HAL
open science

Influence des caractéristiques de la natation sur la performance lors d'un enchaînement natation-cyclisme

Anne Delextrat, Thierry Bernard, Fabrice Vercruyssen, Christophe Hausswirth, Jeanick Brisswalter

To cite this version:

Anne Delextrat, Thierry Bernard, Fabrice Vercruyssen, Christophe Hausswirth, Jeanick Brisswalter. Influence des caractéristiques de la natation sur la performance lors d'un enchaînement natation-cyclisme . Science & Sports, 2003, 18 (4), pp.188-195. 10.1016/S0765-1597(03)00147-3 . hal-01823714

HAL Id: hal-01823714

https://insep.hal.science/hal-01823714

Submitted on 26 Jun 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.

Influence des caractéristiques de la natation sur la performance lors d'un enchaînement natation-cyclisme

Influence of swimming characteristics on performance during a swim-to-cycle transition

A. Delextrat [a], T. Bernard [a], F. Vercruyssen [a], C. Hausswirth [b], J. Brisswalter [a,]

[a] *Laboratoire ergonomie sportive et performance, EA 3162, Université de Toulon-Var, avenue de l'université, BP 132, 83957 La Garde, France*

[b] *Laboratoire de biomécanique et de physiologie, INSEP, avenue du Tremblay, Paris, France*

Article publié dans : *Science & sports, 2003, vol. 18, n° 4, pp. 188-195*

Résumé

Objectif. - Étudier l'influence d'une épreuve de natation sur la dépense énergétique dans l'exercice de cyclisme subséquent lors de l'enchaînement cyclisme-natation d'un triathlon.

Méthodes. - Dix triathlètes entraînés ont participé à 3 enchaînements natation-cyclisme et une épreuve isolée de cyclisme (épreuve C). L'exercice de cyclisme comprenait 15 minutes sur ergocycle à une puissance correspondant au seuil ventilatoire +5 %. Durant les enchaînements, cet exercice était précédé d'épreuves de natation sollicitant différentes masses musculaires, réalisées pendant la même durée à une allure de compétition sur 750 m (nage avec les bras et les jambes : NC, nage avec les bras uniquement : NB, nage avec les jambes uniquement : NJ).

Résultats. - Une augmentation significative de la dépense énergétique en cyclisme est observée à la suite des épreuves de natation NB et NC, par rapport à l'épreuve isolée ($p < 0,05$). En revanche, le rendement du cyclisme est identique dans les conditions NB et NC ($p > 0,05$).

Conclusion. - Une épreuve préalable de natation intense altère la dépense énergétique en cyclisme, notamment par les ajustements thermorégulatoires et le coût du travail respiratoire qu'elle induit. L'adaptation physiologique en cyclisme ne semble pas dépendre de l'importance du travail des jambes en natation.

Mots clés : Triathlon ; Dépense énergétique ; Natation ; Rendement du cyclisme ; Hémodynamique

Abstract

Purpose. - Investigate the influence of previous swimming on energy expenditure during the subsequent cycling exercise of a triathlon.

Methods. - Ten well trained triathletes underwent 3 swim-to-cycle transitions and 1 isolated cycling trial (C trial). The cycling exercises consisted in 15 min on a bicycle ergometer at a power output corresponding to the ventilatory threshold +5 %. During the transitions, this exercise was preceded by swimming bouts soliciting different muscles, undertaken at a 750 m competition pace for the same duration (swimming with arms and legs: Sal trial, with arms only: SA trial, or with legs only: SL trial).

Résultats. - The swimming bouts of SA and Sal trials involved a significant increase in energy expenditure during subsequent cycling in comparison with isolated cycling ($P < 0.05$). Moreover, cycling efficiency was not significantly different between SA and SAL trials ($P > 0.05$).

Conclusion. - A short intense swimming leads to an increase in energy expenditure during subsequent cycling, because of the thermoregulatory adjustments and the additional oxygen cost of respiratory work involved during swimming. It also shows that physiological adaptation during cycling does not depend on the lower limb work during prior swimming.

Keywords: Triathlon ; Metabolic load ; Swimming ; Cycling efficiency ; Hemodynamics

1. Introduction

Les années 1990 ont vu l'émergence d'activités physiques d'endurance multi-enchaînées, la plus pratiquée est le triathlon qui se caractérise par la réalisation successive d'épreuves de natation, cyclisme et course à pied. Une grande variété d'épreuves de triathlon se déroulent en compétition allant du triathlon sprint (0,75 km de natation, 20 km de cyclisme, 5 km de course à pied) au triathlon de type Ironman (3,8 km de natation, 180 de cyclisme, 42,2 de course à pied). La durée relative de chacune des 3 disciplines varie respectivement entre le triathlon sprint et le triathlon de type Ironman de 18 à 10 % pour la natation, de 52 à 56 % pour le cyclisme et de 30 à 34 % pour la course à pied [8,13]. Étant donné ces proportions, la plupart des études scientifiques situées dans une perspective de compréhension et d'amélioration des facteurs de la performance en triathlon se sont intéressées aux caractéristiques des épreuves de cyclisme et de course à pied du triathlon ainsi qu'aux effets de l'enchaînement cyclisme-course à pied sur la performance [12]. À l'inverse, l'influence de l'enchaînement natation-cyclisme sur la performance en cyclisme a été très peu étudiée [20,22]. Malgré cette absence de résultats expérimentaux, les revues de questions sur les facteurs de la performance en triathlon soulignent l'influence possible de la natation sur l'adaptation physiologique en cyclisme, notamment du fait de l'importante dépense énergétique liée à la nage [1,24,26]. En effet, il a été montré que la lactatémie relevée immédiatement après l'épreuve de natation d'un triathlon était supérieure par rapport aux lactatémies enregistrées immédiatement après les épreuves de cyclisme et de course à pied [11]. De plus, la légalisation du *drafting* en cyclisme lors des compétitions « élites » a entraîné une modification des stratégies de course, les triathlètes essayant de nager le plus vite possible pour se retrouver dans le peloton de tête pour aborder la partie cyclisme.

Les études portant sur l'analyse des effets physiologiques d'une épreuve préalable de natation sur l'adaptation physiologique en cyclisme présentent des résultats contradictoires. Par exemple, Kreider et al. [20] ont observé une diminution significative de la puissance (-17%) soutenue au cours d'un exercice de 75 minutes de cyclisme lorsque ce dernier était précédé d'un 800 m de natation. À l'inverse, Laursen et al. [22] n'ont observé aucun effet significatif d'un 3000 m de natation sur les paramètres physiologiques mesurés lors d'une épreuve subséquente de cyclisme réalisée à 60 % de VO_{2max}. Cette différence de résultats peut être en partie liée aux caractéristiques de la partie natation. Dans ce cadre, une épreuve préalable de natation pourrait avoir des effets néfastes sur la performance en cyclisme, particulièrement lors de triathlons de courte distance (750 m de nage) au cours desquels l'intensité relative de la natation est plus élevée que lors des triathlons de longue distance (3800 m de nage).

D'une manière plus générale, l'enchaînement natation-cyclisme pose le problème de l'influence d'un exercice préalable sur l'adaptation physiologique en cyclisme. Celle-ci a été largement étudiée dans la littérature depuis une dizaine d'années par la caractérisation des cinétiques de VO_2 lors de l'exercice de cyclisme [31]. Ces études ont montré des différences dans l'adaptation en cyclisme d'une part selon le niveau d'intensité de l'exercice préalable, d'autre part en fonction de la masse musculaire recrutée lors de cet exercice [2,3,19]. Par exemple, Bohnert et al. [3] ont comparé les effets d'un exercice de 6 minutes de cyclisme d'intensité élevée (50 % Δ seuil lactique-$V0_2$max.) et d'un exercice de 6 minutes de pédalage des bras de même intensité sur l'évolution des paramètres physiologiques mesurés lors d'une épreuve subséquente de cyclisme réalisée à même intensité. Ces auteurs indiquent que l'exercice préalable de cyclisme entraîne une moindre augmentation de VO_2 et de la lactatémie au cours de l'exercice suivant par rapport à l'exercice préalable de pédalage des bras. Cependant, cette étude a été réalisée en laboratoire et à notre connaissance aucune expérimentation n'a envisagé l'influence de la masse musculaire sollicitée sur l'adaptation physiologique en cyclisme à la suite dans les conditions réelles de pratique d'une activité physique sollicitant principalement les membres supérieurs comme la natation.

Dans ce cadre, l'objectif de cette étude est de comparer l'influence de différentes modalités de nage sur la dépense énergétique au cours de l'enchaînement natation-cyclisme d'un triathlon. Nous émettons l'hypothèse selon laquelle l'importance de la sollicitation des bras en natation modifie l'efficience énergétique mesurée lors de l'épreuve subséquente de cyclisme.

2. Méthodes

2.1. Sujets

Dix triathlètes masculins de niveau inter-régional à national (âge : 27 ± 5 ans, taille : 179 ± 6 cm, poids : 71 ± 9 kg, masse grasse : 11 ± 3 %) ont participé à cette étude. Au cours des 2 mois précédant les tests, leur volume d'entraînement hebdomadaire comprenait en moyenne 7,2 km en natation, 113 en cyclisme et 34 en course à pied, ce qui représentait environ 144, 233 et 147 minutes, respectivement dans ces 3 disciplines.

Tous les sujets étaient habitués aux épreuves sur ergocycle en laboratoire. Ils ont rempli un consentement écrit après avoir été informés en détail des procédures de l'expérimentation et cette étude a été agréée par le comité d'éthique pour la protection des individus (Saint-Germain-en-Laye, France).

2.2. Protocole expérimental

2.2.1. Test progressif maximal

La première épreuve réalisée par tous les sujets était un test progressif maximal de détermination de la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}) réalisé sur ergocycle.

Après un échauffement de 6 min à 100 W, l'intensité mécanique était augmentée de 30 W/min, jusqu'à ce que le sujet ne puisse plus maintenir la puissance imposée. Les critères d'atteinte de VO_{2max} étaient les suivants : un plateau de VO_2 malgré l'augmentation de la puissance, une fréquence cardiaque (FC) supérieure à 90 % de la FC_{max} théorique et un quotient respiratoire (QR) supérieur à 1,15 [16]. À partir des valeurs de débit ventilatoire (VE), de consommation d'oxygène ($V0_2$) et de production de dioxyde de carbone (VCO_2) le seuil ventilatoire (SV) était déterminé selon la méthode décrite par Wasserman et al. [30].

2.2.2. Tests sous-maximaux

Chaque triathlète a participé à 4 sessions sous-maximales présentées dans un ordre aléatoire et séparées au minimum par 48 heures. Le protocole expérimental est décrit dans la Fig. 1. Ces sessions comprenaient 3 enchaînements natation-cyclisme durant lesquels l'épreuve de natation était réalisée soit avec les bras et les jambes (notée NC), soit uniquement avec les bras (notée NB), soit uniquement

avec les jambes (notée NJ). Durant ces 3 épreuves, les sujets nageaient pendant la même durée à une allure de compétition sur 750m. La quatrième session était une épreuve de cyclisme isolée (épreuve contrôle, notée C).

L'épreuve NC consistait à réaliser 750 m de natation complète (en utilisant les bras et les jambes) à allure de compétition, puis à enchaîner une épreuve de 15 minutes sur ergocycle à la cadence spontanément adoptée par les sujets (CL) et à une intensité correspondant à SV+5 %. Cette intensité a été choisie parce qu'elle est représentative de l'allure adoptée par des triathlètes de même niveau dans la partie cyclisme de triathlons sprints [13]. Par ailleurs, elle est comparable aux intensités utilisées lors de travaux récents étudiant la transition cyclisme-course à pied chez des triathlètes entraînés [29]. Pendant l'épreuve NB, les sujets nageaient en utilisant uniquement les bras, puis réalisaient l'épreuve de 15 minutes sur ergocycle à une intensité correspondant à SV+5 %. L'épreuve NJ consistait à nager en utilisant uniquement les jambes, puis à enchaîner la même épreuve sur ergocycle décrite précédemment. Pendant l'épreuve NB, les sujets portaient un pull-boy fixé entre leurs cuisses afin d'éviter les battements de jambes. Le même pull-boy servait à supporter leurs bras lors de l'épreuve NJ. Enfin, la dernière épreuve sous-maximale était uniquement composée de l'exercice de 15 minutes sur ergocycle à SV+5 %, précédé d'un échauffement à une puissance de 30 % de PMA pendant la même durée que les épreuves de natation.

2.3. Matériel et mesures

2.3.1. Épreuves de natation

Tous les tests de natation se déroulaient dans le bassin extérieur de la piscine de Hyères (Var, France) où les températures moyennes extérieures et de l'eau étaient respectivement de 14 et 28 °C. Durant chaque épreuve, la performance finale ainsi que les temps réalisés à chaque 50 m étaient relevés. La fréquence gestuelle des bras, exprimée comme le nombre de cycles de bras complets réalisés par minute, était mesurée pour chaque 50 m sur une distance de 20 m située au milieu du bassin.

2.3.2. Mesure de la lactatémie

Un échantillon de sang capillarisé était recueilli au lobe de l' oreille immédiatement après l'épreuve de natation (L1) et à la cinquième et à la quinzième minute de cyclisme (L2 et L3). À partir de ces échantillons, une mesure de la lactatémie (LA, mmol l^{-1}) était obtenue grâce à l'analyseur Lactate Pro, validé par Pyne et al. [27].

2.3.3. Mesure des paramètres ventilatoires et gazeux

La fréquence cardiaque était enregistrée en continu au cours des épreuves de natation et de cyclisme grâce à un cardio-fréquencemètre (Polar vantage, Finlande).

Pendant les épreuves sur ergocycle, la consommation d'oxygène ($V0_2$), la fréquence cardiaque (FC) ainsi que les paramètres respiratoires (débit ventilatoire : VE, fréquence respiratoire : FR) étaient enregistrés en continu par un système d'analyse télémétrique de type Cosmed $K4b^2$ (Rome, Italie) validé par Mc Laughlin et al. [25]. Pour chaque paramètre, une valeur de la moyenne et de l'écart-type étaient calculées entre la troisième et la quinzième minute d'exercice.

Le rendement mécanique global du cyclisme *(η,* en %) était calculé comme le rapport entre le travail mécanique accompli par minutes (i.e., watts convertis en kJ min^{-1}) et l'énergie métabolique dépensée par min (kJ min^{-1}, [6]). L'intensité des exercices sur ergocycle étant supérieure au seuil ventilatoire (SV+5 %), l'énergie métabolique a été calculée à partir des équivalents énergétiques de l'oxygène (en fonction de la valeur de quotient respiratoire) et du lactate (63 J kg^{-1} mM^{-1}), [10].

2.3.4. Cadence de pédalage

Toutes les épreuves de cyclisme se déroulaient sur un ergocycle à résistance électromagnétique de type SRM (Jülich, Welldorf, Allemagne) situé dans une pièce proche du bassin afin que la durée des transitions natation-cyclisme puisse être standardisée (3 minutes). Cet ergocycle était équipé avec les propres pédales des triathlètes et pouvait s'ajuster précisément à leurs caractéristiques anthropométriques grâce à un réglage horizontal et vertical de la selle et du cintre. Son mode de fonctionnement permettait la production d'une puissance constante indépendamment de la cadence de pédalage naturellement adoptée par les sujets [18]. La cadence de pédalage (rév min^{-1}) était enregistrée en continu pendant toute la durée des épreuves.

2.4. Analyse statistique

Pour chaque variable, la valeur moyenne et l'écart-type étaient calculés. L'influence des caractéristiques de l'exercice préalable (i.e. conditions NC, NB, NJ et C) sur les différents indices physiologiques et la cadence de pédalage était analysée par une analyse de variance (Manova). Puis les différences entre les conditions expérimentales étaient déterminées par un test posthoc de type Newman-Keuls. Le seuil de signification était fixé *à* $p < 0,05$.

3. Résultats

3.1. Test progressif maximal

Les caractéristiques physiologiques des sujets mesurées lors du test maximal sont présentées dans le Tableau 1. Les résultats montrent que les valeurs de VO_{2max} obtenues dans cette étude sont comparables à celles obtenues précédemment chez des triathlètes de niveau comparable [4,29].

3.2. Tests sous-maximaux

3.2.1. Épreuves de natation

3.2.1.1. Performance. Aucune différence significative n'est observée entre les durées des 3 épreuves de natation (durées respectives pour NC, NB et NJ : 709 ± 60 s, 709 ± 64 s, et 710 ± 64 s, $p > 0,05$). Lors des épreuves NB et NJ, les sujets ont parcouru en moyenne 709 ± 38 m et 489 ± 65 m, respectivement. Ainsi, tandis que les vitesses moyennes des épreuves NC et NB ne sont pas significativement différentes, l'épreuve NJ était réalisée à une vitesse moyenne significativement inférieure par rapport aux épreuves NC et NB (vitesses moyennes de 0,69 vs 1,07 et 1,00 m s^{-1}, respectivement pour NJ, NC et NB, $p< 0,05$). De plus, la fréquence gestuelle des bras n'est pas significativement différente entre les épreuves NC et NB (fréquence gestuelle moyenne de 33,9 ± 1,0 cycle min^{-1} vs 33,7 ± 0,6 cycle respectivement pour NC et NB, $p> 0,05$).

3.2.1.2. Paramètres physiologiques. Les principaux résultats montrent que les valeurs de lactatémie mesurées immédiatement après la natation sont significativement inférieures dans la situation NJ par rapport aux situations NB et NC (5,4 ± 2,3 mmol l^{-1} vs 9,0 ± 2,0 mmol l^{-1} et 9,3 ± 2,3 mmol respectivement pour NJ, NB et NC, $p < 0,05$). Par ailleurs, toutes ces valeurs sont significativement supérieures à celles mesurées juste après l'échauffement sur ergocycle (1,1 ± 0,3 mmol l^{-1}, $p < 0,05$). La Fig. 2 montre l'évolution des valeurs de FC enregistrées lors des 3 épreuves de natation chez un sujet représentatif. L'épreuve NJ est caractérisée par des valeurs de FC inférieures par rapport aux épreuves NB et NC.

3.2.2. Épreuves de cyclisme

3.2.2.1. Paramètres physiologiques. L'influence des caractéristiques de l'exercice préalable sur les différents paramètres mesurés est présentée dans le Tableau 2. Aucune variation significative de la masse des sujets n'est mise en évidence entre les différentes conditions expérimentales ($p > 0,05$).

L'analyse statistique montre que tous les paramètres physiologiques ($V0_2$, FC, VE et FR) sont significativement supérieurs dans les conditions NC et NB par rapport aux conditions C et NJ (Tableau

2, $p < 0,05$). Par conséquent, le rendement mécanique global du cyclisme est significativement inférieur à la suite des épreuves de natation des conditions NC et NB par rapport aux conditions C et NJ (Tableau 2, $p < 0,05$). Bien que la FR soit significativement supérieure dans la condition NC par rapport à NB (Tableau 2, $p< 0,05$), aucune différence significative n'est observée pour tous les autres paramètres physiologiques entre ces 2 conditions (Tableau 2, $p > 0,05$). Enfin aucune différence d'efficience énergétique du cyclisme n'est relevée en NJ et C malgré des valeurs de FC et de FR significativement supérieures dans la condition NJ par rapport à C (Tableau 2, $p < 0,05$).

3.2.2.2. Cadence de pédalage. Aucune variation significative de la cadence de pédalage n'est observée entre les 4 conditions expérimentales (Tableau 2, $p > 0,05$).

4. Discussion

Deux résultats principaux sont mis en évidence dans cette étude. Le premier résultat est qu'une épreuve de natation réalisée à allure de compétition entraîne une altération de l'efficience énergétique au cours d'un exercice suivant de cyclisme comparé à un exercice réalisé dans des conditions isolées. Le deuxième résultat est le rendement global du cyclisme, est identique à la suite d'une épreuve de natation réalisée avec les bras et les jambes et à la suite d'une épreuve de natation similaire (i.e. même durée et même vitesse) réalisée uniquement avec les bras.

L'évolution des paramètres physiologiques au cours des épreuves de cyclisme réalisées à la même puissance montre que l'influence d'un exercice préalable de natation se traduit par une diminution significative du rendement mécanique global du cyclisme (-15,5 %) par rapport à une épreuve préalable de cyclisme de même durée et de même intensité (Tableau 2, $p < 0,05$).

Ces résultats sont en accord avec ceux précédemment décrits dans la littérature pour des épreuves de durée et d'intensité similaires. Kreider et al. [20] ont observé des diminutions significatives de la puissance soutenue (-17 %) et de l'efficience (- 8,8 %) en cyclisme lors d'un triathlon sprint simulé en laboratoire (800 m de natation, 40 km de cyclisme, 10 km de course à pied) par rapport à une épreuve de cyclisme isolée. Dans ce cadre, les divergences avec l'étude de Laursen et al. [22] peuvent s'expliquer principalement par les caractéristiques des épreuves proposées dans ces différentes études. D'une part, les sujets de l'étude de Laursen et al. [22] ont nagé 3000 m (en 52 min 29 s ± 1 min 48 s) et enchaîné 3 heures de cyclisme, tandis que nos sujets ont nagé 750 m (en 11 min 49 s ± 1 min 00 s) et enchaîné 15 minutes de cyclisme. D'autre part, l'intensité des épreuves de natation et de cyclisme était supérieure dans notre étude par rapport à celle de Laursen et al. [22]. En effet, les valeurs de lactatémie mesurées immédiatement après la natation indiquent une sollicitation du métabolisme anaérobie plus importante pendant le 750 m par rapport au 3000 m (lactatémies post-natation de 9,1 vs 5,5 mmol 1^{-1}, respectivement pour notre étude et celle de Laursen et al. [22]), et les épreuves de cyclisme étaient réalisées à des puissances représentant 84,8 % de VO_{2max} et 66,1 % de $V0_2$, respectivement dans notre étude et celle de Laursen et al. [22]. Ainsi, nous suggérons que l'influence d'un exercice de natation sur la performance lors d'une épreuve suivante de cyclisme dépend principalement de l'intensité relative de l'exercice préalable de natation.

Dans ce cadre, Burnley et al. [5] ont comparé l'effet d'un exercice préalable de cyclisme réalisé soit à faible intensité (i.e., inférieure au seuil anaérobie), soit à intensité élevée (i.e., supérieure au seuil anaérobie) sur l'adaptation physiologique au cours d'un exercice subséquent de cyclisme d'intensité élevée. Ils ont observé que la cinétique de $V0_2$ était significativement affectée par un exercice d'intensité élevée tandis qu'aucun effet significatif n'a été mis en évidence à la suite d'un exercice de cyclisme de faible intensité. Par ailleurs, Rieu et al. [28] ont montré que l'enchaînement de 4 sprints de 45 secondes en course à pied séparés par 9 minutes de repos entraînait d'une part une augmentation progressive de la lactatémie mais aussi une diminution de son accumulation (delta lactate). Nos résultats sont en accord avec ces différentes observations. Des valeurs significativement plus élevées de $7(:)_2$ sont observées à la suite des 2 épreuves préalables les plus intenses (NB et NC) par rapport à l'épreuve de cyclisme isolée (C) alors qu'aucune différence significative n'est mise en évidence entre les valeurs de VO_2 des conditions NJ et C. Par ailleurs, les valeurs de lactatémie relevées dans cette étude, qui sont significativement supérieures après les épreuves de natation par rapport à l'épreuve de

cyclisme isolée (par exemple 9,3 vs 1,1 mmol l^{-1}, respectivement pour les conditions NC et C, $p < 0,05$) ont tendance à diminuer au cours du cyclisme lorsqu'il est précédé de natation (Δ lactate de -1,1 vs +1,0 mmol l^{-1} pour les conditions NC et C, respectivement, Tableau 2).

Dans le contexte du triathlon, l'influence d'un exercice préalable sur la performance au cours d'un exercice suivant a été principalement étudiée au cours de l'enchaînement cyclisme-course à pied comparé à une épreuve de course à pied isolée. Dans les premiers travaux sur cette thématique, Kreider et al. [21] ont observé des augmentations significatives de VO_2 (+11,7 %), FC (+7,1 %) et NIE (+5,6 %) après 10 minutes de course à pied lorsque cet exercice était précédé de 60 minutes de cyclisme réalisés à une intensité de 70 % de $V0_{2max}$, par rapport à un exercice contrôle de course à pied de même intensité. Ces résultats ont été confirmés par l'étude de Hue et al. [17] qui ont mis en évidence que 40 km de cyclisme entraînaient une augmentation significative des paramètres physiologiques (VO_2, FC et VE) mesurés au cours des 10 km suivants de course à pied, par rapport à un exercice de course à pied isolé de même durée.

Différents paramètres biomécaniques, ventilatoires ou métaboliques ont été évoqués dans la littérature pour expliquer l'altération de la dépense énergétique au cours des enchaînements du triathlon. Parmi ceux-ci, certains peuvent être spécifiques à la natation. Par exemple, Kreider et al. [20] évoquent les effets de thermorégulation spécifiques à la natation sur l'adaptation en cyclisme. Dans ce cadre ils ont suggéré que l'augmentation de la température rectale de 0,72 °C après 800 m de natation pouvait être responsable des différences de fréquence cardiaque enregistrées lors du cyclisme subséquent. Ainsi dans notre étude, les ajustements thermorégulatoires pourraient expliquer en partie l'augmentation de la dépense énergétique observée dans cette étude dans les épreuves NC et NB par rapport à l'épreuve C, d' autant plus que la température de l'eau dans laquelle se déroulaient les épreuves de natation était relativement élevée (28 °C en moyenne). Un deuxième facteur permettant d'expliquer l'augmentation de la dépense énergétique lors d'un enchaînement natation-cyclisme est relatif au développement d'un état de fatigue des muscles respiratoires lié à la ventilation propre à l'activité aquatique. La natation est caractérisée par une augmentation du travail respiratoire par rapport aux activités terrestres, notamment à cause des pressions élevées exercées par l'eau sur la cage thoracique [14,23]. Dans ce cadre, Mador et Acevedo [23] ont mis en évidence que l'induction d'un état de fatigue des muscles respiratoires avant un exercice de cyclisme entraînait une hyperventilation lors de cet exercice, et ainsi une augmentation du coût de la ventilation [7]. Dans cette étude, nous observons des valeurs de VE et de FR systématiquement plus élevées en cyclisme à la suite d'une épreuve de natation par rapport à l'épreuve de cyclisme isolé (+23,6 et +33,0 %, respectivement pour VE et de FR, pour NC vs C, Table 2, $p < 0,05$). Il est à remarquer que ces augmentations sont supérieures à celles relevées lors d'enchaînements cyclisme-course à pied (augmentation de VE de 5,3 % relevée en course à pied après 60 minutes de cyclisme à 70 % de VO_{2max} [21]). Ainsi, nous suggérons que le patron respiratoire adopté en natation et particulièrement les valeurs élevées de FR peuvent entraîner une dépense énergétique supplémentaire et une fatigue des muscles respiratoires préalable à l'épreuve de cyclisme.

Une troisième hypothèse relie ces perturbations à la nature de la masse musculaire sollicitée pendant l'exercice préalable [3]. Dans notre travail 3 conditions ont été testées (NC : nage complète, NB : bras seuls et NJ : jambes seules). Aucune différence de performance n'est observée entre NB et NC. En revanche, la condition NJ se caractérise par une distance et une vitesse de nage significativement inférieures aux 2 autres conditions, ce qui ne nous permet pas de tester l'influence d'une sollicitation unique des jambes sur l'adaptation en cyclisme. Cette différence de vitesse dans la condition NJ est conforme à la littérature qui montre que les vitesses atteintes en nageant uniquement avec des battements de jambes sont significativement inférieures (-27 %) à celles atteintes en nageant le crawl uniquement avec les bras ou avec les bras et les jambes [15]. Aussi, dans notre étude la seule comparaison concernant l'influence des masses musculaires préalablement activées ne peut être réalisée qu'entre NB et NC. Peu d'études se sont intéressées aux effets de l'activation préalable de différentes masses musculaires sur l'évolution des paramètres physiologiques mesurés lors d'un exercice subséquent [3,19]. Bohnert et al. [3] ont montré que l'activation préalable des jambes se traduisait par une diminution des valeurs de lactatémie lors d'un exercice sous-maximal de cyclisme, par rapport à une activation préalable des bras ($p < 0,05$). La sollicitation préalable des muscles des jambes améliorerait la perfusion vasculaire dans les membres actifs au début de l'exercice de cyclisme, augmentant ainsi la disponibilité en oxygène. Les résultats de notre étude en natation diffèrent de celles

de ce travail puisque aucune différence de VO_2 ou de lactatémie n'est observée entre les 2 conditions NB et NC. Cependant, la différence majeure entre ces 2 études est la différence dans la nature de la sollicitation préalable des jambes. Le travail de Bohnert et al. [3] comparait un exercice préalable de pédalage en cyclisme avec un exercice sur ergocyle à bras alors que dans notre étude la sollicitation des membres inférieurs est celle spécifique aux battements de jambes en crawl. En crawl, le rôle des jambes est de maintenir une position horizontale par un trajet des battements de jambes qui s'effectue de bas en haut, limitant ainsi leur action propulsive [9]. Dans ce cadre, nous n'observons pas de différences de performance entre NB et NC ce qui est comparable aux résultats rapportés dans la littérature. En effet, plusieurs auteurs ont observé qu'ajouter des battements de jambes à un exercice de natation réalisé uniquement avec les bras n'entraînait aucune amélioration significative de la vitesse de nage au cours de sprints de 25 m [9]. Par ailleurs, dans notre étude aucune différence de sollicitation physiologique n'est observée entre NB et NC. Aussi dans une perspective d'amélioration de la performance en triathlon nos résultats semblent indiquer le rôle mineur des battements de jambes sur l'épreuve de cyclisme subséquente et ainsi suggèrent indirectement l'absence d'un effet sur l'adaptation physiologique en cyclisme des différentes stratégies de battements (2 vs 6 battements) utilisées par les triathlètes [1].

5. Conclusion

Les résultats de cette étude confirment et précisent l'hypothèse émise dans les revues de question sur le triathlon selon laquelle l'épreuve de natation d'un triathlon affecte significativement l'efficience énergétique du cyclisme [1,24,26]. D'une part, cet effet paraît être spécifique aux triathlons de type «sprint ». D'autre part, il semble que l'adaptation physiologique en cyclisme ne soit pas influencée par la nature de la masse musculaire sollicitée lors de la natation préalable. Des travaux ultérieurs sur la transition natation-cyclisme centrés sur l'effet du niveau d'intensité en natation sur l'adaptation physiologique en cyclisme sont nécessaires pour étudier l'effet possible des stratégies de course dans la partie natation sur la performance totale en triathlon.

Références

[1] Bentley DJ, Millet GP, Vleck VE, McNaughton LR. Specific aspects of contemporary triathlon. Sports Med 2002;32:1-15.

[2] Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HKA. Effects of previous dynamic arm exercise on power output during repeated maximal sprint cycling. J Sports Sci 1994;12:363-70.

[3] Bohnert B, Ward SA, Whipp BJ. Effects of prior ami exercise on pulmonary gas exchange kinetics during high-intensity leg exercise in humans. Exp Physiol 1998;83:57-570.

[4] Brisswalter J, Hausswirth C, Smith D, Vercruyssen F, Va1Fer JM. Energetically optimal cadence vs freely-chosen cadence during cycling: effect of exercise duration. Int J Sports Med 2000;21:60-4.

[5] Burnley M, Doust JH, Carter H, Jones AM. Effects of prior exercise and recovery duration on oxygen uptake kinetics during heavy exercise in humans. Exp Physiol 2001;86:417-25.

[6] Chavarren J, Calbet JAL. Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists. Eur J Appl Physiol 1999;80:555-63.

[7] Coast JR, Krause KM. Relationship of oxygen consumption and cardiac output to work of breathing. Med Sci Sports Exerc 1993;25: 335-40.

[8] Dengel DR, Flynn MG, Costill DL, Kirwan JP. Determinants of success during triathlon competition. Res Quarter Exerc Sport 1989; 60:234-8.

[9] Deschodt VJ, Arsac LM, Rouard AH. Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. Eur J Appl Physiol 1999;80:192-9.

[10] Di Prampero PE. Energetics of muscular exercise. Rev Physiol Biochem Pharmacol 1981;89:143-223.

[11] Farber HW, Schaefer EJ, Franey R, Grimaldi R, Hill NS. The endurance triathlon: metabolic changes after each event and during recovery. Med Sci Sports Exerc 1991;23: 959-65.

[12] Hausswirth C, Brisswalter J. Le coût énergétique de la course à pied de durée prolongée : étude des paramètres d'influence. Science & Sports 1999;14:59-70.

[13] Hausswirth C, Lehénaff D, Dréano P, Savonen K. Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during a triathlon. Med Sci Sports Exerc 1999;31:599-604.

[14] Mimer I. Oxygen uptake during swimming in man. J Appl Physiol 1972;33:502-9.

[15] Holmer I. Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming. Eur J Appl

Physiol 1974;33:105-18.
[16] Howley ET, Basset DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. Med Sci Sports Exerc 1995;27: 1292-301.
[17] Hue O, Le Gallais D, Chollet D, Boussana A, Préfaut C. The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles during running in triathletes. Eur J Appl Physiol 1998;77:98105.
[18] Jones SM, Passfield L. The dynamic calibration of bicycle power measuring cranks In: Haake SJ, editor. The engineering of sport. Oxford: Blackwell Science; 1998. p. 265-74.
[19] Karlsson J, Bonde-Petersen F, Henriksson J, Knuttgen HG. Effects of previous exercise with arms or legs on metabolism and performance in exhaustive exercise. J Appl Physiol 1975;38:763-7.
[20] Kreider RB, Boone T, Thompson WR, Burkes S, Cortes CW. Cardiovascular and thermal responses of triathlon performance. Med Sci Sports Exerc 1988a;20:385-90.
[21] Kreider RB, Cundiff DE, Hammett JB, Cortes CW, Williams KW. Effects of cycling on running performance in triathletes. Annals Sports Med 1988b;3:220-5.
[22] Laursen PB, Rhodes EC, Langill RH. The effects of 3000 m swimming on subsequent 3 h cycling performance: implications for ultraendurance triathletes. Eur J Appl Physiol 2000;83:28-33.
[23] Mador MJ, Acevedo FA. Effect of respiratory muscle fatigue on subsequent exercise performance. J Appl Physiol 1991;70:2059-65.
[24] Margaritis I. Facteurs limitants de la performance en triathlon. Can J Appl Physiol 1996;21:1-15.
[25] McLaughlin JE, King GA, Howley ET, Basset Jr DR, Ainsworth BE. Validation of the Cosmed K4 b2 portable metabolic system. Int J Sports Med 2001;22:280-4.
[26] Millet GP, Vleck VE. Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to mn transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. Br **J** Sports Med 2001;34:384-90.
[27] Pyne DB, Boston T, Martin DT, Logan A. Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. Eur J Appl Physiol 2000;82:112-6.
[28] Rieu M, Duvallet A, Scharapan L, Thieulart L, Ferry A. Blood lactate accumulation in intermittent supramaximal exercise. Eur J Appl Physiol 1988;57:235-42.
[29] Vercruyssen F, Brisswalter J, Hausswirth C, Bernard T, Bernard O, Vallier JM. Influence of cycling cadence on subsequent running performance in triathletes. Med Sci Sports Exerc 2002;34:530-6.
[30] Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J Appl Physiol 1973;35: 236-43.
[31] Xu F, Rhodes EC. Oxygen uptake kinetics during exercise. Sports Med 1999;27:313-27.

Tableau 1

Caractéristiques physiologiques des sujets au cours de l'épreuve triangulaire. VO_{2max} consommation maximale d'oxygène ; PMA, puissance maximale aérobie ; FC_{max}, fréquence cardiaque maximale ; QR_{max}, quotient respiratoire maximal puissance à SV, puissance correspondant au seuil ventilatoire

V02max (ml min^{-1} kg^{-1})	**PMA (W)**	**75 % de PMA (W)**	**FCmax (batt. min^{-1})**	**QRmax**	**Puissance à SV (W)**
71,7 ± 8,7	382 ± 37	287 ± 26	190 ± 13	1,11 ± 0,07	256 ± 25

Tableau 2

Effet des caractéristiques de l'exercice préalable sur les paramètres physiologiques et la cadence de pédalage enregistrés en cyclisme : consommation d'oxygène ($V0_2$), lactatémie (LA), rendement mécanique global *(η),* fréquence cardiaque (FC), débit ventilatoire (E), fréquence respiratoire (FR), cadence de pédalage spontanément adoptée (CL)

		C	**NJ**	**NB**	**NC**
$V0_2$ (1 min^{-1})		4,06 ± 0,48	4,08 ± 0,43	4,28 ± 0,47 ^{a,b}	4,28 ± 0,45 ^{a,b}
$V0_2$ (% de VO_{2max})		79,9 ± 6,1	80,6 ± 7,1	84,9 ± 6,3 ^{a,b}	84,8 ± 7,5 ^{a,b}
LA	*5 min*	4,5 ± 2,0	5,7 ± 3,0	8,8 ± 3,3 ^{a,b}	9,1 ± 3,1 ^{a,b}
(mmol 1^{-1})	*15 min*	5,5± 2,7	6,5 ± 3,0	8,6±4,18 ^{a,b}	8,0 ± 3,6 ^{a,b}
η (%)		15,5 ± 2,8	14,7 ± 2,8	12,9 ± 2,3 ^{a,b}	13,1 ± 2,8 ^{a,b}
FC (batt min^{-1})		165 ± 16	171 ± 15^{a}	175 ± 15a	178 ± 15^{a,b}
TE (Lmin-^{1})		103,4 ± 16,0	108,7 ± 16,7	121,4 ± 17,6 ^{a,b}	127,8 ± 17,2^{a,b}
FR (cycle min^{-1})		35,2 ± 6,3	40,4 ± 7,2^{a}	41,6 ± 8,1^{a}	46,8 ± 7,7^{a,b,c}
CL (rév min^{-1})		86,7 ± 8,4	88,2 ± 10,6	87,1 ± 12,5	81,6 ± 12,0

a : significativement différent de *C, p* < 0,05.

^{b} **:** significativement différent de NJ, *p* < 0,05.

^{c} : significativement différent de NB, *p* < 0,05.

Fig. 1. Protocole de l'expérimentation.

L : prélèvement sanguin K4 b^2 installation du cosmed K4 b2

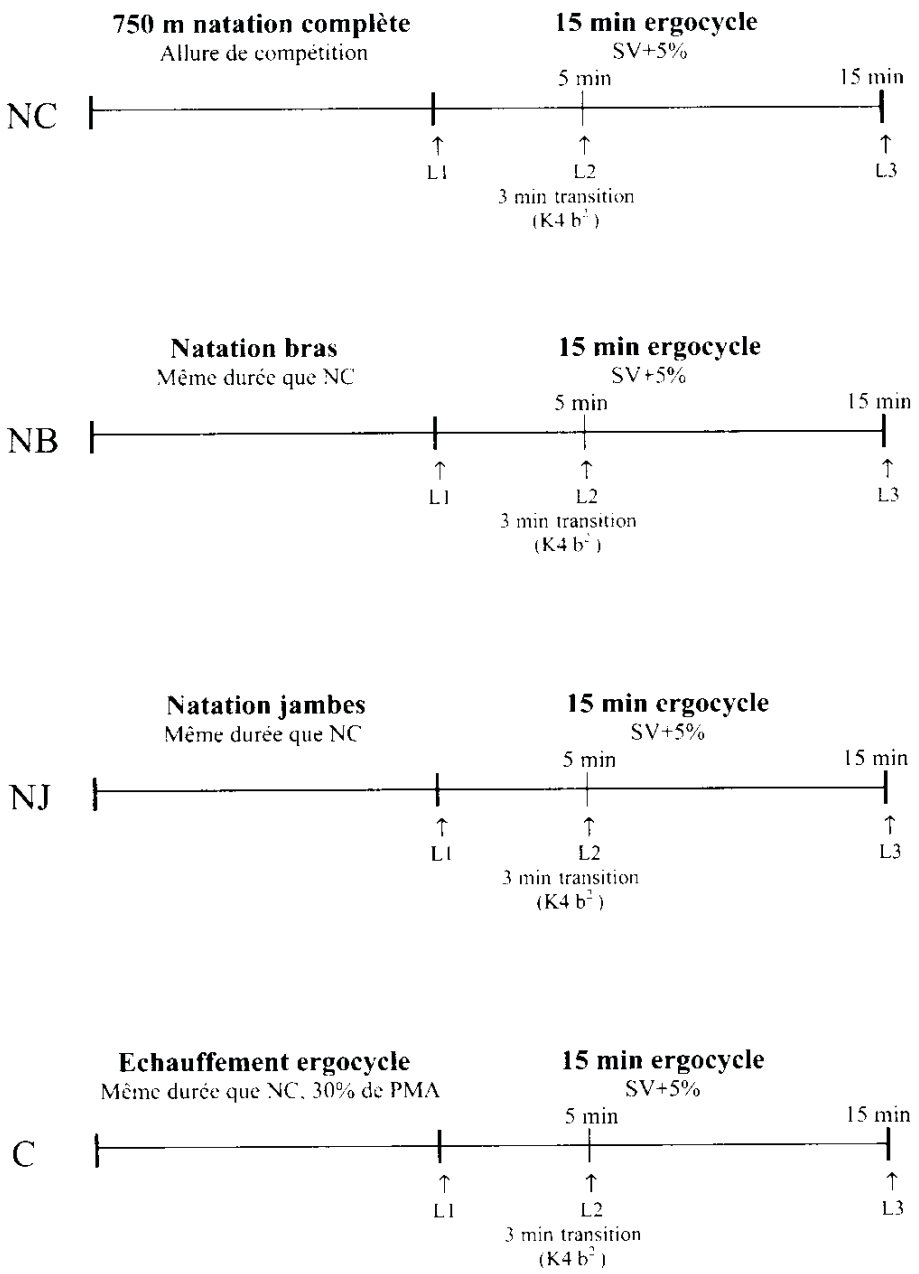
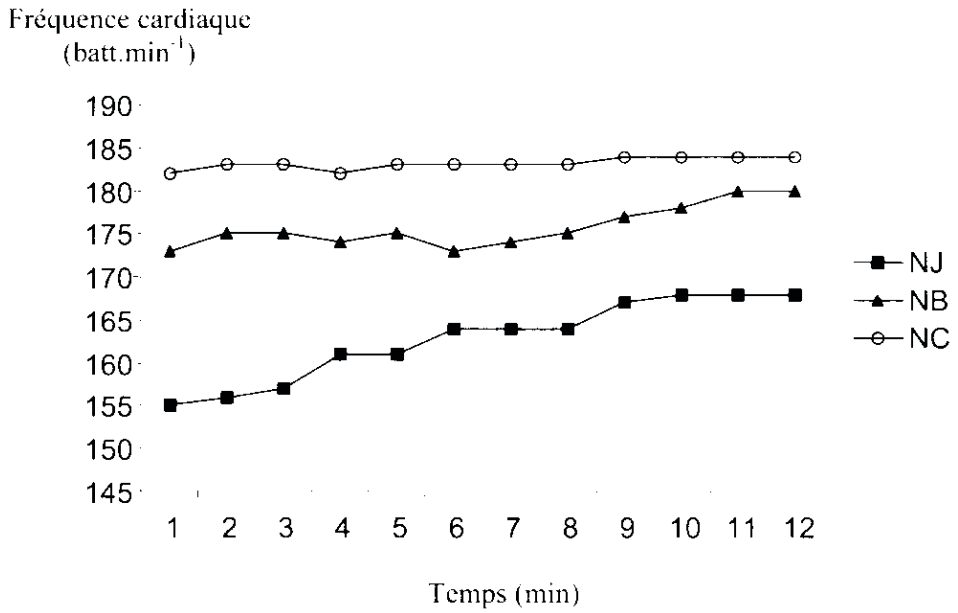
Fig. 2. Évolution de la fréquence cardiaque au cours des 3 épreuves de natation chez un sujet représentatif.