

# CANADIAN THESES ON MICROFICHE

I.S.B.N.

## THESES CANADIENNES SUR MICROFICHE



National Library of Canada  
Collections Development Branch

Canadian Theses on  
Microfiche Service

Ottawa, Canada  
K1A 0N4

Bibliothèque nationale du Canada  
Direction du développement des collections

Service des thèses canadiennes  
sur microfiche

### NOTICE

The quality of this microfiche is heavily dependent upon the quality of the original thesis submitted for microfilming. Every effort has been made to ensure the highest quality of reproduction possible.

If pages are missing, contact the university which granted the degree.

Some pages may have indistinct print especially if the original pages were typed with a poor typewriter ribbon or if the university sent us a poor photocopy.

Previously copyrighted materials (journal articles, published tests, etc.) are not filmed.

Reproduction in full or in part of this film is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30. Please read the authorization forms which accompany this thesis.

THIS DISSERTATION  
HAS BEEN MICROFILMED  
EXACTLY AS RECEIVED

### AVIS

La qualité de cette microfiche dépend grandement de la qualité de la thèse soumise au microfilmage. Nous avons tout fait pour assurer une qualité supérieure de reproduction.

S'il manque des pages, veuillez communiquer avec l'université qui a conféré le grade.

La qualité d'impression de certaines pages peut laisser à désirer, surtout si les pages originales ont été dactylographiées à l'aide d'un ruban usé ou si l'université nous a fait parvenir une photocopie de mauvaise qualité.

Les documents qui font déjà l'objet d'un droit d'auteur (articles de revue, examens publiés, etc.) ne sont pas microfilmés.

La reproduction, même partielle, de ce microfilm est soumise à la Loi canadienne sur le droit d'auteur, SRC 1970, c. C-30. Veuillez prendre connaissance des formules d'autorisation qui accompagnent cette thèse.

LA THÈSE A ÉTÉ  
MICROFILMÉE TELLE QUE  
NOUS L'AVONS REÇUE

COMPARAISON DE LA RESISTANCE DE L'AIR, DE LA  
RESISTANCE DE ROULEMENT ET DE LA CONSOMMATION D'OXYGENE  
ENTRE UNE BICYCLETTE DIX VITESSES ET UNE BICYCLETTE A  
DEVELOPPEMENT IMPOSE

par André Michaud

Thèse présentée à l'Ecole des études supérieures  
de l'université d'Ottawa en vue de l'obtention  
de la Maîtrise ès sciences en kinanthropologie

Ottawa, Canada, 1982

© André Michaud, Ottawa, Canada, 1983.

à Louise,  
Magloire et Anita  
avec toute mon  
affection

## REMERCIEMENTS

Je désire exprimer ma reconnaissance à mon directeur de thèse, M. William Urban, Ph.D. et M. Charles Cotton, Ph.D. tous deux du Département de kinanthropologie de l'université d'Ottawa pour leurs commentaires, suggestions et recommandations toujours précieux et qui m'ont permis lentement d'acquérir ce qui est sans doute le plus important, à savoir: l'apprentissage d'une méthode de recherche et la rigueur scientifique.

Mes remerciements s'adressent également à M. André D'orion, Ph.D. de l'université du Québec à Chicoutimi et M. Roger Gauthier, Ph.D. de l'université d'Ottawa pour leurs critiques et leurs conseils pertinents et plus important, encore leur amitié.

Je voudrais enfin rendre particulièrement hommage à Louise, qui au cours de toutes ces années est demeurée patiemment à mes côtés pour m'épauler, je n'en ai que plus d'admiration à son égard.

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION . . . . .	i
Le problème . . . . .	4
Hypothèses . . . . .	5
Sous-hypothèses . . . . .	6
Définitions des termes . . . . .	6
Limitations . . . . .	7
Importance de cette étude . . . . .	8
CHAPITRE II - REVUE DE LITTERATURE . . . . .	10
Résistance de roulement . . . . .	11
Résistance de l'air . . . . .	18
Mesures physiologiques de la charge de travail . . . . .	26
Fréquence de pédalage . . . . .	35
Ajustement des bicyclettes . . . . .	41
Résumé . . . . .	44
CHAPITRE III - METHODE ET PROCEDURES . . . . .	46
Sujets . . . . .	47

## TABLE DES MATIERES

<u>Matériel utilisé</u>	
Bicyclette dix vitesses . . . . .	47
Bicyclette à développement imposé . . . . .	53
Tapis roulant . . . . .	53
Electrocardiographie . . . . .	54
Mesure de la VO <sub>2</sub> de pointe . . . . .	55
Photographie . . . . .	56
Cellule de force . . . . .	56
<u>Protocole expérimental</u>	
1. Prise de contact du sujet avec les bicyclettes . . . . .	57
2. Photographie . . . . .	58
3. Pose des électrodes . . . . .	58
4. Installation de la bicyclette . . . . .	59
5. Prise en main de la bicyclette et calcul de la résistance de roulement . . . . .	59
6. Mesure de la charge de travail . . . . .	61
<u>Calculs effectués</u>	
Résistance de l'air . . . . .	62
Résistance de roulement . . . . .	63
Analyses statistiques . . . . .	63
CHAPITRE IV - RESULTATS ET DISCUSSIONS . . . . .	65
Consommation d'oxygène (VO <sub>2</sub> ) . . . . .	66
Résistance de roulement . . . . .	73
Résistance de l'air . . . . .	77
Résistance totale . . . . .	79
CONCLUSION . . . . .	82

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I - Comparaison des différentes valeurs de la résistance de l'air ( $R_a$ ) selon divers auteurs .....	25
Tableau II - Comparaison des rapports d'engrenages et de la fréquence de pédalage ( $v = 21$ km/h) entre la bicyclette dix vitesses (B10) et la bicyclette à développement imposé (B0) .....	48
Tableau III - Description des sujets ( $N = 16$ ) .....	65
Tableau IV - Moyennes et écarts-types des $\dot{V}O_2$ (mL/min) mesurées sur bicyclette dix vitesses et bicyclette à développement imposé .....	67
Tableau V - Analyse de la variance des valeurs mesurées de la $\dot{V}O_2$ ( $N = 16$ ) .....	68
Tableau VI - Analyse de Scheffé des différences des moyennes des $\dot{V}O_2$ mesurées ( $N = 16$ ) .....	69
Tableau VII - Moyennes et écarts-types des différentes valeurs de la résistance de roulement et de la résistance de l'air selon le type de bicyclette utilisé; test-t des deux paramètres énoncés .....	74

LISTE DES TABLEAUX

Tableau VIII- Moyennes et écarts-types des  
différentes valeurs de la résistance de roulement  
et de la résistance de l'air et de la résistance  
totale pour les bicyclettes dix vitesses et à  
développement imposé. Test-t de la résistance  
totale

. . . . . 80

Annexes . . . . . 84

## INTRODUCTION

L'origine de la bicyclette comme engin de pédalage, tel que nous le connaissons de nos jours, est difficile à définir avec précision. En effet, la bicyclette est le résultat, le plus souvent empirique, d'une suite de découvertes qui se sont échelonnées depuis le XVIème Siècle jusqu'aujourd'hui.

C'est à Léonard de Vinci que l'on doit la découverte de la transmission par chaîne; cependant, il faudra attendre près de deux cents ans pour que cette invention soit mise en application sur la bicyclette [7]. L'origine véritable de la bicyclette semble être représentée par le vélocifère du Comte François Médée de Sivrac en 1790, cela consistait en deux roues reliées par un pont de bois en forme de cheval ou de tout autre animal que l'on pouvait faire avancer en frappant alternativement le sol des deux pieds [7]. Entre 1816 et 1818, le baron allemand Karl Friedrich Von Drais ajouta un guidon, ce qui permettait de diriger la machine.

Il fallut attendre en 1863 pour que les Français Pierre et Ernest Michaux conçoivent la première bicyclette commerciale sous le nom de Michaudière [7]. Les pédales étaient fixées par l'intermédiaire de manivelles, directement sur l'essieu de la roue avant, comme nos tricycles modernes; il en résultait une prise directe, de sorte qu'un tour de pédalier faisait avancer l'engin d'une distance égale à la circonférence de la roue, soit environ trois mètres (Wilson [44]). Enfin, en 1883, J. K. Starley fit l'acquisition de quelques Michaudières afin de leur apporter plusieurs modifications d'importance comme les roues en broche, la transmission par chaîne sur la roue arrière, les roulements à billes aux essieux et la construction tubulaire (Wilson [44]). Le résultat était pour le moins surprenant; la bicyclette conçue par Starley est presque en tout point identique à nos bicyclettes modernes, et ce résultat fut obtenu il y a déjà plus d'un siècle.

Les physiologistes n'ont pas attendu longtemps avant de s'attaquer aux effets de cette nouvelle machine mue par un moteur humain; en effet, dès 1876, Zuntz cité par Adams [1] et Whitt [43] a mesuré la consommation d'oxygène ( $\dot{V}O_2$ ) de coureurs cyclistes pour la comparer à celle de marcheurs. Pour une même  $\dot{V}O_2$  la distance couverte à bicyclette était plus de deux fois plus grande que celle de la marche.

Durant les soixantes années qui ont suivi, on vit apparaître une série de recherches presque exclusivement axées sur l'étude de l'efficacité mécanique de la contraction musculaire de sujets pédalant sur bicyclette ou sur bicyclette ergométrique. En 1913, Benedict et Cathcart (Henry et de Moor [19] et Dill [11]) ont étudié l'efficacité du cyclisme en relation avec la fréquence de pédalage; les auteurs ont trouvé une efficacité maximale correspondant à une fréquence de pédalage de soixante tours par minute; c'est-à-dire qu'à cette fréquence les cyclistes pouvaient parcourir une plus grande distance et ce, avec une VO<sub>2</sub> minimale.

Entre les années 1920 et 1940, Hill [21], Dickinson [10] et Garry et Wishart [14] se sont particulièrement attachés à l'étude de la dynamique de la contraction musculaire en relation avec la vitesse de la course et de la charge de travail; les auteurs ont alors dérivé des formules de prédiction de l'efficacité mécanique du mouvement en fonction des deux paramètres énoncés précédemment. On a alors démontré qu'il existe une vitesse optimale de contraction où l'efficacité mécanique atteint un niveau maximal, en outre on avait observé l'indépendance relative de l'efficacité par rapport à la charge de travail pourvu que la vitesse de contraction reste dans des limites très étroites proches de la fréquence optimale.

A cette époque déjà, la bicyclette avait fait son apparition en laboratoire; c'était un engin peu encombrant, de prix modique, facile à calibrer et pratiquement inusable. On s'était aperçu que les expériences, quoique simples, étaient valides et fidèles si les conditions expérimentales étaient rigoureusement identiques d'une séance à l'autre; la bicyclette de laboratoire ou bicyclette ergométrique avait dès lors acquis ses lettres de noblesse comme instrument de mesure et d'évaluation.

#### Le problème

Malheureusement, il y a eu jusqu'à présent fort peu d'études réalisées sur bicyclettes dix vitesses ou sur bicyclettes à développement imposé; en outre, seul un petit nombre de ces recherches a tenu compte de certains facteurs environnementaux tels que la résistance de roulement ( $R_r$ ) qui, à basses vitesses peut représenter la majeure partie de la dépense énergétique d'un coureur et la résistance de l'air ( $R_a$ ) qui est pourtant responsable à elle seule de 80 à 90% du coût métabolique de la conduite d'une bicyclette lors d'une compétition (Kyle et Mastropaolo [27]).

Il y a très peu d'études, que ce soit en physiologie ou en biomécanique, qui fournissent de façon explicite la description complète du matériel utilisé. Ainsi, il n'y a

pas d'indications concernant les rapports d'engrenages, le poids des engins ou même les marques de ceux-ci. Il est alors hasardeux de faire une comparaison avec le matériel que l'on dispose à partir des recherches déjà faites.

Enfin aucune des recherches effectuées jusqu'à ce jour n'a tenté de comparer les deux types de bicyclettes les plus courants sur le marché nord-américain; soit la bicyclette dix vitesses et la bicyclette à développement imposé.

Le but de cette étude consistait donc à comparer une bicyclette dix vitesses à une bicyclette à développement imposé selon les deux paramètres suivants: la résistance de roulement et la résistance de l'air en plus de comparer les VO<sub>2</sub> mises en jeu entre les 3e, 6e et 9e vitesses d'une bicyclette dix vitesses et chacune de ces vitesses avec l'unique vitesse d'une bicyclette à développement imposé.

#### Hypothèses

1. La sommation des valeurs moyennes obtenues de la résistance de roulement et de la résistance de l'air est identique entre la bicyclette dix vitesses et la bicyclette à développement imposé.

Afin de vérifier cette assertion on a émis les sous-hypothèses suivantes:

## Sous-hypothèses

- a) Il n'y a aucune différence des valeurs moyennes mesurées de la résistance de roulement entre la bicyclette dix vitesses et la bicyclette à développement imposé;
  - b) Il n'y a aucune différence des valeurs moyennes calculées de la résistance de l'air entre la bicyclette dix vitesses et la bicyclette à développement imposé.
2. Il n'y a pas de différence significative entre les valeurs moyennes mesurées des  $\dot{V}O_2$  de pointe (peak) appliquées entre les 3e, 6e et 9e vitesses de la bicyclette dix vitesses et entre chacune de ces vitesses et l'unique vitesse de la bicyclette à développement imposé.

## Définition des termes

1. Charge brute: correspond à la somme des masses de la bicyclette et de son passager.
2. Consommation d'oxygène ( $\dot{V}O_2$ ): la  $\dot{V}O_2$  est égale au volume d'oxygène utilisé lors de l'oxydation métabolique des aliments (Astrand et Rodahl [3]). Elle a été mesurée par la méthode du circuit ouvert.
3. Fréquence de pédalage: nombre de tours du pédalier par minute (tpm.).
4. Rapport d'engrenages (Re): c'est la relation qui existe entre le nombre de dents de la couronne avant (a) et le nombre de dents du pignon arrière (b) selon la formule:

$$Re = (a/b) \times \text{diamètre de la roue (centimètre)}$$

Le rapport d'engrenages multiplié par 3.1416 correspond à la distance parcourue en centimètres à chaque tour de pédalier.

5. Résistance de l'air ( $R_a$ ): c'est la résistance en kg qu'oppose une bicyclette et son passager aux molécules d'air environnantes, calculée par une formule de prédiction et à partir de photographies du plan frontal des sujets.
6. Résistance de roulement ( $R_r$ ): ~~c'est la résistance~~ en g/kg de charge brute qu'oppose une bicyclette à l'avancement et mesurée par une cellule de force.
7. Tour: correspond à un tour complet de pédalier, c'est-à-dire  $360^\circ$ .
8. Vitesse: c'est la distance parcourue par unité de temps, en km/h.
9. Vitesse: terme équivalent des rapports d'engrenages (ou braquet) pour la bicyclette dix vitesses.

#### Limitations

1. Parmi le répertoire fort étendu de marques, modèles et qualités qui sont en vente sur le marché, cette étude a été restreinte à deux modèles de bicyclettes.
2. Seules les 3e, 6e et 9e vitesses de la bicyclette dix vitesses ont été l'objet de cette étude.

3. Les expériences ont eu lieu en laboratoire, sur un tapis roulant.
4. La résistance de l'air n'a pas été mesurée directement mais calculée à partir d'une formule de prédiction après avoir pris des photographies du plan frontal de chaque sujet assis sur l'une et l'autre bicyclette. Il s'agit dans ce cas de l'élaboration d'un modèle théorique.
5. Il n'y a eu que des hommes et des femmes de l'Ecole des sciences de l'activité physique de l'université d'Ottawa qui ont participé à cette expérience.
6. Les forces de friction internes (friction des essieux, des manivelles, des pédales et des roulettes d'entraînement) ont été considérées négligeables.
7. Les sujets s'asseyaient sur une selle dans le cas de la bicyclette dix vitesses et sur un siège dans l'autre cas; l'influence possible de ce paramètre a été tenu comme négligeable.

#### Importance de cette étude

Il n'y a guère d'exemple dans notre société moderne où l'homme puisse être encore la source principale d'énergie mécanique. Cependant, malgré la compétition acharnée de l'automobile, la bicyclette s'est implantée.

Selon Wilson [44], la production mondiale de bicyclettes se situe entre trente et trente-cinq millions d'unités annuellement; les Etats-Unis étant les premiers producteurs avec la fabrication de cinq millions d'engins par année. En 1973 seulement, il s'est vendu aux Etats-Unis plus de seize millions de bicyclettes; ce chiffre représente cinq millions de plus que le nombre d'automobiles (Gross et Bennett [16]). Soixante millions d'Américains montent à bicyclette au moins une fois par année [7]. Selon les données fournies par la Société Radio-Canada (émission Présent à l'écoute du 8 septembre 1978), 33% des Québécois s'adonnent à ce sport de préférence à toute autre forme d'activité physique.

En fait la bicyclette est le mode de locomotion le plus économique connu actuellement (0.15 cal/g/km, Wilson [44]); elle présente en outre de nombreux avantages: son achat est un investissement intéressant à long terme, elle n'engendre pratiquement pas de pollution, c'est un véhicule sécuritaire lorsqu'on sait l'utiliser avec prudence, enfin elle représente un apport non négligeable à la santé et au bien-être.

## REVUE DE LITTERATURE

Les performances réalisées sur une bicyclette dépendent de nombreux facteurs, quelques-uns indépendants de son conducteur (dans une certaine mesure), tels que la résistance de roulement, la résistance de l'air, le type de braquet, la solidité et la légèreté du cadre et des diverses composantes; d'autres relèvent directement de l'aérodynamisme de son conducteur et du moteur humain comme: la surface corporelle, la capacité cardio-vasculaire, la force des membres inférieurs et la fréquence de pédalage pour n'en citer que quelques-uns.

Par souci de clarté ce chapitre a été divisé en deux sections; premièrement, une partie qui traite de la mécanique de la bicyclette, de son conducteur et de la biomécanique du système homme-machine; deuxièmement, la littérature qui aborde les mesures physiologiques ayant trait aux multiples facteurs qui peuvent influencer la performance du moteur humain.

Résistance de roulement ( $R_r$ )

Asmussen [2] quoique ne fournissant pas les résultats obtenus de la résistance de roulement a mesuré celle-ci de la manière suivante: le sujet s'installait sur le tapis roulant avec son engin et il ne faisait que maintenir l'équilibre de sa machine. L'arrière du tapis roulant était élevé jusqu'à ce que le système homme-machine reste immobile plusieurs minutes. Connaissant l'angle du tapis, l'auteur pouvait alors calculer la résistance de roulement; elle était toujours indépendante de la vitesse.

Dill, Seed et Marzulli [11] ont calculé la résistance de roulement de deux bicyclettes ne différant l'une de l'autre que par la largeur des pneus - 5.4 et 3.18 cm - et leurs pressions d'air respectives: 152 et 345 kPa. Les roues des deux bicyclettes avaient un diamètre de 66 cm.

Deux sujets masculins dont les poids étaient de 50 et 80 kg ont participé à l'expérience. Chacun d'eux s'est installé avec une bicyclette sur un tapis roulant dont on pouvait faire varier la vitesse de 0 à 40 km/h et la pente de 0 à 14°. Les sujets ne pédalaient pas, leur rôle était de maintenir la bicyclette au centre de la courroie. Chaque bicyclette était retenue au milieu des poignées par

l'extrémité d'une corde passant par une poulie simple; l'extrémité libre était alors attachée à un plateau sur lequel étaient placées diverses pesées jusqu'à ce que la bicyclette reste immobile plusieurs minutes; les auteurs ont donc obtenu des mesures directes de la résistance de roulement en fonction de la charge brute, de la largeur des pneus au sol et de leurs pressions correspondantes, de la vitesse et de la pente.

Ils ont obtenu les résultats suivants: les valeurs de la résistance de roulement des bicyclettes chaussées de pneus étroits et de pneus ballons étaient respectivement de 2.5 g/kg et de 6.5 g/kg de charge brute, à une vitesse de 24 km/h et pour une pente nulle.

Ils ont refait la même expérience mais cette fois en diminuant la vitesse du tapis roulant de moitié; la résistance de roulement n'avait pas changé. Il était donc 2.6 fois plus facile (6.5/2.5) de pédaler sur une bicyclette munie de pneus étroits que sur une bicyclette munie de pneus ballons, indépendamment de la vitesse et de la charge, pourvu que la pente soit nulle. La résistance de roulement s'accroît linéairement en fonction de la charge et de la pente selon la relation:

$$R_r = I W / (100^2 + I^2)^{0.5} \quad (1)$$

où  $I$  représente le pourcentage de pente et  $W$  la charge brute. La résistance des pneus contre la surface du sol et la résistance interne due aux roulements à billes des essieux exercent une force parallèle à la résistance de roulement, elles sont alors additives; par conséquent, s'il existe une différence de résistance de roulement entre deux bicyclettes, elle sera toujours la même et ce, quelque soit la pente; par contre, le pourcentage de différence de la résistance de roulement entre les deux bicyclettes diminuera avec un accroissement de la pente.

Dans une deuxième série d'expériences les auteurs ont utilisé deux bicyclettes identiques sauf par les pneus qui avaient une largeur de 5.4 et 3.18 cm pour une pression de 193 et 414 kPa. Le cycliste pédalait à l'extérieur, à côté d'une automobile surmontée d'un anémomètre et à l'intérieur de laquelle étaient placés des sacs de Douglas permettant de recueillir les échantillons d'air qu'il expirait.

La  $\dot{V}O_2$  de pointe du cycliste conduisant une bicyclette à pneus larges était en moyenne 0.19 L/min plus élevée que lorsqu'il conduisait une bicyclette à pneus étroits. La  $\dot{V}O_2$  nette pouvait varier d'une séance à l'autre à cause des conditions environnantes et des vitesses

différentes. Cependant, pour chaque paire d'expériences les vitesses du coureur et du vent étaient égales et on obtint toujours une  $\dot{V}O_2$  nette plus grande dans le cas de la bicyclette à pneus larges. Cette différence de  $\dot{V}O_2$  ne peut donc être due qu'aux caractéristiques des pneus seulement. Les auteurs ont obtenu sensiblement les mêmes résultats sur tapis roulant et ils ont remarqué que, dans les deux cas, le pourcentage de différence de  $\dot{V}O_2$  est moindre lorsque la conduite est difficile (vitesse du vent et/ou pente élevée) et plus grand lorsqu'elle est facile (basse vitesse et/ou terrain plat).

Adams [1] a déterminé la proportion de force nécessaire pour vaincre la résistance de roulement et la résistance de l'air; le cycliste tenait une corde attachée à une remorqueuse par l'intermédiaire d'un dynamomètre à ressort et se faisait tirer à une vitesse de 16 km/h, plus de cinquante lectures ont été prises.

La bicyclette, de marque Raleigh, pesait 16.42 kg, avait un cadre de 66 cm, des pneus étroits d'une largeur de 3.18 cm et était équipée de trois vitesses dont le dérailleur avait été retiré avant l'expérience. La pression des pneus se situaient entre 337 et 345 kPa.

La résistance de roulement moyenne était de 8.2 g/kg de charge brute et à une vitesse de 16 km/h, une personne moyenne utilisait environ 45% de sa force musculaire pour vaincre la résistance de roulement. A une vitesse plus élevée le pourcentage de force nécessaire pour vaincre la résistance de roulement diminuait alors que la résistance de l'air augmentait de façon exponentielle.

Pour sa part, Whitt [43] a calculé la résistance de roulement d'une bicyclette en se servant de l'équation suivante:

$$R_r = 0.005 + (0.15/\text{pression des pneus (lb-f/po}^2)) \quad (2)$$

où  $R_r$  s'exprime en lb-f/lb de poids. Cette formule n'est valable que dans le cas d'une bicyclette chaussée de pneus d'un diamètre de 66 cm et dont la section tubulaire est de 3.18 ou 4.76 cm et qui roule sur une surface dure comme l'asphalte ou le macadam.

En appliquant la formule de Whitt (2) à l'expérience de Dill, Seed et Marzulli [11] dont une des deux bicyclettes utilisées avait des roues d'un diamètre de 66 cm, une section de 3.18 cm et une pression de 345 kPa, on obtient les résultats suivants: la résistance de roulement résultante est de 8 g/kg de charge comparée à une valeur de

2.5 g/kg de charge obtenue expérimentalement, soit une résistance de roulement 3.2 fois plus élevée. En appliquant à nouveau la formule de Whitt à l'expérience d'Adams [1] qui a utilisé une bicyclette dont la pression des pneus variait entre 331 et 345 kPa, les résistances de roulement obtenues sont respectivement de 8.2 et 7.9 g/kg de charge brute; résultat qui est en accord avec la résistance de roulement mesurée (8.2 g/kg de charge brute).

L'écart observé entre la résistance de roulement mesurée de l'expérience de Dill, Seed et Marzulli [11] et le résultat obtenu par Adams [1] ou la formule de prédiction [43] peut sans doute s'expliquer de la façon suivante: la surface de roulement dans le cas de l'expérience de Dill, Seed et Marzulli [11] était une surface de linoléum poli puisque les cyclistes pédalaient sur tapis roulant; alors que dans l'étude d'Adams [1] les cyclistes roulaient à l'extérieur sur un parcours asphalté et que la formule de Whitt ne convient que dans des conditions similaires.

Dans une autre expérience, Pugh [38] avait tenu le même raisonnement. Il a mesuré la résistance de roulement d'une manière fort ingénieuse. Celui-ci a construit un premier graphe de la VO<sub>2</sub> en fonction de la vitesse sur un parcours extérieur chez quatre cyclistes qui utilisaient

leur propre bicyclette de compétition et dont la pression des pneus se situait entre 552 et 689 kPa. Ensuite il a construit un deuxième graphe de la  $\dot{V}O_2$  en fonction de la charge de travail (W) effectuée sur une bicyclette ergométrique; il ne restait alors qu'à lire les valeurs correspondantes de la vitesse et de la W pour une même  $\dot{V}O_2$ , de diviser W par la vitesse pour obtenir la résistance totale ( $R_t$ ) des engins à l'avancement où:

$$R_t = R_r + R_a \quad \text{et} \quad R_a = b v^2 \quad (3)$$

b représentant une constante et v la vitesse du coureur-cycliste. Ceci étant une équation de la forme  $y = a + bx^2$  Pugh [38] a alors construit un troisième graphe de la  $R_t$  en fonction du carré de la vitesse et l'intersection de la pente à l'ordonnée lui donnait la valeur de la résistance de roulement pour chacun des quatre cyclistes; celle-ci variait entre 7.4 et 8.2 g/kg de charge brute pour une valeur moyenne de 8.1 g/kg. D'autre part, Pugh [38] a observé des valeurs de résistance de roulement de 2.9 g/kg de charge brute lorsque les sujets conduisaient une bicyclette sur tapis roulant; ces valeurs s'approchent de celles de Dill, Seed et Marzulli [11] qui ont également fait pédaler les cyclistes sur tapis roulant.

Karpovitch et Spinning [25] ont trouvé des valeurs de résistance de roulement de 16 g/kg de charge brute, ce résultat pouvant varier entre 5 et 30 g/kg selon la surface de roulement. A une vitesse de 18 km/h la résistance de roulement requiert selon eux les deux-tiers de la force totale nécessaire pour faire avancer une bicyclette, alors qu'à 24 km/h elle n'est plus égale qu'à la moitié.

Il ressort de ces différentes recherches que la résistance de roulement est indépendante de la charge et de la vitesse dans le cas d'une pente nulle, mais qu'elle s'accroît linéairement en fonction de la charge si la pente augmente, que sa valeur varie selon la surface de roulement utilisée, le diamètre des pneus, leur pression et leur section tubulaire et enfin aux basses vitesses c'est elle qui est responsable de la majeure partie de l'effort déployée.

#### Résistance de l'air (Ra)

Nonweiler [35] est sans aucun doute le seul scientifique qui ait fait une recherche sur la résistance de l'air de coureurs cyclistes dans un tunnel aérodynamique. Ces essais ont démontré que: 1- la plus grande partie de la force exercée par un coureur est utilisée pour vaincre la résistance de l'air; 2- celle-ci varie en fonction du carré de la vitesse; 3- la mesure de la résistance de l'air est

répétitive avec une marge d'erreur ne dépassant pas 3%. Enfin selon la posture employée par le cycliste, la surface frontale varie de 0.31 m<sup>2</sup> (posture dite de compétition) à 0.37 m<sup>2</sup> (posture de tourisme); soit, toute proportion gardée une résistance 1.2 fois plus élevée en posture tourisme.

Adams [1] lors de la même étude portant sur la dépense énergétique a également déterminé la résistance de l'air de coureurs cyclistes; il a mesuré la vitesse relative du vent en fixant un anémomètre sur la remorqueuse. Lorsque le coureur pédalait à une vitesse de 16 km/h en air calme (vitesse absolue du vent égale à 0), la résistance de l'air était de 0.902 kg soit à peu près 55% de la force totale de pédalage; si on augmentait la vitesse, la résistance de l'air croissait de façon exponentielle, et la résistance de roulement étant indépendante de la vitesse, diminuait en proportion. Cependant, il ne fournit aucun résultat de la résistance de l'air pour des vitesses supérieures à 16 km/h.

Whitt [43] quant à lui indique la relation qui existe entre la résistance de l'air (lb-f) et les différents paramètres qui la déterminent.

$$R_a = 0.0023 \times \text{Surface frontale (pi}^2) \times v^2 \text{ (mi/h)}^2 \quad (4)$$

La résistance de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse. L'auteur suppose que pour un même sujet la surface frontale sera de 0.34 et 0.51 m<sup>2</sup> dans les postures de course et de tourisme respectivement; soit une résistance de l'air 1.5 fois plus grande dans la posture tourisme.

Ces calculs démontrent qu'à 16 km/h un cycliste en position de compétition dépense 50% de son énergie pour vaincre la résistance de l'air et qu'à 37 km/h ce pourcentage grimpe à 80%.

Pour sa part Cavanagh [6] en utilisant à peu près les mêmes données que Whitt [43] en arrive au résultat suivant:

$$R_a = 0.00852 \times v^2 \text{ (mi/h)}^2 \quad (5)$$

En appliquant la formule de Whitt (5) à un coureur dont la surface frontale est de 0.34 m<sup>2</sup> (3.65 pi<sup>2</sup>), le résultat obtenu est le suivant:

$$R_a = 0.0023 \times 3.65 \times v^2 \quad (6)$$

$$R_a = 0.0084 \times v^2 \quad (7)$$

ce qui est une valeur pratiquement identique dans les deux cas.

Selon Cavanagh [6] la résistance de l'air en posture de tourisme est 20% plus grande qu'en position de course, ce qui semble minime par rapport à l'écart observé par Whitt [43]. A partir des expériences effectuées; il semble que la bicyclette soit une structure très massive au point de vue aérodynamique puisqu'elle est responsable à elle seule de 30% de la résistance de l'air totale, ce qui est très élevé. L'habillement même du cycliste semble avoir une importance primordiale; si le coureur est vêtu d'un chandail et de culottes courtes, ceci peut augmenter la résistance de l'air de 30% par rapport aux vêtements habituels de compétition.

Pugh [38] a mesuré la résistance de l'air chez quatre cyclistes de la même façon qu'il a mesuré la résistance totale; sachant que:

$$R_t = R_a + R_r \quad (8)$$

$$\text{et que } R_a = b \times v^2 \text{ (m/s)}^2 \quad (9)$$

où  $b$  représente une constante et  $v$  la vitesse du coureur, Pugh [38] a alors construit un graphe de la  $R_t$  en fonction de la vitesse au carré et la pente de la droite représente  $b$  le coefficient de la  $R_a$ ; béchelonne de 0.0193 à 0.0211 kg-f pour une moyenne de 0.0206 kg-f; par conséquent:

$$R_a = 0.0206 \times v^2 \text{ (m/s)}^2 \quad (10)$$

où la surface moyenne projetée était de  $0.33 \text{ m}^2$ .

Livingston [28 - 31] fournit des détails extrêmement complets sur la prédiction de la résistance de l'air à partir d'une série de paramètres tels que la vitesse du coureur, la force et la direction du vent et de la pente.

Dans le cas où l'on considère la vitesse du vent égale et dans la même direction que celle du coureur, alors:

$$R_a = 0.5 \times d \times f \times v^2 \quad (11)$$

où  $d$  représente la densité de l'air ( $0.002378$  au niveau de la mer),  $f$  est la constante de la surface projetée, égale à  $0.33 \text{ m}^2$  et  $0.23 \text{ m}^2$  dans les cas de postures de tourisme et de course respectivement et  $v$  la vitesse du coureur en  $\text{pi/s}$ .

Kyle et Mastropaolo [26] mentionnent que lors de la conduite d'une bicyclette à haute vitesse, 80 à 90% de la dépense énergétique totale est employée à vaincre la résistance de l'air, alors que sur de longs parcours, cette dépense ne représente plus que 15 à 25% de la dépense énergétique totale.

Shanebrook et Jaszczak [39] ont présenté un modèle mathématique pour déterminer les forces aérodynamiques mises

en jeu sur le corps humain lors de différentes activités sportives. Le modèle est fabriqué d'une série de cylindres pour représenter le tronc, le cou et les membres, et d'une sphère pour la tête. Il y a en tout huit cylindres; deux pour les bras, deux pour les cuisses, deux pour les jambes, un pour le tronc et un pour le cou.

En calculant les surfaces des cylindres et de la sphère, les auteurs ont obtenu les résultats suivants valables pour une population américaine représentant le cinquantième percentile: pour un poids moyen de 60.7 kg, la surface projetée était de 0.38 m<sup>2</sup>.

Pugh [38] s'est servi d'une méthode planimétrique semblable pour évaluer la surface frontale de quatre cyclistes; il a photographié les sujets vêtus de l'habillement habituel du coureur, assis sur leur bicyclette, devant un panneau rectangulaire de dimensions connus. La hauteur et la largeur des guidons servaient de multiplicateur; il était alors facile de calculer la surface frontale réelle des sujets: elle se situait entre 0.40 m<sup>2</sup> et 0.44 m<sup>2</sup> pour une fourchette de poids et grandeur comprise entre 71 et 79 kg et 184.2 et 188 cm respectivement.

Il est donc possible de conclure des études précédentes que la résistance de l'air est proportionnelle

au carré de la vitesse du coureur et directement proportionnelle à la surface corporelle projetée; cette dernière s'étend dans des limites assez étroites selon les différents auteurs, entre 0.23 et 0.51 m<sup>2</sup> selon la posture du cycliste sur sa bicyclette. Quoique la bicyclette en elle-même soit une structure peu aérodynamique, peu d'auteurs en tiennent compte dans l'élaboration de leurs calculs. Bref! la résistance de l'air est la principale ennemie du coureur à des vitesses élevées. Cependant les résultats rapportés par les auteurs concernant le pourcentage de force nécessaire pour vaincre la résistance de l'air (ou la résistance de roulement) ne présentent pas d'uniformité pour des vitesses comprises entre 16 et 18 km/h; en effet, la force déployée pour vaincre la résistance de l'air varie entre 33 et 55% selon les auteurs, dépendant de la méthode expérimentale utilisée. Les formules des auteurs cités précédemment ont été reconverties afin d'en rendre la comparaison plus aisée; elles sont regroupées au tableau I.

Tableau I

Comparaison des différentes valeurs de la résistance de l'air (Ra) selon divers auteurs (pour de plus amples détails voir le texte).

=====

Whitt (1971)

$$Ra = 0.001467 \times v^2 \text{ (km/h)}^2 \text{ surface corporelle} = 0.34 \text{ m}^2$$

$$Ra = 0.002210 \times v^2 \text{ (km/h)}^2 \text{ surface corporelle} = 0.51 \text{ m}^2$$

Cavanagh (1974)

$$Ra = 0.001500 \times v^2 \text{ (km/h)}^2$$

Pugh (1974)

$$Ra = 0.001590 \times v^2 \text{ (km/h)}^2$$

Livingston (1975)

$$Ra = 0.001117 \times v^2 \text{ (km/h)}^2 \text{ surface corporelle} = 0.23 \text{ m}^2$$

$$Ra = 0.001564 \times v^2 \text{ (km/h)}^2 \text{ surface corporelle} = 0.33 \text{ m}^2$$

=====

## Mesures physiologiques de la charge de travail

Toutes les études effectuées en laboratoire sur tapis roulant ou sur bicyclette ergométrique se basent sur le fait qu'il existe une relation linéaire entre la charge de travail et la  $\dot{V}O_2$ ; la documentation à ce sujet est abondante et nous avons limité nos investigations aux études les plus représentatives des vingt dernières années.

Toutefois, il y a très peu de recherches portant spécifiquement sur la mesure de la charge de travail en relation avec la  $\dot{V}O_2$ . La plupart des études qui ont été faites n'avaient pas comme objectif premier de vérifier ce point.

Mitchell, Sproule et Chapman [33] ont étudié la  $\dot{V}O_2$  maximale de 65 hommes de constitution normale. Ils ont utilisé un tapis roulant pour l'expérience. Chaque séance était précédée d'une période d'échauffement de 10 minutes à une vitesse de 16 km/h et à une pente de 10%, suivie d'une période de repos de 10 minutes; ensuite le sujet marchait à une vitesse de 10 km/h à une pente nulle (0%), ceci pour une période de 2.5 minutes. La pente était alors augmentée par palier de 2.5%. Chaque séance de travail durait

2.5 minutes et était entrecoupée d'un repos de 10 minutes jusqu'à ce que le sujet soit dans l'impossibilité de continuer à marcher plus longtemps. Si le sujet n'avait pas atteint sa  $\dot{V}O_2$  maximale à la pente la plus élevée du tapis roulant, la vitesse de ce dernier était alors augmentée. La valeur maximale obtenue était de 14.5 km/h pour une pente de 14.5%. Tous les échantillons gazeux ont été prélevés entre 2 et 2.5 minutes à chaque stade de l'exercice.

La  $\dot{V}O_2$  obtenue était de  $142 \pm 44$  mL pour chaque augmentation de charge de travail; les auteurs considéraient alors que si l'augmentation était inférieure à  $142 - 88$  mL (double de l'écart-type) ou 54 mL, la dernière valeur mesurée était sensée représenter la  $\dot{V}O_2$  maximale.

Les auteurs ont obtenu une relation linéaire entre la charge de travail et la  $\dot{V}O_2$  de pointe quoi que l'écart-type soit passablement élevé.

En 1960, Balke, cité par Baptista et al. [4] avait trouvé la relation linéaire suivante:

$$\begin{aligned} \dot{V}O_2 \text{ (mL/min)} &= W \text{ (watts)} \times 6.1 \text{ kg-m/watt} \\ &\quad \times 1.8 \text{ mL O}_2\text{/kg-m} + 5.25 \quad (12) \end{aligned}$$

où 1.8 est une constante représentant le coût énergétique d'un kg-m de travail et l'expression 5.25 représente le métabolisme d'un sujet assis sur une bicyclette.

Hermansen et Saltin [20] ont étudié la  $\dot{V}O_2$  sur bicyclette de 14 hommes qu'ils ont divisés en deux groupes: le groupe A était constitué de 8 athlètes d'endurance (21-27 ans, moyenne 22.9) de calibre national. Tous les athlètes s'entraînaient quatre à sept fois par semaine depuis au moins cinq ans. Il y avait quatre coureurs de cross-country, deux cyclistes et deux coureurs de fond. Leur  $\dot{V}O_2$  maximale était de 66.8 mL/kg/min en moyenne. Le groupe B était constitué de 6 sujets non entraînés. Aucun de ces étudiants n'avait participé à des activités physiques depuis au moins cinq ans. Leur âge moyen était de 25.2 ans et leur  $\dot{V}O_2$  maximale de 44 mL/kg/min. La fréquence de pédalage choisie était de 50 tpm. et les charges de travail correspondaient approximativement à 25, 50, 75 et 90% de la  $\dot{V}O_2$  maximale individuelle.

Quoique les sujets du groupe A avaient une  $\dot{V}O_2$  maximale nettement plus élevée que ceux du groupe B, les auteurs ont démontré qu'il y avait une relation linéaire entre la charge de travail et la  $\dot{V}O_2$  des sujets pour des charges de travail séchelonnant entre 300 à 2 500 Kp-m/min (groupe A) et de 300 à 1 250 Kp-m/min (groupe B).

Mc Ardle et Magel [32] ont étudié 23 étudiants non-cyclistes et ils ont trouvé que le coût énergétique (mesuré

par la  $\dot{V}O_2$ ) du pédalage à bicyclette était proportionnel au travail effectué, nonobstant l'âge, le sexe, le niveau d'entraînement et les dimensions corporelles des sujets.

Nagle et al [34] ont établi des comparaisons de dépenses métaboliques entre le tapis roulant, la bicyclette ergométrique et le test de l'escalier. Le test sur bicyclette ergométrique était exécuté par 10 sujets masculins âgés de 25 à 45 ans, dont le poids moyen était de  $77.0 \pm 8.8$  kg et la  $\dot{V}O_2$  maximale entre 35 et 58 mL/kg/min. La charge de travail s'échelonnait de 60 à 210 watts par palier de 25 watts (sept paliers) pour une fréquence de pédalage comprise entre 50 et 60 tpm. Les auteurs ont calculé l'équation de régression décrivant la relation entre la  $\dot{V}O_2$  en L/min et la charge de travail; la droite de régression est presque coïncidente avec la droite théorique sauf pour la charge de travail la plus élevée où elle s'en écarte légèrement. L'équation de régression est la suivante:

$$y = 7.97 + 2.82x (\pm 0.445, \text{é.-t. de l'estimé}) \quad (13)$$

où y représente la  $\dot{V}O_2$  en L/min et x la séquence de travail (1 à 7) correspondant à la charge de travail (60 à 210 watts). Le coefficient de régression entre la droite théorique et la droite obtenue était de 0.998.

Taguchi, Raven et Horvath [42] ont étudié la capacité aérobie de 8 Japonais résidant aux Etats-Unis depuis 4.6 ans en moyenne. L'âge des sujets était de  $26.4 \pm 1.2$  ans, leur taille de  $169.1 \pm 2.1$  cm, leur poids de  $63.4 \pm 2.1$  kg et leur pourcentage de tissu adipeux de  $7.33 \pm 0.91$ . Les sujets ont été soumis à trois tests différents, deux sur bicyclette ergométrique et un sur tapis roulant. Test 1- le sujet pédalait pendant cinq minutes sans charge de travail à une fréquence de pédalage de 60 tpm.; à la fin de cette période, l'expérimentateur choisissait une première charge de travail de sorte que le sujet arrive à épuisement entre cinq et neuf minutes. La charge de travail était augmentée de 180 Kp-m/min à toutes les deux minutes jusqu'à ce que le sujet ne puisse plus continuer à pédaler. Après épuisement le sujet pédalait pendant 15 minutes sans charge de travail; cette période de récupération, de l'avis des auteurs, était indispensable pour éviter au sujet les symptômes d'une syncope déjà survenue antérieurement lors de quatre tests sans période de récupération. Test 2- On utilisait le même schème expérimental que précédemment, sauf que l'accroissement de la charge de travail était de 150 Kp-m/min à toutes les deux minutes (la fréquence de pédalage était diminuée à 50 tpm. tout au long du test). Test 3- Les sujets marchaient sur un

tapis roulant à une vitesse de 5.6 km/h et la pente était augmentée de 1% par minute jusqu'à épuisement des sujets. Le travail était précédé d'une période de repos assis de 5 minutes et suivi d'une période de récupération assise de 15 minutes.

La charge maximale moyenne obtenue lors du test 1 était de 1 215 Kp-m/min (étendue de 900 à 1 440 Kp-m/min) et pour le test 2 de 1 125 Kp-m/min (étendue de 750 à 1 350 Kp-m/min), cependant les temps de travail étaient de 358 et 470 secondes pour les tests 1 et 2 respectivement. Le travail total effectué lors du test 1 (moyenne de 5 624 Kp-m) était inférieur à celui du test 2 (moyenne de 6 799 Kp-m), mais la différence obtenue n'était pas significative ( $p > 0.05$ ). Toutefois, quelque soit le test effectué, il y avait une relation directement proportionnelle entre la charge de travail et la  $\dot{V}O_2$  exprimée en mL/kg/min.

Dans une autre étude, Zacks [45] a observé deux sujets de 24 ans dont les poids étaient de 75 et 77 kg, et les tailles de 183 et 185 cm respectivement; la bicyclette était munie d'un guidon de course et était retenue au sol par une des roues fixée dans un cadre rigide. Les vitesses s'échelonnaient de 20.4 à 22.1 km/h et la fréquence de

pédalage de 48.8 à 52.9 tpm. Le travail maximum était de 236 watts. L'auteur a trouvé une relation linéaire entre le travail effectué et le coût métabolique de l'exercice.

Pandolf et Noble [36] ont étudié les effets de la fréquence de pédalage et de la charge de travail sur la perception de la fatigue chez 15 sujets mâles ayant une grande capacité aérobie. Tous les sujets avaient une  $\dot{V}O_2$  maximale supérieure à 51 mL/kg/min et leur poids se situait entre 65 et 85 kg ( $73.5 \pm 4.4$  kg), l'âge moyen était de  $20.2 \pm 1.1$  ans.

Tous les sujets ont été soumis à trois charges de travail (550, 770 et 1 075 kg-m/min) et pour chacune de ces charges à trois fréquences de pédalage (40, 60 et 80 tpm.). L'échantillon des gaz expirés était recueilli durant les 30 dernières secondes d'un travail de 5 minutes. Les auteurs ont observé une augmentation linéaire de la  $\dot{V}O_2$  (L/min) pour chacune des charges. Il n'y avait pas de différence significative de la  $\dot{V}O_2$  ( $p > 0.05$ ) entre les fréquences de pédalage.

Pugh [38] est sans doute le seul auteur qui ait tenté de comparer les résultats de la  $\dot{V}O_2$  obtenue sur bicyclette ergométrique à ceux du cyclisme sur route. Il a étudié un cycliste professionnel et cinq amateurs dont l'âge

moyen était de 27 ans (étendue de 21 à 35 ans), la taille et le poids moyens étaient de 181.8 cm (171.5 à 188 cm) et de 72.87 kg (66.68 à 80.01 kg) respectivement, la  $\dot{V}O_2$  maximale de 4.64 à 5.31 L/min. Chaque sujet utilisait sa propre bicyclette dix ou douze vitesses d'un poids approximatif de 10 kg, les pneus pesaient environ 250 g pour une pression de 552 à 689 kPa. Les cyclistes portaient des vêtements de compétition et choisissaient leur propre vitesse et fréquence de pédalage. Ils pédalaient sur un parcours extérieur de 3 km à côté d'une automobile dans laquelle il y avait un sac de Douglas. En bordure de la route était placé un anémomètre qui pouvait évaluer la force et la direction du vent. La distance entre le sujet et l'automobile était de 1.8 m. Le sujet pédalait au moins 5 minutes avant la prise d'un premier échantillon gazeux et on attendait environ 90 secondes avant d'en prendre un deuxième.

Pour des vitesses inférieures à 30 km/h, deux échantillons gazeux étaient recueillis dans le même sac, si la vitesse était supérieure, différents sacs étaient employés. Aux vitesses les plus élevées les sujets tenaient leurs mains directement sur les poignées, leurs dos étant presque horizontal, aux vitesses intermédiaires les sujets ramenaient leurs mains légèrement plus haut et aux

basses vitesses les mains se posaient directement sur le guidon, les bras complètement tendus.

Pour le test sur bicyclette ergométrique, les sujets étaient soumis à cinq ou six charges de travail qu'ils pouvaient soutenir pendant quatre à cinq minutes. Avant d'entreprendre la dernière charge de travail ils avaient droit à un repos de 30 minutes. Les sujets étaient assis sur une bicyclette ergométrique en position intermédiaire et ils choisissaient eux-mêmes leur fréquence de pédalage qu'ils gardaient à chaque niveau de travail à l'aide d'un métronome. Le nombre total de tours était enregistré sur un cyclomètre à chacun des niveaux de travail.

La  $\dot{V}O_2$  observée était une relation curvilinéaire de la vitesse des cyclistes et s'accroissait de 0.88 L/min à 12.5 km/h jusqu'à 5.12 L/min à 41 km/h. Par contre, la  $\dot{V}O_2$  sur bicyclette ergométrique était directement proportionnelle à la charge de travail selon la relation:

$$y = 0.019x + 0.51 \quad (14)$$

où y représente la  $\dot{V}O_2$  en L/min et x la charge de travail en kg-m/min et atteignait un maximum de 5.1 L/min pour une charge maximale de 2 600 kg-m/min. Il n'y avait pas de différence significative entre la  $\dot{V}O_2$  maximale obtenue sur la bicyclette et celle de la bicyclette ergométrique.

Les fréquences de pédalage choisies par les coureurs étaient du même ordre pour des  $\dot{V}O_2$  de 2 litres et plus par minute, cependant pour des  $\dot{V}O_2$  plus basses, les fréquences de pédalage étaient considérablement moins élevées sur bicyclette que sur bicyclette ergométrique.

Il est donc possible de conclure, avec certaines réserves (en négligeant la résistance de roulement des essieux et l'usure de la courroie), à partir des études précédentes sur bicyclette ergométrique que la  $\dot{V}O_2$  est directement proportionnelle à la charge de travail. Cependant, il est important de connaître a priori si la fréquence de pédalage peut avoir une influence quelconque sur la  $\dot{V}O_2$  des cyclistes.

#### Fréquence de pédalage

Taguchi, Raven et Horvath [42] rapportent que la  $\dot{V}O_2$  et la fréquence cardiaque sont plus élevées pour une même charge de travail à 20 tpm. qu'à 60. Probablement qu'une fréquence de pédalage trop basse pour une même charge de travail exige une plus grande résistance qui doit être appliquée aux pédales. Cette augmentation de la résistance peut être associée au fait que le sujet ressent très tôt une impression de fatigue résultant d'une force musculaire considérable, indispensable pour vaincre cette résistance. Edwards et al [12] rapportent d'ailleurs le même phénomène.

Bannister et Jackson cités par Pandolf et Noble [36] et Kamon et al [24] n'ont pas trouvé de différence significative de la  $\dot{V}O_2$  et de la fréquence cardiaque pour une même charge de travail si la fréquence de pédalage se situait entre 50 et 80 tpm.

L'étude de Pandolf et Noble [36] portaient sur 15 hommes pesant entre 65 et 85 kg et ayant tous une  $\dot{V}O_2$  maximale supérieure à 51 mL/kg/min. Ils ont été soumis à trois niveaux de travail chacun et à trois fréquences de pédalage, c'est-à-dire 40, 60 et 80 tpm.

Les résultats ont démontré, outre que la  $\dot{V}O_2$  était proportionnelle à la charge de travail, qu'à chacune des fréquences de pédalage elle n'était pas significativement différente si la charge de travail restait la même. Les auteurs conseillaient donc d'ajuster les bicyclettes ergométriques entre 60 et 80 tpm. plutôt qu'entre 50 et 60, parce qu'entre 60 et 80 tpm. c'est réellement la performance cardio-respiratoire qui est évaluée et non pas la force musculaire locale.

Astrand et Rodahl ([3], p. 337) affirmaient quant à eux qu'une fréquence de pédalage de 60 tpm. permettait d'obtenir une  $\dot{V}O_2$  maximale plus élevée qu'à 50 ou 70 tpm.

Pugh [38] a démontré qu'il existait une relation linéaire entre la fréquence de pédalage et la vitesse atteinte sur route. En laissant le choix aux coureurs de déterminer leur propre fréquence de pédalage, celle-ci se situait en général entre 80 et 100 tpm. Il y avait une relation étroite entre la fréquence de pédalage choisie sur bicyclette ergométrique et sur bicyclette pour une  $\dot{V}O_2$  supérieure à 2 litres par minute.

Stamford et Noble [41] ont étudié 10 sujets masculins âgés de 20 à 27 ans et ayant une  $\dot{V}O_2$  supérieure à 51 mL/kg/min. Les sujets étaient soumis à deux traitements; le premier consistait en un travail continu de 15 minutes à une charge de travail de 960 kg-m/min et à des fréquences de pédalage de 40, 60 et 80 tpm. et le deuxième, un travail intermittent de 3 minutes suivi de 3 minutes de repos aux mêmes charges de travail et aux mêmes fréquences de pédalage que dans le premier cas.

Bien qu'on ait observé une différence significative entre le travail intermittent et le travail continu ( $p < 0.05$ ), pour une même condition expérimentale il n'y avait aucune différence significative de la  $\dot{V}O_2$  entre les fréquences de pédalage ( $p > 0.05$ ); cependant, il y avait une relation parabolique entre la fréquence de pédalage et la

$\dot{V}O_2$  pour des fréquences de pédalage inférieures à 30 tpm. ou supérieures à 90.

Une fréquence de pédalage de 60 tpm. était perçue comme étant la moins stressante pour la plupart des sujets comparé à 40 ou 80 tpm., puisqu'il semblait y avoir plus de fatigue au niveau des jambes à ces deux fréquences.

Cavanagh [6] souligne le paradoxe qui existe entre les physiologistes et les coureurs cyclistes au sujet de la fréquence de pédalage. Pour une même charge de travail les études en laboratoire démontrent une efficacité maximale entre 45 et 65 tpm. alors que les coureurs peuvent maintenir une fréquence de pédalage de 100 tpm. et plus pendant plusieurs heures.

Hagberg, Giese et Mullin [18] ont étudié 7 cyclistes de compétition qui utilisaient leur propre bicyclette sur un tapis roulant à une vitesse de 32 km/h. Les sujets ont été soumis à 5 courses à différentes vitesses et les auteurs ont démontré que la  $\dot{V}O_2$  était en relation curvilinéaire (en forme de U) avec la fréquence de pédalage. La  $\dot{V}O_2$  aux vitesses extrêmes était de 10 à 15% plus élevée qu'à la vitesse préférée du coureur. La fréquence de pédalage était de 90 à 100 tpm. et toute modification de celle-ci avait une influence directe sur la réponse métabolique des sujets et réduisait leur efficacité mécanique.

Foster et Daniels [13] ont étudié la relation existante entre la puissance aérobie et la performance de 16 cyclistes, tous membres d'un club cycliste. La fréquence de pédalage jugée la plus confortable par l'ensemble des coureurs se situait toujours entre 80 et 130 tpm.

Kay, Peterson et Vejby-Christensen [26] ont soumis 5 hommes à 6 charges de travail (50, 80, 110, 140, 170 et 200 watts) et à deux fréquences de pédalage (50 et 70 tpm.). La  $\dot{V}O_2$  était légèrement supérieure à n'importe quelle charge de travail à 70 tpm. comparée à 50 tpm. et cette différence restait à peu près la même si on variait la charge de travail. Gueli et Sheppard [17] ont étudié 10 sujets masculins âgés de 20 à 24 ans (un sujet avait 31 ans) dont la taille moyenne était de  $177.5 \pm 4.5$  cm, le poids moyen de  $75.3 \pm 10$  kg et la  $\dot{V}O_2$  maximale de  $3.71 \pm 0.8$  L/min (environ 50 mL/kg/min). Tous les tests étaient de niveau sous-maximal (60%) de sorte que la fréquence cardiaque se situait entre 140 et 145 pulsations par minute à la fin de l'épreuve. Les tests étaient précédés d'une période d'échauffement de 7 minutes à 60% de la charge et à une fréquence de pédalage de 50 tpm. Ensuite les sujets étaient soumis au hasard à des fréquences de pédalage de 50, 60, 70, 85 et 100 tpm.; tous les sujets ont exécuté les 5 tests.

Les auteurs ont observé une efficacité maximale entre 60 et 85 tpm. et la  $\dot{V}O_2$  était de 0.3 et 0.2 L/min plus élevée à 50 et 100 tpm. respectivement. L'efficacité nette était de 23.1% à 50 tpm. et de 27 - 28% entre 60 et 85 tpm. Les auteurs avaient du mal à comprendre pourquoi l'efficacité diminue à une fréquence de pédalage plus basse, ceci était probablement dû au fait que la demande énergétique augmente lorsque la force sur les pédales s'accroît.

Il semble y avoir un certain accord entre les auteurs au sujet du choix de la fréquence de pédalage, bien que les cyclistes professionnels préféreraient une fréquence de pédalage plus élevée que les cyclistes moyens, ils étaient somme toute l'exception. Tous les auteurs qui ont étudié une large gamme de fréquence de pédalage sont d'accord pour proscrire une fréquence de pédalage trop élevée ou trop basse. On peut en conclure que l'efficacité mécanique demeure relativement constante entre 60 et 85 tpm. chez des cyclistes non professionnels.

## Ajustement des bicyclettes

Peu d'auteurs mentionnent dans leurs études à quelle hauteur les sujets s'asseyaient sur leur bicyclette ou sur la bicyclette ergométrique. Adams [1] ne fait que signaler que l'angle du genou est d'environ  $180^\circ$  lorsque le sujet est assis alors que la pédale est en position basse, Gross et Bennett [16] affirment la même chose. En fait, il semble que les auteurs se soient basés sur un certain empirisme plutôt que sur des études réellement scientifiques.

Astrand ([3], p. 321) semble confirmer le fait que le sujet devrait se placer presque verticalement au-dessus du pédalier lorsque la pédale est en position basse. Cependant, il se contredira plus loin dans le même document (p. 570) en affirmant que le rendement mécanique est indépendant de la position de la selle et des guidons.


En fait nous ne connaissons que les travaux de Thomas (Gross et Bennett [16] et Shennum et deVries [40]) et de Shennum et deVries [40] qui ont pris la peine d'étudier l'influence de la hauteur de selle sur la  $\dot{V}O_2$  lors du travail sur bicyclette ergométrique. Thomas avait démontré qu'une altération de seulement 4% de la hauteur de la selle pouvait modifier le travail effectué d'environ 5%. Il a conclu que la hauteur de selle optimale était 109% de la longueur mesurée de la symphyse pubienne jusqu'au sol.

Shennum et deVries [40] ont quant à eux étudié cinq cyclistes expérimentés qui ont pédalé sur une bicyclette ergométrique modifiée de telle sorte qu'ils puissent imiter la posture de compétition (dos horizontal).

Ils ont mesuré la longueur des jambes (de l'ischion au sol) des sujets lorsque ceux-ci étaient dos à un mur, les pieds écartés d'une distance de 30 centimètres, le corps droit et les fesses touchant au mur. Ils ont même répété les mesures trente fois sur un sujet afin de vérifier la précision de la méthode et de l'appareil; les résultats se situaient tous entre 93.2 et 93.6 cm.

La hauteur de selle était mesurée en plaçant la pédale de la bicyclette ergométrique à la position basse et en traçant une ligne imaginaire du siège jusqu'à la pédale. Les auteurs ont choisi les hauteurs de siège qui correspondaient à 100, 103, 106, 109 et 112% de la longueur mesurée de l'ischion jusqu'au sol.

Le sujet commençait à pédaler à une charge de travail de 50 watts et à une fréquence de pédalage de 60 tpm. Cette charge de travail était augmentée de 25 watts à la fin d'une période de 3 minutes et on continuait à l'accroître par palier de 25 watts jusqu'à atteindre une charge de travail finale de 250 watts.



Le rapport F obtenu par la comparaison des différentes hauteurs de siège était significatif ( $p < 0.01$ ); les auteurs ont alors effectué un test de Tukey et ils ont obtenu les résultats suivants: Il y avait une différence significative ( $p < 0.05$ ) entre les VO<sub>2</sub> obtenues pour les hauteurs correspondantes à 100% et 106%, et 100% et 109%. La hauteur de 112% était significativement différente de toutes les autres ( $p < 0.01$ ).

Les auteurs en conclurent donc que la hauteur de la selle a une influence directe sur la mesure de la VO<sub>2</sub>, que celle-ci s'accroît avec une augmentation de la hauteur, que la mesure est objective et facilement réalisable et enfin que les résultats s'accordent bien avec ceux obtenus par Thomas (Gross et Bennett [16] et Shennum et deVries [40]).

Les auteurs ont alors demandé aux sujets quelle était la hauteur qu'ils jugeaient la plus confortable; 112% les obligeaient à bloquer le genou lorsque la pédale était en position basse, et à 100% de hauteur la position était par trop inconfortable, les jambes ne pouvant se déplier suffisamment. Shennum et de Vries recommandaient une hauteur idéale de 103-104% de la longueur de la jambe selon leur méthode de mesure ou de 108-109% selon la méthode de mesure de Thomas.

La revue de littérature précédente s'est davantage attachée à faire ressortir les principaux facteurs pouvant affecter la conduite d'une bicyclette en communiquant les résultats des recherches les plus pertinentes en ce domaine.

La résistance de roulement dépend des paramètres tels que la nature du revêtement, la largeur des pneus sur cette surface et leur pression d'air; de plus la résistance de roulement est indépendante de la charge et de la vitesse (pour une pente nulle). La résistance de l'air varie selon le carré de la vitesse et de la surface frontale qu'offre le cycliste à l'avancement (morphologie, habillement et posture adoptée); un seul auteur (Cavanagh [6]) mentionne la valeur élevée de la résistance de l'air d'une bicyclette sans son passager (jusqu'à 30% de la résistance de l'air totale). La résistance de roulement et de l'air s'expriment dans les mêmes unités et peuvent par conséquent s'additionner pour obtenir la résistance totale d'une bicyclette.

La charge de travail est sans nul doute un facteur fort important. Elle dépend avant tout du rapport d'engrenages choisi selon les conditions de l'épreuve, de la résistance de l'air et de la résistance de roulement dans une mesure moindre. Enfin, les auteurs sont unanimes à l'effet qu'il existe une relation linéaire entre la  $\dot{V}O_2$  et la charge de travail.

La fréquence de pédalage dépend aussi, des facteurs énumérés ci-dessus; le cycliste devra tenir compte non seulement de l'état de la route, de la direction et de la force relative du vent, il doit savoir en outre, de manière empirique ou scientifique, quelle bande de fréquences est la plus efficace pour lui et choisir le braquet correspondant à la charge de travail optimale.

Si les études portent sur un échantillon de cyclistes occasionnels ou non professionnels, les auteurs s'entendent pour affirmer qu'une bande de fréquences de 60 à 85 tpm. est la plus efficace; tandis que chez les professionnels, cette gamme est beaucoup plus élevée; bien qu'on s'accorde mal à expliquer pourquoi.

L'ajustement de la bicyclette est un paramètre qu'il ne faut certes pas négliger, tant pour le confort du cycliste que pour obtenir une efficacité maximale. Il semble qu'il y ait beaucoup d'empirisme à cet effet, cependant, les auteurs qui se sont penchés sur cette question sont d'accord sur l'ajustement de la hauteur de la selle, des guidons et de leur angle d'inclinaison.

## METHODE et PROCEDURES

Tel qu'exprimé au premier chapitre, le but de cette recherche était de comparer une bicyclette dix vitesses et une bicyclette à développement imposé selon les trois critères suivants:

1. Les consommations d'oxygène de pointe ( $\dot{V}O_2$ ) mesurées entre les 3e, 6e et 9e vitesses de la bicyclette dix vitesses et entre chacune de ces vitesses et l'unique vitesse de la bicyclette à développement imposé.
2. La résistance de l'air du cycliste selon le type d'engin, c'est-à-dire la bicyclette dix vitesses et la bicyclette à développement imposé pour une vitesse identique et à une pente nulle;
3. La résistance de roulement des bicyclettes dix vitesses et à développement imposé pour une vitesse identique et une pente nulle.

Afin de pouvoir vérifier ce premier critère, nous avons posé a priori que la  $\dot{V}O_2$  était directement proportion-

nelle à la charge de travail sur les pédales malgré que les conditions expérimentales soient différentes parce qu'il y avait deux engins utilisés; quoique la plupart des paramètres environnementaux (température, humidité, etc.) aient été contrôlés.

### Sujets

Il y avait 16 sujets (8 hommes, 8 femmes) de l'Ecole des sciences de l'activité physique de l'Université d'Ottawa qui ont participé à l'expérience; leur âge s'échelonnait de 18 à 34 ans, leur poids de 47.6 à 80.6 kg et ils savaient tous conduire une bicyclette au préalable. Les sujets qui ont participé à cette expérience étaient des volontaires qui ont été recrutés soit par téléphone ou encore par contact direct à l'intérieur du département.

### Matériel utilisé

#### Bicyclette dix vitesses

La bicyclette dix vitesses utilisée était de marque Supercycle Medalist 10 (figure 1) fabriquée sous licence pour Canadian Tire Corporation, Toronto, Canada. Les roues avaient un diamètre de 66 cm et les pneus une section tubulaire de 3.18 cm à une pression de 207 kPa. Le poids de

l'engin était de 15.70 kg. Les rapports d'engrenages et leurs vitesses correspondantes sont illustrés au tableau II

Tableau II

Comparaison des rapports d'engrenages et de la fréquence de pédalage ( $v = 21$  km/h) entre la bicyclette dix vitesses (B10) et la bicyclette à développement imposé (BØ).

=====

	Bicyclette dix vitesses      ordinaire		Bicyclette dix vitesses      ordinaire	
10	91.00		50.3	
9	79.63		57.5	
8	74.29		61.6	
7	70.78		64.6	
6	65.00	66.44	70.4	68.9
5	60.67		75.6	
4	57.78		79.2	
3	53.08		86.2	
2	49.52		92.4	
1	43.33		105.6	

vitesses    rapports d'engrenages                      fréquence de pédalage

---

Le guidon de la bicyclette était courbé vers le bas et l'angle formé entre une ligne imaginaire passant par le sommet de la poignée jusqu'à l'extrémité inférieure et

l'horizontale était d'environ  $15^\circ$  selon les recommandations de Gross et Bennett [16] et Jorgensen [23].

Par souci de sécurité la bicyclette ne possédait pas de cale-pieds et les freins avant et arrière avaient été retirés; en outre, les modifications suivantes ont dû être apportées: afin que les sujets puissent garder leur équilibre sur le tapis roulant sans problème, deux roulettes d'entraînement ont été ajoutées de part et d'autre de la roue arrière de la bicyclette. Celles-ci étaient fixées sur une tige métallique rectangulaire évidée en son centre pour pouvoir modifier la hauteur des roulettes; cette tige était boulonnée à son extrémité supérieure à l'axe de l'essieu qui a été allongé pour les besoins de la cause (figure 2a).

Sur la face intérieure d'une des tiges de manivelle était collé un petit aimant qui à chaque tour de pédalier passait devant une ampoule contenant un bimétal fixé sur le tube de base (figure 3). Cette ampoule était reliée à une prise Jack fixée à l'extrémité supérieure de la fourche arrière (figure 4). Un compteur digital amplifiait alors le signal et il était possible de connaître le nombre de tours par minute correspondant à une vitesse et à une vitesse déterminées.

## METHODE ET PROCEDURES

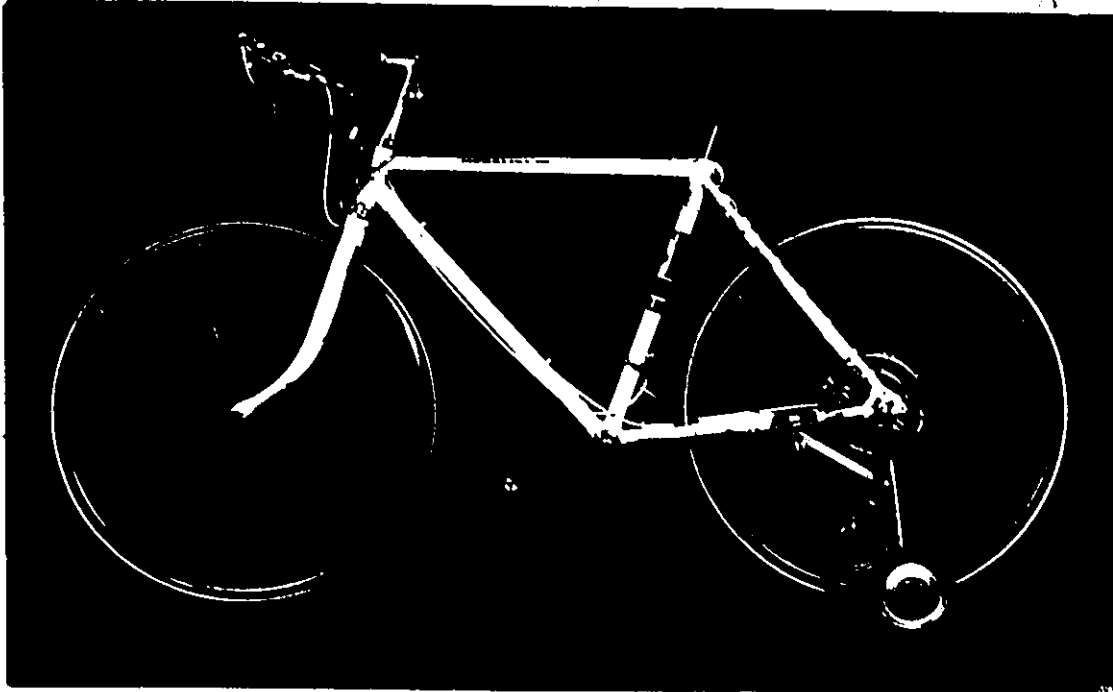


Figure 1

Bicyclette dix vitesses Supercycle Medalist 10

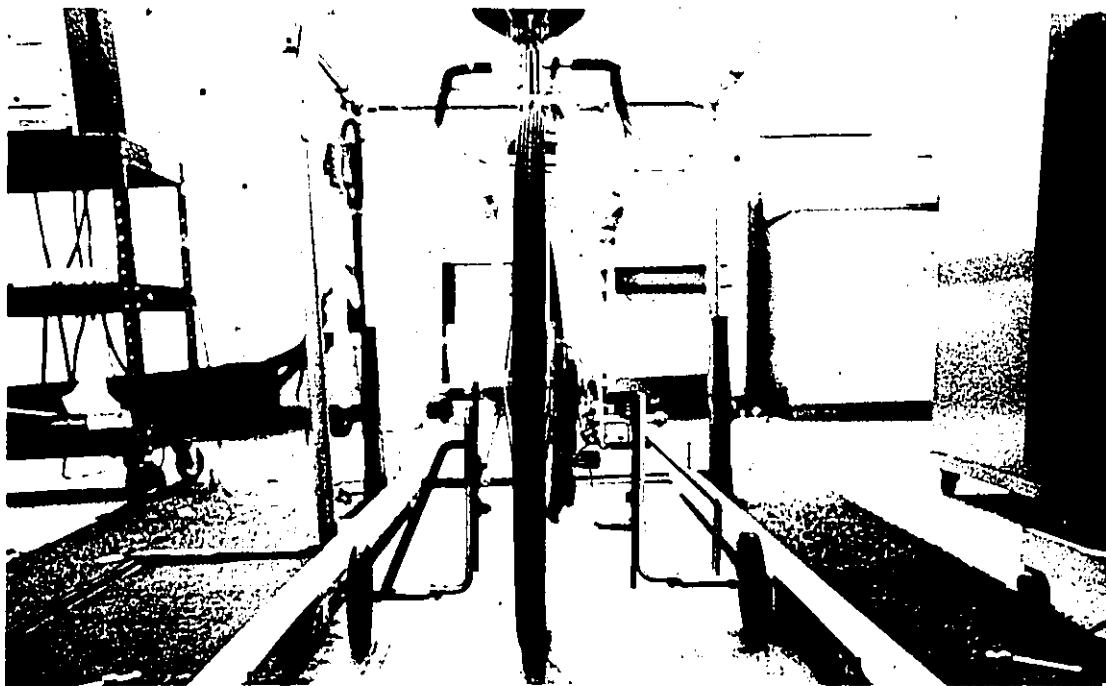


Figure 2 a) roulettes d'entrainement fixées sur la tige rectangulaire,  
b) cadres de bois fixés de part et d'autre de la courroie du tapis roulant

## METHODE ET PROCEDURES

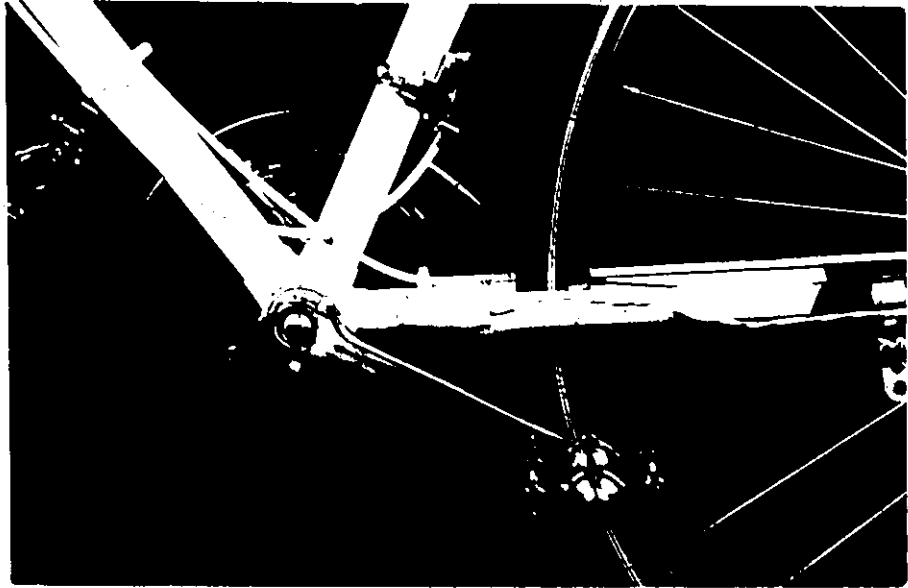


Figure 3

Compte-tours de pédalier

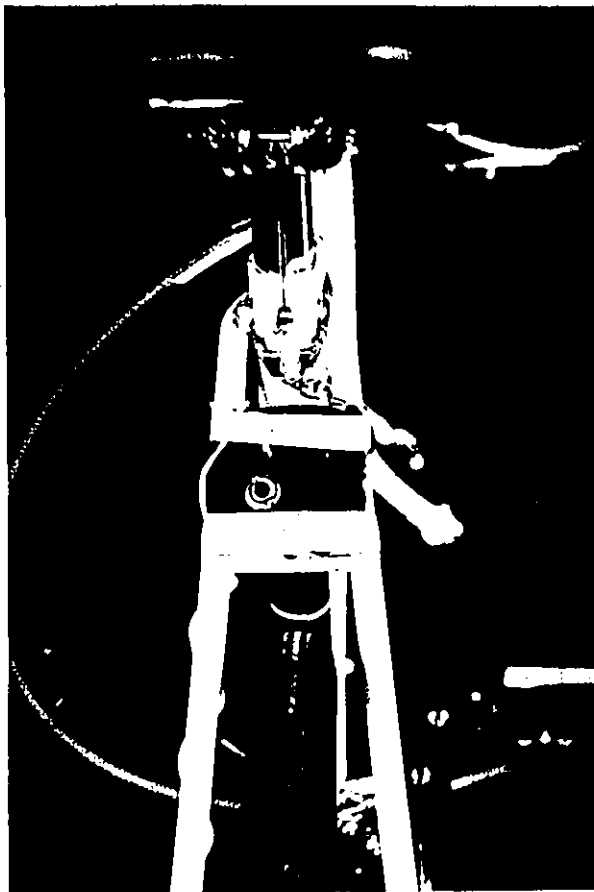


Figure 4 Prise Jack de compte-tours de pédalier

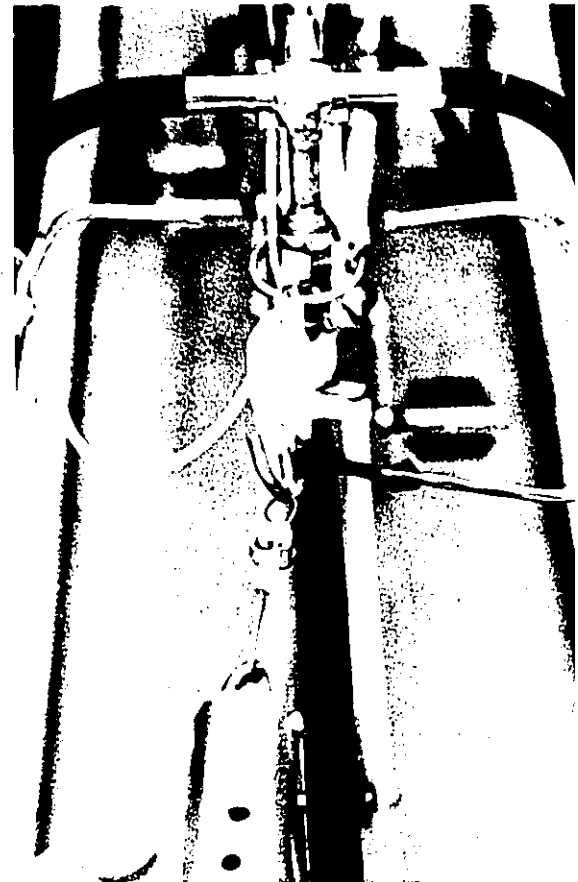


Figure 5 Crochet de la cellule de Torque servant à calculer la résistance de roulement

# METHODE ET PROCEDURES

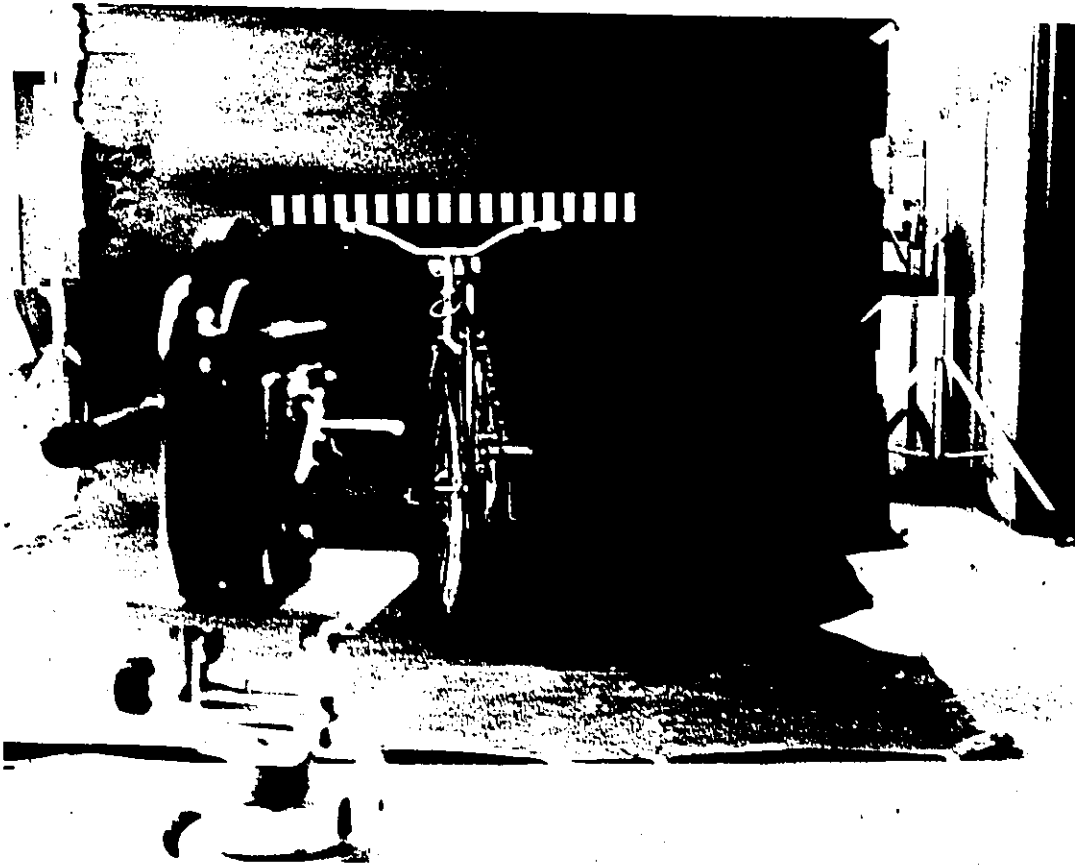


Figure 6

Bicyclette ordinaire Supercycle

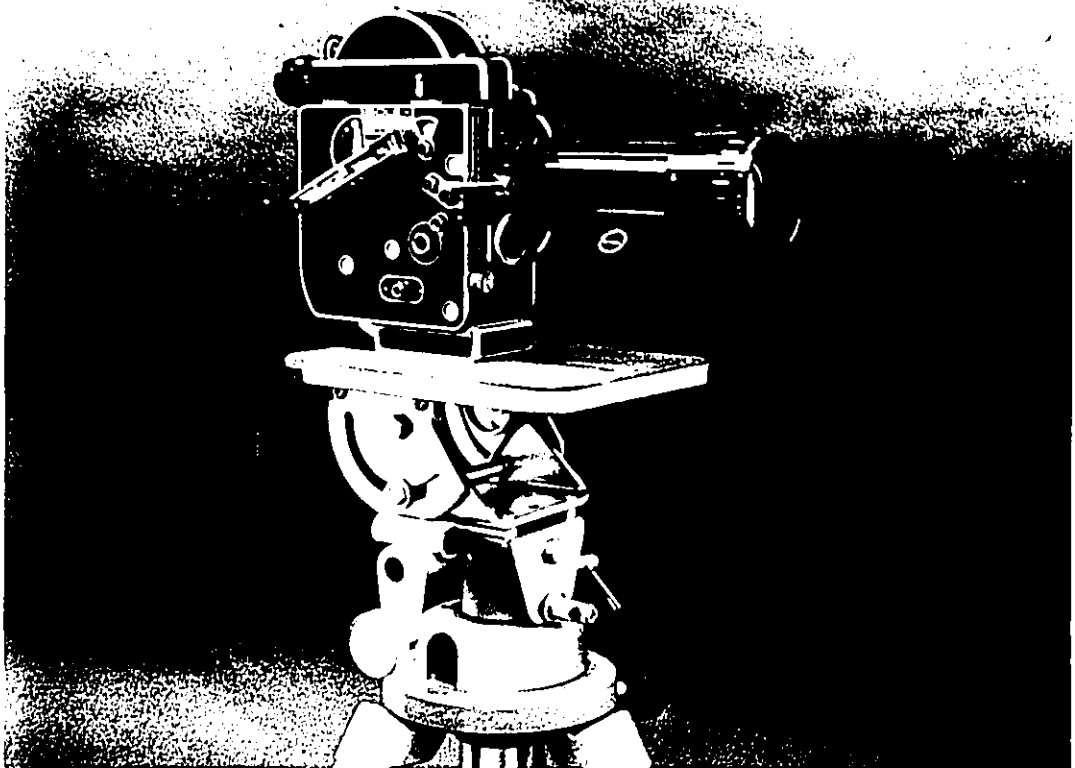


Figure 7

Ciné-caméra Bolex 16mm modèle H16

Sur la tige centrale du guidon, il y avait un anneau qui permettait d'attacher le crochet de la cellule de force pour calculer la résistance de roulement et maintenir la bicyclette sur le centre du tapis (figure 5).

#### Bicyclette à développement imposé

Cette bicyclette était de même marque que la précédente (figure 6); en fait il n'y avait que très peu de différences avec la bicyclette dix vitesses, à l'exception du fait que son poids était de 17.02 kg (17.04 kg) et la section tubulaire des pneus de 3.51 cm à une pression de 207 kPa; le guidon était droit et le sujet s'asseyait sur un siège plutôt que sur une selle comme dans le cas de l'autre bicyclette. Il n'a pas été nécessaire de changer l'axe de l'essieu arrière pour fixer les roues d'entraînement.

#### Tapis roulant

Le tapis roulant était de marque Quinton (Quinton Instruments, Seattle, Washington) modèle 24-72 dont la pente pouvait varier entre 0 et 14% et la vitesse entre 0 et 40 kilomètres à l'heure. Le tapis roulant était contrôlé par une console Quinton modèle QI-642. Afin d'empêcher que les roulettes d'entraînement des deux bicyclettes quittent le tapis dans le cas d'un dérapage latéral, deux pièces de bois

construites en forme de L étaient fixées de part et d'autre du tapis et surplombait la courroie sur une largeur de 2.54 cm. Ces deux cadres de bois étaient recouverts sur leurs faces intérieures de lames de métal, le tout étant fixé au moyen de quatre étaux à chaque extrémité (figure 2b).

### Electrocardiographie

Il y avait au laboratoire quatre appareils pour enregistrer la fréquence cardiaque des sujets lorsque ces derniers pédalaient; ceci afin d'avoir toujours à l'oeil les différents paramètres du travail cardiaque et permettant d'arrêter l'expérience le cas échéant.

1. La fréquence cardiaque était calculée par un Exercise Cardiotachometer modèle QI-609 de Quinton; il était alors possible d'en obtenir un relevé approximatif à chaque seconde environ, dans le but d'avoir une idée de l'effort déployée par le sujet à l'exercice.

2. L'électrocardiogramme était enregistré sur papier par un VS4 de Cambridge Instruments.

3. Il y avait un oscilloscope Monitor Scope modèle 760 fabriqué par Hewlett-Packard relié à un amplificateur Sanborn modèle 768-100.

4. Enfin, un deuxième oscilloscope permettait de voir le tracé électrocardiographique du sujet, c'était un Physio-Scope modèle A-107-A fabriqué par Lexington Instruments.

Les tracés étaient obtenus par des électrodes de surface branchées à un Automatic Heart Rate modèle 602 de Quinton.

#### Mesure de la $\dot{V}O_2$ de pointe

Les sujets respiraient dans une pièce buccale Triple J High Velocity de Collins Instruments; l'air expiré passait par un tuyau à faible résistance de 3.81 cm. jusqu'à un Capnograph modèle 146 fabriqué par Godart-Statham NV, Bilthoven, Hollande, qui calculait le pourcentage de  $CO_2$ ; en même temps un Rapox modèle 17208-1 de Godart analysait la teneur en  $O_2$  de l'air expiré; celui-ci passait alors dans un gazomètre de Tissot d'une capacité de 120 litres fabriqué par Narco Bio-Systems Inc., Houston, Texas. Les analyses de gaz et de volume gazeux étaient enregistrées sur un Physiograph Four-B de Narco Bio-Systems Inc. Un chronomètre de marque Aristo, (Aristo Clock, Aristo Import Co. Inc. New-York) permettait d'évaluer la durée de l'exercice et donnait le signal de départ et d'arrêt de la mise en marche des instruments de mesure de la  $\dot{V}O_2$ . Lorsque les sujets respi-

raient dans la pièce buccale, leur nez était bouché avec un pince-nez.

#### Photographie

Les photographies des sujets étaient prises au moyen d'une ciné-caméra 16 mm de marque Bolex (Suisse) modèle H 16 munie d'un objectif Zoom Pan-Cinor (France) dont la longueur focale pouvait varier entre 17 et 85 mm (figure 7). L'intensité lumineuse était enregistrée au moyen d'un posemètre Lunanix modèle PX 13 de la compagnie Gossen (Allemagne de l'Ouest). Les quatre réflecteurs étaient de marque Iane-beam 1000 modèle 3140 (Italie). Le film obtenu était analysé sur un projecteur Vanguard modèle M 35 de Vanguard Instruments Corp., New-York.

#### Cellule de force

La cellule de force fabriquée par Interforce Inc., Scottsdale, Arizona avait une réponse linéaire (fluctuations  $< 0.01\%$ ) à des charges variant entre 0 et 68 kg; elle recevait sa source de courant d'un transformateur Power Mite, modèle A666 de Tenco Electronics, Vancouver, C.-B. La cellule de force était branchée à un Full Weathstone Bridge Circuits Amplifier (Honeywell); le signal ainsi amplifié par la cellule était alors dirigé vers

un afficheur digital Keithley modèle 168 dont la distorsion était inférieure à 0.1% et vers un Visi-corder modèle 1508 B (Honeywell); ce procédé permettait d'obtenir une lecture digitale et un enregistrement permanent sur papier photographique.

#### Protocole expérimental

Le sujet se présentait seul au laboratoire, vêtu confortablement, quinze minutes avant le début de l'expérience; il se familiarisait alors avec les différents appareils et il recevait une explication succincte du déroulement de l'expérience.

L'expérience se déroulait en six étapes:

##### 1. Prise de contact du sujet avec les bicyclettes

Le sujet s'asseyait sur une ou l'autre bicyclette et la hauteur de la selle ou du siège était alors ajustée de sorte que la jambe soit presque complètement étendue et que la plante de son pied touche fermement la pédale lorsque celle-ci était en position basse. La hauteur du guidon était ajustée au même niveau que le nez de la selle ou du siège.

## 2. Photographie

Le sujet s'installait sur une bicyclette, les deux mains sur les poignées et le pied droit en position basse. Après avoir placé le multiplicateur verticalement à côté du sujet, une photographie du cycliste et de son engin était prise dans un plan frontal, la caméra placée de telle sorte qu'elle couvre la partie comprise entre le sommet de la tête et la base du pied. La même procédure était répétée avec l'autre bicyclette.

## 3. Pose des électrodes

Le sujet se couchait alors sur un lit en decubitus dorsal; la procédure était la suivante: il était rasé à la partie supérieure et inférieure du sternum et au quatrième espace intercostal; les trois électrodes étaient recouvertes d'une pâte électrolyte et étaient fixées aux endroits suivants: le sommet du sternum, l'appendice xyphoïde et en position V5.

Le sujet demeurait étendu quinze minutes afin de relaxer complètement avant le début de l'effort.

#### 4. Installation de la bicyclette

Pendant que le sujet relaxait, une des bicyclettes était placée sur le centre du tapis roulant. Celle-ci était accrochée par son anneau à un fil métallique dont l'autre extrémité s'attachait au crochet de la cellule de force, elle-même étant fixée par un second crochet à une tige horizontale placée devant le tapis roulant. Enfin la bicyclette était branchée sur le compte-tours digital.

#### 5. Prise en main de la bicyclette et calcul de la résistance de roulement

Les freins des deux bicyclettes avaient été retirés par mesure de sécurité et elles étaient attachées à la partie antérieure du tapis roulant pour qu'elles ne puissent pas être catapultées hors de celui-ci s'il advenait un incident.

Le sujet savait alors que la vitesse initiale du tapis roulant serait de trois kilomètres à l'heure et qu'elle augmenterait par trois paliers de 5 km/h et un dernier de 3 km/h jusqu'à l'obtention de la vitesse finale de 21 km/h. Au début le sujet pouvait sans problème s'agripper d'une main à la rampe qui borde le tapis roulant afin de s'aider à mieux garder l'équilibre; cependant, il ne

devait jamais lâcher le guidon des deux mains à la fois, le résultat pouvant être une perte de contrôle de la bicyclette.

Le tapis roulant était alors mis en marche et après s'être assuré que le sujet se maintenait convenablement sur la bicyclette, la vitesse était graduellement augmentée jusqu'à un premier palier de huit kilomètres à l'heure, c'est à ce moment que le Visicorder était mis en marche pendant une période de dix secondes afin d'avoir un enregistrement de la résistance de roulement. Ensuite la vitesse du tapis était augmentée de nouveau jusqu'à l'obtention de la vitesse finale de 21 kilomètres à l'heure.

Cette vitesse a été choisie parce qu'indépendamment du type de bicyclette et des vitesses précitées, la fréquence de pédalage se situait toujours entre 50 et 85 tours par minute (tableau II); ceci dans le but d'obtenir une efficacité maximale.

Lorsque le sujet semblait avoir bien pris en main la bicyclette, il lui fallait pédaler de sorte que le fil métallique qui maintenait la bicyclette sur le centre du tapis soit complètement relâché. Après une période d'échauffement et d'apprentissage de cinq minutes, le tapis roulant était arrêté et le sujet venait s'asseoir sur une chaise pour une période de dix minutes.

## 6. Mesure de la charge de travail

Le sujet était invité à se rasseoir sur la même bicyclette et après la mise en marche du tapis roulant il devait alors s'entraîner à quelques reprises à porter une pièce buccale qui lui était insérée dans la bouche.

Le sujet était averti que la vitesse initiale du tapis roulant serait dès le départ de 21 kilomètres à l'heure; pendant les premiers instants le sujet pouvait se tenir d'une main à la rampe de sécurité afin de mieux conserver son équilibre. Ensuite, toujours en gardant la main sur la rampe de commencer à pédaler doucement jusqu'à atteindre la vitesse exigée de sorte que le fil métallique soit complètement relâché. Le sujet devait nous avertir s'il désirait arrêter l'expérience, soit de vive voix, soit par un signe de la main s'il avait la pièce buccale dans la bouche; et il n'avait pas à se gêner pour le faire.

Comme dans le cas de la mesure de la  $\dot{V}O_2$ , le sujet n'avait pas besoin de porter la pièce buccale dès le départ: elle était fixée avec le pince-nez juste avant la cueillette des gaz expirés.

Lorsque le sujet était bien installé et semblait ne pas éprouver trop de difficulté pour garder son équilibre,

le chronomètre était mis en marche. Après un délai de deux minutes, le pince-nez et la pièce buccale étaient fixés et une mesure de la  $\dot{V}O_2$  était prise entre deux minutes trente secondes et trois minutes.

Si le sujet pédalait sur la bicyclette à développement imposé l'exercice s'arrêtait à la troisième minute; sinon, après avoir retiré la pièce buccale et le pince-nez la vitesse de la bicyclette dix vitesses était changée et la même procédure était répétée jusqu'à ce que les trois vitesses eurent été essayées. A la fin de l'exercice le sujet retournait s'asseoir pour une dizaine de minutes. Enfin le sujet refaisait l'expérience avec l'autre bicyclette.

#### Calculs effectués

#### Résistance de l'air

Dans le but de connaître la surface corporelle frontale de nos sujets, on a suivi une version modifiée de la méthode de Shanebrook [39]; l'image du négatif obtenue sur le Vanguard était divisée en sept segments: un pour représenter la tête et le cou, un pour le tronc, deux pour les membres supérieurs, deux pour la cuisse et la jambe (y compris le pied) droites et un seul pour la cuisse (la jambe

et le pied gauches étant fléchis). Tous les segments ont été considérés comme étant des rectangles.

Connaissant la longueur réelle du multiplicateur, il était alors aisé de convertir les valeurs obtenues en grandeur réelle.

#### Résistance de roulement

En suspendant des pesés de masse connue à la cellule de force, on a obtenu une valeur de 4.475 millivolts pour 454 grammes; seules les valeurs moyennes de la résistance de roulement pour chacune des lectures du Visicorder ont été choisies.

#### Analyses statistiques

Deux types d'analyse statistique ont été employés: d'une part des statistiques descriptives par l'emploi des moyennes et des écarts-types pour les valeurs mesurées de la résistance de roulement et de la charge de travail pour les valeurs calculées de la résistance de l'air.

D'autre part, dans le but de déterminer s'il existait des différences significatives au niveau de la résistance de roulement et de la résistance de l'air entre la bicyclette dix vitesses et la bicyclette à développement

imposé, un test-t bilatéral pour des groupes corrélés a été utilisé à partir des résultats obtenus des valeurs mesurées et calculées entre la bicyclette dix vitesses et la bicyclette à développement imposé.

Enfin, dans le but de déterminer s'il existait des différences significatives au niveau de la charge de travail entre chacune des vitesses de la bicyclette dix vitesses et entre ces vitesses et l'unique vitesse de la bicyclette à développement imposé, un schème statistique paramétrique a été utilisé par l'emploi d'un test d'analyse de la variance à mesures répétées.

## RESULTATS ET DICUSSION

Le but de cette étude était d'une part de comparer les charges de travail - mesurées par la  $\dot{V}O_2$  - mises en jeu entre les 3e, 6e et 9e vitesses d'une bicyclette dix vitesses et entre ces mêmes vitesses et l'unique vitesse d'une bicyclette à développement imposé et d'autre part de comparer les résistances de l'air et de roulement entre une bicyclette dix vitesses et une bicyclette à développement imposé. Le tableau III illustre diverses données de l'échantillon étudié.

Tableau III

Description des sujets (N=16)

	Moyenne	écart-type	étendue	
Age (ans)	23.37	5.1	18	- 34
Taille (cm)	168.20	20.47	130	- 195
Poids (kg)	64.87	10.18	46.88	- 80.59

### Mesure de la consommation d'oxygène

La première hypothèse spécifiait qu'il n'y avait pas de différence significative des  $\dot{V}O_2$  de pointe, entre les 3e, 6e et 9e vitesses de la bicyclette dix vitesses et entre chacune de ces vitesses et l'unique vitesse de la bicyclette à développement imposé.

Dans le but de vérifier cette hypothèse, les schèmes statistiques suivants ont été utilisés: a) statistiques descriptives (tableau III); moyennes et écarts-types des valeurs des  $\dot{V}O_2$  obtenues sur la bicyclette dix vitesses et la bicyclette à développement imposé (tableau IV); b) analyse de la variance à mesures répétées dont les calculs ont été effectués par l'ordinateur IBM 360-65 de l'université d'Ottawa en employant un programme APL.

Les analyses de variances effectuées (tableau V, p. 68) ayant présenté des différences significatives ( $p < 0.05$ ), un test de Scheffé a alors été appliqué à chacune afin de savoir où se situaient ces différences.



Tableau V

Analyse de la variance des valeurs mesurées de la  $\dot{V}O_2$  (N=16).

Sources	dl	SC	CM	F
Entre les sujets				
Sujets	15	351.42	23.43	
Chez les sujets				
Traitement	3	156.00	52.00	3.19 <sup>1</sup>
Résidu	45	734.25	16.32	

<sup>1</sup> F (3,45) = 2.80 à p < 0.05

Tableau VI

Analyse de Scheffé des différences des moyennes des  $\dot{V}O_2$  mesurées (N=16).

bicyclette à  
développement  
imposé

bicyclette dix  
vitesses

3 6 9

$\bar{x}$

Valeur des moyennes 21.10 22.83 24.40

23.38

B. dix vitesses 3

-1.73<sup>1</sup> -3.31<sup>1</sup>

2.28<sup>1</sup>

B. dix vitesses 6

-1.58<sup>1</sup>

0.55

B. dix vitesses 9

1.02

<sup>1</sup> p < 0.05

Le rapport d'accroissement de la  $\dot{V}O_2$  en fonction de la vitesse de la bicyclette dix vitesses est linéaire (tableau VI). En appliquant une analyse de régression simple aux résultats correspondant aux 3e, 6e et 9e vitesses on obtient la relation suivante:

$$y = 0.34x + 19.48$$

où  $y$  représente la  $\dot{V}O_2$  de pointe exprimée en L/min prédite et  $x$  la vitesse choisie en km/h. La corrélation de Pearson obtenue entre ces deux paramètres est d'ailleurs parfaite:  $r = 1.00$ .

Le tableau VI démontre qu'il y a une différence significative entre la 3e vitesse de la bicyclette dix vitesses et toutes les autres vitesses, bicyclette à développement imposé compris; il y a également une différence significative entre la 6e vitesse et la 9e de la bicyclette dix vitesses. Il n'y a aucune autre différence. La bicyclette à développement imposé avait un rapport d'engrenages très proche de la 6e vitesse de la bicyclette dix vitesses (tableau II, page 49), conséquemment la fréquence de pédalage était également dans la même proportion.

Balke [4], McArdle et Magel [32], Nagle et al [34], Taguchi, Raven et Horvath [42], Pandolf et Noble [36] et Pough [38] ont tous trouvé une relation linéaire entre la charge de travail et la consommation d'oxygène.

D'autre part, Bannister et Jackson [36] et Kamon et al. [24] n'ont pas trouvé de différence significative de la VO<sub>2</sub> pour des fréquences s'échelonnant entre 50 et 80 tpm. Güeli et Sheppard [17] dans leur étude portant sur la VO<sub>2</sub> à des fréquences de 50, 60, 70, 85 et 100 tpm ont observé une efficacité maximale entre 60 et 85 tpm.

Dans le cadre de cette expérience à une vitesse de 21 km/h la fréquence de pédalage se situait entre 58 et 86 tpm. C'est pourquoi l'augmentation de la VO<sub>2</sub> ne peut être que la conséquence d'un accroissement de la charge de travail et non l'effet direct d'une variation de la fréquence de pédalage, de la résistance de roulement qui est indépendante de la vitesse ou de la résistance de l'air qui était nulle en laboratoire (ces deux paramètres seront discutés dans les deux prochaines rubriques).

Le cycliste devra donc appliquer une plus grande pression sur les pédales à cause d'une augmentation proportionnelle du rapport d'engrenages; cette variation de pression est significativement différente pour chacune des vitesses de la bicyclette dix vitesses.

La  $\dot{V}O_2$  mesurée à partir de la bicyclette à développement imposé est légèrement supérieure à celle mesurée sur la 6e vitesse de la bicyclette dix vitesses, quoique la différence ne soit pas significative; elle n'est pas significativement différente de la 9e vitesse non plus. Cette légère augmentation de la  $\dot{V}O_2$  de pointe est sans doute due aux caractéristiques de l'engin lui-même: sa position de conduite, son poids et sa largeur de pneus entre autres.

La première sous-hypothèse spécifiait qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les diverses valeurs mesurées de la résistance de roulement entre la bicyclette dix vitesses et la bicyclette à développement imposé.

La seconde sous-hypothèse quant à elle spécifiait qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les diverses valeurs calculées de la résistance de l'air entre la bicyclette dix vitesses et la bicyclette à développement imposé.

Dans le but de vérifier ces deux sous-hypothèses les schèmes d'analyse statistique suivants ont été utilisés: a) statistiques descriptives: moyennes et écarts-types des valeurs mesurées et calculées de la résistance de roulement et de la résistance de l'air respectivement; b) statistiques

inférentielles par l'emploi d'un test-t bilatéral pour des groupes corrélés afin de vérifier s'il existait des différences statistiquement significatives entre les deux bicyclettes pour les paramètres énoncés précédemment (tableau VII, p. 74).

#### Résistance de roulement

La différence obtenue de la résistance de roulement entre les deux bicyclettes est significative (Tableau VII, p. 74); la résistance de roulement de la bicyclette ordinaire ( $11.09 \pm 2.30$  g/kg) est supérieure en moyenne de 21.3% à celle de la bicyclette dix vitesses ( $9.14 \pm 1.90$  g/kg) dans le cas d'une pente nulle et quelle que soit la vitesse ( $p < 0.02$ ).

Dill, Seed et Marzulli [11] rapportent des résultats nettement inférieurs cependant: 2.5 g/kg et 6.5 g/kg dans les cas de bicyclettes chaussées de pneus étroits (3.18 cm et 345 kPa) et de pneus ballons (5.13 cm et 152 kPa) respectivement. Toutefois, il n'y a eu que deux sujets qui ont participé à leur expérience.

Adams [1] pour sa part a trouvé une résistance moyenne de 8.2 g/kg, les coureurs roulaient quant à eux sur

Tableau VII

Moyennes et écarts-types des différentes valeurs de la résistance de roulement (g/kg de charge brute) et de la résistance de l'air (kg-f) selon le type de bicyclette utilisé (bicyclette dix vitesses, B10 et bicyclette à développement imposé, B0); test-t des deux paramètres énumérés. (N=16)

types de bicyclettes	résistance de roulement			résistance de l'air		
	x	s	t	x	s	t
B10	9.14	1.90	2.61 <sup>1</sup>	0.80	0.12	-13.23 <sup>2</sup>
B0	11.09	2.30		0.86	0.12	

<sup>1</sup> t = 2.60 valeur critique à 0.02

<sup>2</sup> t = 2.95 valeur critique à 0.01

Nombre de degrés de liberté = 15

un parcours asphalté; Pugh [38] a trouvé lui une valeur moyenne de 8.1 g/kg sur un parcours extérieur et 2.9 g/kg sur tapis roulant; résultats similaires à ceux de Dill, Seed et Marzukli [11]. Enfin, Karpovich et Spinning [25] mentionnent des résultats élevés, de l'ordre de 16 g/kg de charge; ils ne décrivent pas le schéma expérimental ni le matériel employé.

Les résultats de cette recherche sont en premier lieu en accord avec les prédictions de Dill, Seed et Marzulli [11] qui ont trouvé une résistance de roulement dépendante de la surface du pneu et de sa pression d'air (5.41 vs 3.18 cm et 883 vs 414 kPa); dans cette recherche la pression d'air était identique pour les deux bicyclettes, seule la surface du pneu était différente: 3.51 cm dans le cas de la bicyclette ordinaire et 3.18 cm. dans le cas de la bicyclette dix vitesses.

En second lieu, la résistance de roulement obtenue est passablement plus élevée que celle rapportée par les auteurs, exception faite de Karpovitch et Spinning [25], malgré le fait que les bicyclettes roulaient sur tapis roulant où, selon les auteurs, elle est moindre. L'explication la plus plausible réside sans doute dans la qualité de fabrication des engins qui n'étaient pas des bicyclettes de compétition; d'autre part, l'adjonction de roulettes d'entraînement augmentait sûrement la résistance de roulement de manière substantielle quoique dans les mêmes proportions pour les deux bicyclettes. En fait, la résistance de roulement obtenue dans cette étude était proche de celles exprimée par les auteurs qui ont fait pédalé leurs sujets sur un parcours extérieur.

D'autre part, en appliquant la formule de prédiction de Whitt [43] aux données de la résistance de roulement obtenue sur les deux bicyclettes qui ont une pression de pneus identique de 207 kPa, le résultat théorique obtenu est de 10 g/kg de charge brute; Adams [1] et Pugh [38] ont d'autre part obtenu des résultats à peu près similaires: soit 8.2 et 8.1 g/kg de charge brute respectivement, pour des pressions de pneus de 331 à 345 kPa dans l'étude d'Adams [1] et de 552 à 689 kPa dans celle de Pugh [38]. Les résultats observés dans cette recherche sont de 11.09 g/kg de charge brute dans le cas de la bicyclette à développement imposé et de 9.14 g/kg de charge brute dans celui de la bicyclette dix vitesses (tableau VII, p. 74). Toutefois, les coureurs roulaient sur des surfaces telles que l'asphalte ou le macadam et que sur une surface de linoléum poli comme celle d'un tapis-roulant, la valeur observée par Pugh [38] était nettement inférieure, 2.9 g/kg; c'est-à-dire plus de trois fois moindre que la valeur mesurée dans cette étude où les données étaient recueillies sur un tapis-roulant. L'écart significatif observé entre les deux engins n'est pas surprenant (tableau VII,  $p < 0.02$ ); en effet, la bicyclette dix vitesses était chaussée de pneus plus étroits que la bicyclette à développement imposé,

La première sous-hypothèse nulle est par conséquent rejetée et on accepte que la largeur des pneus de la bicyclette ordinaire pour une même pression d'air que la bicyclette dix vitesses a une influence déterminante sur la résistance de roulement en accord avec les auteurs cités précédemment.

#### Résistance de l'air

En ce qui concerne la résistance de l'air la surface corporelle moyenne obtenue des sujets sur la bicyclette dix vitesses était de  $0.38 \text{ m}^2 \pm 0.06 \text{ m}^2$  alors que sur la bicyclette à développement imposé cette surface était de  $0.41 \text{ m}^2 \pm 0.06 \text{ m}^2$ ; résultat en accord avec ceux obtenus par Shanbrook et Jaszczak [39] et Pugh (1976) notamment. En employant la formule de Livingston [28], il était alors possible de calculer les valeurs de résistance de l'air respectives à chaque bicyclette. Les résultats sont illustrés au tableau VII, p. 74). Cette différence, quoique hautement ( $p < 0.01$ ) significative, est beaucoup moindre que ce que les auteurs ont pu trouver. Whitt [43] a trouvé que la posture de tourisme (correspondant sans doute à la position occupée sur une bicyclette à développement imposé) présentait une résistance de l'air 50% plus élevée qu'une

posture de compétition; Cavanagh [6] et Livingston [28] quant à eux ont trouvé des différences de 50 et 80% respectivement, alors qu'elle n'est que de 7.5% dans cette étude. Cependant, aucun auteur (hormis Pugh [38]) ne définit explicitement ce qu'est une posture de compétition; en effet, il pourrait exister sur une bicyclettes à poignées courbées vers le bas trois types de postures de compétition: 1) où le cycliste ne fait que reposer ses mains sur les poignées, le dos parallèle à la tige horizontale, (maintenir une vitesse constante); 2) où le cycliste posant ses mains sur les poignées, se couche complètement sur son engin, (cas d'une descente); et 3) où le cycliste est dans une position identique à la précédente, par contre il se tient debout sur les pédales (position du sprinter). Dans cette étude les sujets, aux fins de photographie, prenaient la première position précitée.

Etant donné qu'il y avait des différences significatives des moyennes de la résistance de roulement et de la résistance de l'air entre les deux types de bicyclettes (tableau VII, p. 74), il était alors possible de vérifier la deuxième hypothèse en calculant les valeurs théoriques de la résistance totale pour la bicyclette dix vitesses et la bicyclette à développement imposé puisque:

$$R_t = R_r + R_a$$

Tableau VIII.

Moyennes et écarts-types des différentes valeurs de la résistance de roulement (kg) et de la résistance de l'air (kg) et de la résistance totale (kg) pour les bicyclettes dix vitesses (B10) et à développement imposé (BØ). Test-t de la résistance totale, (N=16)

=====

	Rr		Ra		Rt		t
	x	s	x	s	x	s	
B10	0.736	0.153	0.80	0.1	1.54	0.299	2.50 <sup>1</sup>
BØ	0.904	0.188	0.86	0.1	1.76	0.260	

Nombre de degrés de liberté = 15

<sup>1</sup> t = 2.50 valeur critique à 0.05

La résistance totale obtenue (tableau VIII) est somme toute intéressante; malgré le fait que la résistance de l'air sur bicyclette dix vitesses est nettement

inférieure à la résistance de l'air obtenue sur bicyclette à développement imposé ( $p < 0.01$ ), l'écart de la résistance de roulement est suffisamment grand entre les deux bicyclettes pour que celle-ci ait une influence prépondérante; en effet, contrairement à l'énoncé de la deuxième hypothèse, il y a une différence statistiquement significative de la résistance totale entre les deux bicyclettes. Adams [1] a trouvé qu'à une vitesse de 16 km/h, un cycliste employait 45% de sa force musculaire pour vaincre la résistance de roulement, alors que Karpovitch et Spinning [25] ont trouvé qu'à une vitesse de 18 km/h, la résistance de roulement exigeait les deux-tiers de la force totale nécessaire pour faire avancer un engin, alors qu'à 24 km/h ce pourcentage en représentait la moitié; Whitt [43] enfin, a trouvé qu'en position de compétition le cycliste dépensait 50% de sa force à vaincre la résistance de roulement à une vitesse de 16 km/h, alors qu'à une vitesse de 37 km/h ce pourcentage n'était plus que de 20%.

Dans cette étude la vitesse était de 21 km/h et les sujets utilisaient en moyenne 53% de leur force pour vaincre la résistance de roulement dans le cas de la bicyclette dix vitesses et 46% pour l'autre bicyclette; ce qui est assez fidèle aux résultats rapportés par les auteurs présentant un écart somme toute considérable: entre 45 et 66% de la force

totale pour vaincre la résistance de roulement pour des  
vélocités comprises entre 16 et 18 km/h.

Le but de cette étude était de vérifier s'il existait des différences significatives entre une bicyclette dix vitesses et une bicyclette à développement imposé au niveau de la  $\dot{V}O_2$ , de la résistance de roulement et de la résistance de l'air. Pour un rapport d'engrenages similaire, soit la 6e vitesse de la bicyclette dix vitesses par comparaison avec l'unique vitesse de la bicyclette à développement imposé il n'y a pas de différence notable de la  $\dot{V}O_2$  (Tableau VI, p. 69), tout autre facteur étant égal. Toutefois, la résistance de roulement et la résistance de l'air de la bicyclette à développement imposé sont significativement supérieures à celles de la bicyclette dix vitesses.

L'avantage réel de la bicyclette dix vitesses réside premièrement dans le choix d'une gamme de vitesses selon les conditions rencontrées: vitesse déterminée, nature du terrain, température, etc., deuxièmement le confort sur longue distance grâce à une selle et une position de conduite plus

versatile et troisièmement une VO2 moindre si on sait choisir le rapport d'engrenages convenable, une résistance de l'air et de roulement significativement moins élevées que dans le cas d'une bicyclette à développement imposé.

D'autre part, le mécanisme d'une bicyclette dix vitesses est plus complexe que celui d'une bicyclette à développement imposé, celle-ci, bien qu'étant en général plus lourde qu'une bicyclette dix vitesses, ayant une résistance de roulement et une largeur de pneus plus grandes est plus solide, de peu d'entretien et coûte passablement moins chère à l'achat.

Le choix de l'un ou l'autre engin devra se baser sur des considérations de prix et d'emploi: à quel usage la bicyclette est-elle destinée, et pour qui, voilà certes les questions les plus importantes au moment du choix final.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Adams, W. C., Influence of Age, Sex and Body Weight on the Energy Expenditure of Bicycle Riding, dans Journal of Applied Physiology, vol. 22, no 3, 1967, p. 539-545.
2. Åsmussen, E., Positive and Negative Muscular Work, dans Acta Physiologica Scandinavia, vol. 28, 1953, p. 364-382.
3. Astrand, P-O. et K. Rodahl, Manuel de Physiologie de l'Exercice Musculaire, éd. Masson & cie, Paris, 1973, 343 p.
4. Baptista, G., J. Alleyia, F. Nagle et al., Compatibility of Progressive Treadmill: Bicycle and Step Tests Based on Oxygen Uptake Responses, dans Medicine and Science in Sports, vol. 3, no 1, livraison d'été 1971, p. q.
5. Bigland-Ritchie, B. et J. J. Woods, Integrated and Oxygen Uptake During Dynamic Contractions of Human Muscles, dans Journal of Applied Physiology, vol. 36, no 4; 1974, p. 475-479.
6. Cavanagh, P. R., Biomechanical Aspects of Cycling, A Paper Presented to the American College of Sports Medicine Symposium on the 'Physiological Aspects of Cycling, Knoxville, Tennessee, 9 mai 1974.
7. C.O.N.I., Ecole Centrale du Sport et F.I.A.C., Le Cyclisme, Rome, 1968, p. 13-20.
8. DalMonte, A., A. Manoni, et S. Fucci, Biomechanical Study of Competitive Cycling, dans Medicine and Sports, Biomechanics III, vol. 8, 1973, p. 434-439.
9. Daly, D. J. et P. R. Cavanagh, Asymetry in Bicycle Ergometer Pedalling, dans Journal of Applied Physiology, vol. 8, no 3, 1976, p. 204-208.
10. Dickinson, S., The Efficiency of Bicycle Pedalling as Affected by Speed and Load, dans Journal of Physiology, vol. 67, 1929, p. 242-255.

11. Dill, D. B., J. C. Seed et F. N. Marzulli, Energy Expenditure in Bicycle Riding, dans Journal of Applied Physiology, vol. 7, livraison de novembre 1954, p. 320-324.
12. Edwards, R. H. T., A. Melchers, C. M. Hesser et al., Physiological Correlates of Perceived Exertion in Continuous and Intermittent Exercise with the Same Average Power Output, dans European Journal of Clinical Investigation, vol. 2, 1972, p. 108-114.
13. Foster, C. et J. T. Daniels, Aerobic Power of Competitive Cyclists, dans Australian Journal of Sport Medicine, vol. 7, no 5, oct-nov-dec 1975, p. 111-112.
14. Garry, R. C. et G. M. Wishart, The Efficiency of Bicycle Pedalling in the Trained Subject, dans Journal of Physiology, vol. 82, 1934, p. 200-206.
15. Gregor, R.J., A Biomechanical Analysis of Lower Limb Action during Cycling at Four Different Loads, Thèse de Doctorat (non publiée), Penn. State University, 26 mai 1977.
16. Gross, V. J. et C. A. Bennett, Bicycle Crank Length, General Dynamics, Kansas State University, 1974.
17. Gueli, D. et R. J. Sheppard, Pedal Frequency in bicycle ergometry, dans Canadian Journal of Applied Sports and Sciences, vol. 1, no 2, livraison de juin 1976, p. 137-141.
18. Hagberg, J.M., M. D. Griese et J. P. Mullin, Effect of different Gear Ratios on the Metabolic Responses of Competitive Cyclists to Constant Load Steady State Work, dans Medicine and Sciences in Sports, vol. 7, no 1, livraison du printemps 1975, p. 74.
19. Henry, F. M. et J. de Moor, Metabolic Efficiency of Exercise in Relation to the Work Load at Constant Speed, dans Journal of Applied Physiology, vol. 2, no 9, livraison de mars 1950, p. 481-487.
20. Hermansen, L. et B. Saltin, Oxygen Intake During Maximal Treadmill and Bicycle Exercise, dans Journal of Applied Physiology, vol. 26, no 1, livraison de janvier 1969, p. 31-37.
21. Hill, A. V., The Maximum Work and Mechanical Efficiency of Human Muscles and their Most Economical Speed, Journal of Physiology, vol. 56, 1922, p. 19-41.

22. Hoes, M. J. A., R. A. Binkhorts, A. E. M. Smeekes-Huyt et al., Measurement of Forces Exerted on Pedal and Crank During Work on Bicycle Ergometer at Different Speeds, dans Internationale Zeitschrift Fuer Angewandte Physiologie Einschliesslich Arbeitsphysiologie, vol. 26, 1968, p.33-42.
23. Jorgensen, E, Fix your Bicycle, Publication Clymer, 1975, p.161-167.
24. Kamon, E., K. Metz et K. Pandolf, The Cost of Climbing and Cycling with Additional Weights Around the Waist and the Ankle, dans Medicine and Sciences in Sports, vol. 4, 1972, p. 67-68.
25. Karpovich, P. V. et W. E. Spinning, Physiologie de l'Exercice Musculaire, 7ième éd., Paris, Vigot & Freres, 1975, p.320.
26. Kay, J. D. S., E. S. Peterson et H. Vej By-Christensen, Breathing in Man during Steady-State Exercise on the Bicycle at Two Pedalling Frequencies and during Treadmill Walking, dans Journal of Physiology, vol. 251, 1975, p. 645-656.
27. Kyle, C. R. et J. Mastropaolo, Reduction of Wind Resistance and Power Output of Racing Bicyclists and Runners Traveling in Groups, dans Medicine and Science in Sports, vol. 8, no 1, livraison d'été 1976, p. 56-67.
28. Livingston, C. L., How Powerful are you ? (1), dans Bicycling, livraison de mai 1975, p. 46-47.
29. -----, How Powerful are you ? (2), dans Bicycling, livraison de juin 1975, p. 28-30.
30. -----, How Powerful are you ? (3), dans Bicycling, livraison de juillet 1975, p. 58-60.
31. -----, How Powerful are you ? (4), dans Bicycling, livraison d'août 1975, p. 22-25.
32. Mc Ardle, W. D. et J. R. Magel, Physical Work Capacity and Maximal Oxygen uptake in Treadmill and Bicycle Exercise, dans Medicine and Science in Sports, vol. 2, no 3, livraison d'automne 1970, p. 118-123.
33. Mitchell, J. H., B. J. Sproule et C. B. Chapman, The Physiological Meaning of the Maximal Oxygen Test, dans Journal of Clinical Investigation, vol. 37, 1958, p. 538-546.

34. Nagle, F., B. Balke, G. Baptista, J. Alleyia et E. Howley, Compatibility of Progressive Treadmill, Bicycle and Step-Test based on Oxygen Uptake Responses, dans Medicine and Science in Sports, vol. 3, no 4, 1971, p. 149-154.
35. Nonweiler, T., The Work Production of Man Studies on Racing Cyclists, dans Journal of Physiology, vol. 141, 1958, p. 8p.
36. Pandolf, K. B. et B. J. Noble, The Effect of Pedalling Speed and Resistance Changes on Perceived Exertion for Equivalent Power Outputs on the Bicycle Ergometer, dans Medicine and Science in Sports, vol. 5, no 2, 1973, p. 132-136.
37. Prampero (di), P. E., G. Cortili, P. Mognoni et F. Saibene, Energy Cost of Speed Skating and Efficiency of Work against Air Resistance, dans Journal of Applied Physiology, vol. 40, no 4, 1976, p. 584-591.
38. Pugh, L. G. C. E., The Relation of Oxygen Intake and Speed in Competition Cycling and Comparative Observations on the Bicycle Ergometer, dans Journal of Physiology, vol. 241, 1974, p. 795-808.
39. Shanebrook, J. R. et R. D. Jaszczak, Aerodynamics of the Human Body, dans Biomechanics IV, International Series of Sport Sciences, éd. R. C. Nelson et C. A. Morehouse, U. P. P., vol. 1, 1973, p. 567-571.
40. Shennum, P. L. et H. A. de Vries, The Effect of Saddle Height on Oxygen Consumption during Bicycle Ergometer Work, dans Medicine and Science in Sports vol. 8, no 2, 1976, p. 119-121.
41. Stamford, B. A. et B. J. Noble, Metabolic Cost and Perception of Effort during Bicycle Ergometer Work Performance, dans Medicine and Science in Sports, vol. 6, no 4, 1974, p. 226-231.
42. Taguchi, S., P. B. Raven et S. M. Horvath, Comparisons Between Bicycle Ergometry and Treadmill Walking Maximum Capacity Tests, dans Japanese Journal of Physiology, vol. 21, 1971, p. 681-690.
43. Whitt, F. K., A Note on the Estimation of The Energy Expenditure of Sporting Cyclists, dans Ergonomics, vol. 14, no 3, 1974, p. 419-424.
44. Wilson, S. S., Bicycle Technology, dans Scientific American, vol. 228, 1973, p. 81-91.

45. Zacks, R. M., The Mechanical Efficiencies of Running and Bicycling against Horizontal Impeding Force, dans Internationale Zeitschrift Fuer Angewandte Physiologie Einschliesslich Arbeitsphysiologie, vol. 31, 1973, p. 249-258.

ANNEXE 1 . .

PROGRAMME APL QUI PERMET DE CALCULER LE RAPPORT D'ENGRENAGE  
D'UNE BICYCLETTE

)FNS DIM

▼ DIM.

[1] I+0  
[2] 0'DIGITS 4'  
[3] 'NOMBRE DE DENTS DE LA COURONNE AVANT?'  
[4] A+0  
[5] 'NOMBRE DE DENTS DE LA COURONNE ARRIERE?'  
[6] B+0  
[7] 'DIAMETRE DE LA ROUE (PO.)?'  
[8] C+0  
[9] D+(A+B)xC  
[10] 'LE RAPPORT D'ENGRENAGE EST: 'II  
[11] I+I+1  
[11.1] ''  
[11.2] ''  
[12] +(I<3)/2  
[14] ''

ANNEXE 2

PROGRAMME APL QUI PERMET DE TROUVER LA FREQUENCE  
DE PEDALAGE D'UN COUREUR-CYCLISTE (TPM)  
A PARTIR DE SA VITESSE SUR TAPIS ROULANT



CAL

PROGRAMME QUI PERMET DE TROUVER LA FREQUENCE  
DE PEDALAGE D'UN COUREUR-CYCLISTE (RPM)  
A PARTIR DE SA VITESSE SUR TAPIS-ROULANT

QUELLE EST LA VITESSE DU COUREUR?

13

B. 10 VI. ----- \ B. ORD.

13 MI/HRE

1	108.10
2	92.41
3	86.21
4	79.20
5	75.55
6	70.40
7	65.65
8	62.60
9	60.90
10	50.29

68.87

ANNEXE 3  
PROGRAMME APL DU CALCUL DE LA VO2  
ET  
RESULTAT. DE CHAQUE SUJET

)FNS VO

VO  
[1] 0' )LOAD TIME,1001'  
[2] 0' )LOAD DATE,1001'  
[3] 0' )DIGITS 4'  
[4] 'NOM DU SUJET'  
[5] AAB+0  
[6] 'BICYCLETTE'  
[7] BI+0  
[8] +(BI=1)/BI1  
[9] +(BI =2)/BI2  
[10] +(BI=3)/BI3  
[11] BI1: BI+ 'BICYCLETTE DIX VITESSES'  
[12] A+1  
[13] VEL+13  
[14] 'VITESSE'  
[15] VIT+0  
[16] 'FREQUENCE DE PEDALAGE'  
[17] RPM+0  
[18] VEL+'99909.99'SVEL  
[19] VIT+'99909.99'SVIT  
[20] RPM+'99909.99'SRPM  
[21] +WW  
[22] BI2: BI+ 'BICYCLETTE ORDINAIRE'  
[23] A+2  
[24] VEL+13  
[25] RPM+69  
[26] VEL+'99909.99'SVEL  
[27] RPM+'99909.99'SRPM  
[28] +WW  
[29] BI3: BI+ 'ERGOCYCLE'  
[30] 'CHARGE .EN KP'  
[31] A+3  
[32] KP+0  
[33] RPM+69  
[34] CT+6xKPxRPM  
[35] KP+'99909.99'SKP  
[36] RPM+'99909.99'SRPM  
[37] CT+'99909.99'SCT  
[38] +WW  
[39] WW: 'PRESSION BAROMETRIQUE CORRIGEE'  
[40] PB +0  
[41] 'TEMPERATURE DE TISSOT'  
[42] TEM+0.  
[43] +(TEM=20)/Q1  
[44] +(TEM=21)/Q2  
[45] +(TEM=22)/Q3  
[46] +(TEM=23)/Q4

[47] PHEN-29/00  
 [48] +(TEM-25)/Q6  
 [49] Q1: PH20+17.535  
 [50] +BTP  
 [51] Q2: PH20+18.650  
 [52] +BTP  
 [53] Q3: PH20+19.827  
 [54] +BTP  
 [55] Q4: PH20+21.068  
 [56] +BTP  
 [57] Q5: PH20+22.377  
 [58] +BTP  
 [59] Q6: PH20+23.756  
 [60] BTP: BBTP+((273+37)+(273+TEM))\*((PB-PH20)+(PB-47.1))  
 [61] BTPS+BBTP\*1.332  
 [62] 'ENTREZ STPD'  
 [63] STPD+0  
 [64] 'M TISSOT, H INIT. = 2.6 CM'  
 [65] DT+ 2.6 + 0  
 [66] 'POURCENTAGE .CO2'  
 [67] CO2+0  
 [68] 'POURCENTAGE O2'  
 [69] O2+0  
 [70] 'FREQUENCE CARDIAQUE'  
 [71] FC+0  
 [72] 'FREQUENCE RESPIRATOIRE'  
 [73] FR+0  
 [74] 'POIDS DU SUJET EN LBS'  
 [75] POA+0  
 [76] POI+POA\*2.21  
 [77] VE+BTPS\*2\*DT  
 [78] VT+(VE+FR)  
 [79] VES+VE\*STPD  
 [80] IVF+(100-((CO2)+(O2)))+79.04  
 [81] VI+VES\*IVF  
 [82] VI02+VI\*.2093  
 [83] VE02+VES\*(O2+100)  
 [84] VO2+VI02-VE02  
 [85] VCO2+VES\*(CO2+100)  
 [86] QR+VCO2+VO2  
 [87] VO2M+(VO2\*1000)+POI  
 [88] EV+VE+VO2  
 [89] +(FC=0)/Z00  
 [90] PO2+VO2M+FC  
 [91] +Z0Z0  
 [92] Z00: PO2+0  
 [93] +Z0Z0  
 [94] Z0Z0: ''  
 [95] ''  
 [96] ''  
 [97] '

TIME

[98]	''		
[99]	''	DATE	
[100]	''		
[101]	''		
[102]	'NOM DU SUJET :		'IAAB'
[103]	''		
[104]	''		
[105]	'BICYCLETTE UTILISEE :		'IBI'
[106]	''		
[107]	+(A=1)/I1		
[108]	+(A=2)/I1		
[109]	+(A=3)/I3		
[110]	I1: 'VELOCITE		'VELI' MI/H'
[111]	''		
[112]	+(A=2)/I3		
[113]	'VITESSE		'VITI' IEME'
[114]	''		
[115]	I3: 'FREQUENCE DE PEDALAGE		'IRPH' REV./MIN'
[116]	+(A=2)/KK		
[117]	''		
[118]	+(A=1)/KK		
[119]	''		
[120]	'CHARGE EN KP		'IKPI' KP'
[121]	''		
[122]	'CHARGE DE TRAVAIL		
[123]	KK:VE+'99909.99'SUE		'IGTI' KPH/MIN'
[124]	VT+'99909.99'SUT		
[125]	VES+'99909.99'SVES		
[126]	VI+'99909.99'SVI		
[127]	VI02+'99909.99'SVI02		
[128]	VE02+'99909.99'SVE02		
[129]	V02+'99909.99'SV02		
[130]	VC02+'99909.99'SVC02		
[131]	QR+'99909.99'SQR		
[132]	V02M+'99909.99'SV02M		
[133]	EV+'99909.99'SEV		
[134]	P02+'99909.99'SP02		
[135]	''		
[136]	''		
[137]	''		
[138]	''		
[139]	'VOLUME EXPIRATOIRE BTPS		'IUEI' L/MIN'
[140]	''		
[141]	'VOLUME TIDAL BTPS :		'IUTI' L'
[142]	''		
[143]	'VOLUME EXPIRATOIRE STPD :		'IVESI' L/MIN'
[144]	''		
[145]	'VOLUME INSPIRATOIRE STPD :		'IUII' L/MIN'
[146]	''		
[147]	'VOLUME INSPIRATOIRE D'02 :		'IUI02I' L/MIN'
[148]	''		

[147]	VOLUME EXPIRATOIRE D'O <sub>2</sub>	:	'VVO2'	L/MIN
[150]				
[151]	CONSUMATION D'O <sub>2</sub>	:	'VO2'	L/MIN
[152]				
[153]	CONSUMATION DE CO <sub>2</sub>	:	'VCO2'	L/MIN
[154]				
[155]	QUOTIENT RESPIRATOIRE	:	'RQ'	
[156]				
[157]	CONSUMATION D'O <sub>2</sub> EN ML/KG/MIN	:	'VO2M'	ML/KG/MIN
[158]				
[159]	EQUIVALENT VENTILATOIRE	:	'EV'	
[160]				
[161]	POULS D'O <sub>2</sub>	:	'PO2'	

NOM DU SUJET  
 DONALD DION 28 MARS 1978  
 BICYCLETTE

3  
 CHARGE EN KP  
 13  
 REVOLUTIONS PAR MINUTE  
 69  
 PRESSION BAROMETRIQUE CORREE  
 748.19  
 DUREE DE PRISE  
 30  
 TEMPERATURE DE TISSOT  
 22  
 ENTREE STPD  
 .8123  
 AN TISSOT, H INIT. = 2.6 CM  
 11.5 21.8 25.2  
 POURCENTAGE CO2  
 4.8 4.05 5  
 POURCENTAGE O2  
 15.2 17.08 16.2  
 FREQUENCE CARDIAQUE  
 90 111 138  
 FREQUENCE RESPIRATOIRE  
 10 24 18  
 POIDS DU SUJET EN LBS  
 164

11:4:18 A.M.

MARCH, 31, 1978

NOM DU SUJET :

DONALD DION 28 MARS 1978

BICYCLETTE UTILISEE :

ERGOCYCLE

FREQUENCE DE PEDALAGE

69.00 REV./MIN

CHARGE EN KP

01.00 02.00 03.00 KP

CHARGE DE TRAVAIL

414.00 828.00 1242.00 KPM/MIN

DUREE DE PRISE

30.00 SEC.

VOLUME EXPIRATOIRE BTPS

25.88 55.84 65.72 L/MIN

VOLUME TIDAL BTPS :

02.58 02.32 03.65 L

VOLUME EXPIRATOIRE STPD :

21.02 45.35 53.39 L/MIN

VOLUME INSPIRATOIRE STPD :

21.28 45.26 53.22 L/MIN

VOLUME INSPIRATOIRE D'O2 :

04.45 09.47 11.14 L/MIN

VOLUME EXPIRATOIRE D'O2 :

03.19 07.74 08.64 L/MIN

CONSUMMATION D'O2 :

01.25 01.72 02.49 L/MIN

CONSUMMATION DE CO2 :

01.00 01.83 02.66 L/MIN

QUOTIENT RESPIRATOIRE :

00.80 01.06 01.07

CONSUMMATION D'O2 EN ML/KG/MIN

16.95 23.25 33.57 ML/KG/MIN

EQUIVALENT VENTILATOIRE :

20.57 32.35 26.38

POULS D'O2 :

00.18 00.20 00.24

RESULTAT DES VO2 (ML/MIN) POUR CHAQUE SUJET

=====

bicyclette dix vitesses  
vitesse

bicyclette ordinaire  
vitesse

3	6	9	Ø
19.71	22.93	25.28	22.15
18.14	17.95	20.45	20.34
14.06	18.10	20.96	18.71
18.28	18.37	21.44	32.46
23.60	17.35	28.87	23.18
16.97	32.11	21.25	21.91
18.57	23.93	23.65	19.91
24.05	20.60	26.95	21.63
20.93	25.58	23.80	23.90
25.49	23.81	25.10	22.70
17.34	20.09	22.21	22.54
24.15	25.44	22.22	20.33
22.78	21.26	31.74	26.12
29.12	27.13	29.96	33.08
26.12	30.94	28.97	27.35
18.36	19.64	17.58	17.78

ANNEXE 4

PROGRAMME APL QUI CALCULE LA SURFACE CORPORELLE DE  
CHAQUE SUJET A PARTIR DE PHOTOGRAPHIES DU PLAN FRONTAL  
ET  
RESULTATS OBTENUS POUR CHAQUE SUJET SUR  
CHAQUE TYPE DE BICYCLETTE

» FNS VANGUARD

▼ VANGUARD

[1] 'NOM DU SUJET'  
[2] NOM+Q  
[3] 'MULTIPLICATEUR'  
[4] MULT+Q  
[5] B2+2  
[6] +(B2=1)/ALLO  
[7] +ZOZO  
[8] ALLO: B1+ 'DIX VITESSES'  
[9] +ZAZA  
[10] ZOZO: B1+ 'ORDINAIRE'  
[11] ZAZA: MULT+3000+MULT  
[12] MULT+MULT+1000  
[13] 'JAMBE DROITE'  
[14] JD+JG+Q×MULT  
[15] JDX+JDC2]-JDC1]  
[16] JDY+JDC4]-JDC3]  
[17] SJD+JDX×JDY  
[18] JGX+JGC2]-JGC1]  
[19] JGY+JGC4]-JGC3]  
[20] SJG+JGX×JGY  
[21] 'CUISSÉ DROITE'  
[22] CUD+CUG+Q×MULT  
[23] CUDX+CUC2]-CUC1]  
[24] CUDY+CUC4]-CUC3]  
[25] SCUD+CUDX×CUDY  
[26] CUGX+CUC2]-CUC1]  
[27] CUGY+CUC4]-CUC3]  
[28] SCUG+CUGX×CUGY  
[29] 'TRONC'  
[30] TRONC+Q×MULT  
[31] TRONCX+TRONC2]-TRONC1]  
[32] TRONCY+TRONC4]-TRONC3]  
[33] STRONC+TRONCX×TRONCY  
[34] 'AVANT-BRAS DROIT'  
[35] ABD+Q×MULT  
[36] ABDX+ABDC2]-ABDC1]  
[37] ABDY+ABDC4]-ABDC3]  
[38] SABD+ABDX×ABDY  
[39] 'AVANT-BRAS GAUCHE'  
[40] ABG+Q×MULT  
[41] ABGX+ABGC2]-ABGC1]

[43] SABG+ABGX\*ABGY  
 [44] 'BRAS DROIT'  
 [45] BT \*MULT  
 [46] BDX+BDC2]-BDC1]  
 [47] BDY+BDC4]-BDC3]  
 [48] SBD+BDX\*BDY  
 [49] 'BRAS GAUCHE'  
 [50] BG+D\*MULT  
 [51] BGX+BG2]-BG1]  
 [52] BGY+BG4]-BG3]  
 [53] SBG+BGX\*BGY  
 [54] 'TETE'  
 [55] TETE+D\*MULT  
 [56] TETEX+TETEC2]-TETEC1]  
 [57] TETEX+TETEC4]-TETEC3]  
 [58] STETE+TETEX\*TETEX  
 [59] SOMME+SJD+SJG+SCUG+SCUD+SABD+SABG+SBD+SBG+STETE  
 [60] SOMMEA+SOMME+STRONC  
 [61] 'TRONC AUTRE BICYCLETTE'  
 [62] TRONC2+D\*MULT  
 [63] TRONC2X+TRONC22]-TRONC21]  
 [64] TRONC2Y+TRONC24]-TRONC23]  
 [65] STRONCA+TRONC2X\*TRONC2Y  
 [66] 0'DIGITS 3'  
 [67] ''  
 [68] ''  
 [69] DAT+'10 MAI 1978'  
 [70] ' ' 'IDAT  
 [71] ''  
 [72] ''  
 [73] 'NOM DU SUJET' 'INOM  
 [74] ''  
 [75] ''  
 [76] SOMMEA+'9909.99'\$SOMMEA  
 [77] 'LA SURFACE CORPORELLE CORRESPONDANT A LA BICYCLETTE' 'B1' EST DE 'SOMMEA' PI.2'  
 [78] +(B2=1)/GAGA  
 [79] +GOGO  
 [80] GAGA: B1+'ORDINAIRE'  
 [81] +GEGE  
 [82] GOGO: B1+'DIX VITESSES'  
 [83] GEGE:SOMMEB+SOMME+STRONCA  
 [84] SOMMEB+'9909.99'\$SOMMEB  
 [85] ''  
 [86] ''  
 [87] ' ' 'B1' EST DE 'SOMMEB' PI.2'  
 [88] 0'DIGITS 10'  
 [89] '

VANGUARD  
 NOM DU SUJET  
 DONALD DION PHOTOS (99975) ET 10  
 MULTIPLICATEUR  
 □ 3.025  
 BICYCLETTE UTILISEE  
 □ 2  
 JAMBE DROITE  
 □ 1.498 1.903 .668 2.175  
 JAMBE GAUCHE  
 □ JD  
 CUISSE DROITE  
 □ 1.39 1.919 2.175 3.148  
 CUISSE GAUCHE  
 □ CUD  
 TRONC  
 □ .817 1.728 3.148 4.874  
 AVANT-BRAS DROIT  
 □ 2.034 2.304 3.226 3.982  
 AVANT-BRAS GAUCHE  
 □ .287 .543 3.222 3.918  
 BRAS DROIT  
 □ 1.945 2.287 3.982 4.874  
 BRAS GAUCHE  
 □ .258 .604 3.918 4.88  
 TETE  
 □ 1 1.611 4.566 5.508  
 TRONC AUTRE BICYCLETTE  
 □ 1.03 1.939 3.148 4.428

NOM DU SUJET

DONALD DION PHOTOS (99975) ET 10

LA SURFACE CORPORELLE CORRESPONDANT A LA BICYCLETTE

ORDINAIRE EST DE 5.32 PI.2

DIX VITESSES EST DE 4.91 PI.2

SURFACE CORPORELLE (PI2) DE CHAQUE SUJET

---

bicyclette dix vitesses

4.91  
3.87  
3.95  
5.17  
3.64  
4.27  
4.19  
4.87  
2.79  
4.15  
4.02  
4.23  
4.19  
3.21  
3.96  
4.10

bicyclette ordinaire

5.32  
4.30  
4.35  
5.45  
3.94  
4.57  
4.43  
5.26  
3.20  
4.27  
4.44  
4.59  
4.51  
3.49  
4.11  
4.56

---