



HAL
open science

Etude de l'influence d'une position "Drafting" en cyclisme sur la performance en course à pied du triathlon

Christophe Hausswirth, Jean-Marc Vallier, Didier Lehénaff, Grégoire Millet, Patrick Dréano, Pierre Houseaux

► To cite this version:

Christophe Hausswirth, Jean-Marc Vallier, Didier Lehénaff, Grégoire Millet, Patrick Dréano, et al.. Etude de l'influence d'une position "Drafting" en cyclisme sur la performance en course à pied du triathlon. [Rapport de recherche] Institut National du Sport et de l'Education Physique (INSEP). 2001. hal-01924583

HAL Id: hal-01924583

<https://insep.hal.science/hal-01924583>

Submitted on 16 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DEPARTEMENT DES SCIENCES DU SPORT

Laboratoire de Biomécanique et Physiologie

**ÉTUDE DE L'INFLUENCE D'UNE POSITION « DRAFTING » EN
CYCLISME SUR LA PERFORMANCE EN COURSE A PIED DU
TRIATHLON.**

Dossier Scientifique présenté par

Christophe HAUSSWIRTH¹,

Collaborateurs scientifiques : JM. VALLIER², D. LEHENAFF¹, G. MILLET³

Collaborateurs fédéraux : P. DREANO⁴, P. HOUSEAUX⁴

Publications Scientifiques liées au projet :

HAUSSWIRTH et coll. (1999) *Med. Sci. Sports Exerc.* 31 :599-604

HAUSSWIRTH et coll. (2001) *Med. Sci. Sports Exerc.* 33 :485-492

Travail effectué par

¹Laboratoire de Biomécanique et Physiologie - INSEP

En collaboration avec

²Université de Toulon-Var, Laboratoire d'Ergonomie Sportive et Performance

³Université de Montpellier

⁴Fédération Française de Triathlon

SOMMAIRE

SOMMAIRE-----	
	--p2
1 - INTRODUCTION-----	
--p3	
1.1 Aspects biomécaniques-----	
-p5	
1.1.1 Facteurs d'aérodynamisme-----	
-p5	
1.1.2 Bénéfices dus au " drafting "-----	
p6	
1.1.2.1 Cas particulier du cyclisme-----	
p6	
1.1.2.2 Evolution du coût énergétique du cyclisme avec et sans " drafting "-----	p7
1.2. Approche du coût énergétique lors de la course-à-pied à allure sous-maximale-----	p8
1.2.1 Définition et validité de mesure-----	
p8	
1.2.2 Cas particulier de la course-à-pied du triathlon-----	
p9	
2 - OBJECTIFS EXPERIMENTAUX-----	
p10	
3 - MATERIELS ET METHODES-----	
p11	
3.1 Les sujets-----	
p11	
3.1.1.Le protocole expérimental-----	
p11	
3.1.1.1Epreuve préliminaire-----	
p11	
3.1.1.2.Les triathlons expérimentaux-----	
p12	
3.1.2..Paramètres mesurés-----	
p13	

3.1.2.1.Epreuve préliminaire-----

p13

3.1.2.2.Les triathlons expérimentaux-----

p13

3.2.Matériels utilisés-----

p14

4. RESULTATS-----

-p16

5. ELEMENTS DE DISCUSSION-----

p17

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES-----

p20

ANNEXES-----

-p23

1. Introduction

L'enchaînement respectif des trois disciplines que sont la natation, le cyclisme et la course à pied a permis au triathlon de voir le jour dans les années 70 aux Etats-Unis. Rapidement, il s'est propagé de par le monde au tournant des années 80. Dès 1986, apparaissent les premières études scientifiques sur ce sport original et celles-ci ne cessent de se multiplier encore de nos jours. Cet attrait grandissant semble se concrétiser avec l'apparition de cette discipline pour les prochains jeux olympiques de l'an 2000 sur la distance la plus classique à savoir 1,5 km de natation, 40 km de cyclisme et 10 km de course à pied. Bien que le triathlon propose plusieurs catégories de distances, une seule n'a été toutefois retenue pour les olympiades.

Parmi les nombreuses recherches effectuées sur cette activité ou la combinaison de différents enchaînements de deux disciplines la constituant, beaucoup se sont intéressées à la complexité de la programmation de l'entraînement dans le but de rendre les triathlètes plus performants. A l'origine, le triathlon était un sport entièrement individuel, c'est-à-dire pendant l'épreuve de cyclisme, le phénomène de "drafting" était interdit ce qui signifie qu'il n'était pas autorisé de profiter de l'aspiration d'un autre coureur cycliste. Si un arbitre surprenait un triathlète s'abritant derrière un autre concurrent, il lui administrait un avertissement (c'est la règle du "stop and go"). C'est-à-dire que le triathlète devait s'arrêter et attendre l'autorisation de l'arbitre pour pouvoir repartir. Or, cette règle est devenue de plus en plus difficile à respecter car le nombre de coureurs ne cesse d'augmenter et les arbitres ont du mal à gérer ce problème avec pertinence et fidélité. Ainsi, non seulement pour une raison d'ordre réglementaire mais aussi médiatique et télévisuelle, le "drafting" a été progressivement instauré dans les compétitions de grandes importances (grands prix nationaux, courses internationales...). Cette nouvelle réglementation semble entraîner des répercussions importantes au niveau de la programmation de l'entraînement, et ce dans un objectif de performance en compétition. On recherche désormais la façon la plus efficace pour obtenir une succession sans faille des trois disciplines entre elles. Pour cela, on va essayer de diminuer autant que possible le temps d'adaptation à enchaîner une discipline après l'autre. C'est l'une des raisons pour laquelle nous nous intéressons à présent à une perspective novatrice d'une approche croisée de l'entraînement. Cette approche récente consiste à placer le travail par enchaînements multiples au cœur de l'entraînement du triathlète et non plus de travailler chacune des disciplines séparément.

Ainsi, dans cette étude, nous nous proposons d'étudier l'influence que peuvent avoir les effets du "drafting" durant l'épreuve de cyclisme sur la course à pied d'un triathlon. Dans le but d'approcher les conditions réelles de compétition, la réalisation de l'expérimentation s'est déroulée sur le site quasi-

habituel de course. Nous espérons ainsi en tirer des conséquences utiles à la programmation de l'entraînement du triathlète à l'aube des jeux de l'an 2000.

Beaucoup d'études se sont intéressées aux divers effets qui pouvaient se produire lorsqu'un individu profite de l'aspiration d'un autre individu dans de nombreuses activités physiques et sportives. De façon générale, lorsqu'un athlète est en position de " drafting ", il est observé un gain non seulement en terme d'énergie dû à la diminution des facteurs aérodynamiques mais aussi en terme de coût énergétique pour une même vitesse de déplacement.

1. Aspects biomécaniques et bioénergétiques du " drafting "

1.1. Facteurs d'aérodynamisme

Différentes études se sont intéressées aux effets que pouvait avoir le " drafting " dans chacune des trois disciplines composant un triathlon, respectivement la natation, le cyclisme et la course à pied (Chatard et al., 1990 ; Kyle, 1979 ; Pugh, 1970). Les résultats montrent que les bénéfices les plus importants sont relevés lors d'une épreuve de cyclisme comparés aux épreuves de natation ou de course à pied. Mais le " drafting " a aussi été étudié dans plusieurs activités physiques comme en ski de fond (Bilodeau, 1994), en patinage de vitesse (di Prampero, 1976) ou encore en short-track (Rundell, 1996).

Le point commun à l'ensemble de ces disciplines combinant plusieurs vitesses de déplacement est le facteur d'aérodynamisme qu'elles proposent. Celui-ci est exprimée par la relation suivante :

$$D=1/2 \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2,$$

où C_d représente le coefficient de résistance, ρ la densité de l'air, A_p la surface du frontale projetée et v la vitesse.

Mais comme C_d et A_p sont des valeurs constantes à même température et à même pression, l'équation peut s'exprimer ainsi : $D=kv^2$, où k est une constante égale à $1/2 C_d \cdot \rho \cdot A_p$.

Dans ces processus d'aérodynamisme, la puissance délivrée contre la résistance à l'avancement (r) à une vitesse v est exprimée tel que : $r=k \cdot v^3$

Cette équation nous montre que pour une faible augmentation de la vitesse, nous obtenons une augmentation importante non proportionnelle de la résistance à l'avancement. Ainsi, un athlète profitant de l'aspiration d'un autre athlète économise considérablement son énergie dans les sports où les vitesses sont élevées.

D'autres auteurs (Ingen Schenau et Bakker , 1980) ont étudié l'incidence de la surface frontale projetée associée au " drafting " lors d'une épreuve de ski de fond. Ils ont observé que la surface frontale projetée dépendait non seulement de la forme mais aussi de la vitesse de l'athlète ainsi que de la qualité de ses vêtements. La résistance R d'un corps peut être généralement exprimée ainsi :

$$R=e \cdot v^2 \cdot d^2 \cdot F(vd \cdot e/y)$$

où e est la densité du fluide, v la vitesse du corps en mouvement dans le fluide, y la viscosité dynamique du fluide et d la dimension du corps. La fonction F indéterminée est appelée nombre de Reynold. A très

faible vitesse, la résistance va être principalement due à la viscosité, d'où : $R=k*y*vd$, où k est une constante qui peut être déterminée expérimentalement. De plus, à vitesse plus importante, la viscosité a très peu d'influence sur la résistance et donc la résistance devient : $R=k*e*v^2*d^2$

Quand le nombre de Reynold est compris entre 10^5 et 10^6 , la résistance est une fonction du nombre en question et il varie considérablement, dépendant des dimensions et de la forme du corps en mouvement dans le fluide et de la consistance du fluide.

L'ensemble de ces facteurs d'aérodynamisme propres aux activités physiques sollicitant des vitesses de déplacement élevées ($> 20 \text{ km.h}^{-1}$) nous conduisent à s'interroger sur l'évolution de paramètres bioénergétiques lorsque l'athlète bénéficie du processus d'aspiration.

1.2. Bénéfices dus au “ drafting ”

1.2.1. Cas particulier du cyclisme

L'épreuve cycliste constitue l'épreuve pour laquelle la prise d'aspiration engendre les plus grands bénéfices, mesurés notamment par une diminution de la résistance de l'air de plus de 40 % durant une situation de “ drafting ” en cyclisme correspondant à une réduction de la puissance délivrée d'environ 30 % (Kyle, 1979). L'utilité du “ drafting ” en compétition de cyclisme est prouvée par de nombreux bénéfices. On note essentiellement des améliorations lorsque la vitesse est importante. En effet, à des vitesses de déplacement élevées, la résistance de l'air est plus importante ainsi que les résistances mécaniques et de frottement (Davies 1980 ; Whitt 1971, 1974).

Une étude relativement ancienne réalisée en soufflerie a pu nous renseigner précisément sur les effets du “ drafting ” en cyclisme (Kyle, 1979). Dans cette étude, Kyle (1979) a observé que la puissance à développer dépendait de la vitesse du cycliste et que la diminution de cette puissance variait de 29% à 15 miles par heure ($24,1 \text{ km.h}^{-1}$), et de 35% à une vitesse de 35 miles par heure ($56,3 \text{ km.h}^{-1}$).

De plus, les réductions de la résistance du vent résultent aussi de l'utilité du matériel aérodynamique de la nouvelle technologie (Kyle 1990, 1988). L'avantage d'une forme aérodynamique du vélo est surtout limitée par la résistance causée par le cycliste. Des mesures sur les forces de résistance des cyclistes dans des positions différentes ont été faites mais les résultats ne sont pas publiés dans la littérature.

Le coefficient de frottement montre une forte dépendance de la taille et de la forme du cycliste. Mais la plus faible valeur du coefficient de résistance est trouvée lorsque le cycliste est sur le guidon de triathlon car la surface frontale projetée est réduite, le cycliste ayant une position plus allongée et donc une meilleure pénétration dans l'air. La réduction de la résistance à l'avancement dans un groupe

de cyclistes dépend non seulement de leur vitesse de course, mais aussi de la position sur leur vélo, de leur place relative par rapport aux cyclistes ainsi que de l'alignement plus ou moins linéaire. De façon plus générale, les études réalisées en cyclisme pour des vitesses de 40 km.h^{-1} montrent une réduction de 26 à 38% de la puissance délivrée (Kyle, 1979). Cette diminution de puissance a des conséquences directes sur l'énergie dépense en course et par conséquent sur le coût énergétique en cyclisme.

1.2.2. Evolution du coût énergétique du cyclisme avec et sans “ drafting ”.

Le “ drafting ” modifie la dépense énergétique. On peut considérer le coût énergétique comme étant la somme du coût aérodynamique (C_a) et du coût non-aérodynamique (C_{na}) : $C=C_a+C_{na}$.

Ainsi, lorsque l'on roule en groupe, C_{na} est nettement réduit et le pouvoir métabolique est utilisé à surmonter la résistance à l'air. De ce fait, Bodganis (1994) définit C_a et C_{na} de sorte que : $C_a=k*v^2$, où k est une constante et v est la vitesse du sujet.

C_{na} est en fait la dépense énergétique utilisée à surmonter les forces gravitaires et l'inertie des variations de vitesse du centre de gravité du corps du sujet. (Ce dernier étant un facteur insignifiant en cyclisme car le poids du corps est porté par le vélo) . C'est pourquoi il apparaît clairement que l'énergie économisée en cyclisme sous l'effet du “ drafting ” dépend très largement de la réduction du facteur k , avec $k=C_x*Sp*p/n$

où C_x est le coefficient d'aérodynamisme, Sp la surface frontale projetée de l'objet en mouvement, p la densité de l'air et n le rendement de la locomotion.

Dans ce cadre, Pugh (1971) a pu mettre en évidence que le coût énergétique du cyclisme, même à une vitesse moyenne, pouvait être diminué en réduisant les résistances de l'air, cela se traduisant par une réduction d'au moins 8 % de la consommation d'oxygène totale. De plus, Caru et al. (1987) ont observé une réduction de 10 % de la fréquence cardiaque pour des cyclistes étant en position de “ drafting ” à une vitesse de 30 km.h^{-1} .

En situation de “ drafting ”, il semble y avoir expérimentalement une économie importante en terme d'énergie dépensée par l'intermédiaire de la diminution des résistances à l'avancement.

Même à faible vitesse, les bénéfices du “ drafting ” sont observés. Pugh (1971) a trouvé une diminution de la dépense énergétique totale d'un coureur à pied d'environ 6 % à une vitesse de 6 m.s^{-1} . De plus, un coureur pouvait gagner une seconde sur chaque 400 mètres (Pugh 1971 ; Davies (1980)). En revanche, selon Kyle (1979), un sujet courant à deux mètres derrière un autre peut améliorer ses performances de 1,7 secondes par 400 mètres pour une même dépense énergétique.

Dans une position de “ drafting ”, la diminution de FC est donc accompagnée d'une diminution de la consommation d'oxygène ($\dot{V}O_2$) pour un même niveau de performance, et cette réduction est due à la

baisse du coût aérodynamique tandis que le coût non aérodynamique demeure constant. En conséquence, dans le but de diminuer le coût énergétique total en cyclisme, il est important de réduire la surface de projection frontale.

La position de “ drafting ” derrière un seul cycliste, autorise à 32 km.h⁻¹ une diminution de 18 % (+ 11%) en terme de $\dot{V}O_2$, et -27% (+ 7%) à 40 km.h⁻¹. Mais derrière une formation de huit cyclistes, $\dot{V}O_2$ diminue de 39 % (+ 6%) à une vitesse de 40 km.h⁻¹, et de -62% (+ 6%) derrière un véhicule roulant à la même vitesse (Davies, 1980).

Le “ drafting apporte donc des modifications métaboliques lors d’une épreuve cycliste mais nous pouvons aussi observer qu’il modifie le coût énergétique lors d’une épreuve de course-à-pied.

2. Approche du coût énergétique lors de la course à pied à allure sous-maximale

2.1. Définition et validité de mesure

Le coût énergétique de la locomotion (marche, course à pied, cyclisme..) est défini comme la quantité d'énergie dépensée par unité de distance (di Prampero, 1986). Calculée à partir de cette définition, la validité du coût énergétique dépend de la méthode mise en oeuvre pour mesurer la dépense énergétique. Les premiers essais d'évaluation de la dépense énergétique de la course à pied ont été réalisés en laboratoire par Sargent (1926). Ces travaux ont utilisé des mesures de consommation d'oxygène avant, pendant et après des paliers d'intensité submaximale à supra-maximale. Dans ces conditions expérimentales, les métabolismes aérobie et anaérobie sont sollicités et l'estimation de la dépense énergétique se réalise à partir du calcul des équivalents énergétiques de l'oxygène (EO_2) et du lactate ($E_{la} = 3mlO_2.mmol.l^{-1}$, di Prampero, 1981). Néanmoins pour ces efforts partiellement ou totalement anaérobies, la détermination de la dépense énergétique liée à la sollicitation des métabolismes anaérobies est difficile à réaliser car elle dépend de la nécessité de connaître la concentration d'ATP, de créatine phosphate, de glycogène musculaire, ainsi que la masse musculaire active.

Pour être valide, le calcul du coût énergétique repose ainsi sur des mesures obtenues dans des conditions métaboliques stables, sous-maximales, où la consommation d'oxygène ($\dot{V}O_2$) est représentative de la dépense d'énergie par unité de temps. Dans ces conditions, plusieurs termes sont utilisés dans la littérature pour désigner $\dot{V}O_2$: demande sous-maximale, efficacité aérobie, coût en oxygène, coût métabolique et “*running economy ou économie de course*” pour un effort de course à pied. Lorsque la consommation d'oxygène est rapportée au travail produit on parle de coût énergétique. Plusieurs

méthodes de calcul du coût énergétique sont proposées dans la littérature, la différence entre ces modes de calcul tient principalement dans la soustraction ou non d'une valeur de dépense énergétique " de base " à la valeur de $\dot{V}O_2$ afin de quantifier la dépense énergétique liée uniquement au travail externe fourni. Bien qu'aucune ne semble satisfaisante, différentes valeurs de bases sont répertoriées dans la littérature et modifient la terminologie et la signification du rapport travail vs énergie (Stainsby *et al*, 1980). Les indices suivants sont alors calculés : " net efficiency " : $\dot{V}O_2 - \dot{V}O_2$ mesurée au repos ; en cyclisme " work efficiency " : $\dot{V}O_2 - \dot{V}O_2$ mesurée lors du pédalage sans force de résistance ; " delta efficiency " : $(\dot{V}O_2$ " palier n ") - $(\dot{V}O_2$ " palier (n-1) ") . Néanmoins le mode de calcul le plus classiquement utilisé est celui proposé par di Prampero en 1986 selon l'équation suivante :

$$Cr = (\dot{V}O_2 - \dot{V}O_2 \text{ repos}) \cdot \text{vitesse}^{-1} . \text{ (di Prampero, 1986)}$$

Cr est exprimé en $\text{mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, vitesse en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, et $\dot{V}O_2$ en $\text{mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Enfin, lors de ce calcul, la variabilité de la mesure de $\dot{V}O_2$ de repos amène certains auteurs à utiliser la valeur de $\dot{V}O_2$ repos théorique de $0,083 \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, calculée par Medbø *et al* (1988) chez de jeunes adultes de sexe masculin à partir de la relation $\dot{V}O_2$ -vitesse. D'une manière générale, l'ensemble de ces calculs repose sur la conception d'une linéarité parfaite de la relation $\dot{V}O_2$ -vitesse. Celle-ci, observée pour une étendue de vitesses comprises entre 50 et 80% de $\dot{V}O_{2\text{max}}$, se traduit par une stabilité du coût énergétique indépendamment de l'augmentation de la vitesse (e.g. Daniels , 1985).

Ainsi, dans les épreuves de longues durées, où la vitesse moyenne de déplacement correspond à cette gamme de vitesses sous-maximales, la mesure du coût énergétique peut être considérée comme un des déterminants de la performance (Morgan *et al*, 1989). Dans ce cadre, l'utilisation du coût énergétique comme indice de l'efficacité dans une tâche nécessite alors en premier lieu de définir la méthode utilisée pour sa mesure et de déterminer les facteurs de variation qui peuvent limiter l'interprétation des résultats.

2.2. Cas particulier de la course à pied du triathlon

Les résultats des travaux de Dengel *et al* (1989) nous confirment que le coût énergétique a une influence primordiale dans la réalisation d'une performance, plus spécifiquement lors de la pratique du triathlon. Toutefois, l'ensemble des valeurs enregistrées en terme de paramètres physiologiques et/ou biomécaniques en course à pied est dépendent des conditions de réalisation des deux épreuves précédentes. Les premiers résultats proposés par Boone et Kreider (1986) ont constitué une base essentielle concernant l'évaluation de la variabilité de Cr de la course à pied consécutive à un effort de cyclisme préalable. Dans cette étude, les auteurs ont pu mettre en évidence les effets d'un exercice de

pédalage de 3 minutes effectué à 80% de la fréquence cardiaque maximale, sur les paramètres physiologiques enregistrés lors d'un effort de 5 minutes de course sur tapis roulant à 9,6km.h⁻¹. Ces auteurs relevèrent que Cr était plus élevé lorsque celui-ci était effectué *après* un effort de cyclisme, en comparaison avec un effort de course seule de durée identique. Cependant, la population étudiée ne contenait aucun triathlète mais uniquement des étudiants physiquement actifs. Afin de compléter cette première étude, Kreider *et al* (1988) démontrèrent qu'à la fin d'un triathlon réalisé entièrement en laboratoire (800m natation, 40km cyclisme et 10km course à pied), la consommation d'oxygène, le débit ventilatoire, la fréquence cardiaque et la différence artério-veineuse en oxygène étaient supérieurs lors du 10km du triathlon comparé à l'épreuve de 10km réalisé de façon isolée. Ces auteurs en conclurent que les modifications cardiovasculaires étaient le résultat d'un besoin plus important de thermorégulation pendant l'épreuve de 10km du triathlon. Manifestement, l'ensemble des résultats obtenus dans ces deux études constitue une base de données importante pour des conditions de réalisation en laboratoire.

A notre connaissance, une seule étude s'est intéressée aux problèmes liés à la légalisation de la règle du " drafting " en cyclisme et de son incidence en terme de coût énergétique sur la course à pied consécutive (Hauswirth et al., 1999). Poursuivant cette étude, nous avons mis en place une expérimentation de type scientifique en tenant compte de toutes les composantes inhérentes à la compétition de haut-niveau en triathlon.

2.Objectifs expérimentaux

Le but de cette étude est d'étudier l'influence que peuvent avoir les effets du « drafting » durant l'épreuve de cyclisme sur la course à pied d'un triathlon. Nous allons mesurer, dans un premier temps, les éventuelles variations du coût énergétique de la course à pied selon que l'épreuve de cyclisme s'est déroulée avec « drafting » ou non.

Dans un deuxième temps, nous chercherons à observer l'évolution des paramètres physiologiques et biomécaniques tout au long de l'épreuve. Au niveau physiologique, nous étudierons les valeurs de la consommation d'oxygène, du débit ventilatoire, de la fréquence cardiaque ainsi que de la lactatémie. Au niveau biomécanique, nous chercherons à déterminer les éventuelles modifications de la longueur et de la fréquence des foulées au cours de la course à pied selon que le triathlète a profité du « drafting » durant la partie cycliste.

D'autre part, cette étude vise à souligner l'importance que peuvent avoir les phénomènes d'aspiration durant la partie cycliste sur la performance en course à pied, aussi bien au niveau

physiologique que biomécanique.

De plus, l'enregistrement des données physiologiques est effectué grâce à un appareil de mesures télémétrique récent et validé scientifiquement, le K4 dont le fonctionnement sera détaillé dans le chapitre suivant . Il permet de réaliser cette étude sur le terrain dans des conditions proches de la compétition.

3. Matériels et méthodes

3.1. Les Sujets.

Huit sujets de sexe masculin ont réalisé le protocole. Il s'agissait de triathlètes de niveau national. Les sujets étaient informés des conditions de l'expérimentation et de ses exigences, et étaient accoutumés à ce type de test. Ils étaient volontaires et motivés pour y participer. Leurs caractéristiques physiques et les charges d'entraînement hebdomadaires sont reportées dans le tableau 1 (cf. annexe). L'expérimentation a eu lieu durant le mois de mars et tout a été effectué en 15 jours.

3.1.1. Le protocole expérimental.

L'expérimentation a comporté trois phases : tout d'abord, une épreuve d'effort en laboratoire, ensuite un premier triathlon avec du “ drafting ” continu lors de l'épreuve de cyclisme (TDC) , et enfin un second triathlon avec du “ drafting ” alterné (TDA).

3.1.1.1. Epreuve préliminaire.

Les sujets ont chacun effectué une épreuve d'effort en laboratoire permettant, de déterminer leur consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_{2max.}$) , et d'en déduire leur vitesse maximale aérobie (VMA) . Cette épreuve a consisté en une course à pied sur un tapis roulant à 0% d'inclinaison. Elle s'est déroulée par paliers de trois minutes avec une minute de récupération entre chacun d'eux, la vitesse étant constante durant chaque palier mais augmentant de 1 km/h après chaque palier. Le premier était fixé à une vitesse de 12 km/h.

L'athlète arrêtait lui-même le tapis lorsqu'il n'arrivait plus à suivre la vitesse imposée. On déterminait leur VMA par rapport au dernier palier qu'ils avaient complètement terminé.

3.1.1.2. Les triathlons expérimentaux.

Les deux triathlons se sont effectués de façon tout à fait “ indoor ”. C’étaient deux épreuves de distance sprint, c’est-à-dire que les triathlètes avaient 750 mètres à parcourir en natation (en bassin de 50 mètres), 20 km de cyclisme sur vélodrome (la piste mesurant 166 mètres), et enfin, 5 km de course à pied sur une piste couverte(cette dernière mesurant 150 mètres). Les trois disciplines étaient, bien entendu, enchaînées dans cet ordre respectif.

Les deux triathlons ont été espacés de trois jours durant lesquels, l’entraînement des triathlètes était contrôlé.

Pendant l’épreuve de natation, ils avaient la consigne de nager à leur allure maximale durant 750 mètres. Tous les temps de passage étaient enregistrés. Pour l’épreuve de cyclisme, le premier triathlon(TDA) a eu lieu en “ drafting alterné ”. Chaque triathlète a parcouru les 20 km de vélo à l’aide d’un cycliste avec lequel ils prenaient des relais tous les 500 mètres (ce qui signifie tous les trois tours sur le vélodrome). Durant les cinq cents premiers mètres le triathlète imposait sa vitesse. Le cycliste prenait ensuite le relais sans modifier celle-ci. Le triathlète avait trois kilomètres pour rectifier sa vitesse, si le besoin s’en faisait sentir. Après trois kilomètres d’adaptation, on mettait un “ bipper ” tous les demi-tours afin que le binôme garde une allure constante durant les 17 kilomètres restants, (l’allure étant prise sur la vitesse du troisième kilomètre). La fréquence de pédalage était librement choisie par le triathlète.

Ensuite, pour l’épreuve de course à pied, le triathlète avait la consigne de parcourir les cinq kilomètres le plus vite possible. Le triathlète était filmé dans la ligne opposée afin de calculer la fréquence et l’amplitude de ses foulées ainsi que l’évolution de celles-ci durant les cinq kilomètres de course à pieds.

Le second triathlon,(TDC : Triathlon à "Drafting Continu") s'est effectué exactement dans les mêmes conditions pour les épreuves de natation et de course à pied. En revanche, durant l’épreuve de cyclisme, le triathlète avait la consigne de profiter de l’aspiration du cycliste tout au long des 20 km. Il se mettait bien à l’abri, laissant 20 à 50cm d’écart entre les deux roues. Il était libre de choisir sa fréquence de pédalage. La vitesse de déplacement de l’épreuve cycliste était exactement identique à celle du triathlon avec "drafting alterné".

Tous les sujets ont réalisé ces deux épreuves dans des conditions se rapprochant au mieux de celles de compétition. Néanmoins, l’épreuve était aménagée pour les besoins de l’expérimentation : d’une part les triathlètes nageaient et couraient seuls mais roulaient avec l’aide d’un cycliste; d’autre part ils devaient satisfaire à des prélèvements sanguins, ainsi qu’à la pose d’un appareil de mesures télémétriques lors de la première transition et au changement de batterie de ce même appareil lors de la seconde transition.

3.1.2. Paramètres mesurés

3.1.2.1. Epreuve préliminaire

- La consommation d'oxygène ($\dot{V}O_2$), le quotient respiratoire (QR), la fréquence cardiaque (FC), étaient recueillis en continu avec un enregistrement toutes les 15 secondes.
- Un prélèvement sanguin effectué au lobe de l'oreille était réalisé à la fin de chaque palier de trois minutes.

Les critères utilisés pour la détermination de $\dot{V}O_{2max}$ étaient : l'atteinte d'un plateau de $\dot{V}O_2$ en dépit de l'augmentation de la vitesse de course, un QR avoisinant 1.1, une FC atteignant la FC maximale théorique ($220 - \text{âge}$) et une lactatémie supérieure à 8 mM. La $\dot{V}O_{2max}$ a été calculée à partir de la moyenne des trois dernières plus hautes valeurs de $\dot{V}O_2$ enregistrées. La VMA correspondait à la plus grande vitesse maintenue sur un palier de trois minutes.

3.1.2.2. Les triathlons expérimentaux

Dans le but de comparer et d'analyser les différences de coût énergétique des sujets entre les courses à pied des deux triathlons, plusieurs paramètres physiologiques et biomécaniques ont été mesurés.

Paramètres physiologiques :

- Les données ventilatoires : $\dot{V}O_2$, la fréquence respiratoire (FR), VE, QR, ont été enregistrées toutes les 15 secondes durant les deux triathlons en cyclisme et en course à pied. Connaissant $\dot{V}O_2$ et la vitesse de course des sujets (V), les coûts énergétiques (C_e) ont été calculés suivant la formule ci-dessous :

$$C_e \text{ (ml d'O}_2\text{.min}^{-1}\text{.km}^{-1}\text{)} = \frac{\dot{V}O_2 \text{ (ml d'O}_2\text{.min}^{-1}\text{.kg}^{-1}\text{)} - 0.083}{\text{vitesse (km.h}^{-1}\text{)}} \times 60$$

0.083 (en $\text{ml.kg}^{-1}\text{.s}^{-1}$) est la valeur de $\dot{V}O_2$ correspondant à the y-intercept of the $\dot{V}O_2$ - speed relationship established in young male adults (8).

La mesure du QR tout au long de l'épreuve nous a permis de calculer le Ce en Joule/m/kg.

- La fréquence cardiaque était relevée tout au long des deux triathlons.

- Afin d'obtenir un dosage de la lactatémie par micro méthode(microzym L SGI Toulouse), 4 prélèvements sanguins effectués au lobe de l'oreille ont été réalisés aux temps suivants sur chacun des deux triathlons : au repos avant le départ, pendant la transition natation-vélo, pendant la transition vélo-course, et à la fin du triathlon.

Paramètres biomécaniques :

La fréquence de foulée a été mesurée à chaque tour de piste dans la même ligne droite, en chronométrant le temps mis pour 10 appuis du pied droit au sol; la vitesse de course étant constante et connue, la longueur de foulée en était déduite. Les deux dernières valeurs précédant chaque temps expérimental ont été moyennées.

3.2.Matériels utilisés

- lors de l'épreuve de détermination de VO_2 max et lors des deux triathlons (en vélo et en course à pied), un appareil de mesures télémétriques récemment validé (Hausswirth, 1997) (Cosmed K4, Rome, Italie) a été utilisé.

Description de l'analyseur des échanges gazeux par télémétrie (type Cosmed K4_{RQ}) :

Le K4 est un instrument conçu pour mesurer dans des conditions réelles la ventilation, la consommation d'oxygène, la production de gaz carbonique et la fréquence cardiaque. Le système est formé de deux unités :

***UNE UNITE PORTABLE FIXEE AU SUJET PAR UN HARNAIS, COMPOSEE D'UN MODULE DE TRAITEMENT - TRANSMISSION ET DE BATTERIES RECHARGEABLES.**

*Une unité réceptrice qui reçoit, traite, mémorise, et imprime les données.

L'unité portable est raccordée au sujet par l'intermédiaire d'un masque facial souple à l'extrémité duquel est fixée une turbine. Le flux d'air expiré provoque la rotation de cette turbine de faible masse et d'inertie réduite. Un système opto électronique compte le nombre de demi révolutions par seconde. Ces données sont ensuite envoyées à l'unité portable par l'intermédiaire d'un câble. Ainsi le système mesure le flux

d'air, compte le nombre de cycles respiratoires par minute et calcule le débit expiratoire. D'autre part, un échantillon de l'air expiré est prélevé depuis le masque grâce à un tube capillaire semi-perméable (Permapure) qui évacue l'humidité en excès; puis dans l'unité portable un capteur électronique produisant une tension proportionnelle à la concentration d'O₂ permet de mesurer la fraction d'O₂ (F_iO₂) contenue dans le gaz expiré. La fraction de CO₂ (F_iCO₂) est évaluée à l'aide d'une électrode infrarouge. En effet, le CO₂ en passant à travers la cellule absorbe une certaine quantité de lumière proportionnelle à sa concentration. Soit F_iO₂ la fraction d'O₂ présente dans l'air inspiré, le K4 calcule VO₂ selon la formule suivante :

De plus, une électrode enregistrant la FC est reliée à l'unité portable. Le système est calibré avant chaque expérimentation en accord avec les instructions du fabricant. L'unité portable est mise en route 20 minutes avant utilisation. Les analyseurs d'O₂ et de CO₂ sont calibrés au début de chaque test en utilisant l'air ambiant (respectivement 20.93% et 0.03%). Le système effectue une compensation en fonction des variations de pression atmosphérique et d'humidité ambiante. La turbine du masque est calibrée au début de l'étude à l'aide d'une seringue de 3 litres. Le prélèvement et l'enregistrement des paramètres les plus significatifs ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$, FR, QR, FC) peut être effectué toutes les 15 secondes. La transmission des signaux émis à l'unité portable est possible jusqu'à une distance de 800 mètres. Néanmoins, l'utilisation d'une antenne spéciale permet de les capter dans une zone de 3 km. En outre, le K4 dispose d'une interface permettant sa connexion à un ordinateur personnel (PC). Les données collectées peuvent être traitées par le programme "K4 pour Windows".

Pendant les deux épreuves, un cardio fréquencemètre (BHL 6000, Bauman-Haldi SA, Fleurier Suisse) a permis d'une part, de doubler les mesures de FC durant les parties pédestre et d'autre part de disposer d'un enregistrement durant le cyclisme.

La figure 1 (cf.annexe) retrace le déroulement complet de chacun des triatlons et la chronologie des différentes manipulations expérimentales.

4. Résultats

Performances. Les temps de natation (t_n) étaient respectivement de 10 min 18 ± 25 s et 10 min 14

± 20 s pour le TDA et le TDC. Les valeurs des fréquences cardiaques (FC) atteignaient 172 ± 7 batts.min⁻¹ pour le TDA et 170 ± 11 batts.min⁻¹ pour le TDC. Les valeurs du lactate sanguin après la natation [La⁻]_s étaient de 8.7 ± 0.6 mmol.L⁻¹ pour le TDA et 8.5 ± 0.7 mmol.L⁻¹ pour le TDC. On n'a pas observé de différence significative entre les deux épreuves de natation pour aucun des paramètres étudiés (t_n , FC, La). Les performances en cyclisme et en course à pied sont représentées dans le tableau 1 : l'augmentation significative de la vitesse de course à pied était +4.2% pour le TDC par rapport au TDA.

Paramètres ventilatoires et fréquence cardiaque.

i) En cyclisme: les analyses de la variance montraient un effet global du type d'exercice ($P < 0.01$) sur $\dot{V}O_2$ (Figure 2-A) et FC (Figure 2-B). Tous les 4 km les principales valeurs étaient significativement plus élevées à chaque fois pour TDA comparé à TDC, aussi bien pour $\dot{V}O_2$ que pour FC. Néanmoins, les principales valeurs ($\dot{V}O_2$, FC) aux km 8, 12, 16 et 20 de la partie cyclisme du TDC étaient significativement plus basses que les principales valeurs initiales au km 4 ($P < 0.05$). De plus, les principales valeurs de $\dot{V}O_2$ et FC pendant les 20 km de cyclisme de chacun des deux triathlons sont reportées dans le Tableau 2. Nous avons observé une diminution significative de $\dot{V}O_2$ et FC entre TDA et TDC (-16.5 % and -10.6 %, respectivement). En ce qui concerne la ventilation, les principales valeurs lors de l'épreuve de cyclisme, $\dot{V}E$ étaient significativement plus élevées pour TDA que pour TDC (Tableau 2).

ii) Course à pied: les principales valeurs de $\dot{V}O_2$ et FC pour les km 1, 2, 3, 4 et 5 étaient significativement plus basses pour TDA comparé à TDC ($P < 0.01$) (Figures 3-A et 3-B, respectivement). Les valeurs de $\dot{V}O_2$ et FC pour les deux courses à pied (ADT, CDT) sont reportées dans le Tableau 2. La course à pied de TDA a généré des valeurs significativement plus basses ($P < 0.01$) que celles enregistrées durant TDC. En terme de pourcentages, $\dot{V}O_2$ était plus élevé durant TDC que durant TDA (+6.2%). De la même façon, les principales valeurs de FC était plus élevées pendant TDC que pendant TDA (+2.4%). Enfin, les principales valeurs de $\dot{V}E$ était significativement plus élevées pour TDC que pendant TDA ($P < 0.01$).

Les concentrations en lactate sanguin. Un résumé de toutes les valeurs est représenté dans le Tableau 2. On n'a pas observé de différence significative entre les épreuves de natation de TDC et TDA. Les comparaisons des valeurs du lactate sanguin durant l'épreuve de cyclisme montraient que [La⁻]_s de TDC était significativement plus basse que [La⁻]_s de TDA (3.5 mmol.L⁻¹ et 6.3 mmol.L⁻¹ respectivement, $P < 0.01$). Et [La⁻]_s de TDC était significativement plus élevée que [La⁻]_s de TDA ($P < 0.05$) durant les deux épreuves de course à pied.

La fréquence de pédalage. Les résultats sont illustrés sur la Figure 4. La fréquence de pédalage était à chaque fois plus élevée durant TDC que durant TDA ($P < 0.01$), respectivement 92 et 87 rpm.

La fréquence des foulées. Les résultats sont reportés sur la Figure 5. la fréquence des foulées était significativement plus élevée durant les premiers km de TDC en comparaison avec les premiers km de TDA ($P < 0.01$). On n'a pas trouvé de différence significative pour les derniers stages des deux course à pied (i.e. du deuxième km jusqu'au cinquième km, $P > 0.05$).

Eléments de discussion

Un grand nombre d'études a démontré clairement que le fait de faire du cyclisme derrière un cycliste ayant exactement la même surface frontale de projection, contribuait à une meilleure performance. La première remarque intéressante dans cette étude était de confirmer que le fait de profiter des phénomènes d'aspiration d'autres cyclistes durant un triathlon permettait de réduire la dépense énergétique, la fréquence cardiaque et le débit ventilatoire (ces résultats sont valables pour une distance de « drafting » comprise entre 0,2 et 0,5m).

A notre connaissance, le fait de profiter du « drafting » durant la partie cycliste d'un triathlon, n'a pas été encore scientifiquement bien documenté. C'est la raison pour laquelle, les résultats trouvés ici ont besoin d'être comparés avec les résultats disponibles dans chacune des trois disciplines étudiées séparément. Les présentes études ont montré une réduction de $\dot{V}O_2$ (-10%) , de la fréquence cardiaque(-10,6%) et de la ventilation(-11,4%) durant TDC par rapport aux résultats obtenus durant TDA pour une vitesse identique d'environ 40,5 km/h. En revanche, McCole (1990) a trouvé une réduction plus importante de $\dot{V}O_2$ (-26%) pour une vitesse à peu près similaire. La différence apparente entre ces deux résultats pourrait être expliquée ainsi : les deux épreuves de cyclisme durant les triathlons (TDA et TDC) ont été effectuées à la suite de 750 mètres de natation « éprouvants » comme le démontrent les valeurs élevées de $\dot{V}O_2$ et de FC enregistrées durant les quatre premiers kilomètres de cyclisme. On suggère donc que le triathlète était probablement moins efficace sur le « drafting » durant les premiers kilomètres de la partie cycliste (Fig.2, A et B).

On a observé que la dépense énergétique lors de TDC était plus basse que pendant TDA. Pour la même vitesse de course, en cyclisme, les triathlètes développent naturellement et librement une fréquence de pédalage plus élevée durant TDC (92 rpm) que durant TDA (87 rpm) (Fig. 4). Une étude récente (Vallier et al., 1996) a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre la fréquence de pédalage optimale et celle choisie librement pour une épreuve de cyclisme d'une durée de 10 minutes par des triathlètes de niveau régional, à 80% de leur puissance maximale aérobie. (La fréquence de pédalage optimale étant définie comme la fréquence correspondant à la plus basse force développée sur les pédales pour une puissance donnée). Cette réduction de la force pourrait être expliquée par une diminution de l'activation du muscle vaste externe due à

une diminution de la résistance au vent accompagnée d'une diminution de la dépense énergétique. Dans notre étude, la fréquence de pédalage a augmenté de façon significative entre TDA et TDC tandis que la consommation d'oxygène a diminué significativement (-14%). Ainsi, nous pouvons en conclure que pour une même vitesse de déplacement, la fréquence de pédalage la plus élevée pourrait être associée avec une réduction des forces appliquées sur les pédales, cette diminution suscitant le recrutement d'un pourcentage plus important de fibres lentes ayant un seuil de recrutement plus bas, une plus grande capacité d'oxydation, et une meilleure efficacité mécanique pour la contraction.

Ajouté à cela, les valeurs de lactatémies obtenues après l'épreuve de cyclisme de TDC (3,5 mmol/L) sont plus basses que durant TDA (6,3 mmol/L). Ces résultats confirment l'idée que le « drafting » est la cause d'une modification de l'engagement du métabolisme aérobie et anaérobie, ceci permettant aux triathlètes d'économiser leur énergie tout en continuant leur effort en cyclisme on en course à pied.

A cause de ce sport extérieur qu'est le cyclisme et des conditions spécifiques demandées, il apparaît difficile d'obtenir les données exactes sur les mesures des échanges gazeux en général, et plus particulièrement sur la consommation d'oxygène. Alors que la plupart des études de cyclisme effectuées sur le terrain n'ont eu lieu qu'à des vitesses ne dépassant pas 25 km/h, McCole et al., (1990) ont travaillé à des vitesses supérieures afin d'obtenir des effets au niveau des résistances mécaniques et de frottement. A cause du manque de données scientifiques en cyclisme sur le terrain, nous allons considérer les données venant des résultats en course à pied. En effet, l'économie de course, définie comme un état stable de $\dot{V}O_2$ à une vitesse donnée sous-maximale, a été bien documentée depuis cette dernière vingtaine d'années (Pugh, 1971). Bien que certaines recherches aient essayé de définir avec précision la dépense énergétique d'une course à pied immédiatement après un exercice de cyclisme, l'influence de cet exercice sur les performances en course à pied n'avait encore jamais été étudiée en termes de $\dot{V}O_2$, FC et [La-].

Dans notre étude, les meilleures performances en course à pied ont été obtenues à la suite de TDC. On notera une amélioration de 41 secondes sur la course à pied de TDC par rapport à la course de TDA. Cette différence de performance de course chez les triathlètes peut aussi être observée, de la même façon chez une population de patineurs de vitesse (Rundell, 1996). Certains résultats suggèrent que les patineurs de vitesse ayant l'opportunité de profiter des phénomènes d'aspiration d'autres patineurs avant d'effectuer un sprint obtenaient de meilleurs résultats que lorsqu'ils n'avaient pas l'occasion de profiter du « drafting ». Une autre étude (Pugh, 1971) a montré des améliorations significatives grâce au « drafting » durant une épreuve de course à pied. Pugh quant à lui a mis en évidence que l'on pouvait améliorer ses performances de plus de une seconde par 400 mètres tandis que Kyle, (1979) a estimé que l'on pouvait gagner 1,66 sec par 400 mètres dans une position de drafting et à une vitesse de 24 km/h.

De plus, dans notre étude, De même, ces valeurs sont inversement proportionnelles à la capacité

de travail dynamique et statique (Hauswirth, 1995).

De plus, la course à pied de TDC génère des valeurs plus importantes de la lactatémie que pendant la course à pied de TDA : la valeur élevée de la lactatémie au début de la course à pied de TDA (6,3mmol/L) combinée avec les valeurs élevées de la fréquence cardiaque sont indubitablement dues à un état de fatigue musculaire important (Bodganis, 1994).

La consommation d'oxygène ainsi que la fréquence cardiaque (Fig. 3, A et B) ont suivi la même évolution par rapport au temps de performance de course. Plus la vitesse de course est élevée, plus les valeurs de $\dot{V}O_2$ et de FC sont importantes. De plus, les valeurs du débit ventilatoire les plus élevées ont été observées durant la course à pied de TDC. Ceci peut s'expliquer par l'élévation de la consommation d'oxygène provenant d'une augmentation des échanges d'oxygène au niveau des muscles en activité.

Robertson et al. (1977) , ont observé que lorsque la résistance augmente, on a besoin de plus d'énergie pour générer des tensions suffisantes au niveau du muscle, dans le but d'obtenir des pressions requises pour avoir une ventilation suffisante. Ainsi, on utilise moins d'énergie pour se déplacer : comme on a une augmentation des résistances à l'air, on a besoin de plus d'énergie mécanique pour respirer.

En conclusion, la présente investigation constitue une des premières contributions scientifiques afin de caractériser l'impact que peut avoir le « drafting » durant l'épreuve de cyclisme sur les performances en course à pied d'un triathlon. Les résultats obtenus permettent de nous montrer que la légalisation du « drafting » en triathlon est à l'origine de nombreuses modifications physiologiques et biomécaniques ayant un impact important sur la performance. Comme nous avons choisi de reproduire TDC et TDA en conservant la même vitesse durant l'épreuve cycliste, les modalités de cyclisme constituent des limites clairement définies sur la présente étude.

De plus, le « drafting » va permettre aux triathlètes d'économiser leur énergie durant l'épreuve de cyclisme afin d'améliorer ensuite leur performance en course à pied.

Références bibliographiques

1. BILODEAU B, B ROY et MR BOULAY (1994) Effect of drafting on heart rate in cross-country skiing. *Med. Sci Sports Exerc.* 26:637-641.
2. BODGANIS GC, ME NEVIL et HHK LAKOMY (1994) Effects of previous dynamic arm exercise on power output during repeated maximal sprint cycling. *J. Appl. Physiol.* 12:363-370.
3. BOONE T, KREIDER RB (1986) Bicycle exercise before running : effect on performance. *Ann. Sports Med.* 3 :25-26.
4. CARU B, L MAURI, M KNIPPEL et F CANNELLI (1987) Effects of air resistance on heart rate of track race cyclists. *Int. J. Sports Cardiol.* 4:77-82.
5. CHATARD J-C, B BOURGOIN et J-R LACOUR (1990) Passive drag is still a good evaluator of swimming aptitude. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59:399-404.
6. CHATARD J-C, JM LAVOIE, B BOURGOIN et J-R LACOUR (1990) The contribution of passive drag as a determinant of swimming performance. *Int. J. Sports Med.* 11:367-372.
7. DANIELS J.T. (1985) A physiologist's view of running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17 : 332-8.
8. DAVIES CTM (1980) Effect of air resistance on the metabolic cost and performance of cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 45:245-254.
9. DAVIES CTM (1980) Effects of wind assistance and resistance on the forward motion of a runner. *J. Appl. Physiol.* 48:702-709.
10. DENGEL DR, FLYNN MG, COSTILL DL, KIRMAN JP.(1989) Determinants of success during triathlon competition. *Res. Q. Exerc. Sports.* 60 : 234-238.
11. DI PRAMPERO PE.(1981) Energetics of muscular exercise. *Rev. Physiol. Biochim. Pharmacol.* 89 :144-222.
12. DI PRAMPERO PE.(1986) The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int. J. Sports Med.* 7 :55-72.
13. DI PRAMPERO PEG, CONTILLO P, MOGNONI S et F SAIBENE (1976) Energy cost of speed skating and efficiency of work against air resistance. *J.*

Appl. Physiol. 40:584-591.

14. HAUSSWIRTH C, BIGARD A. X., LEPERS R., BERTHELOT M., et GUEZENNEC C. Y. (1995) Sodium citrate ingestion and muscle performance in acute hypobaric hypoxia. *Eur. J. Appl. Physiol.* 71 : 362-368.
15. HAUSSWIRTH C, A.X. BIGARD, J.M. LE CHEVALIER (1997) The cosmed K4 Telemetry System as an Accurate Device for Oxygen Uptake Measurements During Exercise, *Int. J. Sports Med.* 18 :449-453.
16. HAUSSWIRTH C, D. LEHENAFF, P. DREANO, et K. SAVONEN (1999) Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during a triathlon. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31 :599-604.
17. INGEN SCHENAU, G.J. van et BAKKER, K. (1980) A biomechanical model of speed skating. *Journal of Human Movement Studies* 6 :1-18.
18. INGEN SCHENAU G.J. van(1982) The influence of air friction in speed skating. *J. Biomech.* 15 :449-458.
19. KYLE CR.(1979) Reduction of wind resistance and power output of racing cyclists and runners travelling in groups. *Ergonomics* 22:387-397.
20. KYLE CR. (1990) Wind tunnel tests of bicycle wheels and helmets. *Cycling Science.* 2 :1 :27-30.
21. KYLE CR.(1988) The mechanics and aerodynamics of cycling. *Medical and scientific Aspects of Cycling.* 235-251.
22. KREIDER, R. B., D. E. CUNDIFF, J. B. HAMMET, C. W. CORTES, and K. W. WILLIAM (1988) Effects of cycling on running performance in triathletes. *Ann. Sports Med.* 4 :220-225.
23. McCOLE S.D., CLANEY K. CONTE JC. ANDERSON R. et HAGBERG JM.(1990) Energy expenditure during bicycling. *J. Appl. Physiol.* 68 :748-753.
24. MEBDO JL, MOHN AC, TABATA I, BAHR R, VAAGE O, SEJETRSTED OM.(1988) Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J. Appl. Physiol.* 62 :50-60.
25. MORGAN DW, MARTIN PE, KRAHENBUHL GS (1989) Factors affecting running economy. *Sports Med.* 7 :310-330.
26. PUGH LGCE (1970) Oxygen intake in track and treadmill running with

observations on the effect of air resistance. *J. Physiol. London* 207:823-835.

27. PUGH LGCE (1971) The influence of wind resistance in running and walking and the mechanical efficiency of work against horizontal or vertical forces. *J. Physiol. London*. 213 :255-276.
28. RUNDELL, K. W. (1996) Effects of drafting during short-track speed skating. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29 :765-771.
29. ROBERTSON C.H., FOSTER G.H., et JOHNSON R.L. (1977) The relationship of respiratory failure to the oxygen consumption of, lactate production by, and the distribution of blood flow among respiratory muscles during increasing inspiratory resistance. *J. Clin. Invest.* 59 : 31-42.
30. SARGENT R. (1926) The relation between oxygen requirement and speed running. *Proc. R. Soc. London*. 100 :10-22.
31. SPRING, E, S SAVOLAINEN, J ERKKILA, T HAMALAIENEN et P. PHIKALA (1988) Drag area of a cross-country skier. *Int. J. Sport Biomech.* 4:103-113.
32. STAINSBY WN, GLADDEN LB, BARCLAY JK, WILSON BA. (1980) Exercise efficiency : validity of base line substactions. *J. Appl. Physiol.* 48 :518-22.
33. STREET GM. Biomechanics of cross-country skiing (1990) In : Winter Sports Medicine, MJ CASEY, C FOSTER, and E. G. HIXSON (Eds). Philadelphia : F. A. DAVIES Co., pp. 248-301.
34. VALLIER J.M., HAUSSWIRTH C., BRISSWALTER J., BIGNET F. 1996) Determination of the optimal pedalling rate in triathletes. *Arch. Physiol. Biomech.* 104 : 625.
35. WHITT FR. (1971) A note on the estimation of the energy expenditure of sporting cyclists. *Ergonomics* 14 : 419-423.

Tableau 1. Caractéristiques des sujets de l'expérimentation. Les valeurs sont moyennées (\pm ET).

	Age (année)	Taille (cm)	Poids (kg)	Entraîn. natation (km/sem.)	Entraîn. cyclisme (km/sem.)	Entraîn. Course à pied (km/sem.)	VO2 max. en cyclisme (ml/min./k g)	VO2 max. en course à pied (ml/min./k g)	Puissance max. (W)
Moyenne	25.6	175.6	67.2	15.7	335	66.3	73.3	73.9	385
Ecart type	± 4.6	± 5.1	± 6.2	± 4.8	± 25	± 12.1	± 2.7	\pm	± 25

Tableau 2. Performances chronométriques obtenues pour chaque sessions et chaque épreuve. Les valeurs sont moyennées (\pm ET).

	Triathlon Draft Alterné (TDA)	Triathlon Draft Continu (TDC)	ANOVA situation
Natation (0.75 K)	10 min. 18 \pm 25	10 min. 14 \pm 20	NS
Cyclisme (20 K)	29 min. 18 \pm 31	29 min. 25 \pm 26	NS
Course à pied (5K)	17 min. 29 \pm 21	16 min. 48 \pm 33*	P<0.01

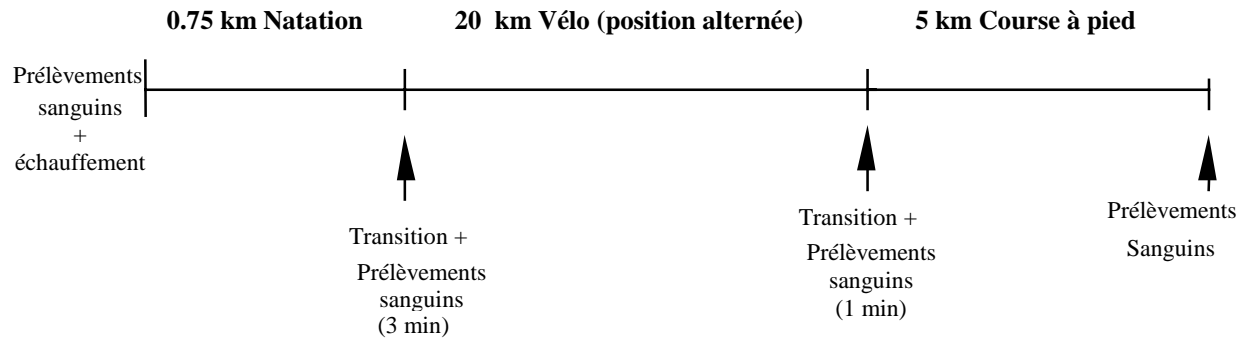
Significativement différent de la valeur TDA correspondante, * P<0.01.

TABLEAU 3. VITESSES MOYENNES, CONSOMMATION D'OXYGENE, DEBIT VENTILATOIRE, FREQUENCE CARDIAQUE ET CONCENTRATION DE LACTATE SANGUIN PENDANT LE TRIATHLON DRAFT ALTERNE (TDA) ET LE TRIATHLON DRAFT CONTINU (TDC). LES VALEURS SONT MOYENNEES (\pm ET).

Paramètres	Triathlon Draft Alterné (TDA)		Triathlon Draft Continu (TDC)		ANOVA
	Vélo	Course	Vélo	Course	
Vitesse, (km.h ⁻¹)	40.95 \pm 0.7	17.15 \pm 0.5	40.79 \pm 0.7	17.87 * \pm 0.6	P<0.01
Consommation d'oxygène, $\dot{V}O_2$ (mL.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	59.8 \pm 6.1	65.8 \pm 5.9	49.9 * \pm 5.3	69.9 * \pm 6.8	P<0.01
Débit ventilatoire, $\dot{V}E$ (L.min ⁻¹)	167.2 \pm 11.2	170.4 \pm 14.2	148.1 * \pm 9.8	175.6 * \pm 11.8	P<0.01
Fréquence cardiaque, FC (batt.min ⁻¹)	173.1 \pm 10.2	178.3 \pm 15.1	154.7 * \pm 10.4	182.6 * \pm 13.8	<i>P<0.01</i>
Lactatémie, [La ⁻] _s (mmol.L ⁻¹)	6.3 \pm 0.4	7.5 \pm 0.5	3.5 * \pm 0.2	9.6 * \pm 0.6	<i>P<0.01</i>

Significativement différent de la valeur TDA correspondante, * $P < 0.01$.

TRIATHLON DRAFT ALTERNE (TDA)



TRIATHLON DRAFT CONTINU (TDC)

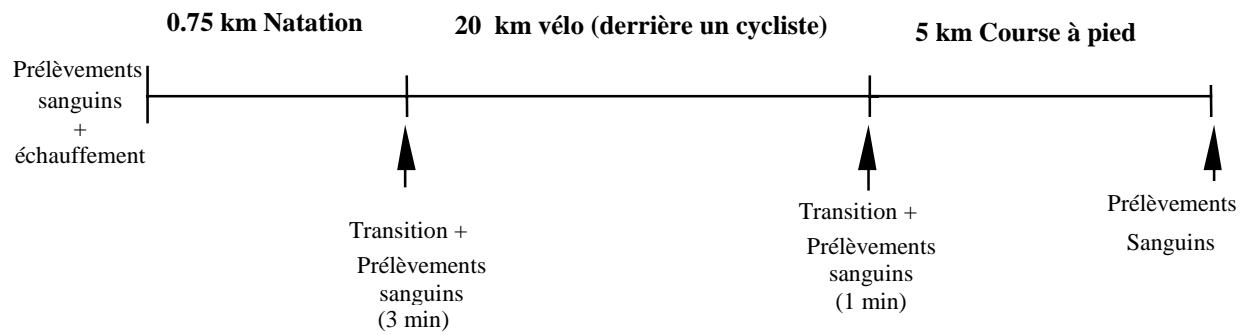


Figure 1- Protocole de l'expérimentation.

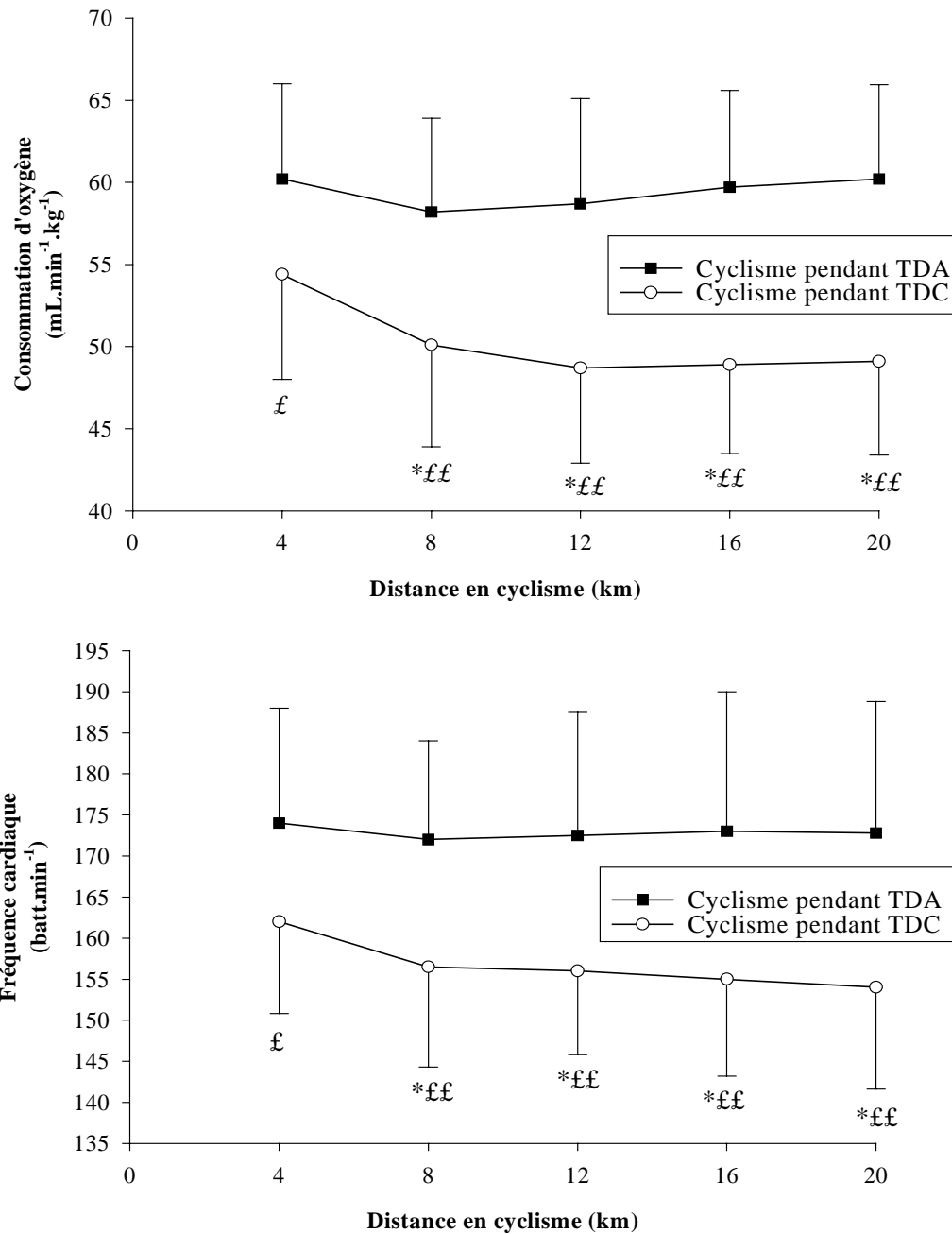


Figure 2-A, Evolution de la consommation d'oxygène obtenue pendant la partie cycliste de TDA vs. TDC. **Figure 2-B**, Evolution de la fréquence cardiaque obtenue pendant la partie cycliste de TDA vs. TDC.

Significativement différent de la valeur initiale, * P<0.05, ** P<0.01.

Significativement différent avec la valeur TDA correspondante, £ P<0.05, ££ P<0.01.

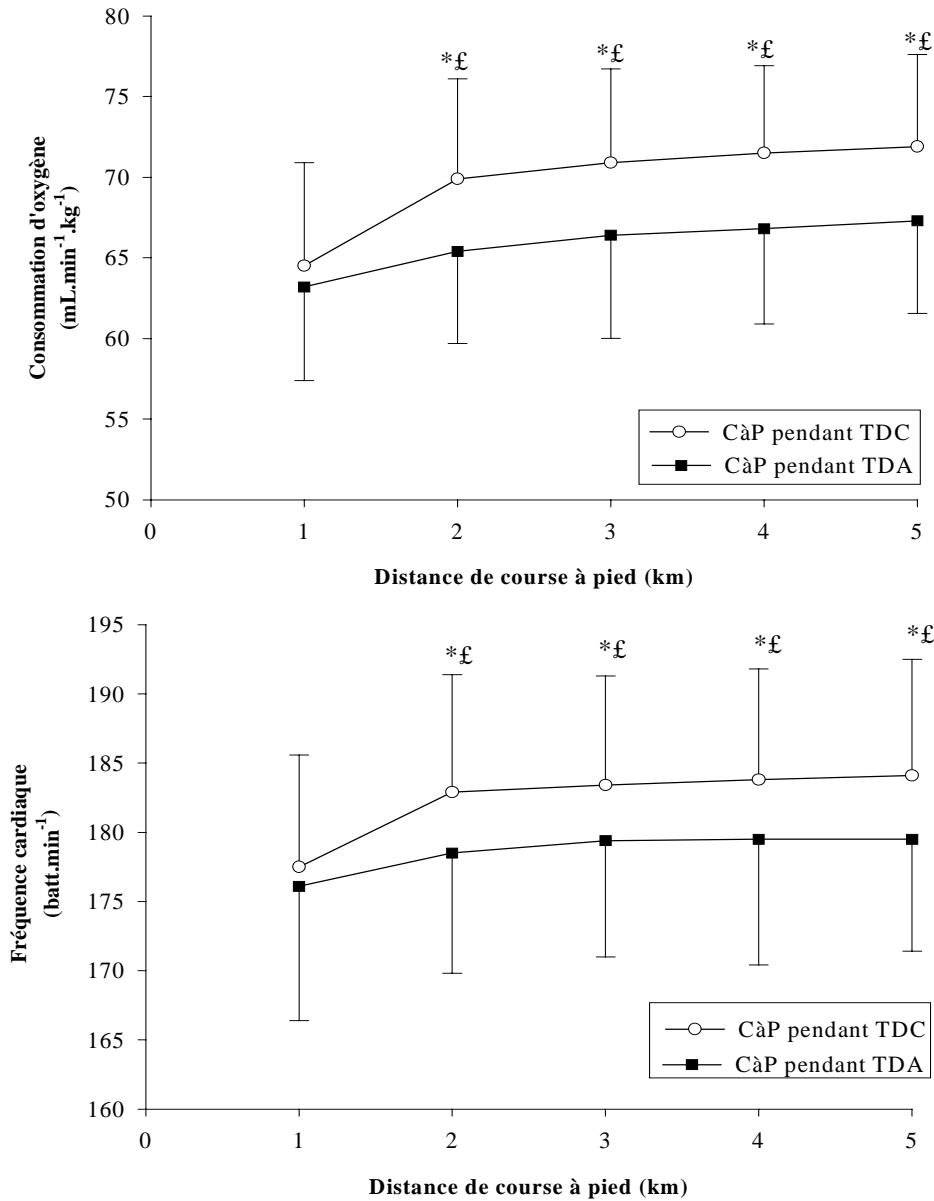


Figure 3-A, Evolution de la consommation d'oxygène obtenue pendant la partie course à pied de TDA vs. TDC. **Figure 3-B**, Evolution de la fréquence cardiaque obtenue pendant la partie course à pied de TDA vs. TDC. Significativement différent de la valeur initiale, * P<0.05, ** P<0.01.

Significativement différent de la valeur initiale, * P<0.05, ** P<0.01.

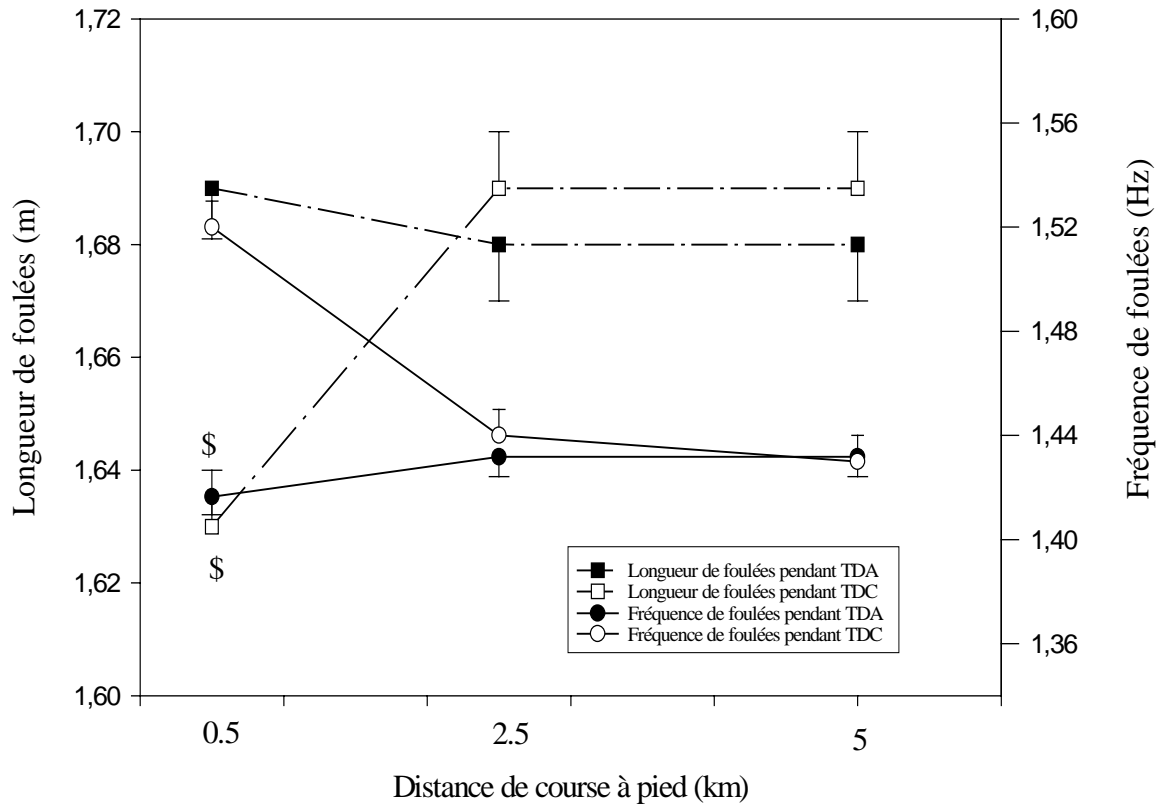


Figure 4. Evolution des longueurs et fréquences des foulées obtenues pendant la partie course à pied de TDA vs. TDC.

Significativement différent avec la valeur TDA correspondante, \$ $P < 0.05$, ££ $P < 0.01$.

Résumé

« ETUDE DE L'INFLUENCE D'UNE POSITION « DRAFTING » EN CYCLISME SUR LA PERFORMANCE EN COURSE A PIED DU TRIATHLON »

Le but de cette étude était de comparer l'épreuve de course à pied de deux triathlons de distance sprint, la partie cycliste s'effectuant dans des conditions différentes.

Dans le premier triathlon, le triathlète a effectué la partie cycliste en position abritée en alternance avec un cycliste. Dans le second, il était en position abritée de façon continue derrière le cycliste. La vitesse de la partie de cyclisme était la même sur les deux épreuves.

Les résultats montrent qu'en course à pied, après avoir été en position de « drafting » continu, la consommation d'oxygène est plus élevée qu'après avoir été en position de « drafting » alterné. De même, la fréquence cardiaque, la lactatémie, la fréquence des foulées durant les premiers kilomètres de course étaient plus élevées après l'épreuve de « drafting » continu.

Ces résultats montrent que les phénomènes d'aspiration continue en cyclisme permettent au triathlète d'économiser son énergie afin d'être plus performant sur la dernière épreuve d'un triathlon, c'est-à-dire sur la course à pied. Ces résultats devraient rendre compte de nouvelles stratégies à adopter en matière d'entraînement du triathlète de haut-niveau de performance.

Mots clés : Triathlète / Phénomène d'aspiration / Consommation d'oxygène / Lactatémie / Fréquence gestuelle.