

Article original

## Effet de l'entraînement physique et sportif sur le rythme circadien de la température et le rythme veille–sommeil chez la personne âgée

### Physical training effect on the circadian rhythm of the temperature and the sleep-activity cycle in the elderly

B. Mauvieux<sup>a,\*</sup>, D. Davenne<sup>a</sup>, S. Gruau<sup>a</sup>, B. Sesboüé<sup>b</sup>, P. Denise<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire du Centre de recherches en activités physiques et sportives (CRAPS),

UPRES EA 2131 université de Basse Normandie UFR STAPS de Caen 2, boulevard Maréchal-Juin, 14032 Caen cedex, France

<sup>b</sup> Institut régional de médecine du sport (IRMS), centre hospitalier universitaire (CHU) de Caen, 14033 Caen cedex, France

<sup>c</sup> Laboratoire de physiologie, CHU de Caen, 14033 Caen cedex, France

Reçu le 26 juin 2001 ; accepté le 20 juin 2002

#### Résumé

**Objectifs.** – Évaluer les effets de l'évolution du niveau d'aptitude physique sur les rythmes circadiens de T° et le rythme veille–sommeil chez la personne vieillissante.

**Matériels et méthodes.** – Vingt-et-une personnes, sportives et non sportives, âgées de  $64,7 \pm 5,2$  ans, ont été réparties dans 3 groupes. Le groupe E ( $n = 8$ ), composé de sédentaires, a participé sur une période de 4 mois à un programme d'entraînement en gymnastique volontaire de type « cardio-training ». Le groupe CE ( $n = 6$ ), composé de personnes sportives, a continué de s'entraîner comme à son habitude et le groupe AE ( $n = 7$ ), composé de personnes sportives, a arrêté de s'entraîner comme chaque année pendant la période hivernale. Au début du protocole ( $t_0$ ) et 4 mois plus tard ( $t_4$ ), tous les sujets ont effectué un test maximal d'effort sur ergocycle pour déterminer leur niveau d'aptitude physique ( $\dot{V}O_{2\max}$ ). Suite à ces 2 sessions de tests d'effort, les paramètres du rythme circadien de T° et ceux du rythme veille–sommeil sont enregistrés de façon individuelle pendant 3 jours.

**Résultats et conclusion.** – Les sujets du groupe E ont amélioré leur  $\dot{V}O_{2\max}$  et l'amplitude du rythme de T° a été augmentée, sans modification significative du rythme veille–sommeil. L'amélioration du rythme circadien de T° serait due à des modifications de l'horloge interne qui contrôle la synchronisation des rythmes endogènes ainsi qu'aux effets de l'entraînement aérobie. De plus, il semblerait nécessaire de conserver un niveau d'entraînement physique pour maintenir la structure du rythme biologique de T°, moins stable dans le temps que le niveau de  $\dot{V}O_{2\max}$  chez la personne vieillissante. La dégradation du rythme de T° semble être directement liée au niveau d'aptitude physique qui diminue pour le groupe AE par arrêt momentané de l'entraînement ou sous l'effet d'une pratique trop peu qualitative pour le groupe CE.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

#### Abstract

**Aim.** – Access the relations between physical fitness and body temperature rhythm and sleep-activity rhythm with ageing.

**Materials and methods.** – Twenty-one subjects, men and women, athletics or sedentary, aged  $64.7 \pm 5.2$  years, were distributed in 3 groups. The first group (E,  $n = 8$ ), sedentary subjects, had to train during 4 months with a physical aerobic training program. The second group (CE,  $n = 6$ ), athletics subjects, had to train as usual. The last group (AE,  $n = 7$ ), athletics subjects, stopped their physical program training during the winter period as they usually do every year. At the beginning ( $t_0$ ) and at the end ( $t_4$ ) of the experimental protocol, the 3 groups performed a maximal graded cycling test ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) to determine their physical fitness. Subsequently, during 3 days, parameters of body temperature rhythm and sleep/activity rhythm were recorded.

**Results and conclusion.** – that subjects of the group (E) improve their physical fitness ( $\dot{V}O_{2\max}$  increase). In parallel the amplitude of circadian body temperature rhythm were enhanced without alteration of the sleep/activity rhythm between the pre-test and the post-test. These

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [b.mauvieux@caramail.com](mailto:b.mauvieux@caramail.com) (B. Mauvieux).

results showed that the improvement on circadian body temperature rhythms depends on the modification of endogenous body clock that controlled the synchronisation of the endogenous rhythms mechanisms and on the physical program training effects. In addition, results of the other groups show the necessity of conserving a minimal physical training level to keep the characteristics, structure and a regularity in the fluctuation of the biologic rhythm of body temperature.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. All rights reserved.

*Mots clés* : Rythme circadien ; Vieillesse ; Entraînement ; Température ; Activité physique

*Keywords*: Circadian rhythm; Physical training; Elderly; Temperature; Activity

## 1. Objectifs

Considérer le rythme circadien de température ( $T^\circ$ ) oblige systématiquement à distinguer ses deux composantes, l'une endogène, contrôlée par l'horloge interne située dans les noyaux suprachiasmatiques de l'hypothalamus, l'autre exogène, influencée par l'environnement extérieur et le style de vie de la personne [27]. Pour la première, la fluctuation temporelle de  $T^\circ$  présente un rythme circadien très stable et peu influencé par des sollicitations métaboliques ponctuelles de l'organisme [42]. En effet, même si le sommeil et l'exercice par exemple, modifient l'amplitude des variations journalières de la  $T^\circ$  centrale sans en modifier la forme [33], ce phénomène appelé « masque » [42] n'affecte que la composante exogène du rythme. De ce fait, les variations endogènes de  $T^\circ$  centrale constituent un marqueur pertinent du fonctionnement de l'horloge interne.

Par ailleurs, chez le sujet jeune, la pratique régulière à plus long terme est susceptible de modifier durablement la structure des rythmes circadiens endogènes. Atkinson et al. [1] ont observé en effet une augmentation de l'amplitude de ces rythmes chez des sujets actifs par rapport à des sédentaires.

Enfin, le vieillissement, souvent corrélé avec l'augmentation d'une forte sédentarité, s'accompagne aussi d'une dégradation de la structure de la plupart des rythmes biologiques. Une structure polyphasique du sommeil s'installe, le contraste du rythme activité–repos s'estompe, la veille devient progressivement de mauvaise qualité, en association à une réduction de la qualité du sommeil nocturne [6,15–17,38,41]. L'amplitude du rythme circadien de  $T^\circ$  diminue avec des variations matinales supérieures d'environ  $0,3^\circ\text{C}$  à  $0,5^\circ\text{C}$  chez des sujets de 47–60 ans par comparaison à des sujets de 20–30 ans [2]. Cette diminution est généralement associée à une avance de phase progressive. En effet, l'acrophase de  $T^\circ$  se situe plus tôt à 60 ans qu'à 30 ans tout comme l'heure du lever est avancée (6 h 52 vs 7 h 41) [2,28]. Ces modifications ont été attribuées à une modification du chronotype avec l'âge [4,5].

Si un bon nombre d'études ont été consacrées à l'élaboration de programmes d'entraînement et à leurs effets sur l'amélioration et le développement du  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  et les modifications physiologiques apportées pour les personnes vieillissantes [7,12,18,32,35], peu d'entre-elles en revanche font état des répercussions de ces programmes sur les rythmes biologiques.

Le but de cette étude a donc été d'évaluer les effets d'un programme d'entraînement physique sur le rythme circadien de  $T^\circ$  ainsi que le rythme de la veille et du sommeil chez la personne âgée.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Sujets

Cette expérimentation entre dans le cadre d'un programme d'amélioration de la qualité de vie par l'entraînement sportif qui a reçu l'approbation du comité d'éthique du CHU de Caen. Chaque personne a signé avant l'étude un formulaire de consentement éclairé qui lui permettait de se désengager à tout moment.

Vingt-et-une personnes (10 hommes et 11 femmes), pratiquant une activité physique et sportive ou étant totalement sédentaires [âge (ans) :  $64,7 \pm 5,2$  ; taille (cm) :  $168,2 \pm 11,9$  ; poids (kg) :  $66,4 \pm 3,1$  ; type : caucasien] ont participé au protocole expérimental de cette étude. Ces sujets n'ont pu être inclus qu'à la condition d'être volontaire, être âgé d'au moins 55 ans, être en bonne santé, être indemne d'anomalie organique ou de déficience fonctionnelle exposant à un risque accru lors de la pratique sportive.

Pour cela, les sujets ont été soumis à un examen clinique, comportant l'appréciation de la morphologie, de l'aptitude générale à se mouvoir, à un électrocardiogramme (ECG) de repos et une exploration fonctionnelle dynamique afin d'apprécier le comportement cardiaque et vasculaire au cours de l'exercice. En outre, aucun sujet n'était sous traitement médical pouvant influencer le rythme veille–sommeil. Les personnes présentant un problème médical au cours du protocole, ont été exclues de l'expérimentation.

De plus, les sujets ont été sélectionnés en fonction de leur vespéralité, pour ne retenir que des chronotypes « plutôt du matin » [24], population la plus représentative de cette tranche d'âge et afin que les rythmes étudiés présentent des acrophases sur les mêmes tranches horaires et que les amplitudes ne s'annulent pas sur l'ensemble du groupe.

Trois groupes furent constitués. Des sédentaires (groupe E,  $n = 8$ ), se sont entraînés pendant 4 mois avec un programme de type cardio-training. Des sportifs (groupe CE,  $n = 6$ ), ont continué de s'entraîner comme d'habitude et, enfin, d'autres sportifs (groupe AE,  $n = 7$ ), se sont arrêtés de s'entraîner comme ils le font chaque année, pendant la période hivernale.

L'objectif était de sélectionner 3 groupes hétérogènes pour pouvoir enregistrer d'éventuelles variations du niveau d'aptitude physique (reflétées par le  $\dot{V}O_{2\max}$ ) et de les corrélérer à d'éventuelles modifications de la structure des rythmes biologiques.

## 2.2. Protocole expérimental (Fig. 1)

### 2.2.1. Épreuve d'effort

Les épreuves d'effort avant ( $t_0$ ) et après ( $t_4$ ) la période expérimentale, ont été réalisées en milieu médical au sein de l'Institut Régional de Médecine du Sport, centre agréé pour l'expérimentation humaine sur sujet sain par le comité d'éthique de Basse-Normandie, France. Ce test était systématiquement précédé d'un entretien médical, d'un examen clinique et d'un ECG de repos. Le test d'effort triangulaire en mesure directe, adaptée aux personnes vieillissantes, s'est déroulée sur bicyclette ergométrique (Ergoline<sup>er900</sup>) sous surveillance médicale. Toutes les 2 min, la charge a été augmentée de 20 Watts (W), sans pause entre les paliers, avec un départ initial fixé à 50 W pendant 2 min. Avant le début de l'épreuve (valeurs de repos), à chaque palier (valeurs relatives), à la fin de l'épreuve (valeurs maximales) et enfin après 3 min de récupération passive sur l'ergocycle (valeurs de récupération), la puissance développée (en Watts), le  $\dot{V}O_2$ , le  $\dot{V}O_{2\max}$  et la lactatémie ont été enregistrés. L'ECG et la pression artérielle étaient enregistrés en continu à la fin de chaque palier. La composition de l'air expulsé mesurée par l'intermédiaire d'un masque avec une turbine en embout était également étudiée par l'unité de réception (chaîne Méta-max<sup>®</sup>).

La fin du test d'effort triangulaire était apprécié par le médecin qui considérait à la fois, l'apparition d'un plateau sur l'enregistrement en continu de la fréquence cardiaque ou éventuellement le dépassement de la FMT (FMT = 220-âge), l'apparition d'anomalies électrocardiographiques, la diminution de la  $FC_{\max}$  et du  $\dot{V}O_{2\max}$  généralement observée en fin de test d'effort et enfin, l'incapacité à suivre la puissance imposée.

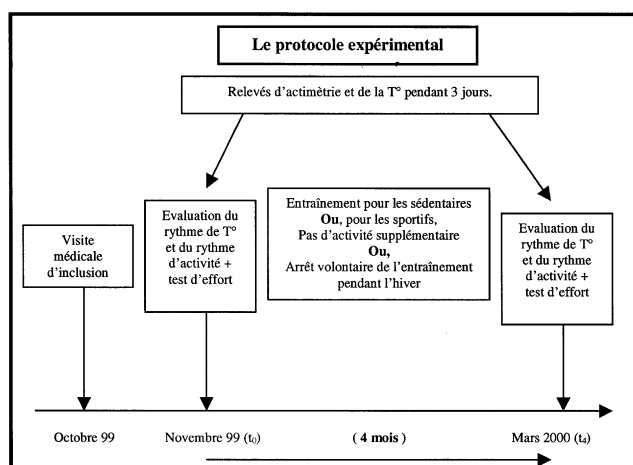


Fig. 1. Déroulement du protocole expérimental.

### 2.2.2. Programme d'entraînement

Notre expérimentation s'est déroulée sur une période de quatre mois, pendant laquelle, les sujets du groupe E ( $n = 8$ ) ont volontairement pratiqué 3 séances contrôlées d'1 heure par semaine de gymnastique de type cardio-training. Les sujets étaient équipés d'un cardiofréquencemètre de type « Polar<sup>®</sup> PE 4000 » lors des séances d'entraînement. En fonction de leur  $FC_{\max}$  obtenue lors du test d'effort et de leur  $FC_{\text{repos}}$ , un seuil à une intensité maximale de 75 % de leur  $FC_{\text{réserve}}$  de travail se matérialisant par une cible sonore haute était programmé de façon individuelle sur chaque cardiofréquencemètre. Les sujets devaient donc doser leur effort pour ne pas dépasser cette limite haute de travail. De plus, l'enregistrement de la FC s'est faite en continu, ce qui permis d'estimer l'intensité moyenne (de 19 % à 53 % de la  $FC_{\text{réserve}}$  selon les séances et les sujets) du travail de la séance (échauffement, périodes d'étirements, exercices et récupération) pour chaque sujet.

### 2.2.3. Programme pour les sujets à l'origine sportifs pendant cette période

Concernant le groupe des sujets pratiquant une activité physique et sportive d'un niveau loisir, certains ont continué de s'entraîner (Groupe CE,  $n = 7$ ), comme à leur habitude (gymnastique, marche, cyclotourisme, etc.). Ces entraînements n'ont pas été enregistrés. D'autres sujets sportifs, cyclotouristes et ayant un bon  $\dot{V}O_{2\max}$ , ont arrêté leur programme d'Entraînement (Groupe AE,  $n = 6$ ), de façon tout à fait volontaire car ils le font tous les ans pendant la saison hivernale. Cette population a été choisie car, pour des raisons éthiques, nous ne pouvions pas demander et imposer l'arrêt de l'entraînement à ces personnes vieillissantes. Nous avons donc dû renoncer à un tirage au sort pour la composition de nos 3 groupes.

### 2.2.4. Mise en évidence du rythme de $T^\circ$ et du rythme veille-sommeil

La mise en évidence du rythme biologique de  $T^\circ$ , a été réalisée grâce à un relevé manuel toutes les heures, pendant l'éveil sur une durée de 3 j à  $t_0$  et  $t_4$ , par un thermomètre digital (Modèle Hartmann-Larochette<sup>®</sup>, précision : 0,01 °C) placé au chanfrein de la langue. Cette opération devait se faire de préférence avant les repas, au repos, assis ou couché depuis au moins 15 min et pendant les éveils nocturnes. La  $T^\circ$  était consignée par les sujets sur une grille de relevés.

Des actimètres (Gaehwiler Electronic<sup>®</sup>) ont été utilisés pour évaluer le rythme activité-repos des sujets. Ces appareils rendent compte du nombre de mouvements par minute produit par un individu et par traitement, l'index d'activité tenant compte de la durée de l'enregistrement et du nombre de mouvements a été défini. Il s'agit d'accéléromètres portables, qui se posent au poignet non dominant d'un sujet, cela afin d'éviter certains artefacts dus à des mouvements volontaires spécifiques du poignet dominant comme l'écriture. Les enregistrements se sont déroulés à  $t_0$  et à  $t_4$  durant 3 j consé-

cutifs, 24 h sur 24 à l'exception des activités en contact avec l'eau (bain, douche, piscine, vaisselle, etc.).

Pour le traitement des données, tous niveaux d'activités supérieurs à 2 mouvements par minute, ont été considérés comme phases d'éveil, ceux inférieurs ou égaux à ce seuil, ont été considérés comme des phases de repos ou de sommeil. Une estimation de la qualité du sommeil a pu être faite en se basant sur l'hypothèse selon laquelle celui-ci est d'autant plus mauvais qu'il est agité et fragmenté par des intervalles d'activité [26].

### 2.2.5. Modélisation d'un rythme, analyses et traitements statistiques

Un rythme peut être caractérisé par un chronogramme (report des valeurs expérimentales en fonction du temps) et quantifié alors par plusieurs paramètres : *sa période* (durée nécessaire au déroulement d'un cycle complet), *son niveau moyen* souvent appelé *le mésor* (moyenne des données expérimentales), *son amplitude* (soit la moitié de l'étendue de la variation entre sa valeur maximale et sa valeur minimale), *sa phase* (heure de valeur maximale) et *sa forme* (sinusoïdale, dissymétrique, carrée, présentant plusieurs pics ou au contraire des plateaux).

Lorsque le rythme présente une allure sinusoïdale, la fonction mathématique utilisée [10] qui permette d'ajuster une fonction « cosinor » aux données est de type :

$$y_t = M + A \cos(\omega t + \Phi) \quad (12)$$

où M représente le niveau moyen ou *mésor* (*Midline Estimating Statistic of Rhythm*) qui correspond au niveau ajusté du rythme pour une certaine période  $\tau$  (durée totale du cycle), A l'amplitude qui se définit comme la moitié de la variabilité totale du rythme pour la période considérée,  $\omega$  (égale à  $2\pi/\tau$ ) la vitesse angulaire (la période  $\tau$  étant de 24 h pour les rythmes circadiens) et  $\Phi$  la phase exprimée en heures ou en degrés par rapport à une heure de référence (l'acrophase étant l'heure à laquelle la valeur maximale est atteinte, la batyphase l'heure à laquelle la valeur minimale est enregistrée).

Pour chaque individu, le chronogramme des paramètres étudiés a été obtenu en reportant les valeurs expérimentales en fonction du temps :  $\Delta t = 2$  h pour la T° et  $\Delta t = 1$  min pour l'actométrie.

Une analyse de variance (Anova) à un facteur répété (temps) a permis de voir si les variations étaient significativement liées aux différentes heures. Le test PLSD de Fisher (*Protected Least Significant Difference*) a alors été utilisé pour une comparaison (« post hoc comparaison ») plus approfondie, puisque celui-ci permet de repérer les variations significatives entre les valeurs relevées à différentes heures.

Lorsque des différences significatives d'amplitudes apparaissent et lorsque les conditions édictées par De Prins & Waldura [10] sont respectées, c'est-à-dire, lorsque les différences de phase ne sont pas trop importantes ( $\Delta\Phi < 60^\circ$  ou mieux  $< 30^\circ$ ), lorsque la moyenne des amplitudes individuelles est sensiblement égale à l'amplitude moyenne et lorsque les phases individuelles ne sont pas trop écartées de la phase moyenne, l'évaluation des composantes rythmiques a alors été faite suivant la méthode du « cosinor » décrite par Nelson et al. [30]. Cette méthode (méthode des moindres carrés) consiste à ajuster une sinusoïde aux points expérimentaux (« cosinogramme », « cosinogram » pour Cugini et al. [9]). Si ces conditions ne sont pas remplies alors la fonction étudiée sera présentée sous la forme d'un chronogramme et non pas du cosinor [11].

Dans notre étude, la fréquence angulaire étant d'un cycle par jour,  $\tau$  était considérée comme étant de 24 h (rythmes circadien : environ un jour).

Le test *t* de Student est par la suite utilisé pour les comparaisons entre les populations indépendantes (comparaisons inter-groupes).

Les différences observées sont considérées comme statistiquement significatives si le seuil de probabilité est inférieur à 0.05.

## 3. Résultats

### 3.1. Évolution de la $\dot{V}O_{2\max}$ entre $t_0$ et $t_4$ pour les trois groupes (Tableau 1)

Le groupe (E) qui a suivi les séances d'entraînement en gymnastique volontaire a augmenté en 4 mois de 22,4 % sa  $\dot{V}O_{2\max}$  et en parallèle, nous avons enregistré une diminution significative (à  $p < 0,05$ ) de 2,8 % du poids pour les sujets de ce groupe. L'analyse des enregistrements en continu de la FC lors des séances de gymnastique volontaire (GV), basées sur des exercices de type cardio-training pour les sujets sédentaires (Groupe E), a montré que les sollicitations cardiaques pendant les séances d'entraînement allaient de 19 % à 53 % de la FC<sub>réserve</sub> en fonction de la nature de ces séances avec une moyenne de 32,2 % de la FC<sub>réserve</sub> individuelle des sujets. Cette moyenne relativement faible tient compte de la totalité de la séance d'entraînement dans laquelle les phases d'échauffement, de travail, de récupération et une phase d'étirements sont comprises.

Concernant le groupe (CE), les sujets ne montrent ni de variation significative de leur  $\dot{V}O_{2\max}$  en gardant leurs activités physiques et sportives habituelles, ni de variation signifi-

Tableau 1  
Évolution de la  $\dot{V}O_{2\max}$  (en  $\text{ml min}^{-1} \text{kg}^{-1}$ ) entre  $t_0$  et  $t_4$  pour les trois groupes

Groupes	Moyennes des $\dot{V}O_{2\max}$ à $t_0$	Moyennes des $\dot{V}O_{2\max}$ à $t_4$	Évolution	Augmentation/Régression
Groupe E ( $n = 8$ )	20,2 ± 5,9	24,7 ± 6,3	$p < 0,001$	↗ 22,4 %
Groupe CE ( $n = 6$ )	22,1 ± 7,0	22,6 ± 6,2	Non significatif	Pas de progression
Groupe AR ( $n = 7$ )	33,7 ± 9,2	26,2 ± 8,9	$p < 0,001$	↘ 19,9 %

cative de leur poids. En effet, pour ce groupe, l'objectif est de conserver une activité sportive sans rechercher la performance, les séances d'entraînement ne sont pas qualitatives mais suffisent à maintenir le niveau de  $\dot{V}O_{2\max}$ .

Enfin, le groupe (AE), ne s'est plus entraîné pendant la période hivernale et le niveau d'aptitude physique ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) a régressé de façon significative de 19,9 % en 4 mois, en raison sans doute de la diminution de son activité physique et sportive et des activités de jardinage et d'entretien. Concernant le poids, une diminution a été enregistrée mais elle n'est pas significative pour l'ensemble du groupe.

### 3.2. Rythme de la T° entre t<sub>0</sub> et à t<sub>4</sub> pour les 3 groupes

Comme nous l'avons présenté dans la procédure expérimentale, les fluctuations d'un rythme de T° ou d'un rythme d'activité, peuvent être représentées sous forme de chronogramme lorsque l'hypothèse nulle de l'amplitude est confirmée ( $p > 0,05$ ). Au contraire, si l'amplitude du rythme étudié est statistiquement significative, la variation sera de type sinusoïdal (hypothèse nulle contredite). On pourra alors l'ajuster par la méthode des moindres carrés aux points expérimentaux et calculer les paramètres de la fluctuation, à savoir, l'amplitude, le mésor, l'heure de l'acrophase et  $r$ , valeur du coefficient de l'ajustement de la sinusoïde par rapport aux points expérimentaux (par la méthode des moindres carrés).

**Groupe (E)** : pour les sujets à l'origine sédentaires, le rythme de T° s'est modifié de manière significative entre t<sub>0</sub> et t<sub>4</sub>. En effet, à t<sub>0</sub>, (Tableau 2) la fluctuation de T° est représentée (Fig. 2) sous forme de chronogramme car les conditions statistiques d'analyses ne sont pas réunies (hypothèse nulle confirmée). En revanche, à l'instant t<sub>4</sub>, les données expérimentales de T° fluctuent de manière sinusoïdale, ce qui est aussi confirmé par le coefficient d'ajustement  $r = 0,93$ .

**Groupe (CE)** : le  $\dot{V}O_{2\max}$  est resté stable, sans évolution significative entre la période t<sub>0</sub> et t<sub>4</sub> et la structure circadienne des fluctuations de T° s'est considérablement détériorée

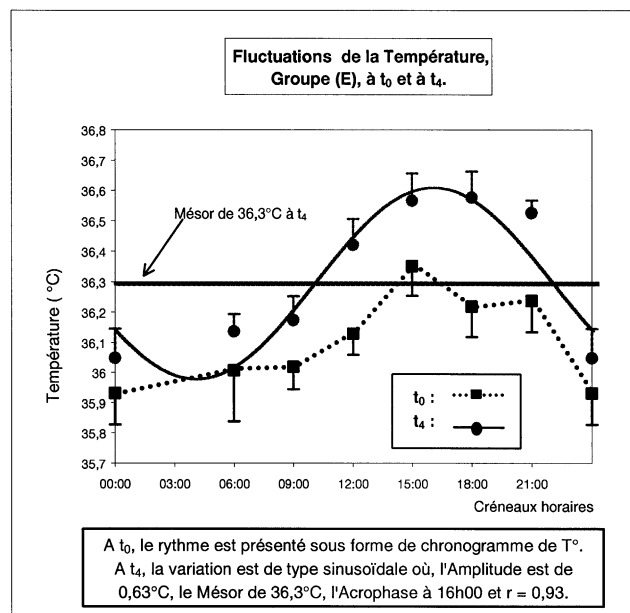


Fig. 2. Fluctuations de T° à t<sub>0</sub> et à t<sub>4</sub> pour le groupe (E), (n = 8 sujets).

entre cette même période (Fig. 3). A t<sub>0</sub>, le rythme de T° présente une fluctuation de type sinusoïdal qui disparaît à t<sub>4</sub>. On remarque aussi une dégradation dans la stabilité du rythme circadien de T° à t<sub>4</sub>. En effet, à t<sub>0</sub>,  $r$  était de 0,92 ce qui indiquait que les points expérimentaux de la T° se rapprochaient du tracé « théorique » d'une fluctuation de type sinusoïdal.

**Groupe (AE)** : à t<sub>0</sub>, il présente un rythme circadien sinusoïdal significatif. L'amplitude du rythme circadien de T° de 0,31 °C et l'acrophase se situe vers 14 h 24 min. En revanche, à t<sub>4</sub>, ce rythme disparaît et la caractérisation du rythme n'est plus autorisée par les méthodes statistiques (Fig. 4).

Tableau 2

Paramètres des fluctuations du rythme de T°. (\* :  $p < 0,05$ , \*\* :  $p < 0,01$  et ns : non significatifs)

	Amplitude à t <sub>0</sub>	Nature de la fluctuation à t <sub>0</sub>	Amplitude à t <sub>4</sub>	Nature de la fluctuation à t <sub>4</sub>	Comparaison des paramètres des fluctuations de T° entre t <sub>0</sub> et t <sub>4</sub>			
					à t <sub>0</sub>	à t <sub>4</sub>	Évolution	
Groupe E (n = 8)	ns ( $p > 0,05$ ; F = 1,22). ⇒ Hypothèse nulle confirmée.	Fluctuation représentée sous forme de chronogramme de T°.	** ( $p < 0,01$ ; F = 6,24). ⇒ Hypothèse nulle contredite.	Fluctuation de type sinusoïdal.	Amplitude	/	0,63 °C	↑
					Mésor	/	36,3 °C	/
					Acrophase	/	16 h 00	/
					r	/	0,93	↑
						à t <sub>0</sub>	à t <sub>4</sub>	Évolution
Groupe CE (n = 7)	** ( $p < 0,01$ ; F = 13,39). ⇒ Hypothèse nulle contredite.	La fluctuation de ce rythme est de type sinusoïdal.	ns ( $p > 0,05$ ; F = 1,59) ⇒ Hypothèse nulle confirmée.	Fluctuation représentée sous forme de chronogramme de T°.	Amplitude	0,51 °C	/	↓
					Mésor	36,26 °C	/	/
					Acrophase	16 h 28'	/	/
					r	0,92	/	↓
						à t <sub>0</sub>	à t <sub>4</sub>	Évolution
Groupe AE (n = 6)	* ( $p < 0,05$ ; F = 2,54). ⇒ Hypothèse nulle contredite.	La fluctuation de ce rythme est de type sinusoïdal.	ns ( $p > 0,05$ ; F = 2,84) ⇒ Hypothèse nulle confirmée.	Fluctuation représentée sous forme de chronogramme de T°.	Amplitude	0,31 °C	/	↓
					Mésor	36,19 °C	/	/
					Acrophase	14 h 24'	/	/
					r	0,61	/	↓
						à t <sub>0</sub>	à t <sub>4</sub>	Évolution

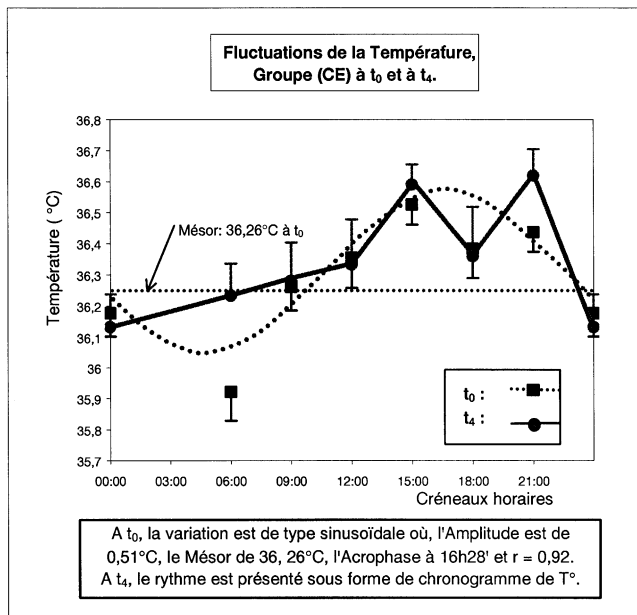


Fig. 3. Fluctuations de T° à t<sub>0</sub> et à t<sub>4</sub> pour le groupe (CE), (n = 7 sujets).

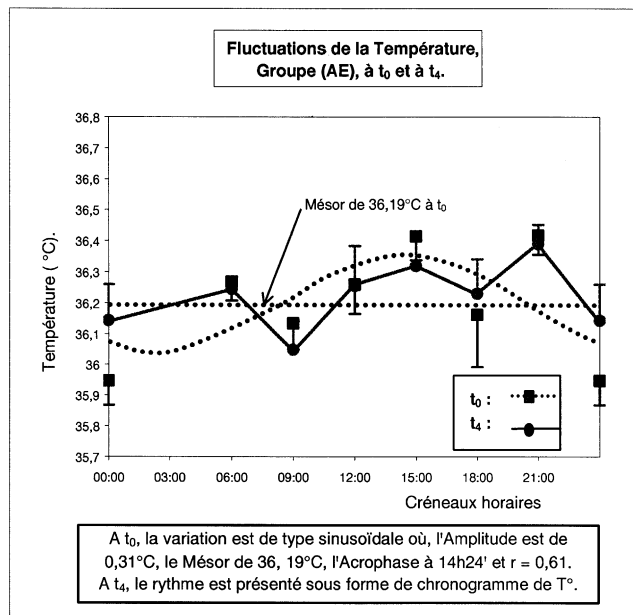


Fig. 4. Fluctuations de la T° à t<sub>0</sub> et à t<sub>4</sub> pour le groupe (AE), (n = 6 sujets).

### 3.3. Rythmes veille-sommeil à t<sub>0</sub> et à t<sub>4</sub> pour les 3 groupes

Pour déterminer l'existence du rythme activité-repos, la méthode et la procédure ont été les mêmes que celles utilisées pour le rythme de la T°. Ainsi, si l'hypothèse nulle est contredite, on a pu dire que la variation est de type sinusoïdal. (Tableau 3 et Figs. 5–7)

L'activité motrice au cours de la journée ne varie pas de manière significative quelque soit l'instant ou le groupe. En revanche, avec une analyse plus précise, le pourcentage de périodes actives augmente de manière significative après les 4 mois de pratique d'activité physique pour le groupe (E).

L'activité motrice au cours de la nuit ne varie pas de manière significative quelque soit le groupe ou l'instant. En

revanche, avec une analyse plus fine, si on s'intéresse à cette activité au cours des trois premières heures de la nuit (période de la nuit la plus riche en sommeil lent profond) et au cours des trois dernières heures de la nuit (période où les perturbations du sommeil chez le sujet âgé sont prédominantes), elle diminue fortement de manière significative pour le groupe (E) par rapport aux groupes (CE) et (AE) après les 4 mois d'entraînement. Il en est de même pour le nombre et la durée des éveils nocturnes au cours de la nuit. En revanche, la durée du repos ne varie pas quelque soit le groupe ou l'instant. L'index d'immobilité nocturne augmente pour le groupe (E) après la période d'entraînement physique et sportif.

Il est à noter et nous précisons bien que la période d'évaluation des rythmes étudiés, s'est déroulée avant et juste

Tableau 3

Paramètres des fluctuations du rythme veille-sommeil. (\* : p < 0.05, \*\* : p < 0.01 et ns : non significatifs)

	Amplitude à t <sub>0</sub>	Nature de la fluctuation à t <sub>0</sub>	Amplitude à t <sub>4</sub>	Nature de la fluctuation à t <sub>4</sub>	Comparaison des paramètres des fluctuations du rythme veille-sommeil entre t <sub>0</sub> et t <sub>4</sub>			
					à t <sub>0</sub>	à t <sub>4</sub>	Évolution	
Groupe E (n = 8)	** (p < 0,01 ; F = 30,45). ⇒ Hypothèse nulle contredite.	La fluctuation de ce rythme est de type sinusoïdal.	** (p < 0,01 ; F = 25,0). ⇒ Hypothèse nulle contredite.	La fluctuation de ce rythme est de type sinusoïdal.	<b>Amplitude</b>	40,5	34,46	ns
					<b>Mésor</b>	19,85	18,65	ns
					<b>Acrophase</b>	13 h 56'	13 h 40'	ns
					<b>r</b>	0,96	0,93	ns
Groupe C (n = 7)	** (p < 0,01 ; F = 37,29). ⇒ Hypothèse nulle contredite.	La fluctuation de ce rythme est de type sinusoïdal.	** (p < 0,01 ; F = 18,20). ⇒ Hypothèse nulle contredite.	La fluctuation de ce rythme est de type sinusoïdal.	<b>Amplitude</b>	40,56	37,7	ns
					<b>Mésor</b>	21,7	20,56	ns
					<b>Acrophase</b>	13 h 40'	13 h 12'	ns
					<b>r</b>	0,93	0,93	ns
Groupe AE (n = 6)	** (p < 0,01 ; F = 15,90). ⇒ Hypothèse nulle contredite.	La fluctuation de ce rythme est de type sinusoïdal.	** (p < 0,01 ; F = 30,55). ⇒ Hypothèse nulle contredite.	La fluctuation de ce rythme est de type sinusoïdal.	<b>Amplitude</b>	45,9	42,1	ns
					<b>Mésor</b>	24,9	23,11	ns
					<b>Acrophase</b>	14 h 16'	14 h 12'	ns
					<b>r</b>	0,92	0,96	ns

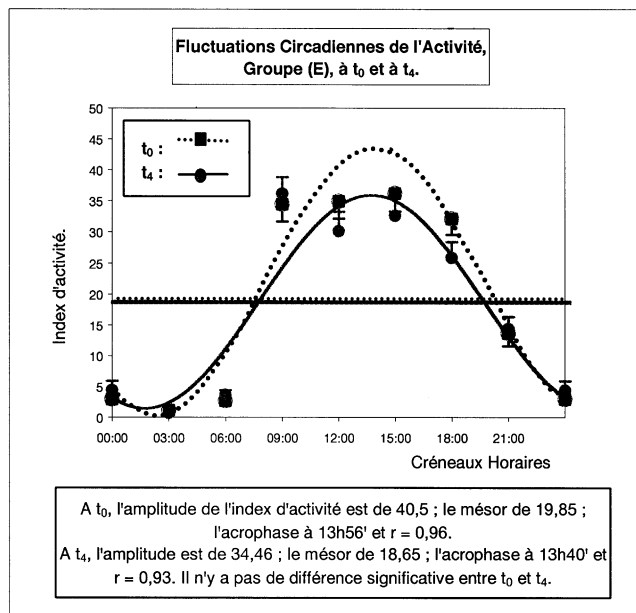


Fig. 5. Variations circadiennes de l'activité à t<sub>0</sub> et à t<sub>4</sub> pour le groupe (E), (n = 8 sujets).

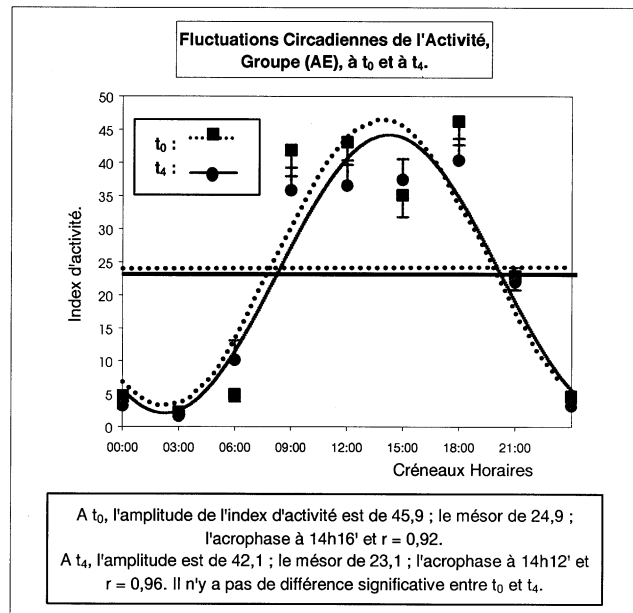


Fig. 7. Variations circadiennes de l'activité à t<sub>0</sub> et à t<sub>4</sub> pour le groupe (AE), (n = 6 sujets).

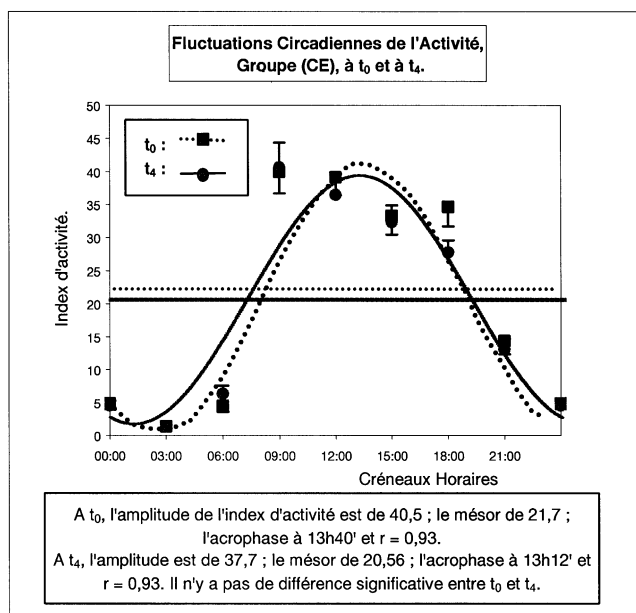


Fig. 6. Variations circadiennes de l'activité à t<sub>0</sub> et à t<sub>4</sub> pour le groupe (CE), (n = 7 sujets).

après le programme d'entraînement pour le groupe (E). Ainsi, le programme d'entraînement physique terminé, le rythme de l'activité n'a pas été modifié artificiellement par l'activité supplémentaire de la pratique sportive. Cette précaution méthodologique nous permet ainsi d'éliminer la composante exogène de l'activité qui agit fortement sur le rythme circadien de T°.

## 4. Discussion

### 4.1. Intensité des entraînements

Les enregistrements en continu de la FC pendant les séances de gymnastique volontaire (exercices de step, de type cardio-training) correspondent à une sollicitation moyenne de 32,2 % de FC<sub>réserve</sub> pour les sujets du groupe (E). Par rapport aux différentes études [18,32,35] mentionnant des programmes d'entraînement chez la personne âgée, il est important de noter que nous avons volontairement fait travailler nos sujets à des intensités légèrement plus faibles, intensités auxquelles notre groupe s'est soumis avec un réel plaisir et qu'il aurait été difficile de dépasser sans risquer d'en perdre une partie par abandon. Il faut aussi souligner que l'intensité correspond à une intensité moyenne sur des séances d'une heure (échauffement, période d'étirements, séance de travail et récupération compris), alors que dans les études précédemment énoncées, il est difficile de savoir comment sont calculées les intensités mentionnées. Nous supposons qu'elles correspondent uniquement à la partie la plus intense du travail ou au pourcentage de la FC<sub>max</sub> car l'intensité semble vraiment importante. À cet égard, notons que 32,2 % de la FC<sub>réserve</sub> valeur moyenne observée pour l'ensemble de la séance dans la présente étude correspond à environ 62 % de la FC<sub>max</sub> alors que des pics allant jusqu'à 53 % de la FC<sub>réserve</sub> ou 72 % de la FC<sub>max</sub> furent ainsi enregistrés ce qui est conforme à l'augmentation des 22,4 % obtenus pour les valeurs de  $\dot{V}O_{2\max}$ .

#### 4.2. Évolution du $\dot{V}O_{2\max}$

Concernant l'évaluation du  $\dot{V}O_{2\max}$  des sujets, nous avons enregistré des valeurs relativement faibles, mais elles sont cependant en accord avec la littérature [31]. Soulignons néanmoins que pour quelques sujets, nous enregistrons des  $\dot{V}O_{2\max}$  très bas de  $15 \text{ ml min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$  qui ne correspondent certainement pas à un indice de  $\dot{V}O_{2\max}$ . Ceci est dû au fait que le test d'effort maximal jusqu'à épuisement, est très difficile à obtenir quand les sujets sont âgés et sédentaires. Par exemple, dans le groupe de sédentaires (Groupe E), un sujet de 63 ans avait une autonomie physique relativement réduite. Lors du test d'effort à  $t_0$ , sa  $FC_{\max}$  n'a atteint que  $113 \text{ batts min}^{-1}$  ce qui ne représentait que 72 % de sa FMT (FMT = 220-âge). Ainsi, le  $\dot{V}O_{2\max}$  n'a pas été atteint pour cette personne (plutôt un  $\dot{V}O_{2\text{pic}}$ ). Cependant, en post-test ( $t_4$ ), nous avons enregistré une réelle amélioration de son autonomie de déplacement et d'amélioration de son aisance physique, ce qui lui a permis après la période d'entraînement ( $t_4$ ) de réaliser un test d'effort sollicitant une  $FC_{\max}$  plus proche de la FMT ( $151 \text{ batts min}^{-1}$ ).

Pour le groupe (E), on note une amélioration de  $\dot{V}O_{2\max}$  de 22,4 % en 4 mois sous l'effet de la pratique d'exercices à un niveau moyen de 32,2 % de la  $FC_{\text{réserve}}$  à raison de trois séances d'une heure par semaine. Cette progression est conforme à celles observées dans d'autres études [7,18,35,36] pour la même période d'entraînement.

Le groupe (CE) a, quant à lui, gardé un bon niveau d'activité physique (jardinage, marche, séances de gymnastique volontaire, etc.) pendant les 4 mois du protocole, ce qui est confirmé par le fait que le niveau de  $\dot{V}O_{2\max}$  soit resté le même entre  $t_0$  et  $t_4$ .

Enfin, la baisse significative du  $\dot{V}O_{2\max}$  constaté pour le groupe (AE) ne peut s'expliquer que par le fait que les sujets de ce groupe ont considérablement diminués, comme chaque année pendant l'hiver, le niveau de leurs activités physiques et de loisirs. Si quelques travaux portant sur des sédentaires montrent une diminution de 10 % du  $\dot{V}O_{2\max}$  par décennie [7,12,31], la diminution observée dans le cas de notre étude est considérablement plus importante sans doute parce qu'elle concerne une population âgée qui se sédentarise brutalement.

#### 4.3. Rythme de la $T^\circ$ entre $t_0$ et $t_4$ pour les 3 groupes

En ce qui concerne le rythme de la  $T^\circ$ , pour le groupe (E), il ne semble pas être clairement défini et ne montre pas une amplitude significative au début de notre protocole. Ces résultats confirment que l'amplitude de  $T^\circ$  chez la majeure partie des personnes vieillissantes est réduite (de 20 à 30 %) par comparaison à de jeunes sédentaires [13]. Cette amplitude a été néanmoins augmentée de manière significative entre  $t_0$  et  $t_4$ . Les résultats de nos travaux concernant cette amplitude de  $T^\circ$  à la fin du programme d'entraînement, corroborent les travaux d'Atkinson G. et al. [3], Shephard R. [34] et Waterhouse J. et al. [42], qui indiquent des variations

d'amplitude de  $T^\circ$  de l'ordre de  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  à  $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$  pour des sujets pratiquant des activités physiques et sportives de type aérobie [3,34,42]. Par ailleurs, à  $t_4$ , l'écart entre les points expérimentaux et la sinusoïde (coefficient d'ajustement par la méthode des moindres carrés,  $r$ ) semble lui aussi s'être amélioré, ce qui, à notre avis, pourrait être le reflet d'un renforcement de la synchronisation de ce rythme. Ces résultats confirment l'existence d'une relation positive entre le niveau de forme physique, des amplitudes plus grandes et une rythmicité circadienne de  $T^\circ$  plus marquée [1,3,25,42].

La détermination de l'amplitude d'un rythme est importante car elle apporte des informations sur la force du système circadien, c'est-à-dire, sur sa résistance face aux changements des synchroniseurs extérieurs (« Zeitgebers » en allemand ou « donneurs de temps » en français). Il existe une relation entre la variabilité d'un rythme et son amplitude d'un jour à l'autre. En effet, plus l'amplitude est importante, plus la phase est stable. Comme nous l'avons déjà signalé, chez les sujets jeunes les plus entraînés, une augmentation de l'amplitude est constatée pour les rythmes circadiens de la température corporelle, de l'éveil et d'autres variables de la performance en conditions standardisées de laboratoire [1,19]. Cette amplitude plus élevée chez les sujets entraînés, résulterait de mécanismes endogènes encore mal connus [3] qui seraient en fait dus aux adaptations physiologiques à l'exercice, comme la capillarisation du muscle ou encore l'augmentation de la sérotonine après l'exercice [8]. Ces modifications de rythmes circadiens auraient probablement un rapport avec les caractéristiques du sommeil habituel de l'individu. Il existe une corrélation positive entre, d'une part, le niveau d'activité habituel et l'entraînement et d'autre part, l'amplitude de certains rythmes circadiens. L'augmentation de l'amplitude du rythme circadien endogène de la  $T^\circ$  centrale est probablement acquise par le mode de vie actif ou par l'entraînement physique régulier qui synchroniserait l'horloge biologique interne [1]. Van Someren et al., [40], se sont particulièrement intéressés aux effets de l'exercice sur les rythmes circadiens. Ces travaux ont conduit à l'élaboration de trois théories. La première repose sur un modèle génétique qui postule que les caractéristiques des rythmes circadiens sont programmées. Ce modèle est cependant contesté par les données de l'expérimentation animale qui montrent que des rats entraînés ont des temps de réponse plus rapides que des rats non entraînés de la même lignée [14]. Une autre hypothèse physiologique suggère que les effets bénéfiques de l'exercice sur le sommeil et les rythmes résultent d'une meilleure capacité de transport et d'utilisation de l'oxygène, facilitant un meilleur fonctionnement des systèmes de neurotransmission. La troisième théorie s'appuie sur les travaux de Horne [22,23], et Horne et al. [21] et indique que l'augmentation de la  $T^\circ$  centrale et de ses corrélats physiologiques pendant l'activité physique sont responsables de l'amélioration de la qualité du sommeil. De plus, une augmentation de la  $T^\circ$  centrale par un bain chaud sans exercice physique ou un exercice physique seul, effectué dans l'après-midi, permet d'augmenter le sommeil lent profond au cours de la nuit



suiuante et donc d'améliorer le rythme activité–repos. Ces auteurs [21,22] suggèrent que cette modification serait due à une libération hormonale (prostaglandine), de substances induisant le sommeil (interleukines) [29]. Par ailleurs, le concept *use it or lose it* [37] suppose que l'activation des cellules nerveuses soit nécessaire à l'entretien du fonctionnement du système circadien et permet de prévenir la dégénérescence nerveuse due à l'avancée en âge. Cette activation repose sur des stimuli hormonaux et environnementaux comme la lumière ou l'activité physique [37]. En fait, l'activité physique activerait le système nerveux central en améliorant les communications synaptiques et en augmentant l'amplitude du rythme circadien de la  $T^\circ$  [39].

Ce phénomène n'est pas observé pour le groupe (CE), pour lequel sont enregistrées deux modifications importantes entre le début et la fin de notre protocole. En effet, amplitude de  $T^\circ$  et fluctuation du rythme diminuent de façon significative. Ce groupe pour lequel aucune modification du niveau de  $\dot{V}O_{2\max}$  entre  $t_0$  et  $t_4$  n'a été enregistrée, n'a pas montré de variations significatives de son rythme de l'activité entre  $t_0$  et  $t_4$ . Les diminutions de l'amplitude et de la fluctuation du rythme de  $T^\circ$  à  $t_4$ , peuvent donc être attribuées à l'effet temps (vieillesse de la personne [20]). De plus, même si le niveau de  $\dot{V}O_{2\max}$  est resté identique sur la période de 4 mois, les sujets ont moins pratiqué d'activité physique. On sait aussi qu'il est plus facile d'entretenir sa  $\dot{V}O_{2\max}$  [30] que de la développer [45]. De ce fait, ces dégradations de la structure des fluctuations circadiennes de  $T^\circ$  après 4 mois, sont certainement le fait d'une moindre pratique qu'à  $t_0$ . Une diminution des amplitudes et de la régularité dans la fluctuation des rythmes biologiques de  $T^\circ$  a d'ailleurs été constatée sur une période de désentraînement [44]. On peut donc penser que le niveau de forme physique, caractérisé par le niveau de  $\dot{V}O_{2\max}$  est un paramètre plus stable et plus durable au bout de 4 mois que le rythme biologique de  $T^\circ$ . Cette interprétation, plus complexe pour le groupe (AE), semble aussi se confirmer, pour qui, déjà, à  $t_0$ , les valeurs de l'amplitude et de la régularité dans la fluctuation du rythme de  $T^\circ$  ne semblent pas confirmer les données des précédents travaux pour ces sportifs vieillissants [34]. Les paramètres du rythme de  $T^\circ$  semblent contradictoires avec les précédents travaux qui indiquent, que chez les sportifs, les amplitudes sont plus grandes et sont plus marquées que pour des sédentaires [1,19]. Cependant, à  $t_0$ , l'amplitude de  $T^\circ$  pour ce groupe (AE) est tout juste significative ( $p = 0.047$ ) et peu de créneaux sont significativement différents en comparaison post hoc PLSD. De plus,  $r = 0,61$ , n'indique pas que le rythme soit clairement établi. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que la période de désentraînement a commencée plusieurs semaines avant le début de l'expérimentation et qu'ainsi les rythmes étaient déjà affectés, confirmé par le niveau d'aptitudes physiques enregistré à  $t_0$  ne correspondant pas au potentiel maximum de ces sujets. Le même phénomène pourrait expliquer les résultats obtenus par le groupe (CE), où une petite quantité d'entraînement a suffi pour entretenir et maintenir le niveau de  $\dot{V}O_{2\max}$  mais a été insuffisante pour conserver la

stabilité des fluctuations biologiques de  $T^\circ$ . On note d'ailleurs, en fin d'expérimentation, une très nette dégradation du niveau d'aptitude physique puisque l'indice de  $\dot{V}O_{2\max}$  de  $32,6 \text{ ml min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$  à  $t_0$  diminue significativement ( $p < 0,05$ ) à  $26,16 \text{ ml min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ . De plus, à  $t_4$ , les paramètres de la variation circadienne de  $T^\circ$  semblent encore se dégrader. L'amplitude de  $T^\circ$  n'est plus significative et la régularité de la fluctuation des données expérimentales de  $T^\circ$  semble, elle aussi, affectée par ce désentraînement. D'autres travaux d'ailleurs, démontrent aussi une réduction de la stabilité et des amplitudes des rythmes biologiques pendant une période de désentraînement chez des sujets de plus de 50 ans [44].

Cependant, il est intéressant de constater que les variations de l'activité entre  $t_0$  et  $t_4$  n'ont pas évolué de manière significative et cela pour l'ensemble des trois groupes. Notons aussi que les enregistrements de  $T^\circ$  et d'actométrie se sont fait à  $t_0$ , avant que le programme ne commence et à  $t_4$ , après le programme expérimental. Le fait de pratiquer 4 mois d'entraînement pour certains sujets n'a pas modifié la fluctuation de l'activité à  $t_4$  même si une analyse plus précise montre une amélioration de la qualité des nuits (diminution du nombre d'éveils) ainsi qu'une diminution de la somnolence diurne chez ce groupe de sédentaires entraînés. On peut donc penser que les modifications apportées sur les amplitudes de  $T^\circ$  ainsi que sur la régularité de la fluctuation (coefficient  $r$ ) des rythmes de  $T^\circ$  pour les différents groupes, ne sont pas directement liées à l'activité. Ce point important montre que l'évolution de la variation circadienne de  $T^\circ$  serait due à des modifications dans la structure de facteurs endogènes et non à l'influence de l'activité agissant comme facteur exogène, l'activité n'ayant dans ce cas pas d'effet masquant sur les variations de  $T^\circ$  [27,43].

## 5. Conclusion

Cette étude, a permis de montrer qu'un programme d'entraînement en gymnastique volontaire pendant 4 mois, pouvait nettement améliorer le niveau du  $\dot{V}O_{2\max}$  chez des personnes sédentaires vieillissantes. En parallèle, l'amplitude et la stabilité de la fluctuation circadienne de  $T^\circ$  augmentaient de façon significative, ce qui montre un meilleur fonctionnement du système métabolique. Il est aussi très intéressant de constater que le rythme veille–sommeil n'évolue pas entre le début de l'expérimentation ( $t_0$ ) et la fin ( $t_4$ ), ce qui indique que les modifications des fluctuations de  $T^\circ$  ne sont pas dépendantes de l'activité physique. Cette dernière n'a donc pas d'effet masquant sur les rythmes de  $T^\circ$ , les modifications observées des fluctuations circadiennes de  $T^\circ$  auraient ainsi un caractère endogène. Cependant, une analyse plus approfondie du rythme veille–sommeil a révélé une diminution du nombre d'éveils nocturnes, une amélioration de la vigilance diurne et donc une amélioration de la qualité des nuits par un retour à une structure monophasique du sommeil.

Ces résultats montrent aussi qu'il est nécessaire de garder un niveau constant d'entraînement physique pour stabiliser les rythmes biologiques de la  $T^\circ$ . En effet, ces derniers

semblent beaucoup moins stables dans le temps que le niveau de  $\dot{V}O_2$ . Cette conservation d'une activité physique permet non seulement de garder une activité importante des rythmes circadiens mais aussi de conserver une certaine autonomie et indépendance de déplacement.

## Remerciements

Au professeur Pottier du laboratoire de physiologie du CHU de Caen et au personnel de l'IRMS. Nos remerciements vont aussi aux sujets qui ont bien voulu participer à cette expérience, ainsi qu'à la Fédération française du gymnastique volontaire et à C. Jolivet, animatrice G.V. Les travaux ont été financés par un contrat avec le Ministère de la Jeunesse et des Sports.

## Références

- [1] Atkinson G, Coldwells A, Reilly T, Waterhouse J. A comparison of circadian rhythms in work performance between physically active and inactive subjects. *Ergonomics* 1993;3(1–3):273–81.
- [2] Atkinson G, Coldwells A, Reilly T, Waterhouse J. Effects of age on circadian rhythms in physical performance and mood states. *J Interdisciplin Cycle Res* 1992;23:186–8.
- [3] Atkinson G, Reilly T. Circadian variation in sports performance. *Sports Med* 1996;2(4):292–312.
- [4] Atkinson G, Reilly T. Effects of age on the circadian characteristics of physically active subjects. *Facts and Research in Gerontology Journal* 1995:149–59.
- [5] Atkinson G, Witte K, Nold G, Sasse U, Lemmer B. Effects of age on circadian blood pressure and heart rate rhythms in patients with primary hypertension. *Chronobiol Int* 1994;1(1):35–44.
- [6] Benoit O. Vieillesse et troubles du sommeil. *Concours Med* 1988;110:2923–7.
- [7] Chandler WL, Schwartz RS, Stratton JR, Vitiello MV. Effects of endurance training on the circadian rhythm of fibrinolysis in men and women. *Med Sci Sports Exerc* 1996;2(6):647–55.
- [8] Chaouloff F. Physical exercise and brain monoamines. A review *Acta Physiol Scand* 1989;13(1):1–13.
- [9] Cugini P, Salandri A, Petrangeli CM, Capodaglio PF, Giovannini C. Circadian rhythms in human body composition. *Chronobiol Int* 1996;1(5):359–71.
- [10] De Prins J, Waldura J. Sightseeing around the single cosinor. *Chronobiol Int* 1993;1(5):395–400.
- [11] De Prins J. Le problème Cosinor. *Path Biol* 1996;44(3):201–4.
- [12] Denis C, Chatard JC. Adaptabilité du sujet âgé à l'entraînement à l'exercice d'endurance. *Sci Sports* 1994;9:209–13.
- [13] Dijk DJ, Duffy JF, Czeisler CA. Contribution of circadian physiology and sleep homeostasis to age-related changes in human sleep. *Chronobiol Int* 2000;1(3):285–311.
- [14] Dustman R, Ruhling R, Russell M, Shearer D, Bonekat H, Shigeoka J. Age and fitness effects on EEG, ERPs, visual sensitivity and cognition. *Neurobiol Aging* 1990;11:193–200.
- [15] Flamer HE. Sleep disorders in the elderly. *Aust N Z J Med* 1996;26(1):96–104.
- [16] Garma L. Physiological aspects of sleep: sleeping and sleep disorders. *Soins* 1985;464:3–8.
- [17] Goldenberg F. Le sommeil du sujet âgé normal. *Neurophysiol Clin* 1991;2(4):267–79.
- [18] Hagberg JM, Graves JE, Limacher M, Woods DR, Leggett SH, Cononie C, Gruber JJ, Pollock ML. Cardiovascular responses of 70 to 79 years old men and women to exercise training. *J Appl Physiol* 1989;6(6):2589–94.
- [19] Härmä MJ, Ilmarinen J, Yletyinen I. Circadian variation of physical functions in physically average and very fit dayworkers. *J Hum Ergol* 1982;1(1):33–46.
- [20] Heath GW. Physical fitness and aging: effects of deconditioning. *Sci Sports* 1994;9:197–200.
- [21] Horne J, Staff L. Exercise and sleep: Body-Heating Effects. *Sleep* 1983;1:36–46.
- [22] Horne J. Human slow wave sleep: a review and appraisal of recent findings, with implications for sleep functions, and psychiatric illness. *Experientia* 1992;4(10):941–54.
- [23] Horne J. The effects of exercise upon sleep: a critical review. *Biol Psychol* 1981;1(4):241–90.
- [24] Horne JA, Östberg O. A self assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *Int J Chronobiol* 1976(4):97–110.
- [25] Mason DJ. Circadian rhythms of body temperature and activation and the well-being of older women. *Nurs Res* 1988;3(5):276–81.
- [26] Middelkoop H, Van Hilten B, Kramer C, Kamphuisen H. Actigraphically recorded motor activity and immobility across sleep cycles and stages in healthy male subjects. *J Sleep Res* 1993;1:28–33.
- [27] Minors DS, Folkard S, Waterhouse JM. The shape of the endogenous circadian rhythm of rectal temperature in humans. *Chronobiol Int* 1996;1(4):261–71.
- [28] Monk TH, Buysse DJ, Reynolds CF, Kupfer DJ, Houck PR. Circadian temperature rhythms of older people. *Exp Gerontol* 1995;3(5):455–74.
- [29] Myers B, Murphy P, Badia P. Role of the melatonin in thermoregulation and sleep. *Sleep Res* 1992;2(2):21–31.
- [30] Nelson W, Tong YL, Lee JK, Halberg F. Methods for cosinor rhythmometry. *Chronobiologia* 1979;4:305–23.
- [31] Paterson DH, Cunningham DA, Koval JJ, St Croix CM. Aerobic fitness in a population of independently living men and women aged 55–86 years. *Med Sci Sports Exerc* 1999;3(12):1813–20.
- [32] Posner JD, Gorman KM, Windsor-Landsberg L, Larsen J, Bleiman M, Shaw C, Rosenberg B, Knebel J. Low to moderate intensity endurance training in healthy older adults : physiological responses after four months. *J Am Geriatr Soc* 1992;4(1):1–7.
- [33] Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J. *Biological rhythms and exercise*. New York: Oxford University Press Inc; 1997.
- [34] Shephard RJ. Sleep, biorhythms and human performance. *Sports Med* 1984;1:11–37.
- [35] Stein PK, Ehsani AA, Domitrovich PP, Kleiger RE, Rottman JN. Effect of exercise training on heart rate variability in healthy older adults. *Am Heart J* 1999;13(3Pt 1):567–76.
- [36] Steinhaus LA, Dustman RE, Ruhling RO, Emmerson RY, Johnson SC, Shearer DE, Latin RW, Shigeoka JW, Bonekat WH. Aerobic capacity of older adults: a training study. *J Sports Med Phys Fitness* 1990;3(2):163–72.
- [37] Swaab D. Brain aging and Alzheimer's disease, "wear and tear" versus "use it or lose it". *Neurobiol Aging* 1991;1(4):317–24.
- [38] Touchon J. L'insomnie du sujet âgé, in le sommeil normal et pathologique. Paris: Masson; 1994.

- [39] Van Someren E, Scherder E, Swaab D. Stimulation of the circadian timing system in healthy and demented elderly. In: Iqbal DFsK, Winblad B, Winiewski H, editors. Alzheimer's disease and related disorders. John Wiley & Sons Ltd; 1999.
- [40] Van Someren EJ, Lijzenga C, Mirmiran M, Swaab D. Effect of physical activity on the circadian system in the elderly. In: Singht BNMaR, editor. Nex Dheli, India: Environment and physiology; 1994.
- [41] Vitiello MV, Schwartz RS, Davis MW. Sleep disorders and aging: understanding the causes. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1997;5(4):M189–91.
- [42] Waterhouse JM, Minors D, Folkard S. Estimating the endogenous component of the circadian rhythm of rectal temperature in humans undergoing normal sleep/activity schedules. *J Interdisciplin Cycle Res* 1993;24:32–47.
- [43] Weinert D, Waterhouse J. Daily activity and body temperature rhythms do not change simultaneously with age in laboratory mice. *Physiol Behav* 1999;6(4):605–12.
- [44] Weitzman ED, Moline ML, Czeisler CA, Zimmerman JC. Chronobiology of aging : temperature, sleep-wake rhythms and entrainment. *Neurobiol aging* 1982;4(299-309).
- [45] Werchoschanski JW. L'entraînement efficace. Paris: ed. PUF; 1982 184 pages.