure 17.9. Flexion et extension des articulations du membre inférieur dans la course à pied.

On peut donc dire, même si c'est un peu tendancieux, que l'homme n'est pas encore adapté à la marche bipède, sauf en terrain très pentu. Mais il tire de sa bipédie de grands avantages dans sa confrontation au monde ! Le cycliste, lui, est presque toujours avantagé dans sa locomotion, par sa position, sa roue libre et ses braquets (trois fruits de son intelligence) et, dans son geste même du pédalage, par des restes archaïques de son passé très lointain de quadrupède. C'est ainsi que, comme l'affirme S. S. WILSON, l'homme (ou la femme) qui se déplace sur une bicyclette, en comparaison aux autres animaux et aux machines à leur vitesse moyenne habituelle, a le meilleur rendement énergétique par rapport au poids. Loin devant le serpent, la souris, la mouche, le lapin, l'automobile, l'hélicoptère, le jet, l'homme à pied, le pigeon, le cheval et le saumon, à peu près à égalité avec le train sur rails.