



**HAL**  
open science

# Gestion de la privation de sommeil en ultra-trail : Étude transversale des habitudes, stratégies et répercussions chez les coureurs du Grand Raid de La Réunion 2018

Anthony Kishi

## ► To cite this version:

Anthony Kishi. Gestion de la privation de sommeil en ultra-trail : Étude transversale des habitudes, stratégies et répercussions chez les coureurs du Grand Raid de La Réunion 2018. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-02922397

**HAL Id: dumas-02922397**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02922397>**

Submitted on 26 Aug 2020

**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.

**UNIVERSITE DE LA REUNION**

**U.F.R SANTE**

Année: 2020

N° : 2020LARE025M

**THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE**

**Discipline : Médecine générale**

**Gestion de la privation de sommeil en ultra-trail : Étude transversale des  
habitudes, stratégies et répercussions chez les coureurs du Grand Raid de  
La Réunion 2018**

Présentée et soutenue publiquement le *17 Juin 2020* à Saint Pierre (La Réunion)

**Par Anthony KISHI né le 03 Septembre 1989 à Aix Les Bains**

***JURY :***

**Présidente de jury**

*Madame la Professeure NOBECOURT Estelle*

**Assesseurs**

*Monsieur le Docteur MICOULAUD-FRANCHI Jean-Arthur (Rapporteur de thèse)*

*Monsieur le Professeur GUIHARD Bertrand*

*Monsieur le Docteur BLANC Patrick*

**Directeur de Thèse**

*Monsieur le Docteur LEMARCHAND Bruno*

## Table des figures et des tableaux

### Figures :

Figure 1 Parcours des épreuves du Grand Raid de La Réunion 2018 (17)	13
Figure 2 Profils de la Diagonale des fous et du Trail de Bourbon 2018 (17)	14
Figure 3 Acrophases de quelques fonctions biologiques et psychophysiologique (27)	16
Figure 4 Cycles de sommeil(30)	19
Figure 5 Régulation du cycle veille-sommeil-rêve(34)	22
Figure 6 Évolution moyenne au cours de la journée de la température orale et du niveau subjectif de la vigilance estimée à l'aide de l'échelle de Thayer(GA/DS)(51)	26
Figure 7 Concurrents de la diagonale des fous par catégories d'âges	45
Figure 8 Concurrents du Trail de Bourbon par catégories d'âges	46
Figure 9 Horaires de lever réels et idéaux de la population d'ultra-traileurs finisseurs	50
Figure 10 Horaires de couchers réels et idéaux de la population d'ultra-traileurs finisseurs	51
Figure 11 Troubles du sommeil et de l'humeur déclarés par les concurrents	52
Figure 12 Recours utilisés par les sujets finisseurs pour le traitement des troubles du sommeil et de l'humeur	53
Figure 13 Élaboration d'une stratégie de sommeil en fonction de la période considérée pour les sujets finisseurs	54
Figure 14 Sources utilisées pour l'élaboration des stratégies de sommeil chez les finisseurs	55
Figure 15 Motifs de privation de sommeil durant la semaine avant le départ de l'épreuve parmi les sujets finisseurs ayant déclaré une privation (n=535)	57
Figure 16 Évolution de la durée moyenne de sommeil journalier des sujets finisseurs avant le départ de la Diagonale des fous, le Trail de Bourbon et toutes courses	58
Figure 17 Évolution des durées de sommeil journalières des finisseurs la semaine avant le départ du Trail de Bourbon en regard de la durée de sommeil habituelle*	59
Figure 18 Évolution des durées de sommeils journalières des finisseurs la semaine avant le départ de la Diagonale des fous en regard de la durée de sommeil habituelle*	60
Figure 19 Qualité de la dernière nuit avant le départ chez les sujets finisseurs	61
Figure 20 Alternatives utilisées pour l'aide au sommeil avant la course parmi le total des sujets	62
Figure 21 États de formes déclarées des finisseurs avant le départ sur chacune des épreuves	63
Figure 22 Types de planifications du sommeil prévus avant le départ chez les sujets finisseurs	64
Figure 23 Siestes effectuées par les concurrents finisseurs durant les épreuves par intervalles de durées	65
Figure 24 Moyennes du nombre de siestes par tranche horaire d'arrivée d'une heure sur la Diagonale des fous et le Trail de Bourbon des sujets finisseurs	66
Figure 25 Durée moyenne de sommeil cumulée pendant le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous en fonction des temps d'arrivées chez les sujets finisseurs	67
Figure 26 Coureurs finisseurs effectuant au moins une sieste sur le parcours du Trail de Bourbon et de la Diagonale des fous en fonction des temps d'arrivées aux épreuves	68
Figure 27 Concurrents par tranches d'âges des finisseurs ayant effectué au moins une sieste durant l'épreuve	69

Figure 28 Lieux des siestes en fonction du numéro de sieste toutes courses confondues chez les finisseurs	70
Figure 29 Lieux des siestes sur le Trail de Bourbon chez les finisseurs	70
Figure 30 Lieux des siestes des sujets finisseurs sur la Diagonale des fous	71
Figure 31 Pourcentage du total des siestes effectuées pour chaque tranche horaire pour le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous chez les coureurs finisseurs	72
Figure 32 Effectifs des troubles déclarés attribués au manque de sommeil pendant l'épreuve chez les sujets finisseurs	73
Figure 33 Répartition des sujets finisseurs ayant présenté au moins un trouble attribué au manque de sommeil par tranches horaires d'arrivée	74
Figure 34 Concurrents finisseurs par tranches d'âges ayant présenté au moins un trouble attribué au manque de sommeil	76
Figure 35 Durées de sommeil après l'épreuve chez les finisseurs	77
Figure 36 Délais de récupération d'un état d'éveil sans somnolence après l'épreuve chez les finisseurs	78
Figure 37 Danger supposé du fait de la privation de sommeil, persistant après l'épreuve chez les finisseurs	79
Figure 38 Types de risques considérés comme présents après l'arrivée (chez les finisseurs) en fonction du type d'épreuve concourue.	80
Figure 39 Types de recours utilisés pour la resynchronisation du sommeil après l'épreuve chez les finisseurs	81
Figure 40 Importance du sommeil par rapport aux autres paramètres de gestion d'une épreuve d'ultra-trail chez les finisseurs	82
Figure 41 Durées de sommeil journalière des non-finisateurs, la semaine avant l'épreuve	86
Figure 42 Durée cumulée de sieste sur le parcours en fonction du profil de dormeur toutes courses	88
Figure 43 Nombre moyen de siestes en fonction du nombre d'ultra-trails déjà effectués	89
Figure 44 Durée moyenne de sommeil pendant l'épreuve par genres	90
Figure 45 Durée moyenne de sommeil sur l'épreuve en fonction de la survenue ou non de symptômes liés à la privation de sommeil	91
Figure 46 Durée moyenne de sommeil pendant l'épreuve en fonction du risque considéré d'accident de santé en post-course	92
Figure 47 : Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de l'élaboration ou non d'une stratégie de sommeil sur le Trail de Bourbon	92
Figure 48 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de l'élaboration ou non d'une stratégie de sommeil sur la Diagonale des fous	93
Figure 49 : Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la privation de sommeil ou non la semaine avant le départ du Trail de Bourbon	94
Figure 50 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la privation de sommeil ou non la semaine avant le départ de la Diagonale des fous	94
Figure 51 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la pratique d'entraînement en privation de sommeil chez les coureurs du Trail de Bourbon	95
Figure 52 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la pratique d'entraînement en privation de sommeil chez les coureurs de la Diagonale des fous	96
Figure 53 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil durant l'épreuve en fonction du type de dormeur (« grands dormeurs » et « petits dormeurs ») sur le total des deux épreuves	96

## Tableaux :

<i>Tableau 1 Concurrents de la Diagonale des fous *</i>	44
<i>Tableau 2 Concurrents du Trail de Bourbon*</i>	44
<i>Tableau 3 Concurrents de la Diagonale des fous participant à l'étude</i>	45
<i>Tableau 4 Concurrents du Trail de Bourbon participant à l'étude</i>	46
<i>Tableau 5 Moyennes d'âges des participants aux épreuves*</i>	47
<i>Tableau 6 Moyennes des temps d'arrivées des sujets finisseurs participants à l'étude*</i>	47
<i>Tableau 7 Expérience sportive et niveaux d'entraînements des sujets finisseurs</i>	48
<i>Tableau 8 Avis des finisseurs concernant l'utilité de l'expérience pour la gestion du sommeil en ultra-trail*</i>	48
<i>Tableau 9 Durée moyenne de sommeil journalière habituelle des sujets finisseurs*</i>	49
<i>Tableau 10 Pratique d'une activité professionnelle de nuit des concurrents finisseurs*</i>	51
<i>Tableau 11 Typologie circadienne déclarée des concurrents finisseurs*</i>	52
<i>Tableau 12 Préparation spécifique à l'épreuve des finisseurs: privation de sommeil en entraînement et stratégies de sommeil*</i>	54
<i>Tableau 13 Respect des stratégies par période considérée pour les concurrents finisseurs*</i>	55
<i>Tableau 14 Rythmes et stratégies de sommeil adoptés avant l'épreuve des sujets finisseurs</i>	56
<i>Tableau 15 Difficulté de sommeil la dernière nuit avant le départ chez les finisseurs*</i>	61
<i>Tableau 16 Utilité déclarés des siestes pendant l'épreuve pour se sentir plus vigilant chez les finisseurs*</i>	71
<i>Tableau 17 Survenue de troubles attribués à la privation de sommeil en fonction du nombre de nuits passées sur le parcours chez les sujets finisseurs</i>	75
<i>Tableau 18 Mise en danger estimée du fait du manque de sommeil pour les sujets finisseurs*</i>	75
<i>Tableau 19 Recours à des alternatives pour la resynchronisation du sommeil après l'épreuve chez les finisseurs*</i>	81
<i>Tableau 20 Répartition des sujets non-finisateurs et leurs caractéristiques</i>	83
<i>Tableau 21 Caractéristiques du sommeil habituel des sujets non-finisateurs</i>	84
<i>Tableau 22 Sommeil la semaine avant la course des sujets non-finisateurs et éventuelles stratégies élaborées</i>	85
<i>Tableau 23 Troubles liés à la privation de sommeil et siestes éventuelles effectuées sur le parcours</i>	86
<i>Tableau 24 Caractéristiques de la période de récupération et éventuels dangers persistants</i>	87
<i>Tableau 25 Survenue d'évènements et troubles préjudiciables* liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve en fonction de la stratégie adoptée</i>	97

## Liste des abréviations

**CHU** : Centre hospitalier universitaire  
**EEG** : Électro-encéphalogramme  
**FFA** : Fédération française d'athlétisme  
**GPS** : Global Positioning System  
**IRM**: Imagerie par résonance magnétique  
**ITRA** : Association International trail-running association  
**LED** : Light Emitting Diode  
**MEQ**: Morningness-Eveningness questionnaire  
**NK**: Natural Killer (Lymphocytes)  
**REM** : Rapid Eyes Movements  
**RPE** : Rating of perception exertion  
**SAOS**: Syndrome d'apnée obstructive du sommeil  
**TDM** : Tomodensitométrie  
**TEP** : Tomographie par émission de positons  
**TILE** : Tests itératifs de latence d'endormissement  
**TST** : Temps de sommeil total  
**UTMB** : Ultra-trail du Mont Blanc

## Sommaire :

1	Introduction.....	9
1.1	L'ultra-trail.....	11
1.1.1	Définition .....	11
1.1.2	État des lieux des pratiques .....	12
1.1.3	Le « Grand Raid » de La Réunion.....	12
1.2	Le sommeil .....	14
1.2.1	Définition et description .....	14
1.2.2	Régulation circadienne et homéostatique du sommeil et de la veille... 16	
1.2.3	Le processus d'endormissement.....	21
1.2.4	L'inertie de sommeil .....	23
1.2.5	La sieste et ses effets hors contexte de privation de sommeil .....	24
1.2.6	La privation de sommeil .....	24
1.3	Sommeil en France et problématique en médecine générale .....	27
1.3.1	Épidémiologie du sommeil .....	27
1.3.2	Le sommeil en consultation de médecine générale .....	28
1.3.3	La prise en charge de l'ultra-traileur en médecine générale .....	30
1.3.4	Moyens d'étude du sommeil.....	31
1.4	Lien entre sommeil et activité physique et psychique .....	32
1.4.1	Influence de l'activité physique sur le sommeil et la récupération.....	32
1.4.2	Influence du sommeil sur les performances physiques et intellectuelles 33	
1.4.3	Chronobiologie en sport .....	35
1.4.4	Sport et privation de sommeil.....	35
2	Matériel et méthode.....	38
2.1	Type d'étude .....	38
2.2	Conception de l'étude.....	38
2.3	Contexte réglementaire : .....	38
2.4	Contexte .....	39
2.5	Population.....	39
2.6	Analyse statistique.....	39
2.6.1	Statistiques descriptives.....	40
2.6.2	Analyse comparative bivariée .....	40
2.7	Variables.....	41
2.8	Sources de données.....	41

2.9	Biais.....	42
2.9.1	Biais de désirabilité sociale : .....	42
2.9.2	Biais de mémorisation.....	42
2.9.3	Biais de volontariat.....	42
2.9.4	Biais de perdu de vue.....	42
2.10	Taille de l'étude .....	42
3	Résultats .....	43
3.1	Population.....	43
3.2	Diagramme des flux.....	43
3.3	Caractéristique de la population .....	44
3.3.1	Caractéristique de la population éligible.....	44
3.3.2	Caractéristique de la population ayant participé à l'étude.....	45
3.4	Répartition des temps d'arrivée (finisseurs) .....	47
3.5	Profils de coureurs (finisseurs).....	48
3.5.1	Expérience sportive et niveaux d'entraînements.....	48
3.5.2	Chronotypes .....	49
3.6	Stratégies de sommeil avant course (finisseurs).....	53
3.7	Description du sommeil avant l'épreuve (finisseurs) .....	56
3.8	Description du sommeil pendant l'épreuve et répercussions (finisseurs)....	64
3.8.1	Stratégies de sommeil et planifications .....	64
3.8.2	Détail du sommeil des concurrents pendant les épreuves.....	65
3.8.3	Détail des troubles de vigilance survenus et accidentologie .....	73
3.9	Description du sommeil après la course (finisseurs).....	77
3.9.1	Évènements indésirables en lien avec le sommeil en post-épreuve....	79
3.10	Description des sujets non-finisseurs (abandons).....	83
3.11	Résultats analytiques (Sujets finisseurs).....	88
3.11.1	Durée moyenne de sommeil pendant l'épreuve en fonction du profil de dormeur	88
3.11.2	Nombre moyen de siestes effectuées sur l'épreuve en fonction du nombre d'ultra-trails (expérience) déjà effectués. ....	89
3.11.3	Durée moyenne de sommeil durant l'épreuve en fonction du genre homme/femme .....	90
3.11.4	Durée moyenne de sommeil durant l'épreuve en fonction de la survenue ou non de désagréments liés à la privation de sommeil.....	90
3.11.5	Durée moyenne de sommeil durant l'épreuve en fonction d'une augmentation ou non du risque considéré d'accident en post-épreuve .....	91
3.11.6	Survenue ou non de désagréments liés au sommeil pendant l'épreuve en fonction de l'élaboration ou non d'une stratégie de sommeil avant le départ.	92

3.11.7	Survenue de troubles liés à la dette de sommeil pendant l'épreuve en fonction d'une privation involontaire de sommeil, survenue ou non la semaine avant le départ.....	93
3.11.8	Survenue de désagréments liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve en fonction de la pratique des entraînements volontaires en privation de sommeil .....	95
3.11.9	Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve en fonction de la durée moyenne de sommeil habituelle ou du profil de dormeur (>/< 7h30) .....	96
3.11.10	Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve en fonction du type de stratégie adoptée.....	97
4	Discussion .....	98
4.1	Résultats clés .....	98
4.2	Points forts et limites .....	100
4.3	Biais : sens et importances.....	102
4.4	Interprétation .....	104
4.5	Extrapolabilité et propositions d'actions .....	109
5	Conclusion.....	113
6	Références bibliographiques.....	115
7	Annexes .....	125
7.1	Questionnaire (Version francophone) communiqué aux participants de la Diagonale des fous et Trail de Bourbon 2018. ....	125
7.2	Mail d'information et d'invitation à participation à l'étude. ....	137
7.3	Fiche de conseils médicaux aux concurrents du Grand Raid .....	139

# 1 Introduction

---

Parmi les disciplines sportives de longues durées d'effort, une des plus populaires aujourd'hui est l'ultra-trail. Autrefois réservée à une catégorie de coureurs experts, elle s'est, depuis les années 2000, très démocratisée (1,2). Cette discipline exigeante, demande une préparation physique sérieuse et adaptée. Les risques pour la santé de ces sportifs sont présents et certains peuvent être prévenus par la gestion de plusieurs paramètres (2,3). Les facteurs de réussite les plus connus et étudiés, outre l'entraînement, sont l'alimentation, l'hydratation ou l'équipement adapté. Le sommeil est un critère peu étudié en ultra-trail. Il n'est pas mis au premier plan, mais joue pourtant un rôle considérable. Un certain nombre de coureurs dépassent les 40, 50 voire 60 heures de course. La survenue de troubles de la vigilance représente une cause non négligeable de chutes et de traumatismes. Les terrains escarpés, parfois instables et la fatigue due à l'effort prolongé majore ce risque (4). La privation de sommeil est à elle seule une épreuve imposée à l'organisme. Le retentissement en matière de risque pour la santé est immédiat mais également visible plusieurs jours après l'épreuve. Les premières études relatives à la privation de sommeil chez le sportif ont été menées chez les skippers lors des courses au large en solitaire. Ces explorations ont permis de décrire plusieurs situations de sommeil polyphasique et des conséquences en accidentologie (5,6). En ultra-trail, les deux études s'intéressant à la préparation avant course rapportent des stratégies de sommeil adoptées dans 88% (étude analytique observationnelle) et 73,9% (étude descriptive) des cas (7,8). L'extension du temps de sommeil avant course était la stratégie principale (8). Le sommeil à prévoir pendant l'épreuve semblait être un paramètre beaucoup moins prédominant en matière de stratégie de préparation. Dans une étude récente, 21 % des coureurs interrogés rapportaient avoir élaboré une stratégie concernant le sommeil durant leur course (8). Les troubles de la vigilance accompagnés parfois d'hallucinations sont pourtant fréquents sur ce type d'épreuve. Sur l'édition 2015 de l'ultra-trail du Mont Blanc (170km, 9600m de dénivelé positif), 56,3% des coureurs déclaraient avoir vécu une hallucination dont 78% évoquaient avoir été somnolents lors des troubles (9). Le sommeil et les conséquences de cette période de privation n'ont jamais été explorés sur la période post-épreuve. En plus d'impacter la

performance sportive (7,10,11), l'altération de la vigilance liée à la privation de sommeil est probablement l'une des causes majeures conduisant à certaines chutes et traumatismes sur ce type de course (12). Au même titre que l'entraînement, l'hydratation et la diététique adaptée, le sommeil prend sa place en tant que facteur préventif des accidents en ultra-trail. Aujourd'hui ces sportifs sont principalement (et souvent uniquement) suivis par leur médecin généraliste. Ce seul contact médical obligatoire permet la rédaction du certificat médical de non contre-indication à la course. Il est l'occasion de délivrer les messages de prévention et les conseils médicaux. Face au manque de connaissances sur la gestion du sommeil sur ce type d'épreuve, les messages de prévention peuvent demeurer incomplets, inadaptés à des sportifs en quête de performance, ou mal argumentés. Il n'existe pas de recommandations médicales consensuelles concernant le sommeil en période pré, per et post épreuve d'ultra-trail. Les recommandations en matière de sommeil journalier habituel pour un maintien en bonne santé d'un adulte sont d'un minimum de 7h00 (13). La population française actuelle présente déjà une durée moyenne de sommeil inférieure à celle recommandée (14). Les ultra-traileurs sont, de plus, exposés à des informations et conseils divers concernant le sommeil dont les teneurs et les sources sont parfois discutables voire contradictoires. La description du problème que constitue la privation de sommeil en ultra-trail en termes d'incidence et de sévérité est essentielle. Une étude épidémiologique descriptive est la première étape pour y parvenir avant d'effectuer des liens étiologiques en accidentologie. A la Réunion se déroulent chaque année plusieurs ultra-trails, parmi eux, le Grand Raid de la Réunion. Avec une distance de 165km, 9576m de dénivelé positif et une durée de course pouvant aller jusqu'à 66 heures, il constitue un exemple de choix pour cette exploration. La description des habitudes et des stratégies de sommeil chez les ultra-traileurs du Grand Raid 2018 permettra de connaître le détail des attitudes préventives adoptées (ou non) face aux conséquences de la privation de sommeil. L'objectif principal de cette étude est de décrire les stratégies de sommeil adoptées avant, pendant et après une épreuve d'ultra-trail. Les objectifs secondaires sont d'identifier des stratégies et habitudes de sommeil qui apparaissent les plus à même de réduire les accidents et les événements pouvant comporter des risques notables pour la santé au cours et décours de cette épreuve.

## 1.1

## L'ultra-trail

### 1.1.1 Définition

L'ultra-trail est une course pédestre organisée dans un environnement naturel (montagne, désert, forêt ou plaine) sur des parcours matérialisés (chemin et sentier). Il existe un classement avec chronométrage. La totalité des surfaces goudronnées ne doit pas dépasser un pourcentage maximum (15 ou 20% selon les définitions). La course doit s'effectuer en auto- ou semi-suffisance dans le respect des règles sportives (solidarité, éthique, loyauté et préservation de l'environnement). Des horaires limites de passage doivent être imposés avec une mise hors course des concurrents qui dépasseraient les barrières horaires. Le dénivelé nécessaire n'est pas codifié dans les définitions, mais il est souhaitable selon les possibilités et les régions qu'un dénivelé cumulé positif soit prévu sur le parcours. Concernant les distances attribuées à la catégorie « ultra » des trails, les définitions peuvent être variables selon les références. Pour les membres de l'association International trail-running association (ITRA), on parle d'ultra-trail « M » pour les courses de 42 à 69km (distance supérieure au Marathon), d'ultra-trail Long « L » pour les courses entre 70 et 99km et d'Ultra trail XLong « XL » pour les courses supérieures ou égales à 100km.

Depuis mars 2018, une nouvelle classification existe avec la notion de *kilomètre-effort* indiquée par l'ITRA. Cette classification additionne la distance en kilomètres et le centième du dénivelé positif en mètres. Ceci permet de prendre en compte le dénivelé et l'effort plus réellement fourni par les coureurs.

La fédération française d'athlétisme (FFA) quant à elle définit l'ultra-trail comme une course pédestre avec un classement (ou prise de temps), en milieux naturels sur un parcours matérialisé d'une distance supérieure à 80km. La surface goudronnée cumulée ne doit pas excéder 15% de la distance totale. Une organisation d'horaires limites de passage doit être effectuée avec une mise hors course des concurrents si les barrières horaires étaient dépassées. Il est signifié qu'il est souhaitable quand cela est possible, en fonction des régions, d'élaborer un parcours avec un dénivelé de 2000m positif (15).

Il est également appelé plus généralement « ultra-endurance », une épreuve dont la durée d'effort dépasse les six heures (16,17).

### 1.1.2 État des lieux des pratiques

L'ultra-trail est une discipline qui attire chaque année de plus en plus de pratiquants à l'échelle internationale. En France aujourd'hui, le nombre de coureurs en trail serait de l'ordre d'un million de personnes (18,19) avec un millier d'épreuves de trail organisées par an. Alors que ce type de course restait encore marginal au début des années 2000, depuis une douzaine d'années, ces épreuves recueillent une popularité exponentielle. A titre d'exemple un des ultra-trails comme l'Ultra-trail du Mont Blanc (UTMB) qui accueillait environ 700 participants en 2003 au moment de sa création, est passé à plus de 8000 partants au total sur les 4 courses de l'évènement quinze ans plus tard en 2018. A la Réunion, entre 2002 et 2005, 5 trails/ an de plus de 42 km apparaissaient sur les calendriers des courses hors stade. Entre 2010 et 2019 plus d'une douzaine de trails/an supérieurs à 42km étaient enregistrés dans les calendriers réunionnais (dont 3 supérieurs à 80km avec le Grand Raid de la Réunion 165km, le RAID 974 96km et la Grande Caldeira 84km)(20).

Ces ultra-trails, qui restaient initialement des courses réservées à une catégorie de coureurs expérimentés, ont rapidement laissé place à un grand engouement populaire. Il a été nécessaire de mettre en place un système de tirages au sort et de cumuls de points pour la validité des pré-inscriptions.

### 1.1.3 Le « Grand Raid » de La Réunion

Le « Grand Raid » est l'ultra-trail le plus emblématique de l'île de la Réunion. Il constitue l'une des épreuves les plus reconnues sur le circuit des ultra-trails mondiaux. La course traverse de part en part l'île de La Réunion avec aujourd'hui un départ donné à Saint Pierre au sud de l'île et une arrivée à Saint Denis au Stade de La Redoute. La course couvrait en 2018, une distance de 165km pour 9576m de dénivelé positif. Elle se terminait en un peu moins de 24h pour les premiers et jusqu'à 66h (durée limite) pour les derniers arrivants. Les altitudes variaient de 0 à plus de 2000m avec des températures variables de plus de 30°C à moins de 0°C parfois. Ceci nécessitait des adaptations importantes en matière de résistance physique et de matériel nécessaire. L'épreuve initiale née en 1989 sous le nom « La marche des cimes » prenait son départ au Barachois à Saint Denis pour se terminer au Tremblet à Saint Philippe. Elle fut rebaptisée « La grande traversée » entre 1990 et 1992, puis « Le Grand Raid » surnommé rapidement la « Diagonale des fous » jusqu'à ce jour. En 2018 fut

organisée la 26<sup>e</sup> édition. En 2000 fut créé le Semi-raid rebaptisé en 2010 le « Trail de Bourbon » (111km pour 6433m de dénivelé positif en 2018). Par la suite la « Mascareigne » a vu le jour en 2011 (65km pour 3505 m de dénivelé positif), et enfin la « Zembrocale » depuis 2017 permet une traversée en relais de 4 coureurs sur une distance de 186km pour 10800m de dénivelé positif. La course initiale, avec ses quelques 560 participants en 1989 rassemble aujourd’hui plus de 6000 coureurs répartis sur les 4 courses.

Depuis 2013 un système de points cumulés lors des courses des deux années précédentes permet de justifier de son expérience en trail et de valider sa pré-inscription à la « Diagonale des fous » ou au « Trail de Bourbon » avant des tirages au sort qui confirmeront la liste des participants retenus pour les différentes épreuves. Le Grand Raid, course initialement intimiste parmi les coureurs réunionnais, attire aujourd’hui des coureurs parmi les meilleurs internationaux de la discipline. Cet évènement fait à ce jour partie intégrante de la culture réunionnaise touchant chaque année de près ou de loin toute la population de l’île.



Figure 1 Parcours des épreuves du Grand Raid de La Réunion 2018 (21)

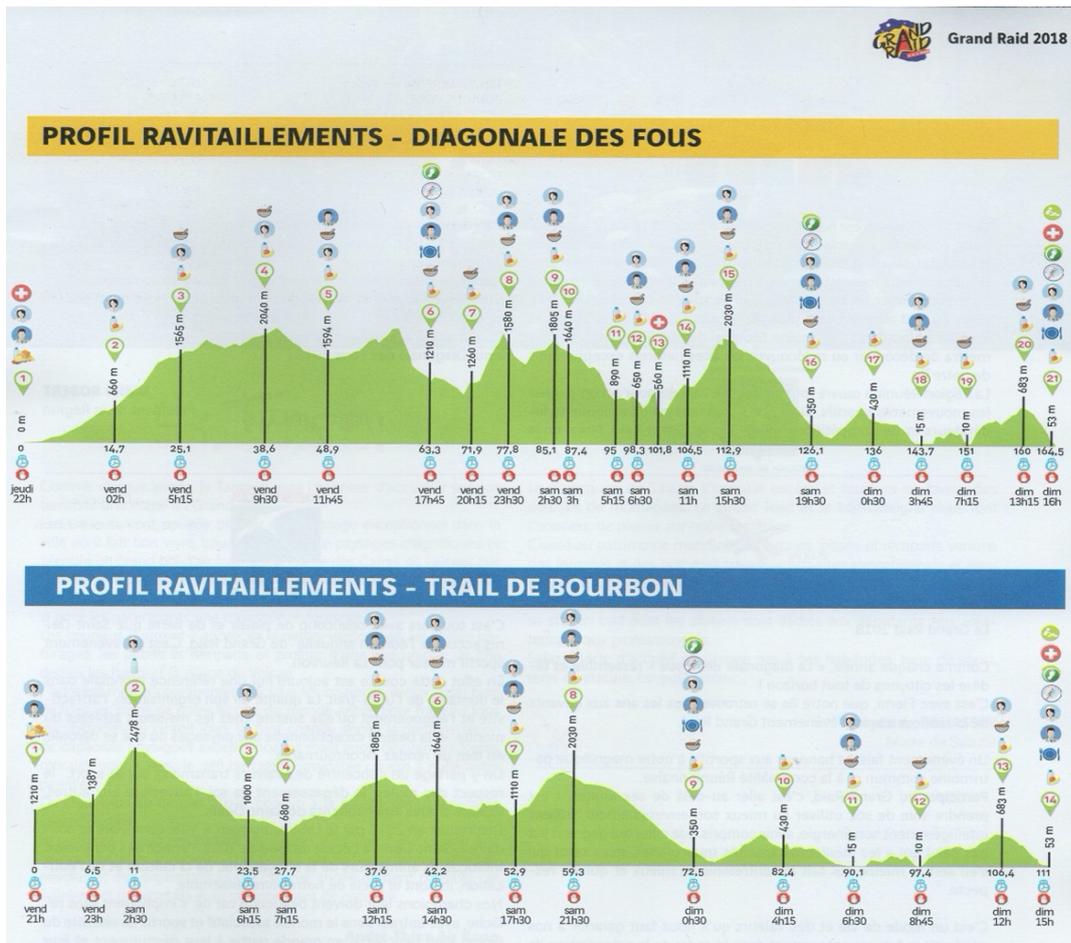


Figure 2 Profils de la Diagonale des fous et du Trail de Bourbon 2018 (21)

## 1.2 Le sommeil

### 1.2.1 Définition et description

Le sommeil se définit comme un état physiologique de baisse de l'état de conscience, séparant deux périodes de veille. Il y existe une diminution réversible et périodique de la perception du milieu extérieur et des rapports sensitivo-moteurs de l'organisme avec l'environnement (22). Il se caractérise par une perte de vigilance s'accompagnant d'une diminution du tonus musculaire, une persistance des fonctions végétatives et une conservation de la réactivité sous l'effet d'une stimulation sensitive ou motrice suffisante (23). Durant le sommeil, se mettent en place des processus physiologiques qui n'existent pas en état de veille. Ces processus contribuent à la régénération tissulaire, l'immunité, l'apprentissage ou la sécrétion de certaines hormones comme l'hormone de croissance.

Le sommeil n'est pas uniforme. Il est organisé en différents stades correspondant à des activités cérébrales différentes mises en évidence à l'électroencéphalogramme (EEG) pour chaque cycle.

Un cycle débute par un sommeil lent en deux principales étapes de profondeurs croissantes (sur critères EEG) suivies du sommeil paradoxal (« REM sleep »). Trois à cinq cycles se succèdent au cours d'une nuit. Les premiers cycles sont plus riches en sommeil lent et les derniers cycles plus riches en sommeil paradoxal. Un cycle de sommeil a une durée moyenne de 90 minutes (60 à 120 min) et une « bonne » nuit de sommeil est considérée comme une succession de 3 à 5 cycles de sommeil (24).

La plupart des études concernant le sommeil et son lien avec le maintien en bonne santé présentent une durée nécessaire de sommeil comprise entre 7h00 et 8h00 de sommeil par jour en moyenne. Une augmentation des risques de pathologies (hypertension, obésité, risques cardiovasculaires généraux, dépression) est significative pour des durées moyennes de sommeil inférieures à 7h00 mais également pour des durées supérieures à 8h00 (avec facteur de confusion possibles) (25–28).

Actuellement le temps de sommeil total (TST) moyen constaté dans la population est d'environ 6h55 (14). Il existe des chronotypes du matin (« couche tôt/lève tôt ») et du soir (« couche-tard/lève-tard »). Le questionnaire de Horne et Osberg est utile pour déterminer les typologies circadiennes des sujets (29).

Il existe une composante génétique qui différencie initialement les personnes qui se lèvent ou se couchent naturellement tôt ou tard. Ces sujets ont besoin de plus ou moins de sommeil pour leur permettre une récupération optimum. Les « petits dormeurs » présentent des phases de sommeil léger très courtes. Les durées de sommeil profond sont relativement constantes quel que soit le type de dormeur tandis que les durées de sommeil léger et paradoxal varieraient (23).

Le sommeil présente une évolution tout au long de la vie. Le sommeil lent est plus profond durant la phase de croissance (avec une hormone de croissance synthétisée durant le sommeil profond). Il est observé ensuite une diminution du sommeil lent avec l'avancée en âge au profit d'un sommeil plus léger. Ceci explique en partie l'augmentation des troubles de sommeil avec l'âge.

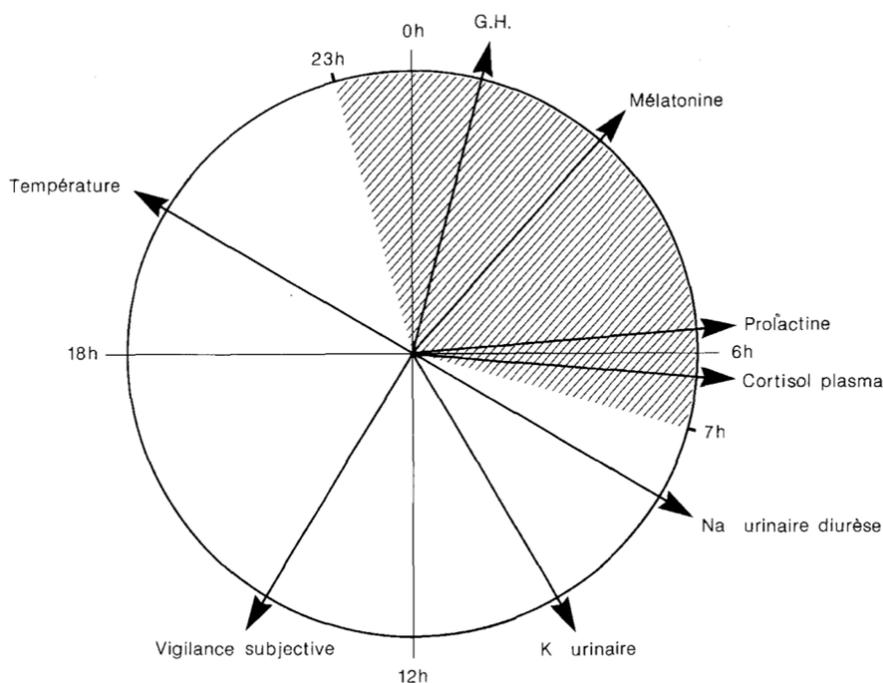
De même, le sommeil paradoxal est plus majoritaire chez l'enfant et sa durée décroît à l'âge adulte. La quantité et la qualité de sommeil nécessaire varient d'une personne à l'autre (23).

L'hygiène de vie (consommation d'alcool, café, thé et autres substances stimulantes), l'environnement (lumière, température, bruit et autres stimulations) et les rythmes de vie jouent des rôles importants dans la capacité à obtenir un sommeil de qualité et une bonne récupération (30).

En France, une personne sur trois est concernée par un trouble du sommeil. On considère à ce jour que les Français dorment en moyenne 1h30 de moins qu'il y a 50 ans. De plus, 45 % des 25-45 ans considèrent qu'ils dorment moins que ce dont ils auraient besoin (14).

### 1.2.2 Régulation circadienne et homéostatique du sommeil et de la veille

La majorité des fonctions de l'organisme sont soumises aux rythmes circadiens. La synchronisation de l'horloge se fait essentiellement grâce à la lumière. Le système veille/sommeil est régulé par le rythme circadien. De nombreuses autres fonctions telles que la pression artérielle, la température corporelle, la fréquence cardiaque, la production d'hormones, les capacités cognitives, l'humeur ou la mémoire sont régulées de la même manière (Figure 3).



Les parties hachurées indiquent l'horaire moyen du sommeil dans une population adulte.

Figure 3 Acrophases de quelques fonctions biologiques et psychophysiques (31)

Chaque cycle a une durée approximative de 24h. Cette horloge est endogène et possède son rythme propre, bien que modulée par les stimulations environnementales qui permettent par exemple d'avancer ou reculer certaines phases. Même en dehors de toutes stimulations lumineuses et sans repère de temps pendant plusieurs jours, l'horloge interne adopte spontanément un cycle dont la durée oscille entre 23h30 et 24h30 (32). Il existe une tendance malgré tout à l'allongement plus proche des 25h au fur et à mesure des jours dans de telles conditions. Ceci crée ainsi un léger décalage chaque jour. L'horloge interne est donc chaque jour resynchronisée au minimum sur un cycle de 24h par des stimuli externes (lumière, activité physique et température notamment).

Le sommeil est un état régulé par des mécanismes permettant d'obtenir une homéostasie compatible avec le fonctionnement de l'organisme. La régulation homéostatique du sommeil se caractérise par la propension à s'endormir avec une pression de sommeil qui augmente en fonction de plusieurs facteurs combinés (31):

- Le temps passé éveillé (processus homéostatique par privation de sommeil cumulé).
- La variation de la température corporelle nycthémérale (la baisse de température corporelle favorisant l'endormissement, et l'augmentation, le réveil ; le processus est circadien).
- Les variations ultradiennes des cycles de sommeil (le début de cycle favorisant l'endormissement et la fin de cycle l'éveil).

La combinaison des processus circadiens et homéostatiques concourent à réduire la vigilance et favoriser l'endormissement lors des phases maximales de pression de sommeil. L'inverse se produit avec un maintien de l'éveil facilité aux périodes de pressions de sommeil les plus faibles selon le modèle de Borbely (33).

Les processus circadiens peuvent être modulés par plusieurs facteurs externes (la lumière, les stimulations sonores, l'activité physique, les contacts sociaux, la position debout, les repas).

Cette pression diminue à la suite d'un épisode de sommeil. La profondeur du sommeil est caractérisée par la quantité d'ondes Delta (critère EEG) et est régulée de manière homéostatique (24).

Plusieurs stades de sommeil se succèdent. Le sujet passe du sommeil lent léger au sommeil lent profond avant une phase de sommeil paradoxal signant la fin d'un cycle. Un bref réveil, la plupart du temps sans souvenir, ponctue l'interphase entre 2 cycles. Ces brefs éveils peuvent être de plus en plus perceptibles avec l'âge.

Au cours du sommeil lent, on observe plusieurs stades (Figure 4):

- Une phase de transition 1 de quelques minutes séparant la veille et le sommeil.
- Une phase de sommeil léger 2.
- Une phase de sommeil progressivement plus profond (3 et 4) de plusieurs dizaines de minutes avec des ondes de grandes amplitudes et de faibles fréquences.

En imagerie fonctionnelle, on peut alors observer une réduction de la consommation en oxygène avec un ralentissement du métabolisme cérébral. En parallèle le tonus musculaire est réduit mais reste partiellement présent (23).

En stade 1, il existe des fréquences EEG mixtes de faible voltage associées à des ondes alpha lentes et des ondes Thêta (fréquence 4 à 7 cycles/seconde).

En stade 2, l'EEG poursuit son ralentissement. Les ondes alpha disparaissent, l'activité EEG Thêta est prédominante et il apparaît des grapho-éléments spécifiques (fuseaux de sommeil « spindles » et des complexes Kappa).

Les stades 3 et 4 définissent le sommeil à « ondes lentes » avec des ondes Delta de grandes amplitudes, de fréquences 0,5 à 4,5 cycles/seconde, d'activité synchronisée lente (34).

Au cours du sommeil paradoxal, il existe une activité EEG désynchronisée rapide, de petite amplitude, proche de celle d'éveil (Période « Rapid Eyes Movement » REM). Des mouvements oculaires rapides sont présents. Le tonus musculaire est totalement aboli sauf certains mouvements des extrémités qui peuvent persister et à l'exception du diaphragme et des muscles oculaires. Ce stade de sommeil est appelé paradoxal. Il existe un contraste entre des signes de sommeil profond avec des seuils élevés de réveil (stimulation importante pour obtenir le réveil de l'individu) ainsi qu'une atonie musculaire, et des signes proches de l'éveil (mouvements oculaires rapides, activité EEG rapide, respiration irrégulière et pression artérielle qui subit de fréquentes fluctuations). C'est durant cette période que se produisent les rêves (possibles également à moindre mesure pendant le sommeil lent léger).

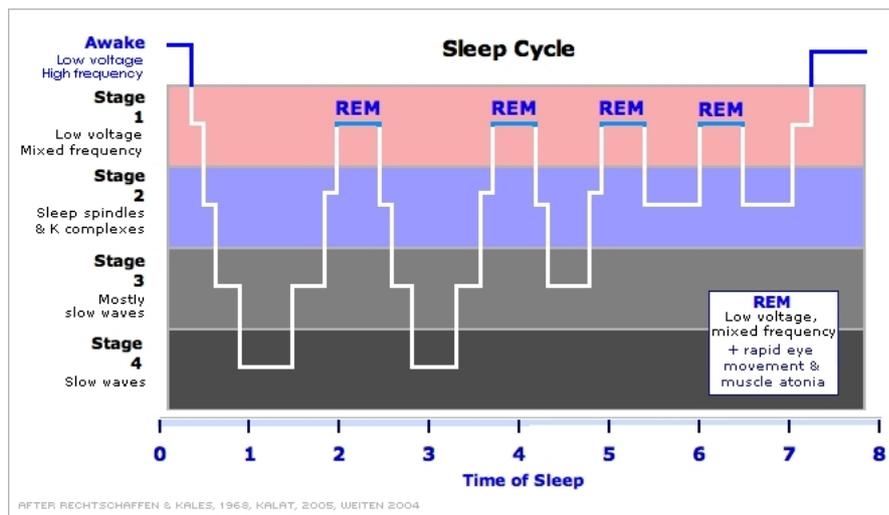


Figure 4 Cycles de sommeil (35)

On appelle régulation circadienne le phénomène d’alternance entre l’état de veille et de sommeil. Elle est sous le contrôle de l’horloge interne située dans les noyaux supra-chiasmatiques du système nerveux central situés à la base de l’hypothalamus. Il existe 2 noyaux supra-chiasmatiques contenant environ 10 000 neurones chacun. Ils présentent une activité électrique oscillante sur 24h.

Cette régulation s’effectue en utilisant les fibres qui empruntent les faisceaux rétino-hypothalamiques qui ont une projection sur les noyaux supra-chiasmatiques de l’hypothalamus antérieur. L’activation de ces noyaux déclenche des séries de signaux qui aboutissent in fine à une stimulation de l’épiphyse. A son tour l’épiphyse synthétisera la mélatonine libérée dans la circulation sanguine. Elle participera à la modulation des circuits du tronc cérébral contrôlant en dernier ressort les cycles veille/sommeil.

Il existe une pression circadienne de sommeil plus importante qui est habituellement décrite entre 1h et 5h du matin (en regard de la phase de température corporelle la plus basse dans sa variation circadienne). La période entre 14h et 16h se distingue également en matière de pression de sommeil plus importante (phase ponctuelle de baisse circadienne de la température corporelle).

Cette synchronisation de l’horloge biologique est principalement liée au paramètre de luminosité à laquelle est soumis l’organisme humain. La lumière permet d’inhiber la synthèse de mélatonine, principale hormone de régulation des rythmes chronobiologiques. La mélatonine est synthétisée par l’épiphyse dès la fin de journée

et exerce un effet hypnogène. Son pic de sécrétion est habituellement obtenu entre 2h et 4h du matin puis décroît de façon significative pour devenir quasiment nulle au petit matin.

La lumière, stimulus indispensable à la synchronisation de l'horloge biologique est captée par les cellules ganglionnaires à mélanopsine. Ce sont des cellules photoréceptrices particulières situées dans la rétine, sensibles à la lumière bleue et reliées aux noyaux suprachiasmatiques hypothalamiques. La voie de conduction du signal (rétino-hypothalamique) est différente de celle impliquée dans les perceptions visuelles. Il existe également d'autres voies de conduction qui transmettent ce signal non visuel à d'autres structures cérébrales (impliquées par exemple dans la régulation de la mémoire, de la cognition ou de l'humeur). Cependant, les cellules photoréceptrices impliquées dans la vision (cônes et bâtonnets), semblent tout de même jouer un rôle. Selon les spectres et les couleurs perçues, elles interviennent dans la régulation de l'horloge biologique avec des sensibilités autres que les cellules ganglionnaires à mélanopsine.

Le spectre de la lumière (sa couleur) a son importance avec un effet sur l'horloge biologique d'autant plus important qu'il sera riche en longueur d'onde bleue (460 à 500 nm). Ainsi pour une même intensité lumineuse, une lumière bleue type « Light Emitting Diode » (LED) activerait 70 fois plus les cellules photo-réceptrices ganglionnaires à mélanopsine de la rétine que la lumière blanche classique de même intensité (36).

Chez les personnes exposées régulièrement à une forte luminosité au cours des heures nocturnes, il existe des phénomènes d'avance et de retard de phase décalant les pics de sécrétion de mélatonine. Cela permet par exemple aux travailleurs de nuit de s'endormir à des horaires décalés sur le début de journée. Au contraire, pour les personnes se levant aux premières heures de luminosité du jour, elles peuvent, par ce phénomène, facilement s'endormir tôt la veille. Quelques dizaines de Lux (comme une simple bougie) et des expositions de seulement 10 à 15 min suffisent pour faire varier les sécrétions de mélatonines et créer des décalages de phase (37).

Les variations de température sont également impliquées dans la régulation des cycles de sommeil. Ces cycles de changement de température, quotidiens et saisonniers, ont été largement atténués dans les populations modernes par la régulation artificielle de la température (climatisation, chauffage des habitations). En comparaison à des populations au mode de vie traditionnel exposées aux changements naturels de

température, il n'est plus observé de variation saisonnière des durées de sommeil telles que décrites dans les populations pré-industrielles (38) .

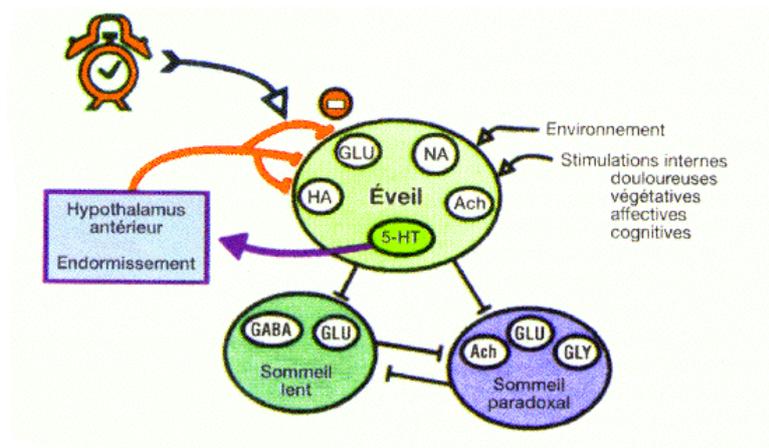
Il existe également de nombreuses horloges périphériques en lien avec les différents organes. Deux tiers des gènes codants dans les différents organes du corps sont exprimés de façons cycliques (ce sont également des « gènes horloges ») avec une grande variation d'un tissu l'autre. Ces horloges périphériques sont contrôlées par l'horloge centrale et se désynchronisent en cas de lésion des noyaux supra-chiasmatiques. Il existe une différence homme/femme de ces horloges et également d'un individu à l'autre. Ces phénomènes sont pris en compte en chronopharmacologie.

### 1.2.3 Le processus d'endormissement

L'éveil résulte de l'expression complexe de plusieurs dizaines de groupes de neurones répartis du cerveau antérieur au bulbe rachidien. De nombreux neurotransmetteurs circulent entre ces groupes de neurones (acétylcholine, glutamate, sérotonine, dopamine, noradrénaline, histamine). Leurs activités interviennent dans l'état de vigilance. Elles diminuent ou s'arrêtent lors de la phase de sommeil ou artificiellement avec la prise de certains médicaments (par exemple certains anti-histaminiques).

L'endormissement est un phénomène complexe résultant de plusieurs processus simultanés. La fatigue n'est pas le seul processus impliqué.

Les neurones à sérotonine (5-HT) par exemple, en plus de participer au réseau de l'éveil, communiquent par des prolongements vers le cerveau antérieur (aire pré-optique). Cette aire pré-optique synthétise elle-même des substances qui, en bloquant les réseaux d'éveil, permettent aux réseaux de sommeil de fonctionner (Figure 5).



*Schéma de la régulation du cycle veille-sommeil-rêve.*  
*Les pacemakers du sommeil lent et du sommeil paradoxal sont sous le contrôle inhibiteur de l'éveil. L'éveil, réseau complexe de structures multiples et redondantes, est entretenu par les stimulations de l'environnement et du milieu interne.*  
*L'endormissement est le résultat du blocage de l'éveil à un moment donné du nyctémère (horloge biologique) par un système anti-éveil situé dans l'hypothalamus et mis en route par une des composantes de l'éveil, la sérotonine (5-HT).*

Figure 5 Régulation du cycle veille-sommeil-rêve(39)

Un des premiers intervenants dans l'endormissement est le processus homéostatique permettant principalement d'orchestrer la survenue du sommeil lent. Certains facteurs biologiques tels que l'interleukine-1, les prostaglandines D2, l'adénosine, ou encore la somatostatine produits au cours de la journée favorisent par leurs pressions la survenue du sommeil. L'adénosine joue un rôle central, sa production est présente à l'éveil et s'accumule jusqu'à favoriser le sommeil (40). Elle sera ensuite progressivement éliminée durant la nuit.

L'adénosine aurait un rôle d'inhibition progressive de la fonction cérébrale jusqu'à déclencher le sommeil.

Un deuxième intervenant est le processus circadien permettant lui de paramétrer l'horloge biologique. Cette horloge est propre à chacun, et proche d'une rythmicité de 24h.

Parmi les facteurs qui la régulent, les cellules ganglionnaires à mélanopsine de la rétine ont leur rôle. Ces dernières reçoivent et transmettent aux structures cérébrales les informations relatives à l'alternance jour/nuit qui permet de réguler de multiples fonctions circadiennes. Elles présentent un rôle partiel dans l'induction du sommeil qui subsiste malgré tout comme un phénomène endogène. Le sommeil survient également en l'absence de toutes stimulations lumineuses, y compris durant plusieurs

jours. Néanmoins, nous savons aujourd'hui que les stimulations lumineuses, notamment artificielles avec les lumières LED et écrans riches en lumière bleue stimulent ces cellules ganglionnaires. Elles perturbent la régulation du sommeil lorsqu'elles interviennent non loin des heures habituelles de sommeil.

Dans la régulation circadienne l'influence hormonale est notable avec notamment la mélatonine (N-acétyl-5 méthoxytryptamine synthétisée à partir du triptophane). Elle est connue comme la neuro-hormone du sommeil. Elle est produite en situation d'obscurité en début de nuit par l'épiphyse et favorise le déclenchement du sommeil. Sa production est inhibée lorsque les cellules rétinienne perçoivent de la lumière et sa production est physiologiquement moins efficace avec le vieillissement.

La génétique a également un rôle dans la survenue circadienne de l'endormissement avec les « gènes horloges ».

L'expression cyclique des « gènes horloges » contrôle l'activité électrique des noyaux supra-chiasmatiques engagés dans le rythme circadien.

On connaît une quinzaine de gènes horloges (CLOCK, BMAC, Per, Cry, Reverb, ...) qui présentent une expression sensible et modulée par de nombreux facteurs associés (production de mélatonine, activité physique, les prises alimentaires ou la luminosité). Ces gènes s'expriment au niveau des noyaux supra-chiasmatiques. Ils permettent la transmission de messages à d'autres horloges secondaires dont le rôle est directement lié au sommeil (23). Ils participent aussi à d'autres fonctions dont les rythmes sont circadiens, comme la production de cortisol (appartenant aux hormones de « stress » qui par ailleurs peuvent jouer aussi un rôle dans l'éveil), d'ACTH ou encore d'hormone de croissance (41).

#### 1.2.4 L'inertie de sommeil

L'inertie de sommeil est un phénomène caractérisé par un état de vigilance diminuée lors de la phase de transition sommeil-veille. Il est plus ou moins intense, de plus ou moins longue durée, et sa variabilité est multifactorielle. L'inertie du sommeil, appelé aussi « éveil confusionnel » ou « ivresse du sommeil » est variable de quelques minutes à plusieurs heures. Il est plus intense et plus long lors d'un réveil interrompant une période de sommeil profond à onde lente que pour les premiers stades de sommeil léger ou le sommeil paradoxal. L'inertie de sommeil paraît donc plus marquée au réveil suivant une période de privation de sommeil. En effet, la profondeur du sommeil

interrompu y est plus importante avec des ondes lentes plus nombreuses (rebond de sommeil), que suivant une période sans privation de sommeil.

#### 1.2.5 La sieste et ses effets hors contexte de privation de sommeil

Il est admis que la mise en place de siestes diurnes aurait le potentiel de diminuer la somnolence et améliorer le rendement cognitif. Cependant il est constaté que les effets sur l'architecture du sommeil et ses étapes sont différents selon le nombre et la durée des siestes effectuées. En effet une plus grande fréquence des siestes serait corrélée dans certaines études à une augmentation de l'étape 1 du sommeil non-REM et de la diminution du sommeil à ondes lentes en journée (42). Une multiplication du nombre de siestes entrainerait un sommeil plus léger pour chaque occurrence. Ainsi, faire une à deux siestes en journée permettrait d'observer des étapes de sommeil stade 2 plus longues en journée et faire trois à quatre siestes, des durées de sommeil stade 1 plus longues. Des siestes fréquentes seraient associées à une somnolence subjective en journée accrue (inertie) et un sommeil plus léger. Concernant le paramètre de durée, des siestes brèves (5 à 15 min) ont un effet immédiat sur l'amélioration des capacités cognitives mais pour une période limitée (1 à 3 h). Les siestes plus longues (> 30 min) permettent des performances cognitives améliorées pendant une plus longue période (plusieurs heures) mais provoquent une somnolence initiale plus importante (inertie prolongée de sommeil) du fait de réveils intervenants plus volontiers en phase de sommeil profond. L'avantage des siestes est également variable selon le cycle circadien avec une période plus favorable en début d'après-midi. L'apparition d'une pression de sommeil suivie de seulement 7 à 10 min de sieste peut de façon significative, augmenter la vigilance (43).

#### 1.2.6 La privation de sommeil

La définition de la privation de sommeil est variable selon les sources consultées. Il est fréquemment considéré comme une situation de privation partielle de sommeil, une période comportant moins de 5 heures de sommeil continues/jours (44). Certaines définitions considèrent une limite à <3 heures/jour (45), d'autres à > 4h de sommeil continu en moins comparée à la durée de sommeil habituelle (46).

En règle générale, on considère une durée optimale de sommeil entre 7 et 9 heures/jour pour minimiser les facteurs de risques pathologiques liés à la privation de sommeil (considérant d'importantes différences interindividuelles) (40). On peut donc

considérer un état de manque de sommeil chronique pour une durée journalière de sommeil inférieure à 7 heures et une privation partielle de sommeil pour une durée de sommeil journalière inférieure à 5 heures sur une plus ou moins longue période.

La privation aigüe totale (éveil continue) de sommeil entraîne une pression de sommeil plus importante et un rebond de sommeil très profond avec une activité EEG delta très importante (24).

Si le sommeil la nuit précédente a été écourté ou de mauvaise qualité, la part de sommeil lent sera d'autant plus profonde la nuit suivante.

L'accumulation de certains éléments biologiques comme l'adénosine, sera d'autant plus importante avec l'allongement de la période de privation de sommeil. Elle créera une pression de sommeil d'autant plus lourde.

Les effets de la privation aigue de sommeil se manifestent dès 24h de privation.

Il est régulièrement observé en cas de privation de sommeil, des troubles de l'humeur et des émotions (irritabilité croissante, des alternances rapides entre euphorie et dépression, une indifférence à l'environnement) (47–49).

Il peut exister aussi des troubles de la sphère visuelle : brûlures et picotements oculaires, hyperhémie conjonctivale, flous visuels, diplopies, changement de forme des objets et de l'environnement (sol qui ondule, lumières qui clignent, objets bougeant rapidement dans le champ visuel périphérique). Il survient parfois même des hallucinations survenant dès le 2ème ou 3ème jour de privation. Ces hallucinations sont initialement bien identifiées et critiquables par l'individu. Elles seront ensuite de moins en moins distinguées et seront confondues avec la réalité vécue. Des troubles somesthésiques sont aussi rapportés (paresthésies des extrémités, trémulations des paupières et des muscles, augmentation de la sensibilité à la douleur) ainsi que des troubles auditifs (très inconstants, le plus souvent sous forme de bruits lointains). Des désorganisations de la pensée sont aussi possibles (ralentissement de l'idéation, délais de réflexion augmentés, difficultés à trouver les mots, phrases inachevées, perte du fil de la logique du discours, suggestibilité accrue, une amnésie antérograde avec une difficulté de projection dans le futur, voire des confusions et désorientations temporo-spatiales après 5 à 6 jours de privation). Les troubles végétatifs sont plus inconstants comme les épisodes de tachycardie, parfois des hyperthermies ou hypothermies modérées, une hyperphagie, des céphalées, des gastralgies, ou une augmentation de la libido (50). La perception temporelle est modifiée.

Les premières expériences de privation de sommeil aiguë conduites sur des durées supérieures à 3 jours, ont décrit des altérations des capacités mnésiques et du temps des réactions motrices, une amnésie du « futur » (difficulté à se projeter dans le futur), une suggestibilité plus importante, des hallucinations et des hypothermies relatives (51,52). Sur le plus long terme les dettes accumulées de sommeil augmentent le risque d'irritabilité, de syndromes dépressifs, de prise de poids, d'hypertension, du risque cardiovasculaire en général, d'altération de l'immunité et de la survenue d'infections (23,53). Il est à noter néanmoins des différences individuelles dans la résistance au manque de sommeil.

L'augmentation constantes des temps de réactions avec la privation de sommeil peuvent majorer le risque d'accident et de chute (54,55).

Les cycles circadiens persistent malgré la privation de sommeil et initialement malgré les décalages horaires possibles lors des voyages, notamment celui de la variation nycthémerale de la température liée aux variations de l'état de vigilance (figure 6). Les cycles circadiens impliquent également des périodes plus à risques de chute, particulièrement en période nocturne et à moindre degré en début d'après-midi où l'état de vigilance connaît une décroissance (31).

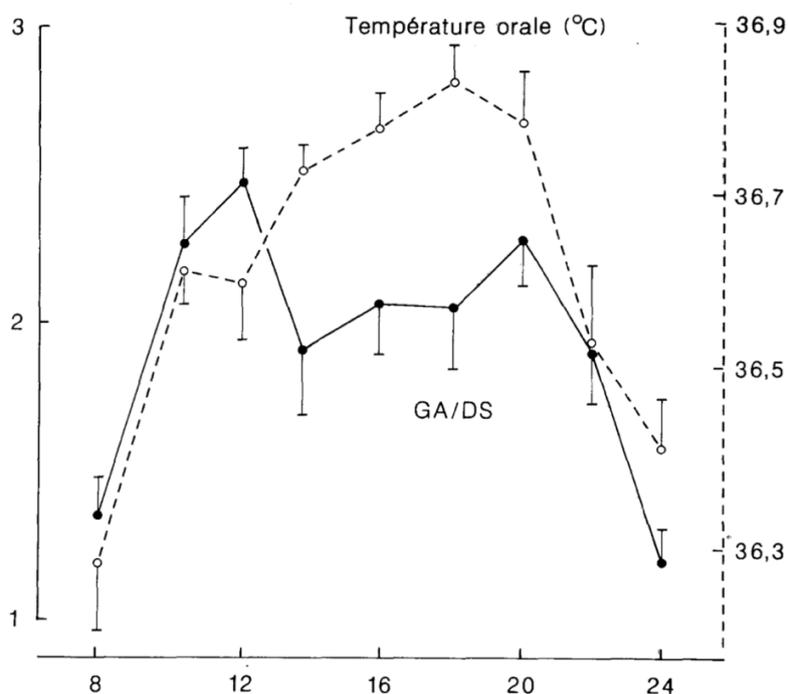


Figure 6 Évolution moyenne au cours de la journée de la température orale et du niveau subjectif de la vigilance estimée à l'aide de l'échelle de Thayer(GA/DS)(56)

Il existe des méthodes instrumentales de privation de sommeil qui consistent à empêcher la survenue du sommeil par des stimuli variés (exercice physique, secousses, bruits...). Il est aussi possible, pharmacologiquement, de stimuler l'éveil ou de bloquer l'expression des signes de sommeil. Au décours des périodes de privation survient alors un phénomène de rebond, proportionnel à la durée de privation (environ 50 à 60% de la dette de sommeil) (50).

La privation de sommeil augmente l'appétit en modulant les hormones qui le régulent (leptine, ghreline, orexine) (23). Ceci combiné avec l'augmentation des apports alimentaires, la fatigue et la diminution des dépenses énergétiques, explique les phénomènes de prise de poids. En parallèle la perturbation des rythmes circadiens qui régulent des synthèses hormonales (comme le cortisol ou l'hormone de croissance) ayant un rôle dans la régulation de la glycémie, favorise l'apparition de phénomènes d'intolérance aux hydrates de carbone et l'évolution possible vers un diabète (23,57). La privation de sommeil aurait aussi une influence sur la production des marqueurs inflammatoires et des cytokines (41,58).

Par ailleurs, il existerait aussi un rythme circadien dans la synthèse de certains médiateurs de l'immunité. Des cellules immunitaires telles que les leucocytes ou encore les lymphocytes *Natural Killer* (NK) subiraient une altération de leur production du fait de la privation de sommeil. A contrario, la production de certains médiateurs de l'immunité comme les interleukines ou encore les TNF Alpha lors des infections bactériennes ou virales aurait la capacité d'allonger la durée de sommeil (23).

### 1.3 Sommeil en France et problématique en médecine générale

#### 1.3.1 Épidémiologie du sommeil

Il existe une tendance actuelle à la réduction des durées du sommeil dans de nombreux pays. Ce changement de rythme mène à une dette chronique de sommeil et le développement en parallèle de pathologies métaboliques. L'accidentologie est également plus élevée du fait des troubles attentionnels en résultant.

Au cours de dernières enquêtes sur le sommeil en France, il a effectivement été constaté une diminution constante des temps moyens de sommeil totaux avec une moyenne de temps quotidien de sommeil passée pour la première fois sous les 7 heures recommandées en 2017, soit une moyenne de 6 heures 42 minutes par 24h

(14). Une progression en parallèle du nombre de travailleurs de nuit, pourrait expliquer en partie cette diminution globale des temps de sommeil et l'évolution croissante des troubles du sommeil dans la population. Une corrélation entre le tabagisme (à faible ou forte dépendance) a également été établie avec les plus courtes durées de sommeil moyennes ainsi qu'une prévalence plus importante des troubles du sommeil (59). En France, le nombre de sujets actifs travaillant de nuit de manière occasionnelle et habituelle a beaucoup progressé passant de 3,3 millions (15% des actifs) en 1990 à 4,3 millions (16,3%) en 2013 (60,61).

### 1.3.2 Le sommeil en consultation de médecine générale

Le sommeil est un élément clé abordé dans de nombreuses consultations de médecine générale, parfois sujet principal de consultation. Les problèmes d'insomnie sont les plus fréquents, cependant un certain nombre de patients se plaignent d'hypersomnie ou de somnolence altérant leur qualité de vie.

Une somnolence excessive altère les performances au travail, mais est aussi pourvoyeuse de nombreux accidents tels les accidents de la route. Vingt mille accidents de la route par an seraient dus à la somnolence (62,63). Un tiers des conducteurs décrivent dans les enquêtes avoir eu au moins un grand épisode de somnolence au volant les obligeant à s'arrêter. A savoir qu'il existe une moins bonne restauration des systèmes de vigilances dans ces conditions chez les sujets âgés de plus de 45 ans que pour les plus jeunes qui sont plus sensibles aux siestes et aux stimulants comme le café.

Les difficultés liées au sommeil dans la population générale sont loin d'être anecdotiques, en effet, ces troubles ont été signalés à des taux allant jusqu'à 31% en Europe de l'Ouest, 23% au Japon ou encore 56% aux États-Unis (14). Des conséquences en matière d'activité personnelle, professionnelles ou familiales étaient décrites avec cependant une problématique qui restait sous déclarée et sous-traitée. Près de la moitié des personnes concernées n'avait pris aucune mesure pour tenter de résoudre ses problèmes de sommeil.

Les troubles du sommeil en médecine générale font certaines fois partie de la plainte principale (difficulté d'endormissement, réveils fréquents, réveils précoces le matin sans possibilité de se rendormir). Cependant certains autres signes indirects engagent le médecin à rechercher des troubles du sommeil. C'est le cas pour des symptômes tels que l'hypertension artérielle persistante, les céphalées matinales, la somnolence

diurne excessive, qui peuvent orienter vers de possibles syndromes d'apnée obstructive du sommeil (SAOS).

La qualité du sommeil et des cycles circadiens est perturbée physiologiquement avec l'âge. Il est ainsi observé, avec le vieillissement, une difficulté plus importante pour amorcer et maintenir un sommeil de bonne qualité. Une diminution de la durée du sommeil à onde lente et du sommeil paradoxal est décrite avec l'âge et pourrait contribuer à la majoration des dysfonctions neuro-cognitives, d'une perturbation des fonctions endocriniennes et homéostatiques (64).

Le lien entre sommeil et santé a été décrit, notamment en ce qui concerne les phénomènes de privation de sommeil ou de troubles des rythmes circadiens chez les travailleurs de nuit. Certaines pathologies sont de survenue significativement plus élevée chez les travailleurs de nuit. C'est le cas pour un certain nombre de cancers du sein (Étude Inserm Cohorte CECILE) avec un risque augmenté de 26% chez les femmes non ménopausées qui travaillent au moins 3h entre minuit et 5h du matin avec un risque qui augmente avec la fréquence des travaux de nuit et la durée de l'emploi (65–67).

Les autres risques avérés liés aux perturbations de rythmes circadiens avec le travail de nuit sont les risques cardiovasculaires (le diabète de type 2, les maladies coronariennes, les dyslipidémies, l'hypertension artérielle, les accidents vasculaires cérébraux). Il est observé également une plus grande fréquence des altérations de performances cognitives, des troubles du sommeil avec ou sans somnolence diurne ainsi que des troubles de l'humeur.

Outre les explorations spécifiques liées aux véritables pathologies du sommeil, la mission de conseil concernant les règles d'hygiène de vie fait partie des premiers pas vers l'amélioration des symptômes. On peut évoquer la régularité des horaires de coucher et lever ou encore des horaires de coucher à privilégier avant minuit. L'absence d'écrans ou de toutes sources de lumière bleue dans les 3 heures avant le coucher (ceci concerne particulièrement les écrans type LED des ordinateurs, les téléviseurs ou les téléphones mobiles) est un conseil important. L'hygiène globale au sujet de la lumière, de la prise de dîner léger et d'une bonne régularité de la prise des repas pour favoriser la synchronisation des horloges périphériques fait aussi partie des recommandations. Concernant la pratique physique, celle-ci est déconseillée de manière intense aux heures tardives de la soirée proches du coucher. Les boissons stimulantes (thé, café) ou la fumée de tabac avant le coucher sont également à éviter.

A noter que la nicotine a un effet sur l'augmentation de la vigilance, perturbant l'endormissement mais peut être aussi un facteur de troubles du sommeil en son absence à l'occasion d'une période de sevrage. L'orientation vers les spécialistes tels que les pneumologues ou neurologues pour des explorations plus approfondies du sommeil fait partie du rôle du médecin généraliste quand cela est nécessaire.

La photothérapie est une méthode possible pour régulariser le sommeil.

L'utilisation de la mélatonine par voie orale (Circadin® Melatonine 2mg) est utilisée dans son indication principale en monothérapie dans le traitement à court terme des insomnies primaires caractérisées par un sommeil de mauvaise qualité chez les patients de plus de 55 ans. Concernant les compléments alimentaires contenant de la mélatonine, les autorités scientifiques (EU Register on nutrition and health claims, EFS, 2014) ont estimé que ces produits pouvaient « prétendre à soulager les effets subjectifs du décalage horaire à condition de délivrer 0,5mg de mélatonine par portion et d'être pris avant le coucher le jour du départ et les jours suivant l'arrivée à destination »(68). Ils peuvent également être susceptibles de « réduire le temps nécessaire à l'endormissement, à condition de délivrer 1mg de mélatonine par portion et d'être pris avant le coucher. Cependant ils ne peuvent pas prétendre améliorer la qualité du sommeil ni aider à réguler les rythmes circadiens »(68).

La mélatonine vendue à l'heure actuelle est essentiellement synthétique. La forme dite naturelle est extraite d'épiphyse de bovin, elle devrait être évitée du fait des risques liés à l'encéphalopathie spongiforme bovine (68).

### 1.3.3 La prise en charge de l'ultra-traileur en médecine générale

La consultation du sportif reste un exercice délicat pour le généraliste. En effet, outre les facteurs de risques et contre-indications générales à l'effort physique, la difficulté réside à connaître les risques spécifiques inhérents à chaque discipline. Certains domaines d'activité sont très codifiés avec des examens obligatoires et des contre-indications spécifiques à rechercher. C'est le cas par exemple pour certains sports de combat comme la boxe mais aussi le parachutisme, le rugby, les sports de conduite de véhicules motorisés ou la plongée. Les lignes directrices des examens nécessaires et les listes des contre-indications sont clairement citées et consultables sur le site internet de chaque fédération. Ces disciplines sont, pour la majorité régies par le code du sport et classées dans la catégorie des « disciplines sportives à contraintes

particulières » (69). Elles font l'objet d'une attention spécifique et possèdent un parcours distinct dans les évaluations médicales.

Malgré les contraintes physiques et psychiques imposées, dont la privation de sommeil inhérentes à la discipline, ainsi que les risques liés aux terrains accidentés, l'ultra-trail ne fait pas l'objet d'un parcours de surveillance médicale particulier et n'appartient pas, dans les termes du code du sport, aux disciplines à contraintes particulières.

Le risque lié à une évaluation de l'état de santé moins minutieuse qu'elle ne le serait pour un sport à contrainte particulière, pour cette catégorie de sportifs, semble présent. Le risque est d'autant plus présent que la popularité grandissante de la discipline peut amener parfois des sujets ne possédant qu'une expérience minimaliste sur quelques épreuves, sans réelle privation de sommeil et peu encadrées, à se lancer dans cette épreuve beaucoup plus longue et risquée.

La seule étape médicale obligatoire pour l'évaluation des ultra-traileurs est la consultation du médecin généraliste avant l'épreuve. Il est à noter qu'une période spécifique est déterminée par l'organisateur de ces courses (juin à septembre pour les courses du Grand Raid) et permet d'obtenir une évaluation suffisamment récente pour minorer le risque d'évènement intercurrent de santé entre le certificat et l'épreuve. Cependant le contenu de la consultation reste à l'évaluation du praticien. Des aides à l'évaluation existent notamment par des certificats-types disponibles sur le site web de la société française de médecine du sport (70) mais restent standardisées à tout type de sports et n'évoquent pas les troubles liés au sommeil.

Une fiche de conseils médicaux aux coureurs existe (Annexe 7.3) et est éditée par le même document que le support de certificat médical de non contre-indication à l'épreuve du Grand Raid, cependant, la gestion du sommeil et les risques liés à sa privation ne sont pas mentionnés.

Les conseils médicaux liés à l'alimentation, l'hydratation, et les équipements doivent être bien maîtrisés par la plupart des médecins et ne sont pas spécifiques à l'Ultra-trail. Cependant certaines notions, dont la gestion du sommeil, sont d'une part, peu explorées et d'autre part, sans recommandations consensuelles.

#### 1.3.4 Moyens d'étude du sommeil

A l'heure actuelle l'examen de référence pour l'étude du sommeil est la polysomnographie. Elle permet d'obtenir un hypnogramme, rassemblant un

électroencéphalogramme, un électromyogramme, un électro-oculogramme ainsi que le rythme respiratoire, cardiaque, et les mouvements des jambes.

D'autres méthodes existent pour analyser le sommeil et la vigilance tels que les agendas de sommeil, l'actimétrie, les tests itératifs de latence d'endormissement (TILE), les tests de maintien d'éveil (pour l'évaluation de la somnolence diurne), ainsi que d'autres méthodes d'exploration moins spécifiques mais complémentaires comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM), la tomодensitométrie (TDM), la tomographie par émission de positon (TEP-Scan), ou l'IRM fonctionnelle.

## 1.4 Lien entre sommeil et activité physique et psychique

### 1.4.1 Influence de l'activité physique sur le sommeil et la récupération

Il est admis que le sujet sportif aurait besoin d'une durée de sommeil plus importante que la moyenne de la population générale (71). Ainsi, les besoins de sommeil pour un athlète confirmé pourraient être estimés entre 7 et 9 heures de sommeil quotidien avec des variations interindividuelles. Des siestes de 20 à 30 minutes leur seraient également conseillées (72,73).

Le sommeil a une importance d'autant plus grande pour les athlètes en période d'entraînement de forte intensité ou en cas de blessure. La régularité des périodes de sommeil nocturne (routine de sommeil) ainsi que la durée adaptée est importante pour la récupération entre chaque période d'activité.

L'effet de l'activité physique a été affirmé. Il est considéré comme un des phénomènes majeurs de la régulation des rythmes circadiens. Il aurait ainsi un effet comparable à celui de la lumière de haute intensité et ceci en particulier en regard de phénomènes d'avance et de retard de phase. L'exercice physique a le potentiel de moduler les rythmes circadiens avec un effet de retard de phase pour un exercice réalisé la nuit (effet maximal entre 3 et 4h du matin) et une avance de phase pour un exercice réalisé tôt le matin (à partir de 5h00). De plus l'exercice physique en période nocturne perturberait l'architecture du sommeil (74).

L'exercice physique, en plus de son potentiel à moduler les rythmes de sommeil, permet en lui-même d'influer sur la qualité du sommeil suivant une période d'activité (75). En effet, le processus d'entrée dans le sommeil se voit optimisé par un effet de

régulation efficace de la diminution en température, tel qu'il est opéré habituellement à l'endormissement (diminution de 0,5 à 1°C), par l'effet de l'exercice chronique (76,77). L'exercice aigu, a également des effets positifs, même si ceux-ci sont assez faibles, par l'augmentation du temps de sommeil total, l'augmentation du sommeil lent profond et la diminution du sommeil paradoxal (REM). La latence d'endormissement ainsi que la durée d'éveil nocturne ne seraient pas modifiées par l'exercice sur le mode aigu (78). L'exercice chronique, lui, pourrait diminuer les latences d'endormissement. Une étude menée sur l'influence de l'activité physique sur les modulations des rythmes circadiens avait conclu que 2h30 d'exercice physique à 50% de VO<sub>2</sub>max équivalait à 3h d'exposition solaire de haute intensité (79). De même un exercice physique pratiqué en l'absence de lumière dans l'obscurité, serait responsable d'un décalage des sécrétions de mélatonine de la même façon que le fait la lumière (80).

Par ailleurs, pour les cas particuliers des sujets soumis aux décalages horaires ou étant soumis à un travail posté de nuit, l'exercice physique diminuerait les symptômes présents du fait de la désynchronisation engendrée (81).

L'effet bénéfique de l'activité physique est observé à son potentiel maximal pour un exercice pratiqué entre 4 et 8h avant l'heure du coucher et pour des durées d'au moins 1h et optimal pour des durées > 2h. L'effet observé est négligeable pour des durées d'exercices < 1h (78). L'intensité de l'exercice lui-même n'a par ailleurs que peu d'influence sur ces paramètres hormis la légère augmentation de quelques minutes de la durée d'éveil nocturne (78).

Chez les personnes présentant un syndrome d'apnée du sommeil, il a été constaté un effet bénéfique consistant en une baisse de la sévérité des symptômes proportionnelle à la durée de l'exercice hebdomadaire (82).

#### 1.4.2 Influence du sommeil sur les performances physiques et intellectuelles

Il a été démontré que des périodes de siestes apporteraient un bénéfice en matière de performance psychique (95). De même, l'optimisation en qualité et l'allongement de la durée de sommeil nocturne permettraient une amélioration de l'état de vigilance et une diminution de la fatigue subjective de jour chez des populations de sportifs (83). Il a été constaté que des périodes de siestes permettaient d'obtenir des performances de mémorisation et de vigilance supérieures suivant ces périodes de sieste qu'en leur absence. La durée même des siestes est de peu d'influence sur l'amélioration des

performances. Il a été observé qu'après de très courtes siestes de quelques minutes, il existait une amélioration significative par rapport aux résultats obtenus sans période de siestes préalables.

Au-delà de la qualité de la récupération, la mise en place de siestes permettrait d'obtenir un phénomène de relaxation psychique améliorant la lutte contre le stress ainsi qu'une optimisation du phénomène immunitaire (84). Un effet de type anti-dépresseur est également observé à travers la diminution du sommeil paradoxal qui de façon chronique, après quelques semaines, améliore ce type de symptôme.

Il a même été démontré qu'après une période de privation de sommeil, la mise en place de sieste permettait une normalisation de certains phénomènes biologiques liés à la restriction de la durée de sommeil. Ainsi il a été observé une normalisation des taux de norepinephrine et d'interleukine-6 après ces périodes de siestes (84).

L'extension des durées de sommeil et leurs optimisations en prévision d'une période de privation de sommeil a également été étudiée avec des résultats intéressants. En effet, il a été constaté qu'un groupe de sujets ayant augmenté volontairement leur durée de sommeil (10h00 quotidiennes) les sept jours précédant une période de privation de sommeil présentaient un meilleur rendement cognitif et une meilleure vigilance comparé à un groupe ayant conservé sa durée de sommeil habituelle (7h09 quotidiennes). Il a également été montré qu'une extension de sommeil avant une période de privation permettait de minimiser l'augmentation de la perception de l'effort (Rating of perception exertion : RPE) dûe au manque de sommeil (85). Une récupération plus efficace et plus rapide a également été observée pour ces mêmes groupes avec extension de sommeil avant privation (86–88).

De même l'extension de la durée de sommeil les six nuits précédant une période de privation a permis de constater une réduction de la pression de sommeil et une amélioration de l'attention soutenue. Cette extension diminue également le manque de vigilance psychomotrice et la multiplication des micro-sommeils pendant la période de privation. Ces effets ont également été constatés après une nuit de sommeil réparateur post-restriction (88).

La durée de sommeil antérieure à une période de privation de sommeil a donc un impact en terme de préservation des performances psychiques pendant la durée de privation et de durée de récupération raccourcie après cette même période (86).

Le cas particulier des périodes pré-compétition, particulièrement les veilles de compétitions sportives a également été étudié. Une conclusion à un risque accru de

sommeil perturbé pour les sportifs dans ces situations a été établi. Une diminution de la durée et de la qualité du sommeil par rapport à leurs caractéristiques de sommeil habituel, la veille de l'épreuve, est souvent décrite. Dans une étude menée chez les athlètes en veille de compétition, près de 70% des sujets concernés déclaraient avoir présenté ces difficultés. Ces troubles présentaient un lien négatif avec l'état d'humeur avant l'épreuve mais sans lien significatif avec la performance relative pendant l'épreuve (89).

#### 1.4.3 Chronobiologie en sport

Les cycles circadiens et ultradiens (rythmes de fréquences supérieures aux rythmes circadiens, pluriquotidiens) sont particulièrement intéressants à considérer dans la programmation des entraînements et de l'effort sportif. Il existe des moments idéaux pour la pratique de l'activité en rapport avec ces cycles qui sont propres à chacun (90). Concernant les performances aérobies, des études concernant notamment les fréquences respiratoires, les volumes courants ou les fatigabilités musculaires ont mis en évidence une fluctuation journalière avec une acrophase aux environs de 18h (91). Il est recommandé de placer les périodes d'activité physique dans les états de veille active aux moments où la température centrale augmente naturellement. Cette activité devrait s'arrêter suffisamment à distance de la phase d'endormissement prévue. Il est plus intéressant d'effectuer un effort physique à l'acrophase d'un cycle de performance. Ainsi des horaires réguliers d'entraînement permettraient d'obtenir de meilleures performances à ces mêmes heures. La chronobiologie a son importance en matière de performances.

#### 1.4.4 Sport et privation de sommeil

La privation de sommeil est un phénomène menant à la diminution des performances cognitives et motrices, à la diminution des temps de réactions en lien avec une baisse de la vigilance ainsi qu'à des symptômes liés aux instabilités émotionnelles (88,92). Les performances altérées par la privation de sommeil, notamment les facultés attentionnelles liées aux fluctuations de vigilance, se voient par ailleurs améliorées par la mise en place de siestes, même courtes (10-20min) (93-95).

Certains domaines d'activités exigent une privation de sommeil durant des périodes prolongées. Plusieurs études réalisées ont pour objet le lien entre la privation de

sommeil et les performances psychiques et physiques. Une partie de ces études ont été menées chez les navigateurs sur les courses au large en solitaire, une discipline exemplaire en ce qui concerne la gestion de la privation de sommeil (6). La gestion du sommeil est adaptée sur ces épreuves avec un rythme dit « polyphasique » consistant à effectuer un sommeil fractionné en très courtes durées successives (10 à 90 min). Ce type de rythme impose que le sujet s'endorme de façon très rapide et passe en sommeil lent profond +/- paradoxal dans un intervalle de temps très court. Le sommeil polyphasique n'est cependant pas superposable d'un sujet à l'autre et doit être adapté en fonction de chaque rythme chronobiologique différent. Il existe une notion de « portes de sommeil » pendant l'état de veille, périodes auxquelles sont rattachés des passages rapides possibles à un état de sommeil lent que les sujets doivent connaître ou reconnaître, leur permettant de profiter au maximum des capacités réparatrices du sommeil polyphasique. De même il existe des périodes réfractaires, pendant lesquelles le passage en sommeil est plus difficile et qui ne doivent pas être privilégiées pour la gestion optimale du sommeil polyphasique, sur des épreuves longues de privation (96). Les conclusions sont pour autant hétérogènes sans consensus possible. Il a été rapporté par exemple, l'absence ou la quasi absence d'effet de la privation de sommeil sur les performances aérobies (97). La force musculaire ainsi que la puissance anaérobie ne semblent pas non plus être affectées par des privations de sommeil pouvant aller jusqu'à une soixantaine d'heures(98). Cependant, selon les critères de performances retenus et les durées de privation de sommeil, les résultats peuvent diverger. Pour une privation de sommeil allant sur des durées inférieures à trois jours, la force et la fatigue musculaire ne seraient pas ou peu diminuées, seules les performances psychomotrices seraient affectées (99,100). Les performances psychomotrices et cognitives ainsi que l'humeur seraient, elles, préférentiellement affectées (11,101).

En ultra-trail, l'augmentation du RPE au cours de l'épreuve due à l'effort prolongé (102,103) combiné à la privation de sommeil (85), serait un facteur limitant des performances physiques et psychiques. La limite de performance en ultra-trail aurait une cause centrale et périphérique (104).

Concernant les sujets ayant une activité la nuit (travailleurs postés), les capacités physiques et psychiques seraient affectées selon les horaires de travail. Leurs rythmes chronobiologiques propres les conduiraient à une certaine intensité d'activité à certaines heures et différentes à d'autres. Il a été observé une dégradation de l'état de

vigilance et des performances intellectuelles variables en fonction des horaires chez ces travailleurs postés. Cependant, les études sur les rendements de travail ne mettent pas obligatoirement en évidence ces variations, du fait que ces sujets adapteraient en partie leur stratégie de travail à leurs capacités physiologiques du moment ainsi qu'aux exigences des tâches sur le total de leurs périodes de travail (105).

Il a été constaté une perte de performance lors d'un exercice de musculation associée au manque de sommeil, cependant la nature-même de cette perte de performance n'était pas liée de façon évidente au sommeil seul. Il semblerait que la privation de sommeil serait à l'origine d'une perception plus importante de l'effort et par conséquent de sa pénibilité (106). Percevoir de façon plus sensible l'effort physique serait une cause indirecte de la perte de performance liée au sommeil. Plusieurs études ont été faites dans le domaine de la course à la voile en solitaire ou chez les militaires. La plupart des stratégies de sommeil adoptées prenaient la forme de sommeil polyphasique constitué de siestes plus ou moins longues sur quelques jours ou quelques semaines.

Il a été rapporté lors d'expériences de privation de sommeil, que la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire ou la lactatémie seraient supérieures pour un exercice physique réalisé après une période de privation de sommeil par rapport à une nuit témoin (107). D'autres études ont cependant suggéré l'absence d'effet de la privation de sommeil sur les performances anaérobiques après 24h de privation. Cette même étude rapporte toutefois des performances affectées après 36h de privation (108). Une étude chez les adolescents sportifs rapporte un risque de blessure significativement plus important pour des durées de sommeil nocturne inférieures à 8h que pour des durées supérieures ou égales à 8 heures (109). Malgré l'absence de réponse consensuelle sur les effets de la privation de sommeil sur la performance physique, les études s'accorderaient à dire qu'il existe des sensibilités et des résistances très différentes d'un individu à l'autre face au manque de sommeil.

## 2 Matériel et méthode

---

### 2.1 Type d'étude

Il s'agit d'une étude épidémiologique déclarative descriptive transversale.

### 2.2 Conception de l'étude

Le recueil de données a été établi par un questionnaire auto-administré anonyme, transmis par l'intermédiaire des organisateurs de l'association *Grand Raid* à leurs listes de mails des participants aux épreuves.

Le déterminant principal de santé étudié était le sommeil.

Les données recueillies par le questionnaire étaient relatives aux profils globaux (âge, genre, volumes d'entraînement habituels, nombre d'années d'expérience), aux profils habituels de sommeil (volume horaire, rythmes, matinalité/vespéralité, somnolence, décalages horaires, siestes). Un calendrier de répartition des périodes de sommeil sur la période comprise entre 1 semaine avant le départ de l'épreuve et durant l'épreuve elle-même ainsi qu'une description moins précise sur la répartition de sommeil durant la période de récupération 2 semaines après la fin de l'épreuve ont été établis.

Un recueil des stratégies de sommeil a également été élaboré et ciblait ces mêmes périodes (1 semaine avant l'épreuve, l'épreuve elle-même et les 2 semaines suivant l'épreuve).

Une version francophone et une version anglophone du questionnaire ont été produites.

### 2.3 Contexte réglementaire :

Cette étude, ne répondant pas à la définition d'une recherche impliquant la personne humaine et respectant la méthodologie de référence MR-004, a été enregistrée au répertoire public de l'Institut National des Données de Santé par le promoteur de l'étude, le Centre hospitalier universitaire (CHU) de La Réunion, sous la référence 3408030719. Les données collectées, enregistrées et conservées après information et accord des sujets, ont fait également l'objet d'une inscription au registre des activités de traitement du CHU de La Réunion.

Une note d'information sur le contexte réglementaire a été transmise à la population concernée avant leur participation à l'étude. Cette note précisait le caractère

strictement volontaire de leur participation et le traitement anonyme des données recueillies. Il était précisé que le traitement des données était fait en conformité avec l'article 6 du règlement général européen sur la protection des données. Les participants étaient également informés de leur droit d'accès, de rectification, d'opposition, à l'effacement et à la limitation du traitement de leurs données. Une adresse mail était à leur disposition pour leurs questions et commentaires sur l'étude.

## 2.4 Contexte

L'étude a été menée à l'occasion de l'édition 2018 du Grand Raid de la Réunion qui s'est déroulé sur la période du 18 au 21 octobre 2018 avec des données recueillies auprès des participants des deux ultra-trails proposés sur cet événement : La Diagonale des fous (165 km, 9576 m de dénivelé positif) et le trail de Bourbon (111km et 6433m de dénivelé positif). Ces courses se sont toutes les deux déroulées sur les sentiers et routes traversant l'île de La Réunion du Sud au Nord.

Le recueil de données a été effectué à posteriori avec un début de période de recueil au 2 novembre 2018, soit 2 semaines après la fin des épreuves, et une clôture des recueils au 16 décembre 2018. La période d'intérêt concernant le retour d'expérience demandé sur le sujet du sommeil s'étendait du 10 octobre 2018 (J- 1semaine avant le départ de la Diagonale des fous) au 4 novembre 2018 (J+ 2 semaines après la fin du dernier concurrent de l'épreuve).

## 2.5 Population

La population ciblée était celle des participants aux deux épreuves d'ultra-trail (Diagonale des fous et Trail de Bourbon) de l'édition 2018 du Grand Raid de La Réunion.

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- Être majeur (plus de 18 ans).
- Avoir participé (« finisseur » et « non-finisseur ») à l'une des deux courses suivantes du Grand Raid 2018 : Diagonale des fous ou Trail de Bourbon 2018.
- Être volontaire pour participer aux recueils de données de l'étude.
- Être francophone ou anglophone

## 2.6 Analyse statistique

Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel STATA V13.1 software (StataCorp LP, Lakeway Drive, College Station, Texas 77845 USA).

### 2.6.1 Statistiques descriptives

Les variables qualitatives ont été exprimées en effectifs absolus (nombres de cas) et effectifs relatifs (pourcentages). Les variables quantitatives ont été exprimées par la moyenne  $\pm$  écart type, et par le minimum et le maximum pour certaines variables (âge,...). Les analyses descriptives des groupes des finisseurs et non-finisateurs ont été traitées dans deux parties distinctes.

### 2.6.2 Analyse comparative bivariée

Dans tous les cas, le seuil de significativité pour le risque de première espèce alpha était fixé à 0.05, ce qui équivaut à dire que nous avons considéré une différence comme statistiquement significative si la valeur critique « p » était inférieure à 5%.

Quel que soit le nombre de modalités, la comparaison de deux variables qualitatives a été faite par:

- un test du chi<sup>2</sup> si les effectifs théoriques étaient  $\geq 5$ .
- un test exact de Fisher si les effectifs théoriques étaient  $< 5$ .

La comparaison de deux moyennes observées a été faite par un test T de Student si la variable quantitative étudiée avait une distribution Gaussienne dans chacun des deux groupes étudiés et si la variance de la variable quantitative était considérée identique dans les deux populations dont les groupes sont extraits (condition d'homoscédasticité), par un test des rangs signés de Wilcoxon dans les cas contraires. Seul les concurrents finisseurs de l'étude ont fait l'objet d'une analyse comparative.

## 2.7 Variables

Nous avons créé une variable de catégorie d'âge en regroupant les concurrents de 18 à 29 ans, 30 à 39 ans, 40 à 49 ans, 50 à 59 ans et supérieur à 60 ans.

Nous avons également créé une variable considérant deux profils de dormeurs habituels (« grand dormeur » supérieur ou égal à la médiane de durée de sommeil habituelle de l'échantillon et « petit dormeur » strictement inférieur à cette même médiane).

Les temps d'arrivées par courses ont également été l'objet d'un fractionnement par tranches horaires successives d'une heure pour la description de certaines données. Nous avons choisi de créer 3 groupes de coureurs ayant passé une, deux ou trois nuits sur le parcours. Une nuit était admise à partir de 4 heures passées sur le parcours en horaires nocturnes (18h00-6h00, horaire de La Réunion aux dates des épreuves). Le départ pour la Diagonale des fous était donné à 22h00 le 28 octobre 2018, celui du Trail de Bourbon à 21h00 le 19 octobre 2018. Le groupe « une nuit » était donc considéré pour des temps d'arrivée allant jusqu'à 24h pour la Diagonale des fous ( 25h pour le Trail de Bourbon), le groupe « deux nuits » pour des temps entre 25 et 48h pour la Diagonale des fous et entre 26 et 42h (temps maximal autorisé) pour le Trail de Bourbon. Le groupe « trois nuits » concernait des temps entre 48h et 66h pour la Diagonale des fous uniquement.

## 2.8 Sources de données

Toutes les données présentées sont issues des réponses recueillies sur notre questionnaire, à l'exception des effectifs des concurrents au départ, finisseurs et des abandons concernant la Diagonale des fous et le Trail de Bourbon qui sont issus des données statistiques disponibles sur les publications des palmarès des courses du Grand Raid 2018 sur la plateforme *runraid* (110) ou auprès de l'association Grand Raid.

## 2.9 Biais

### 2.9.1 Biais de désirabilité sociale :

Le recueil a été anonymisé. Un rappel sur la sincérité des réponses pour obtenir des statistiques au plus proche de la réalité a été fait.

### 2.9.2 Biais de mémorisation

La période de recueil a été réduite à 6 semaines du 4 novembre au 16 décembre 2018. Nous avons réduit la précision des horaires de sommeil en proposant des intervalles horaires à cocher.

### 2.9.3 Biais de volontariat

Ce biais a été accepté malgré son importance d'autant plus grande qu'il n'a pas été effectué d'échantillonnage par randomisation, afin d'obtenir le plus grand effectif de réponses possible. Il a été admis qu'une absence de représentativité des différents sous-groupes en regard de la population cible initiale puisse en résulter notamment en ce qui concerne les finisseurs et non-finisateurs.

### 2.9.4 Biais de perdu de vue

Ce biais a été éliminé par un recueil transversal effectué en un seul questionnaire à postériori de la période considérée, malgré le biais de mémorisation qui aurait été réduit sur un recueil prospectif.

## 2.10 Taille de l'étude

Nous avons décidé de ne pas procéder à un échantillonnage avant le recueil de données en vue de recueillir le maximum de réponses au questionnaire. Une exclusion de l'analyse comparative du groupe des non-finisateurs a été décidée, l'effectif de ce groupe étant inférieur à 30 (ne suivant pas la *loi normale*). Le manque de puissance associé au faible effectif ne permettait pas de produire des conclusions fiables en étude analytique. Seule l'analyse descriptive des non-finisateurs a été présentée.

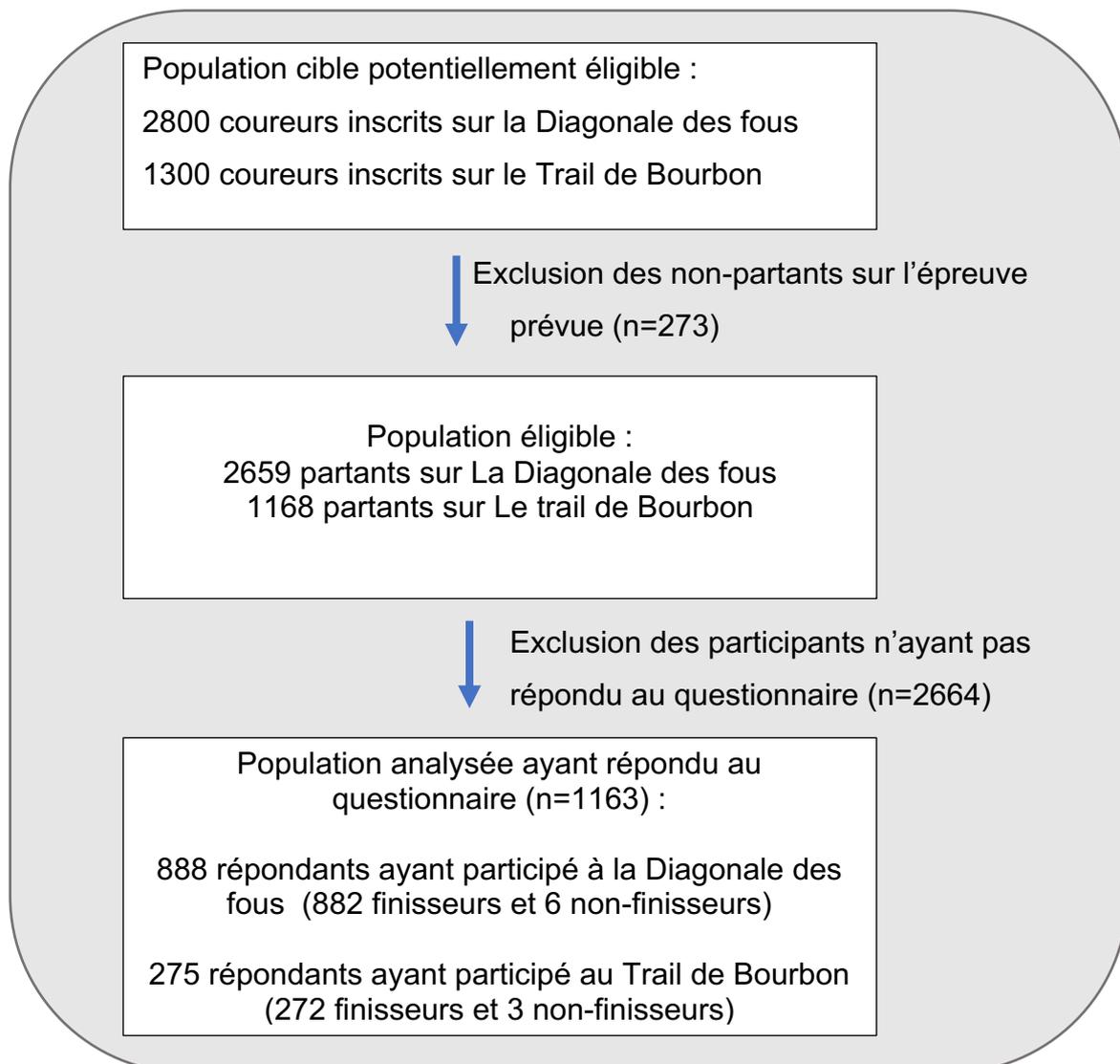
## 3 Résultats

---

### 3.1 Population

La population éligible à l'étude était constituée de tous les partants pour les épreuves « La Diagonale des fous » et « Le trail de Bourbon », soit un total de 3827 sujets répartis en 2659 partants pour la Diagonale des fous et 1168 partants pour le trail de Bourbon. Le questionnaire a été diffusé à tous les sujets éligibles, quels que soient leurs résultats et leurs statuts de finisseurs ou non à leur épreuve. Un total de 1163 réponses a été obtenu après diffusion du questionnaire, soit un taux de réponse de 30,4% du total de la population éligible.

### 3.2 Diagramme des flux



### 3.3 Caractéristique de la population

#### 3.3.1 Caractéristique de la population éligible

Description des effectifs des concurrents à la Diagonale des fous 2018 (Tableau 1):

Tableau 1 Concurrents de la Diagonale des fous \*

	Total	Hommes	Femmes
Au départ	2659(100,0%)	2398(90,2%)	261(9,8%)
Finisseurs	1961(73,8%)	1772(66,6%)	189(7,1%)
Abandons	697(26,1%)	626(23,5%)	72(2,7%)

\* Les données sont des effectifs (avec pourcentage **par rapport au total au départ**)

Les âges des concurrents à la Diagonale des fous s'étendaient de 20 ans à 73 ans.

Description des effectifs des concurrents au Trail de Bourbon 2018 (Tableau 2) :

Tableau 2 Concurrents du Trail de Bourbon\*

	Total	Hommes	Femmes
Au départ	1168(100,0%)	980(83,9%)	188(16,1%)
Finisseurs	795(68,1%)	660(56,5%)	135(11,5%)
Abandons	373(31,9%)	320(27,4%)	53(4,5%)

\* Les données sont des effectifs (avec pourcentage du total au départ)

Les âges des concurrents au Trail de Bourbon s'étendaient de 23 ans à 78 ans.

### 3.3.2 Caractéristique de la population ayant participé à l'étude

Le Tableau 3 décrit les effectifs des participants par genre parmi les concurrents à la Diagonale des fous 2018.

Tableau 3 Concurrents de la Diagonale des fous participant à l'étude par genre

	Effectifs (%)
Femmes	112 (12,6%)
Hommes	776 (87,4%)
Total des participants à l'étude	888 (100,0%)

Le nombre de sujets finisseurs participants à l'étude (n=882) représentait 45,0% des sujets finisseurs de la Diagonale des fous, 110(57,1%) femmes et 772(43,7%) hommes.

Le nombre de sujets non-finisateurs participants à l'étude (n=6) représentait 0,9% des sujets non-finisateurs de la Diagonale des fous, 2(2,8%) femmes et 4(0,6%) hommes.

La Figure 7 décrit les effectifs des participants à la Diagonale des fous par catégories d'âges.

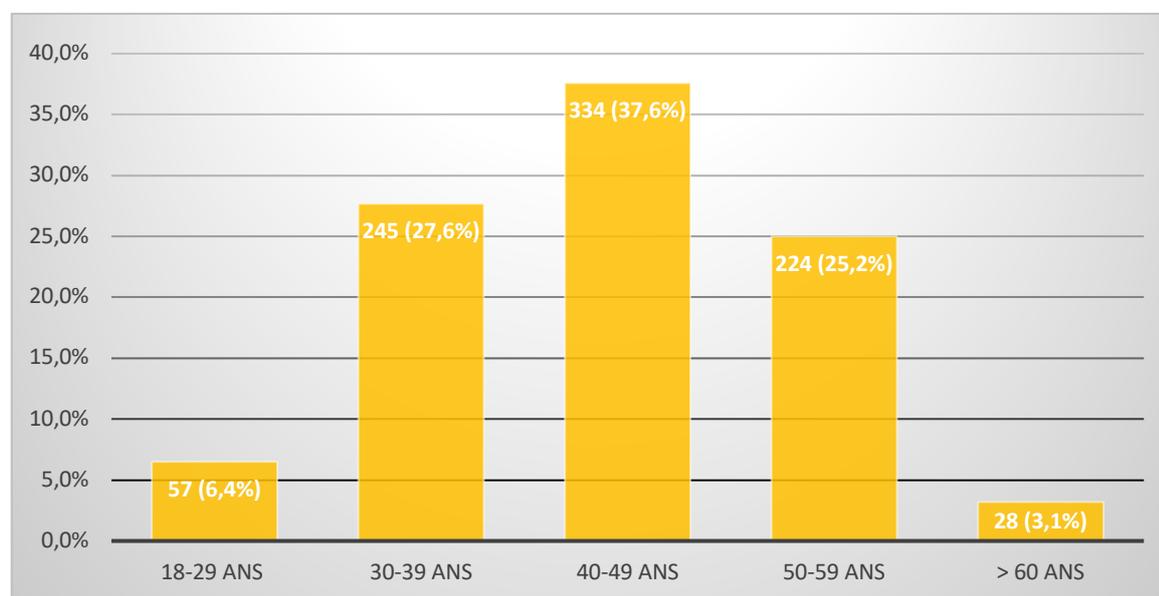


Figure 7 Concurrents de la diagonale des fous par catégories d'âges

Le Tableau 4 décrit les effectifs des participants finisseurs par genre parmi les concurrents au Trail de Bourbon 2018 :

Tableau 4 Concurrents du Trail de Bourbon participant à l'étude par genre

	Effectifs (%)
Femmes	59 (21,5%)
Hommes	216 (78,5%)
Total des participants à l'étude	275 (100,0%)

Le nombre de sujets finisseurs participants à l'étude (n=272) représentait 34,2% des sujets finisseurs au Trail de Bourbon, 57(42,2%) femmes et 215(32,6%) hommes.

Le nombre de sujets non-finisateurs participants à l'étude (n=3) représentait 0,8% des sujets non-finisateurs au Trail de Bourbon, 2(3,8%) femmes et 1(0,3%) hommes.

Le Figure 8 décrit les effectifs des participants au Trail de Bourbon par catégories d'âges.

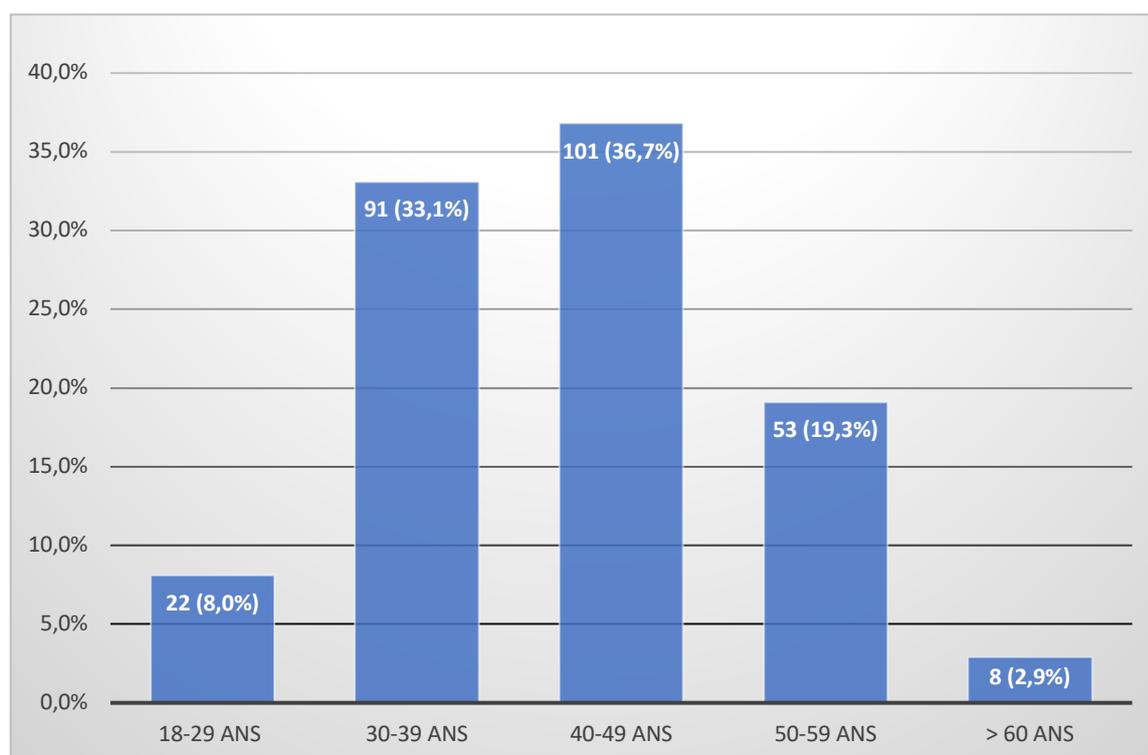


Figure 8 Concurrents du Trail de Bourbon par catégories d'âges

Le Tableau 5 présente les moyennes d'âges des participants à l'étude.

Tableau 5 Moyennes d'âges des participants aux épreuves\*

	Total	Femmes	Hommes
Diagonale des fous	43,1+/-8,9	42,2+/-8,7	43,2+/-9,0
Trail de Bourbon	41,9+/-9,1	40,4+/-9,3	42,3+/-9,0
Toutes courses	42,8+/-9,0	41,6+/-8,9	43,0+/-9,0

\*Les données sont les âges en années +/- déviation standard

L'amplitude des âges des répondants à l'étude, toutes courses confondues, était de 20 à 71 ans (20 à 71 ans pour les participants à la Diagonale des fous et 23 à 68 ans pour le Trail de Bourbon).

### 3.4 Répartition des temps d'arrivée (finisseurs)

Le Tableau 6 représente les moyennes des temps d'arrivée des finisseurs participants à l'étude pour chacune des courses.

Tableau 6 Moyennes des temps d'arrivée des sujets finisseurs participants à l'étude\*

	Total	Femmes	Hommes	p
Diagonale des fous	49h53+/-7h55	54h05+/-7h04	49h17+/-7h51	<0,0001
Trail de Bourbon	33h37+/-5h16	35h54+/-4h53	33h01+/-5h13	0,002

\*Les données sont les temps d'arrivée (durées de course) en format heures et minutes (avec déviation standard).

### 3.5 Profils de coureurs (finisseurs)

#### 3.5.1 Expérience sportive et niveaux d'entraînements

Le Tableau 7 ci-après présente les répartitions des différents items concernant l'expérience et les niveaux d'entraînement des sujets finisseurs de l'échantillon par courses.

Tableau 7 Expérience sportive et niveaux d'entraînements des sujets finisseurs

	Diagonale des fous	Trail de Bourbon	Toutes courses	p
Durée d'entraînement hebdomadaire déclarée (durée en heure +/-DS)	8h41+/-4h07	7h12+/-3h31	8h20+/-4h02	<0,0001
Ancienneté moyenne de pratique en trail déclarée (Durée en années+/-DS)	7,5+/-5,2 ans	6,0+/-5,0 ans	7,1+/-5,2 ans	<0,0001
Effectifs des coureurs pour qui l'épreuve constituait leur premier ultra-trail* (effectifs avec pourcentages)	132 (15,0 %)	135 (49,6%)	267 (23,1%)	<0,0001
Nombre moyen d'ultra-trails* antérieurs à cette épreuve (nombre+/-DS)	6,3+/-6,6	5,6+/-5,8	6,2+/-6,4	0,2228

\*La définition d'ultra-trail selon la FFA (course pédestre en milieux naturel  $\geq 80\text{km}$ ) a été utilisée.

Le Tableau 8 présente utilité perçue de l'expérience en ultra-trail des sujets finisseurs.

Tableau 8 Avis des finisseurs concernant l'utilité de l'expérience pour la gestion du sommeil en ultra-trail\*

	Expérience jugée utile	Expérience non utile	Ne se prononce pas
Diagonale des fous (n=882)	525 (59,5%)	196 (22,2%)	161 (18,2%)
Trail de Bourbon (n=272)	98 (36,0%)	32 (11,8%)	142 (52,2%)
Toutes courses (n=1154)	623 (54,0%)	228 (19,7%)	303 (26,2%)

\*Les données sont des effectifs (avec le pourcentage)

p=0,661

### 3.5.2 Chronotypes

Le Tableau 9 représente les durées moyennes de sommeil journalières pour les différentes populations de coureurs finisseurs:

Tableau 9 Durée moyenne de sommeil journalière habituelle des sujets finisseurs\*

Diagonale des fous	7h29+/-0h59
Trail de Bourbon	7h31+/-0h55
Toutes courses	7h29+/-0h58

\*Les données sont des durées au format heures et minutes +/- déviation standard

p=0,5599

L'heure moyenne de lever était à 6h23 (+/-0h58). L'heure moyenne de coucher était à 22h44+/-0h53 .

Cette population de coureurs jugeait le nombre d'heures idéales de sommeil par jour à 7h59+/-0h56 en moyenne.

Il existe un déficit de 0h31+/-0h55 entre la durée de sommeil idéale déclarée et la durée de sommeil journalier réelle moyenne effectuée.

La figure 9 ci-après présente les heures de levers réels et idéaux pour notre population d'ultra-traileurs finisseurs.

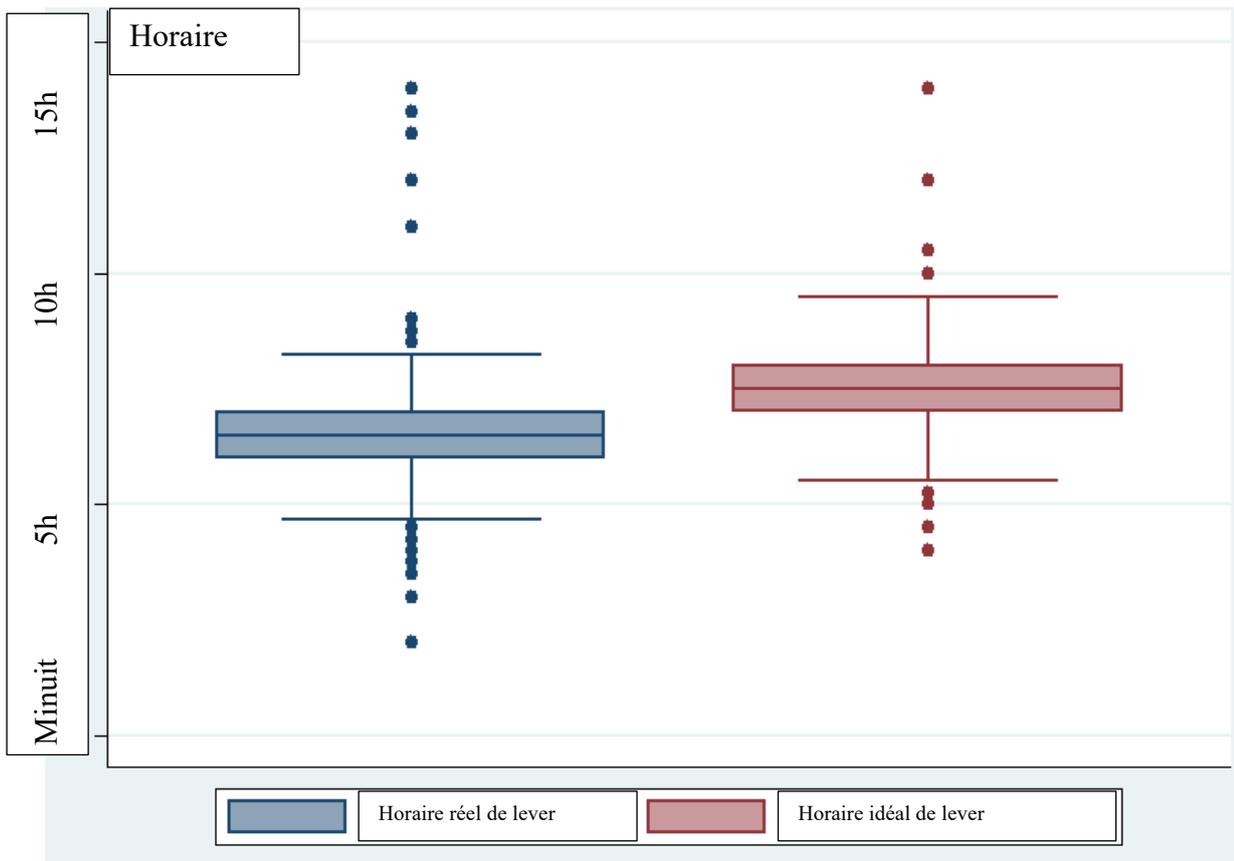


Figure 9 Horaires de lever réels et idéaux de la population d’ultra-traileurs finisseurs

L’heure moyenne de lever était à 6h23 (+/-0h58). L’heure de lever idéale déclarée était en moyenne à 7h29 (+/-1h03),  $p < 0,0001$ .

La Figure 10 ci-après présente les heures de couchers réels et idéaux pour la population d’ultra-traileurs finisseurs à l’étude.

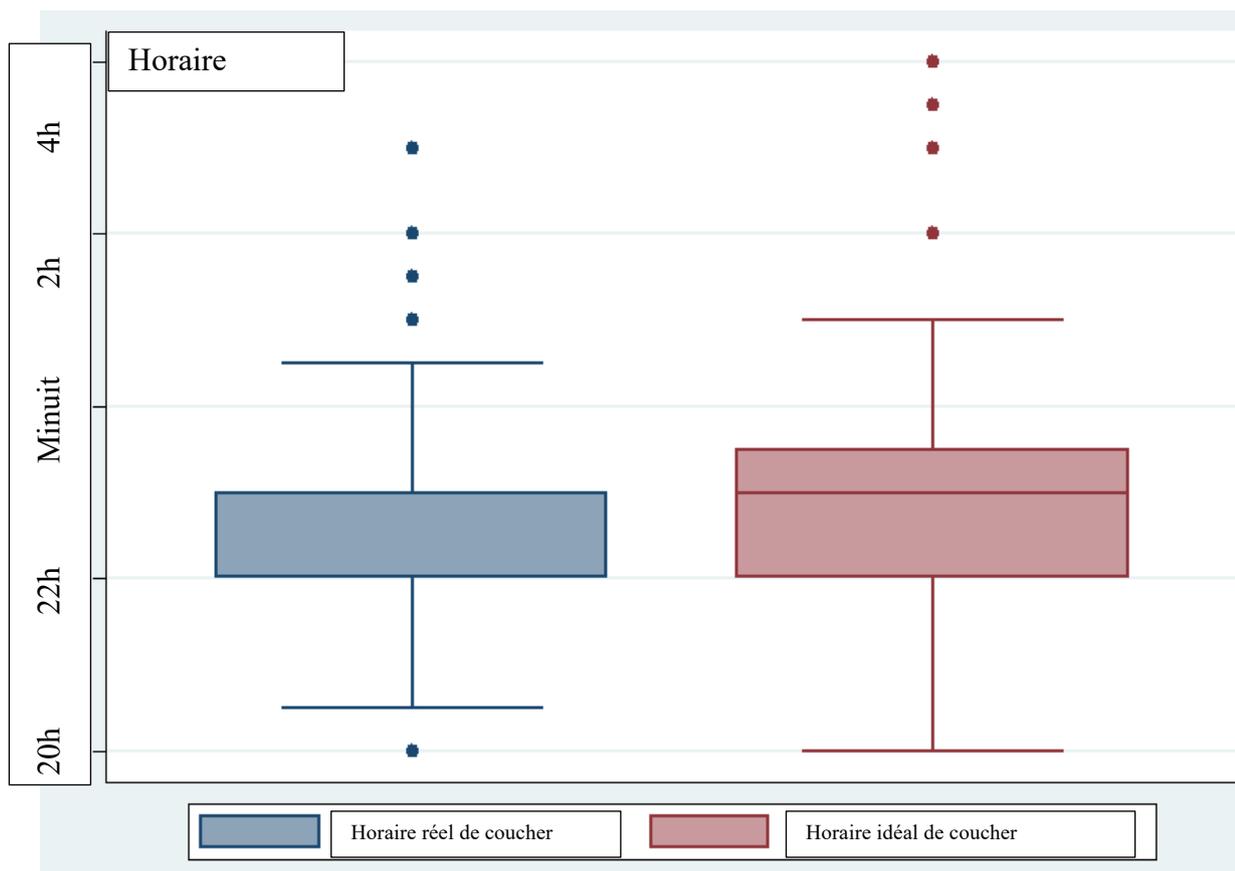


Figure 10 Horaires de couchers réels et idéaux de la population d'ultra-traileurs finisseurs

L'heure moyenne de coucher était à 22h44 $\pm$ 0h53 . L'heure idéale de coucher à 23h41( $\pm$  3h24),  $p < 0,0001$ .

Le Tableau 10 ci-après représente les effectifs de coureurs finisseurs ayant une activité professionnelle de nuit pour chacun des groupes étudiés :

Tableau 10 Pratique d'une activité professionnelle de nuit des concurrents finisseurs\*

Diagonale des fous	131 (14,8%)
Trail de Bourbon	42 (15,4%)
Toutes courses	173 (15,0%)

\*Les données sont des effectifs (avec le pourcentage)

$p=0,812$

Le Tableau 11 représente la répartition des concurrents finisseurs selon les chronotypes déclarés pour chacune des épreuves :

Tableau 11 Typologie circadienne déclarée des concurrents finisseurs\*

	Plutôt du matin	Plutôt du soir	Ni l'un ni l'autre
Diagonale des fous (n=882)	434 (49,2%)	216 (24,5%)	232 (26,3%)
Trail de Bourbon (n=272)	149 (54,8%)	52 (19,1%)	71 (26,1%)
Toutes courses (n=1154)	583 (50,5%)	268 (23,2%)	303 (26,2%)

\*Les données sont des effectifs (avec le pourcentage)

p=0,145

L'histogramme ci-après (Figure 11) représente les pourcentages (avec les effectifs) des concurrents finisseurs ayant déclaré des troubles du sommeil ou de l'humeur habituels :

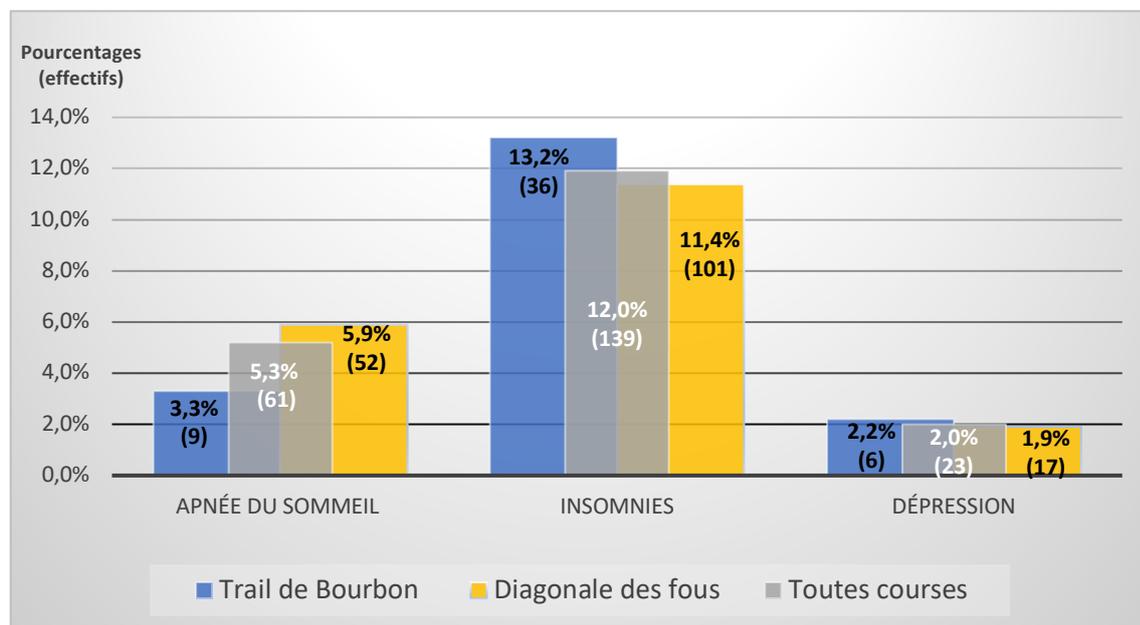


Figure 11 Troubles du sommeil et de l'humeur déclarés par les concurrents

Dans notre échantillon de sujets finisseurs, 223(19.3%) personnes déclaraient au moins un trouble du sommeil et/ou de l'humeur.

L'histogramme ci-après (Figure 12) représente les pourcentages des concurrents finisseurs à l'étude ayant recours à des traitements des troubles du sommeil et de l'humeur, pour chacune des épreuves considérées

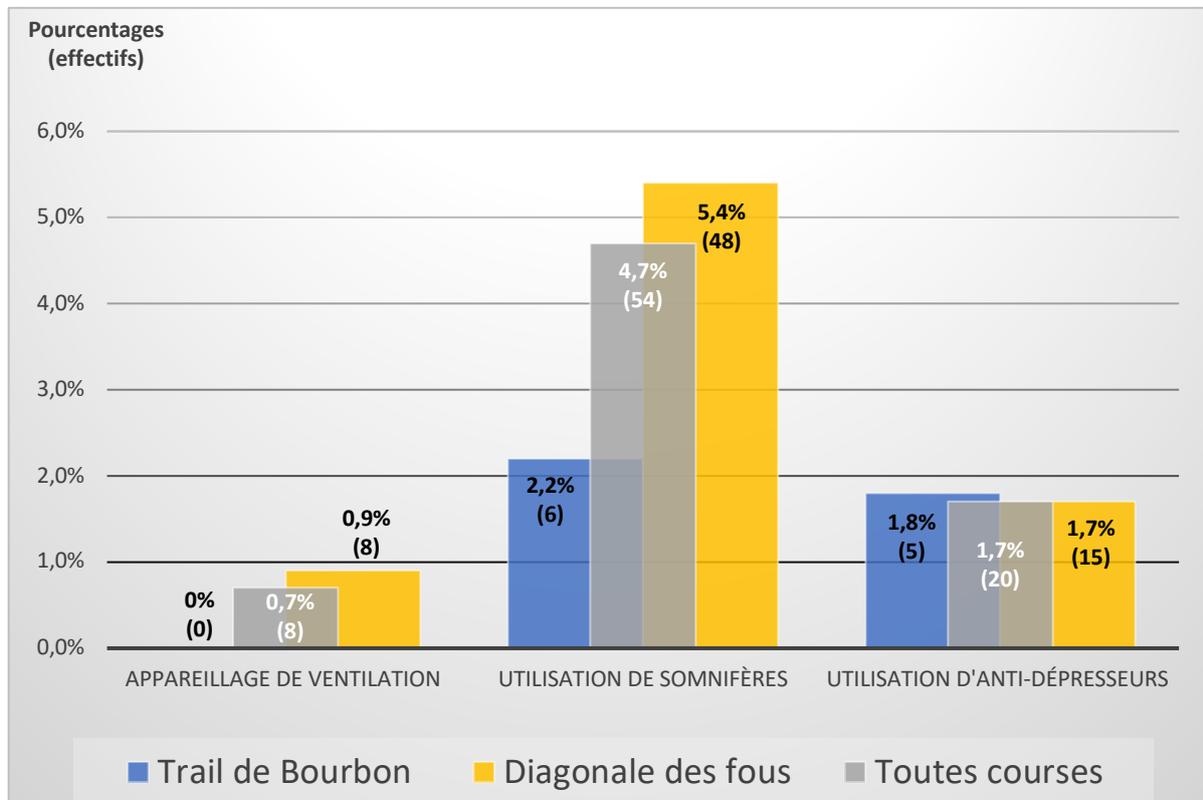


Figure 12 Recours utilisés par les sujets finisseurs pour le traitement des troubles du sommeil et de l'humeur

### 3.6 Stratégies de sommeil avant course (finisseurs)

Le Tableau 12 ci-après présente les effectifs des sujets finisseurs s'étant entraînés en se privant volontairement de sommeil lors de certains entraînements pour se préparer à leur épreuve et les effectifs de coureurs ayant élaboré une stratégie de sommeil en vue de l'épreuve.

Tableau 12 Préparation spécifique à l'épreuve des finisseurs: privation de sommeil en entrainement et stratégies de sommeil\*

	Diagonale des fous	Trail de Bourbon	Toutes courses	p
Entrainement en privation de sommeil	150 (17,0%)	61 (22,4%)	211 (18,2%)	0,043
Élaboration d'une stratégie de sommeil en vue de l'épreuve	544 (61,7%)	129 (47,4%)	673 (58,2%)	<0,001

\*Les données sont des effectifs (avec le pourcentage)

L'histogramme ci-après (Figure 13) représente les pourcentages des concurrents finisseurs ayant élaboré une stratégie de sommeil pour la période avant course (une semaine), pendant l'épreuve elle-même et la période de récupération suivant l'épreuve (deux premières semaines).

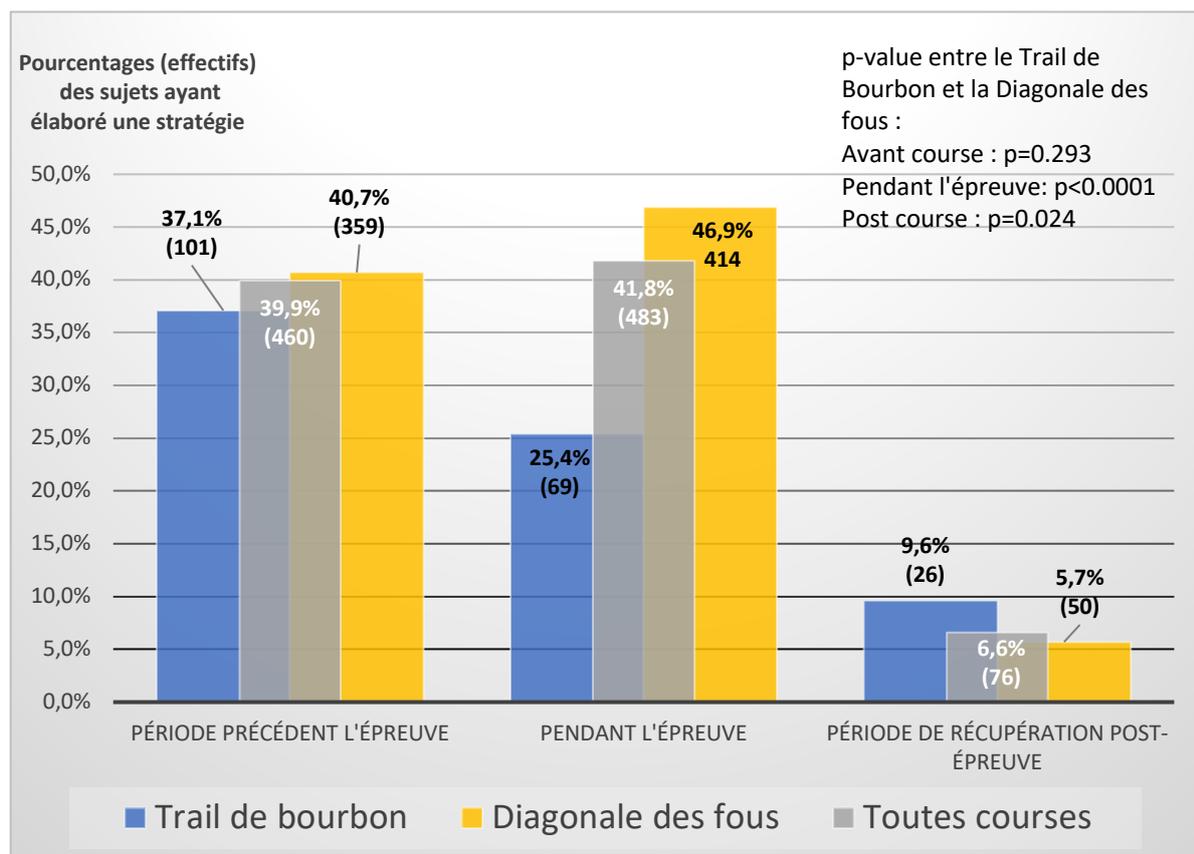


Figure 13 Élaboration d'une stratégie de sommeil en fonction de la période considérée pour les sujets finisseurs

Le tableau ci-après (Tableau 13) représente les pourcentages des concurrents finisseurs ayant respecté leur stratégie de sommeil élaborée pour les périodes avant course (une semaine) pendant l'épreuve elle-même et la période de récupération suivant l'épreuve (deux premières semaines).

Tableau 13 Respect des stratégies par période considérée pour les concurrents finisseurs\*

	Diagonale des fous	Trail de Bourbon	Toutes courses	p
Respect de la stratégie de sommeil avant l'épreuve	308 (85,8%)	87 (86,1%)	395 (85,9%)	0,668
Respect de la stratégie de sommeil pendant l'épreuve	314 (75,8%)	58 (84,0%)	371 (76,8%)	0,218
Respect de la stratégie de sommeil en récupération post-épreuve	37 (74,0%)	21 (80,8%)	57 (75,0%)	0,78

\*Les données sont des effectifs (avec le pourcentage)

L'histogramme ci-après (Figure 14) représente les sources utilisées pour l'élaboration des stratégies de sommeil, sur la Diagonale des fous, le Trail de Bourbon et dans notre échantillon total des finisseurs.

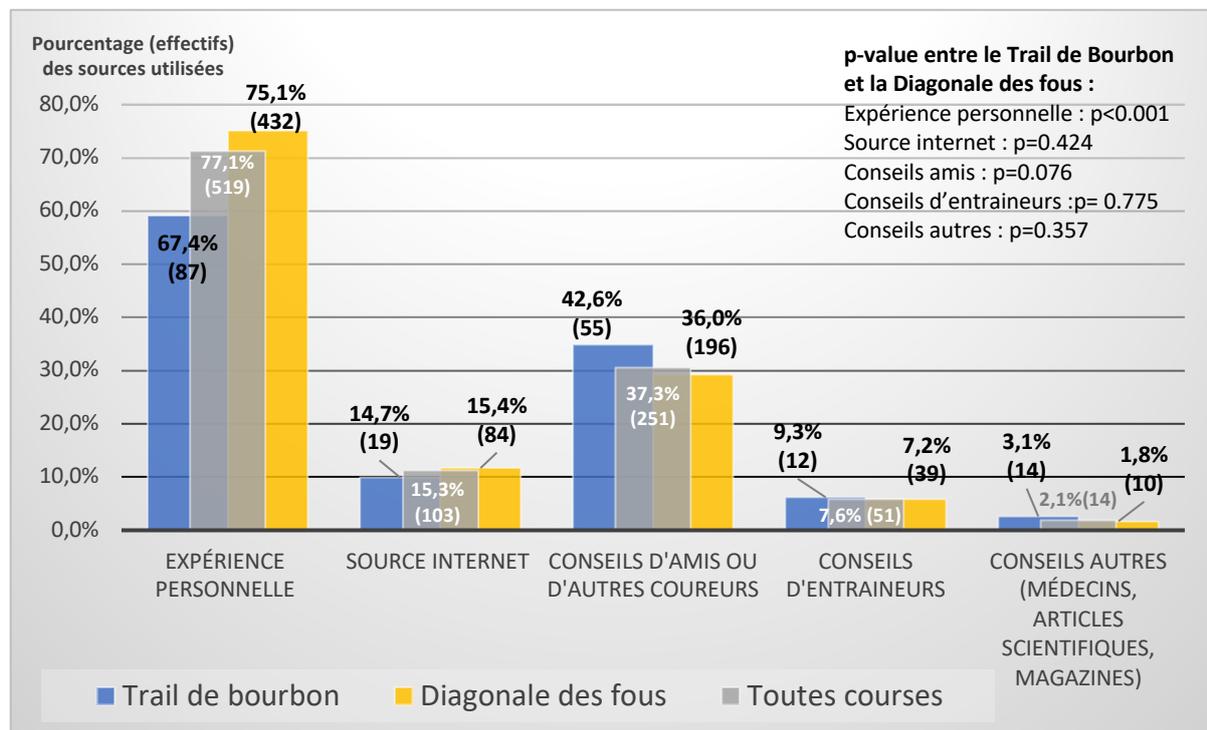


Figure 14 Sources utilisées pour l'élaboration des stratégies de sommeil chez les finisseurs

Les sources « autres » décrites comprennent des tests personnels effectués par les concurrents, les lectures d'articles scientifiques sur magazines, l'autohypnose, le mimétisme et l'improvisation.

### 3.7 Description du sommeil avant l'épreuve (finisseurs)

Le Tableau 14, présente la répartition des différents rythmes de sommeil adoptés, modifiés ou non, la semaine avant le départ chez les sujets finisseurs de l'épreuve.

Tableau 14 Rythmes et stratégies de sommeil adoptés avant l'épreuve des sujets finisseurs

	<b>Diagonale de fous</b>	<b>Trail de Bourbon</b>	<b>Toutes courses</b>	<b>p</b>
<b><i>Modification du rythme habituel de sommeil avant l'épreuve (stratégique ou hors stratégie) :</i></b>				
<b>NON</b>	<b>322 (36,5%)</b>	<b>123 (45,2%)</b>	<b>445 (38,6%)</b>	<b>0,004</b>
<b>OUI</b>	<b>560 (63,5%)</b>	<b>149 (54,8%)</b>	<b>709 (61,4%)</b>	
<b><i>Dont extensions du sommeil</i></b>				
- Mise en place de siestes	103 (11,7%)	30 (11,0%)	133 (11,5%)	0,024
- Augmentation de la durée de sommeil nocturne	216 (24,5%)	65(23,9%)	281 ( 24,3%)	0,016
- Augmentation de la durée de sommeil nocturne et mise en place de siestes	181 (20,5%)	38 (14,0%)	219 (18,0%)	0,038
<b>Total des changements de rythmes consistant en une extension de sommeil</b>	<b>500 (56,7%)</b>	<b>133 (48,9%)</b>	<b>633 (54,8%)</b>	<b>0,024</b>
<b><i>Dont changement de rythmes avec un temps de sommeil identique</i></b>				
- Même durée de sommeil mais décalage des horaires avec lever plus tôt et couché plus tôt	36 (4,1%)	10 (3,7%)	46 (4,0%)	0,765
- Même durée de sommeil mais décalage des horaires avec lever plus tard et couché plus tard	17 (1,9%)	5 (1,8%)	22 (1,9%)	0,925
- Même durée de sommeil mais avec fractionnement en plusieurs phases	1 (0,1%)	0 (0,0%)	1 (0,1%)	0,579
<b>Total des changements de rythmes à durée de sommeil conservée</b>	<b>54 (6,1%)</b>	<b>15 (5,5%)</b>	<b>69 (6,0%)</b>	<b>0,712</b>
<b>Total des changements de rythmes à durée de sommeil diminuée</b>	<b>6 (0,7%)</b>	<b>1(0,4%)</b>	<b>7(0,6%)</b>	<b>0,873</b>

La semaine avant le départ 535 (46,4%) sujets déclaraient avoir présenté une période de privation de sommeil, 443 (50,2%) concurrents de la Diagonale des fous et 92 (33,8%) concurrents du Trail de Bourbon,  $p < 0,001$ .

Les raisons (uniques ou multiples) de la privation de sommeil chez les sujets finisseurs la semaine avant le départ sont présentées dans l'histogramme ci-dessous (Figure 15):

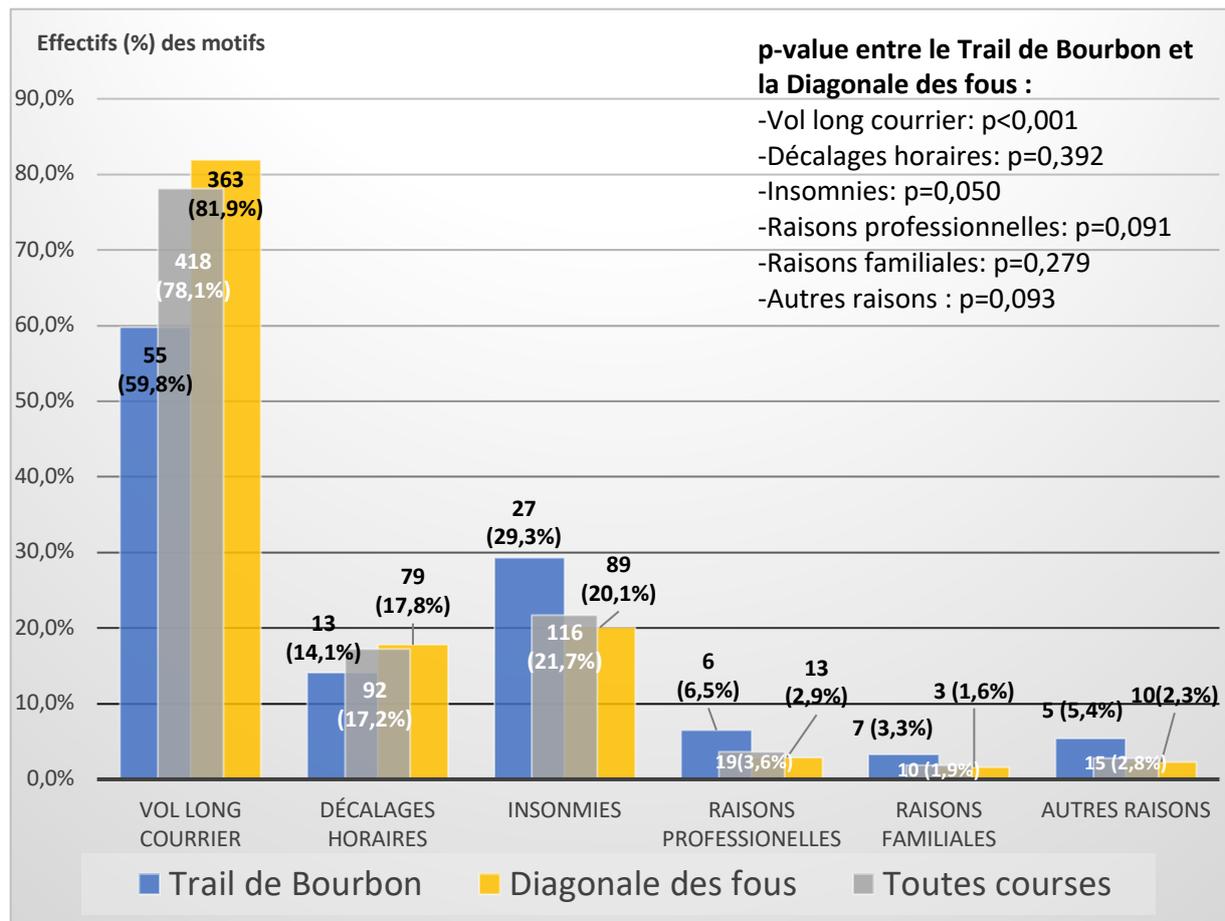
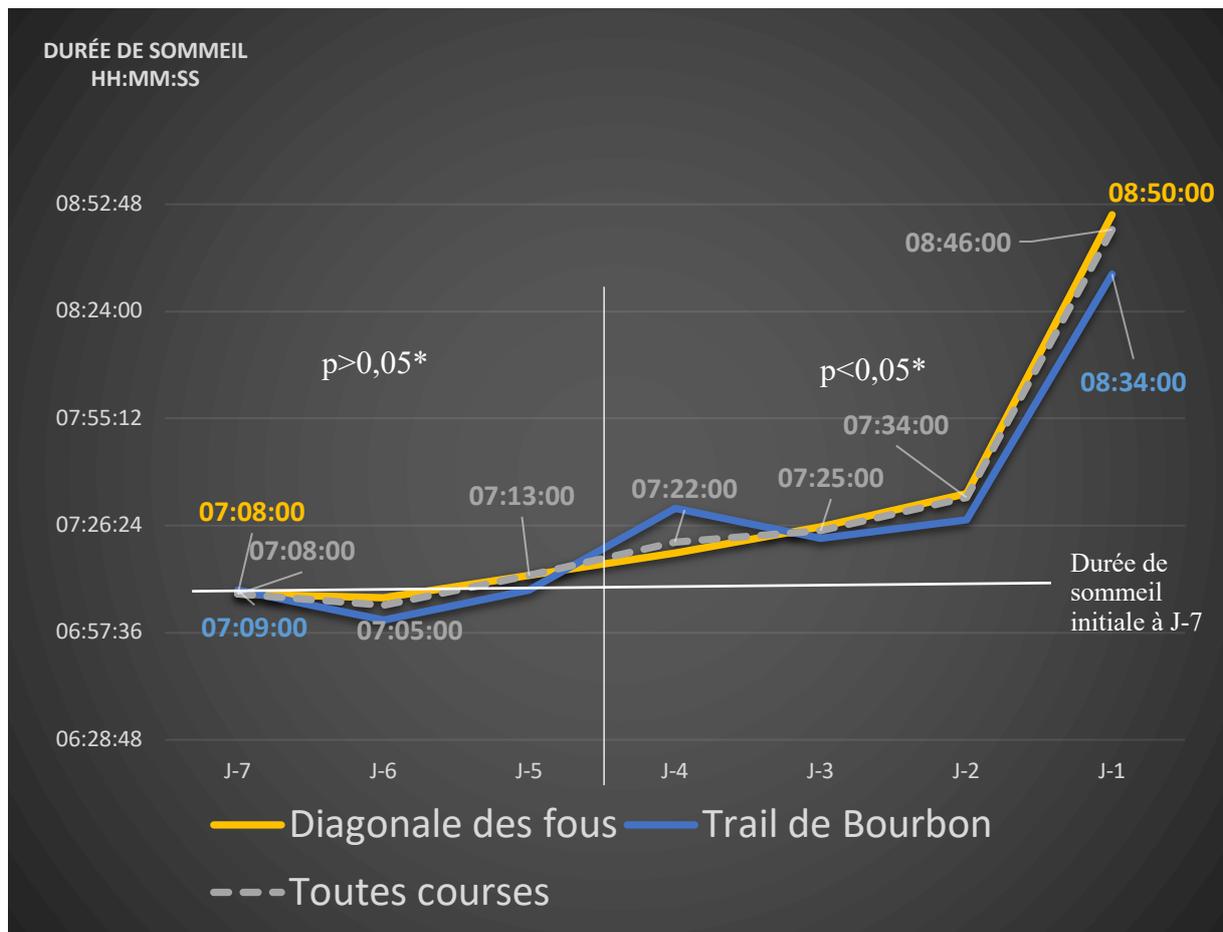


Figure 15 Motifs de privation de sommeil durant la semaine avant le départ de l'épreuve parmi les sujets finisseurs ayant déclaré une privation (n=535)

Les raisons « autres » déclarées sont représentées par les raisons sociales (fêtes, temps associatifs, activités de voyages), les nuisances sonores, les raisons sentimentales, le stress, les adaptations à la température et les préparations logistiques.

La semaine avant le départ de l'épreuve, les moyennes journalières de durée de sommeil des sujets finisseurs étaient réparties comme présentées sur la figure 16.



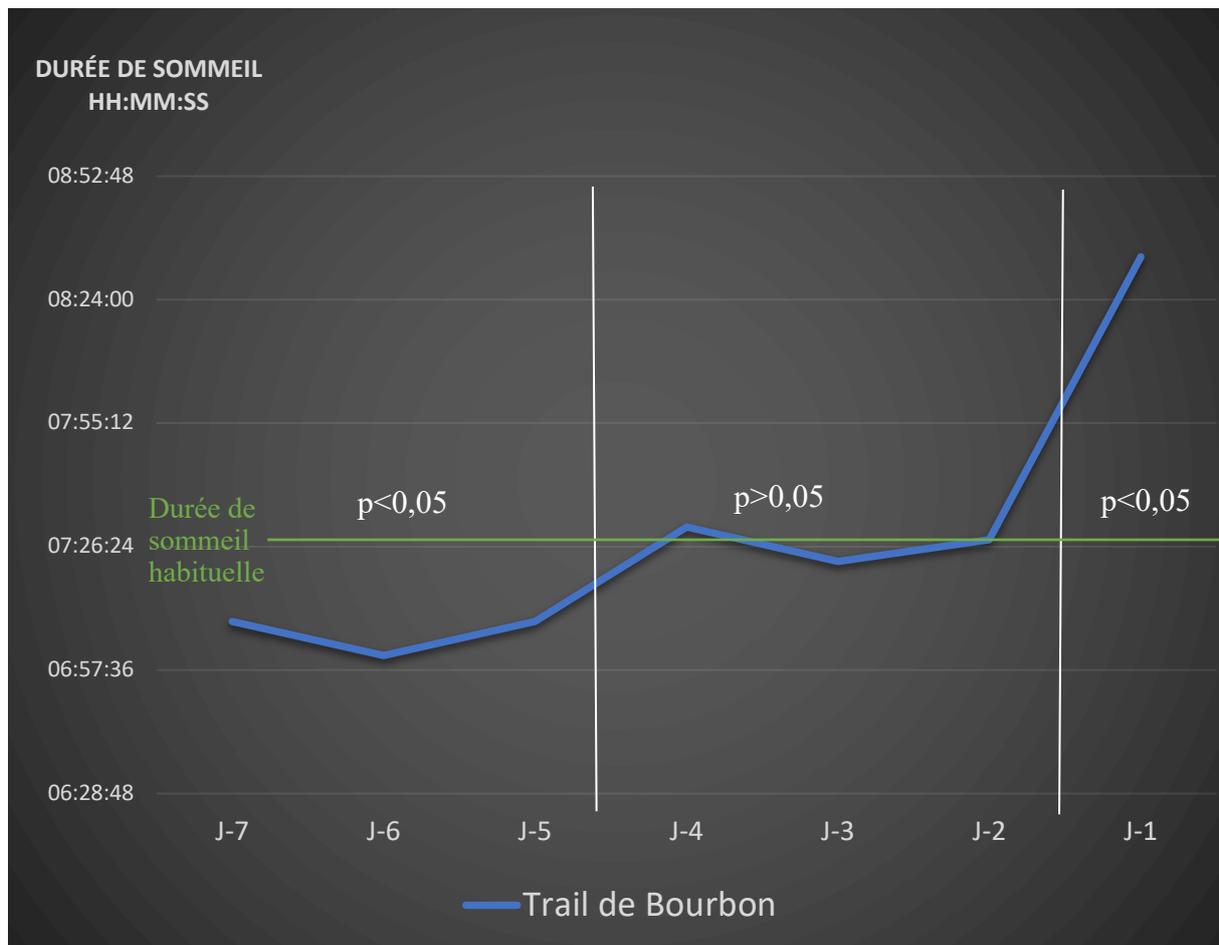
\*Les p-value indiquées correspondent aux différences entre la durée de sommeil **initiale de base à J-7** et les valeurs de durée de sommeil chaque jours séparant le départ (J-7 à J-1).

Figure 16 Évolution de la durée moyenne de sommeil journalier des sujets finisseurs avant le départ de la Diagonale des fous, le Trail de Bourbon et toutes courses

Concernant la Diagonale des fous, la différence observée entre les durées de sommeil des concurrents à J-7, J-6 et J-5 jours n'est pas significative avec respectivement  $p=0,79$  entre J-7 et J-6 et  $p=0,07$  entre J-7 et J-5. Les différences de durées sont significatives à partir de J-4 jours avec  $p=0,0014$  entre J-7 et J-4,  $p<0,001$  entre J-7 et J-3,  $p<0,001$  entre J-7 et J-2 et  $p<0,001$  entre J-7 et J-1.

Concernant le Trail de Bourbon, la différence observée entre les durées de sommeil des concurrents à J-7, J-6 et J-5 jours n'est pas significative avec respectivement  $p=0,79$  entre J-7 et J-6 et  $p=1,00$  entre J-7 et J-5. Les différences de durées sont significatives à partir de J-4 jours avec  $p<0,001$  entre J-7 et J-4,  $p<0,001$  entre J-7 et J-3,  $p=0,002$  entre J-7 et J-2 et  $p<0,001$  entre J-7 et J-1.

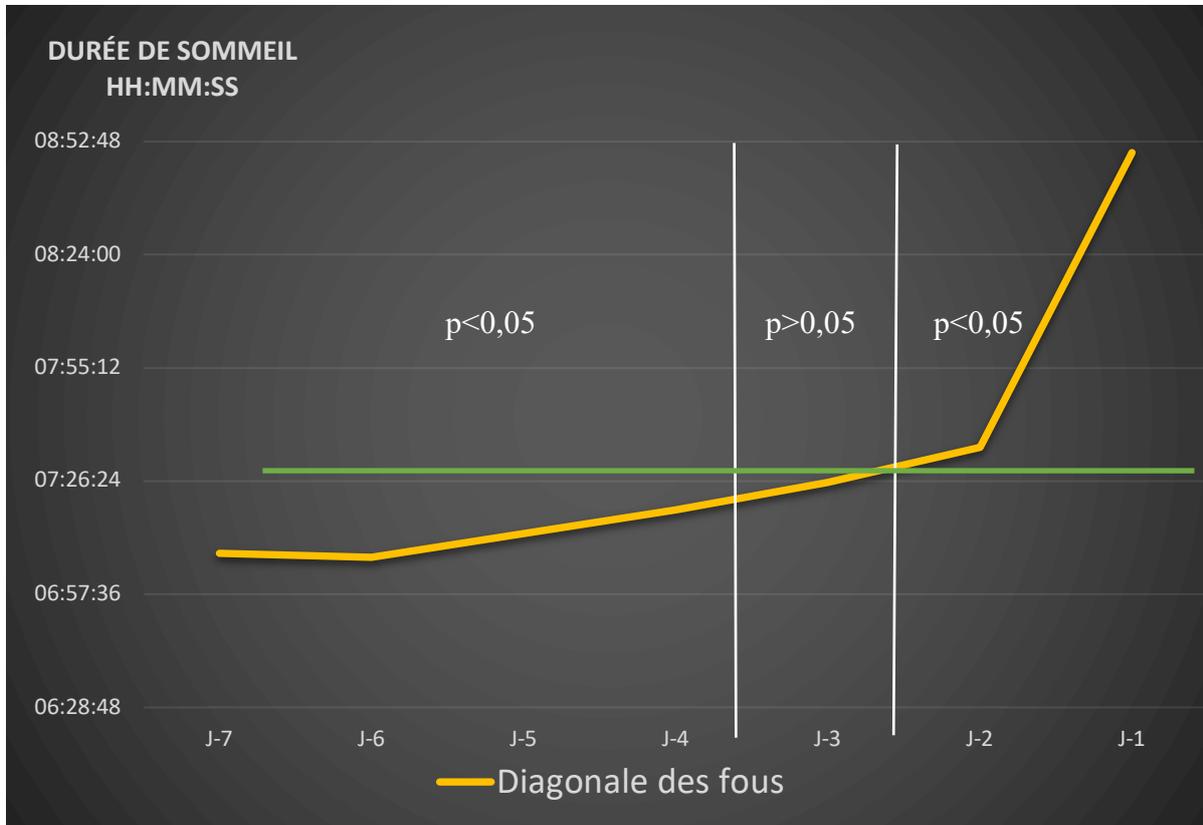
La figure 17 présente l'évolution des durées de sommeil journalières des sujets finisseurs la semaine avant le départ du Trail de Bourbon en regard de la durée de sommeil habituelle.



\*Les p-value indiquées correspondent aux différences entre la durée de sommeil **habituelle** et les valeurs de durée de sommeil pour chaque jours séparant du départ ( J-7 à J-1).

Figure 17 Évolution des durées de sommeil journalières des finisseurs la semaine avant le départ du Trail de Bourbon en regard de la durée de sommeil habituelle\*

La Figure 18 présente l'évolution des durées de sommeil journalière des sujets finisseurs la semaine avant le départ de la Diagonale des fous en regard de la durée de sommeil habituelle.



\* Les p-value indiquées correspondent aux différences entre la durée de sommeil **habituelle** et les valeurs de durée de sommeil pour chaque jours séparant du départ ( J-7 à J-1).

Figure 18 Évolution des durées de sommeils journalières des finisseurs la semaine avant le départ de la Diagonale des fous en regard de la durée de sommeil habituelle\*

Sur les 24 heures avant le départ, l'écart constaté de durée de sommeil par rapport à leur durée de sommeil habituelle était en moyenne de +1h01+/-2h13 ( $p < 0,001$ ) pour les coureurs du Trail de Bourbon, +1h05+/-2h35 ( $p < 0,001$ ) pour la Diagonale des fous et + 1h02+/-2h18 ( $< 0,001$ ) toutes courses confondues.

Le Tableau 15 ci-après représente les effectifs des coureurs ayant présenté des difficultés à dormir la dernière nuit avant le départ de leur épreuve.

Tableau 15 Difficulté de sommeil la dernière nuit avant le départ chez les finisseurs\*

Diagonale des fous	232 (26,3%)
Trail de Bourbon	98 (36,0%)
Toutes courses	330 (28,6%)

\* Les données sont les effectifs (avec le pourcentage par catégorie)

La qualité ressentie de la dernière nuit avant l'une des épreuves des sujets finisseurs est présentée sur l'histogramme ci-après (Figure 19).

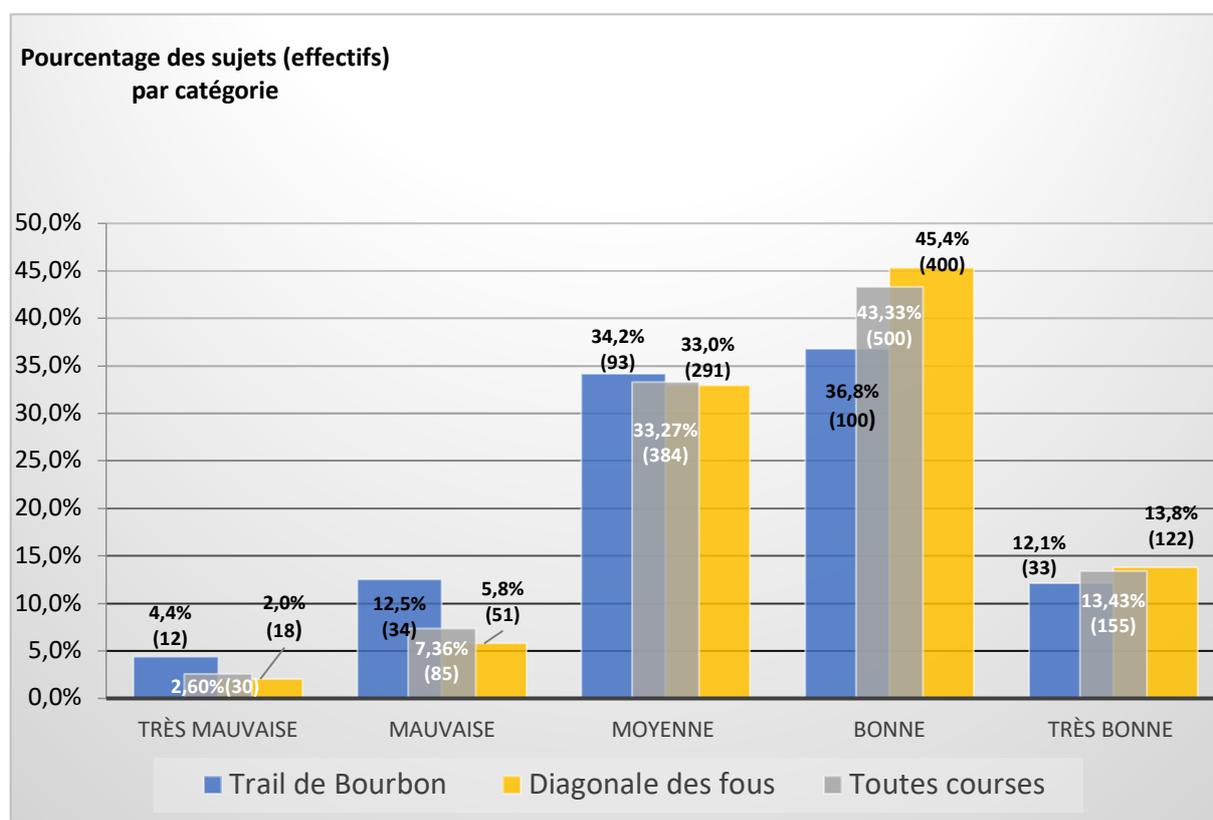


Figure 19 Qualité de la dernière nuit avant le départ chez les sujets finisseurs

Un total de 655 (56,7%) sujets signalaient avoir passé une dernière nuit bonne ou très bonne, avec 133 (48,9%) sujets pour le Trail de Bourbon et 422 (47,8%) sujets pour la Diagonale des fous. Le nombre de concurrents signalant une mauvaise ou très

mauvaise nuit était de 115 (10,0%) sujets, 46 (16,9%) sujets pour le Trail de Bourbon et 69 (7,8%) sujets pour la Diagonale des fous.

Sur le total des deux courses, 154 (13,34%) sujets finisseurs déclaraient avoir eu recours à des médicaments ou à d'autres alternatives pour les aider à dormir avant la course: 35 (12,87%) sujets sur le Trail de Bourbon et 119 (13,5%) sujets sur la Diagonale des fous.

L'histogramme ci-après (Figure 20) présente les proportions de sujet finisseur par types d'alternatives utilisées pour les sujets concernés sur chacune des épreuves :

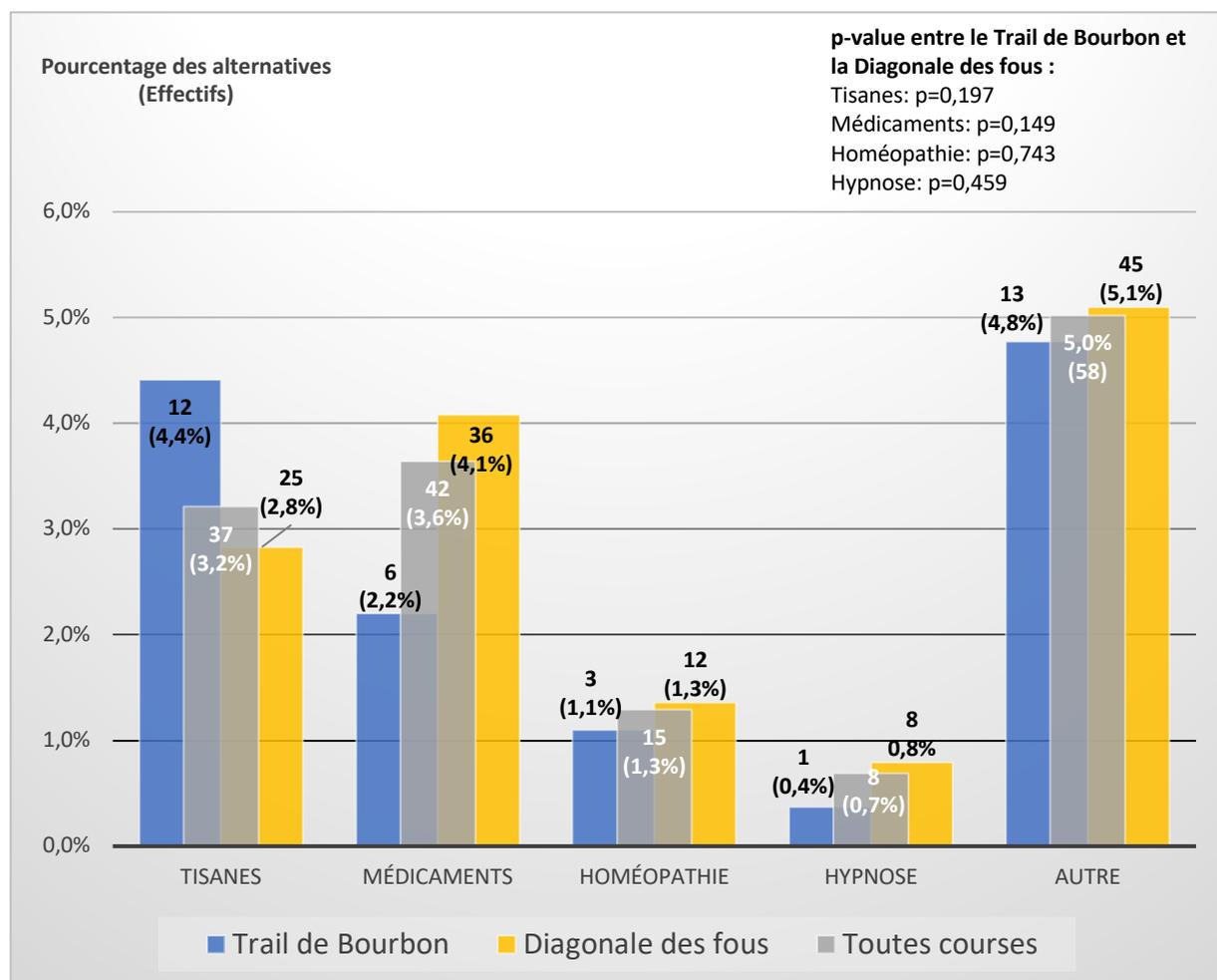


Figure 20 Alternatives utilisées pour l'aide au sommeil avant la course parmi le total des sujets

Les alternatives « autres » décrites rassemblent les compléments alimentaires, comprenant ou non de la mélatonine (<2mg/comprimé), et éléments de micronutrition

(Magnésium, Minerabase® et autres associations de micronutriments commercialisés), l'aromathérapie, la lecture, la phytothérapie, la sophrologie, la médication, les techniques corporelles de relaxation et de respiration, le reiki, le Yoga, le Shiatsu, la cryothérapie, la lumniothérapie, l'acupuncture et l'ostéopathie.

L'histogramme ci-dessous (Figure 21), représente l'état de forme déclarée par les concurrents finisseurs avant le départ de leur épreuve .

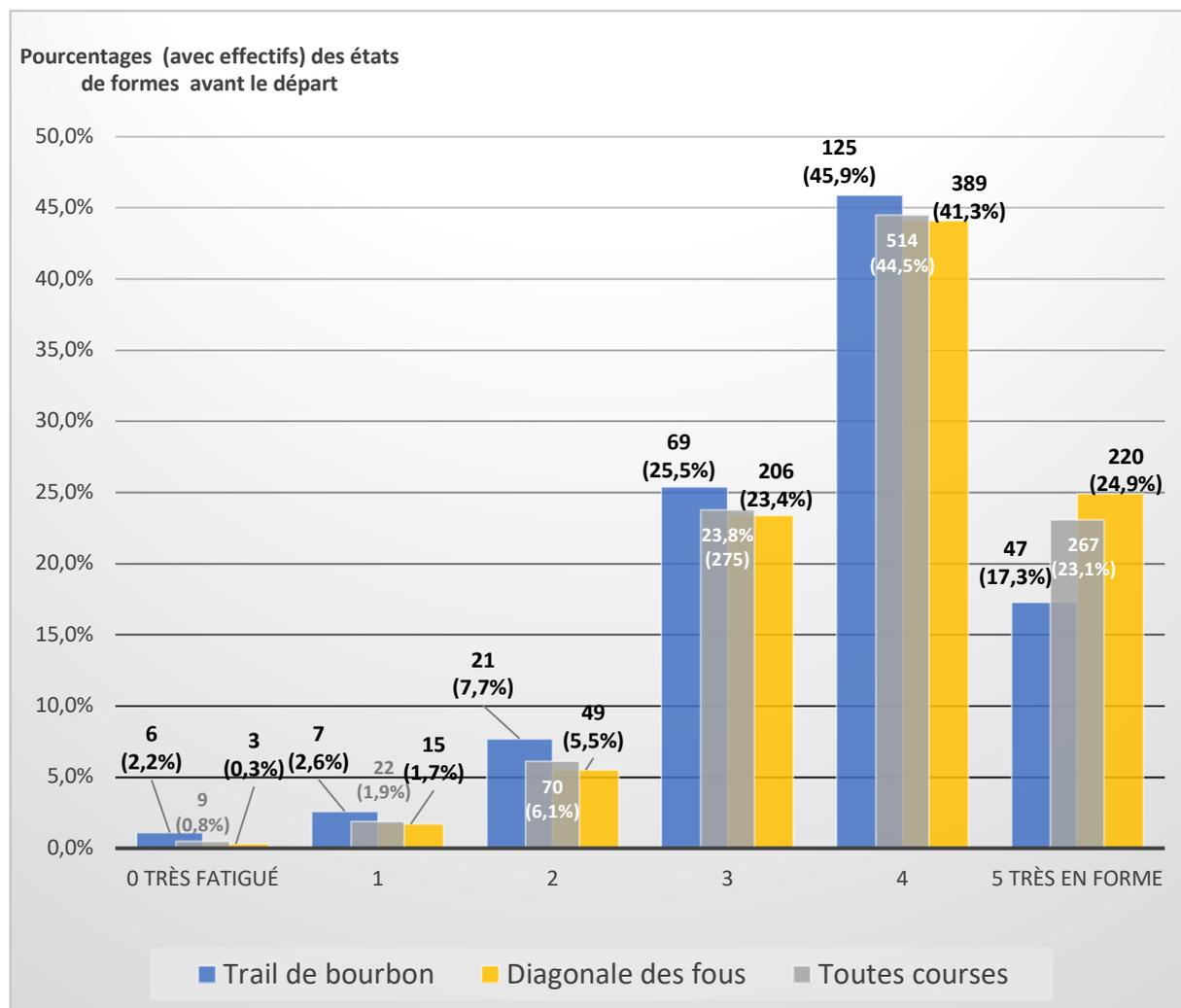


Figure 21 États de formes déclarées des finisseurs avant le départ sur chacune des épreuves

### 3.8 Description du sommeil pendant l'épreuve et répercussions (finisseurs)

#### 3.8.1 Stratégies de sommeil et planifications

L'histogramme ci-après (Figure 22) représente la planification du sommeil des coureurs finisseurs sur leur sommeil éventuel pendant l'épreuve.

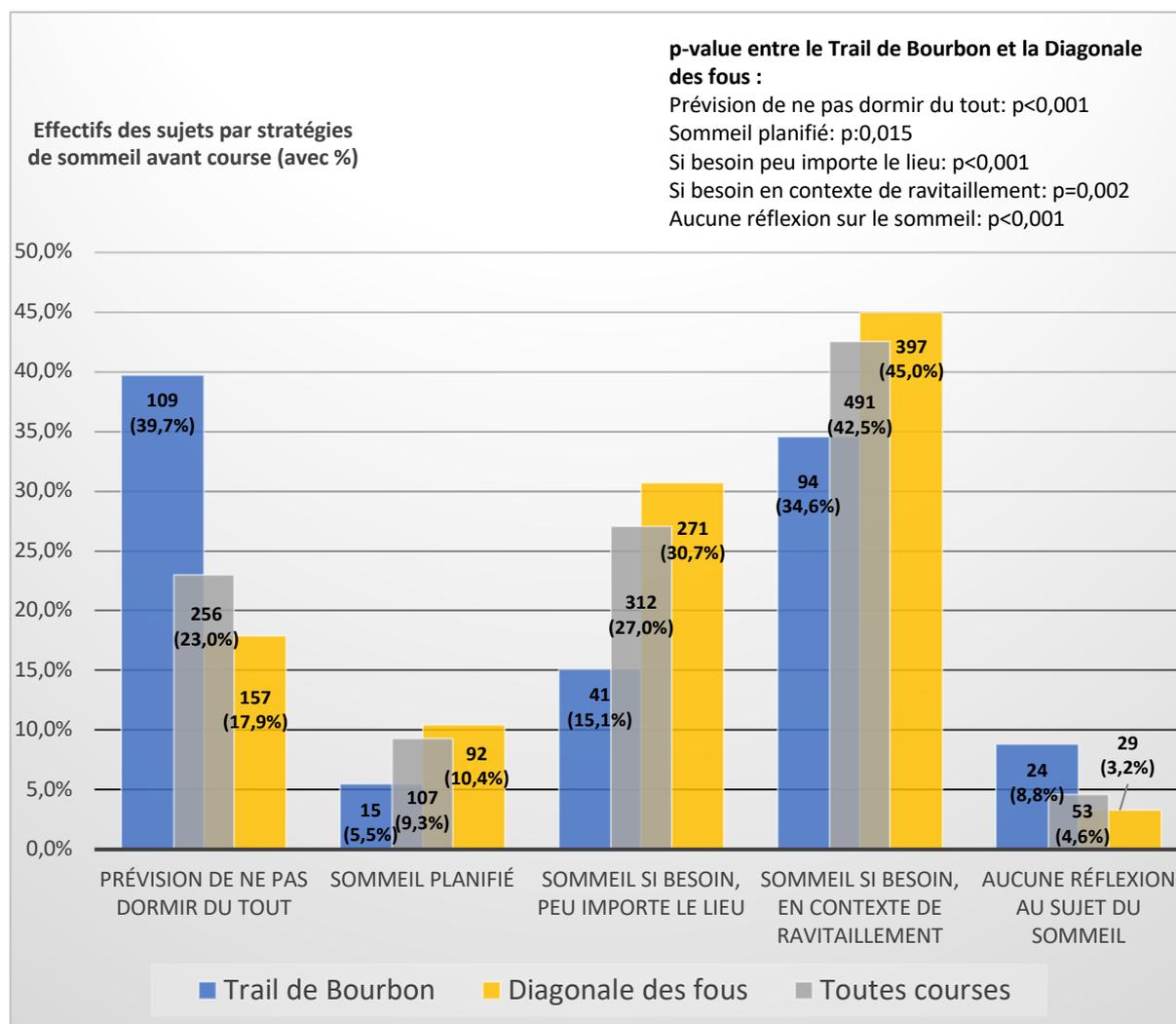


Figure 22 Types de planifications du sommeil prévus avant le départ chez les sujets finisseurs

### 3.8.2 Détail du sommeil des concurrents pendant les épreuves

Ci-après (Figure 23) sont présentés les pourcentages des siestes effectuées par catégories de durées de siestes (0 à 15 min, 15 à 30min, 30 à 60min, 1h00 à 1h30, 1h30 à 2h00, 2h00 à 3h00 et de >3h00) pour chacune des courses :

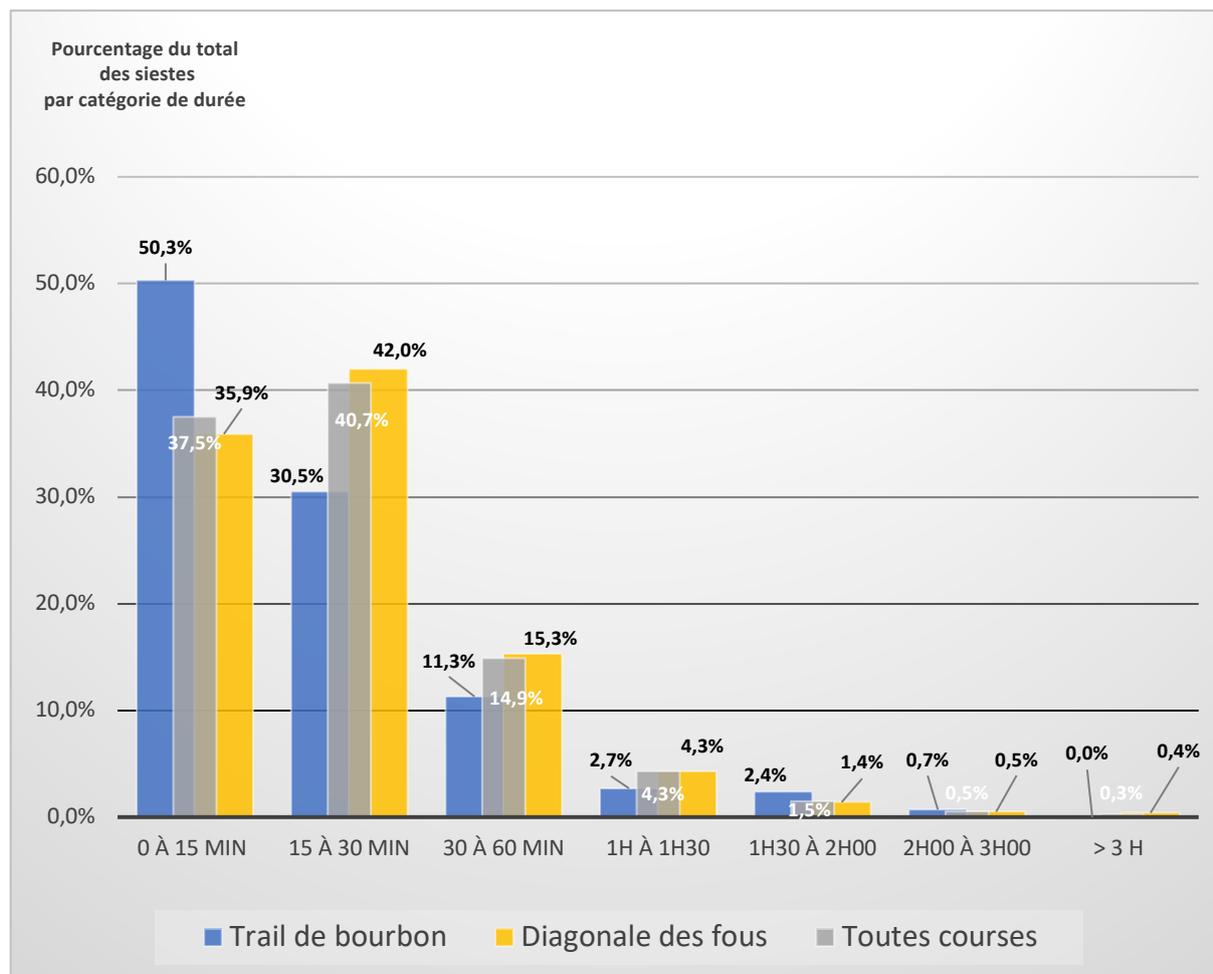
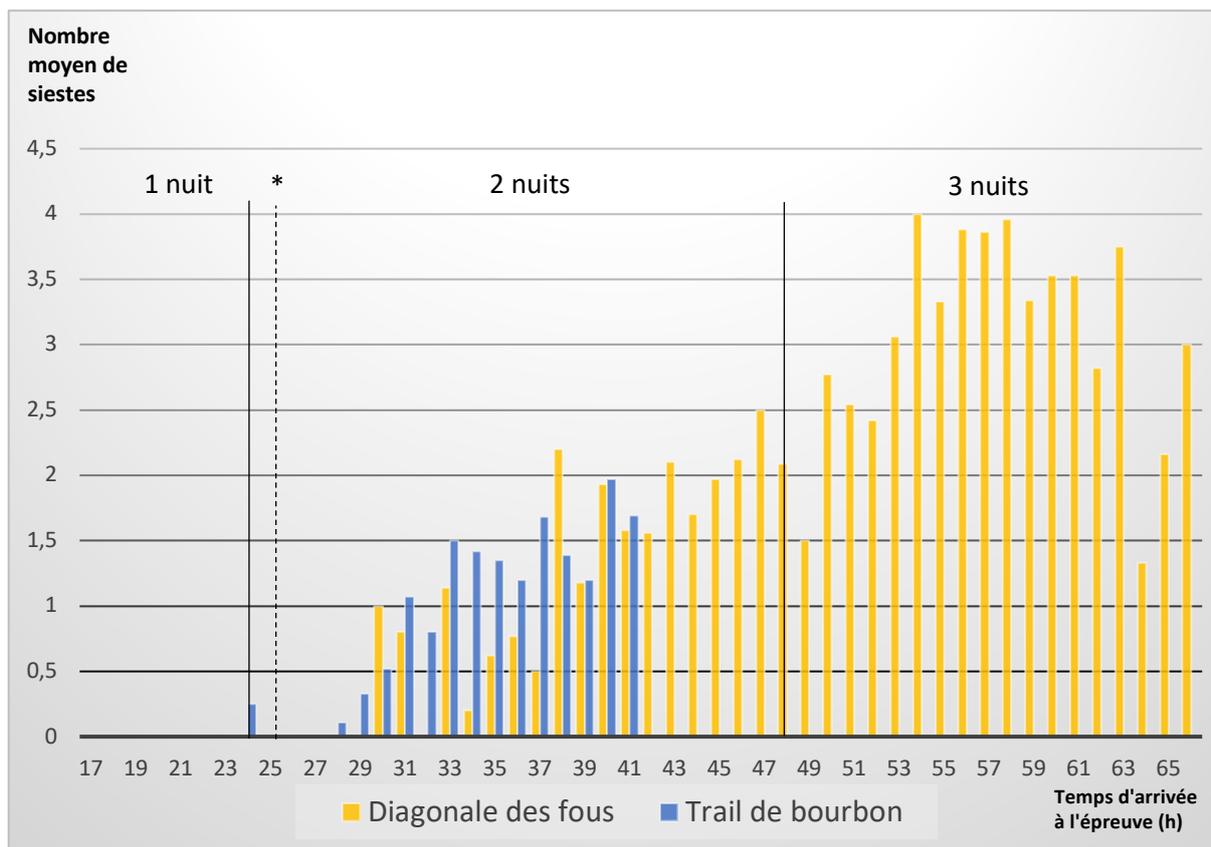


Figure 23 Siestes effectuées par les concurrents finisseurs durant les épreuves par intervalles de durées

Ci-après (Figure 24) sont représentées les moyennes du nombre de siestes effectuées, pour chaque tranche horaire d'une heure du temps d'arrivée, pour le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous, pour les sujets finisseurs.

A noter que les horaires de départ étaient 21h00 pour le Trail de Bourbon et 22h00 pour la Diagonale des fous. Le nombre de nuits passées sur le parcours est indiqué.



\*La ligne pointillée correspond à la séparation des groupes ayant passé 1 et 2 nuits sur le parcours du Trail de Bourbon (les lignes planes sont affectées à la séparation des nuits pour la Diagonale des fous).

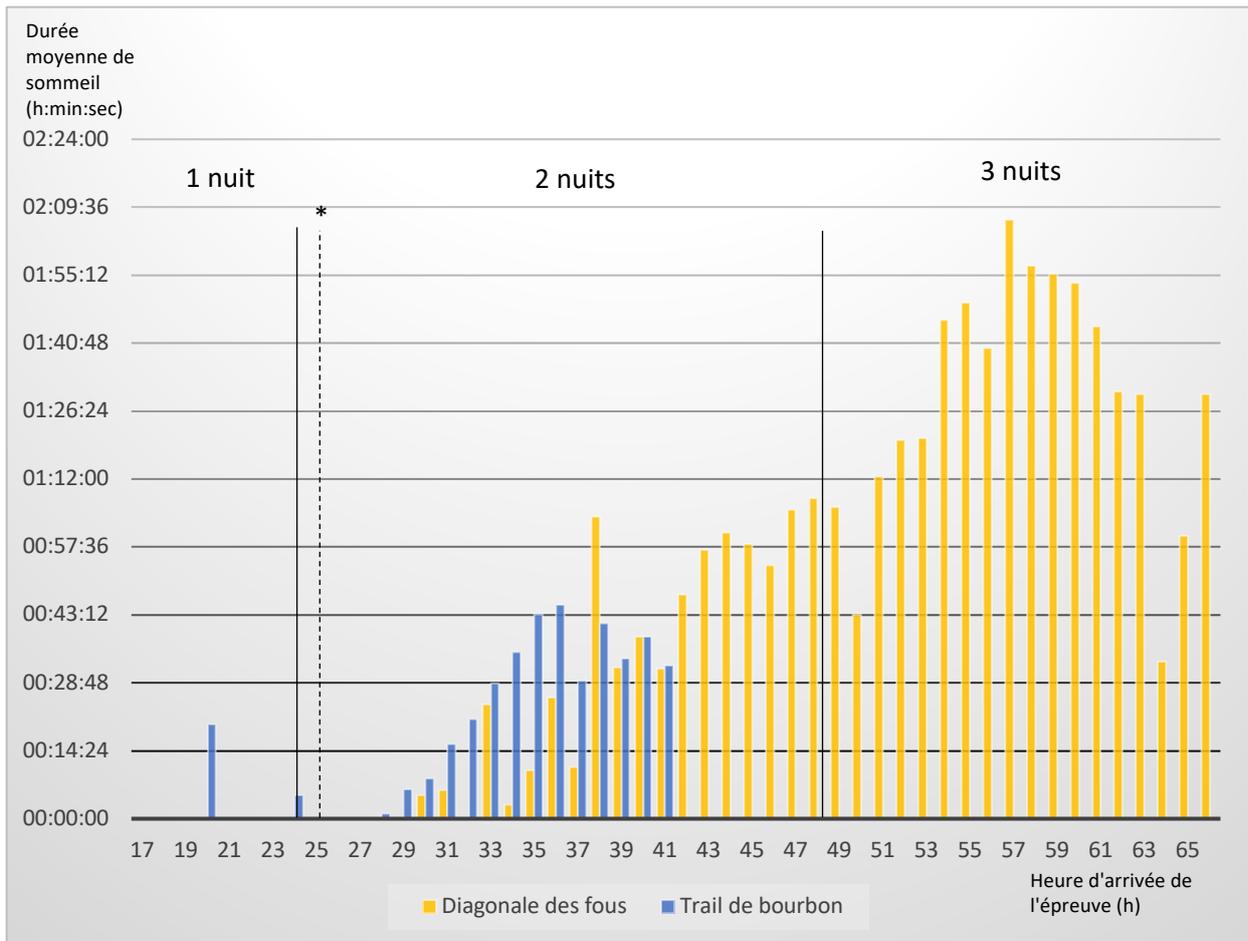
Figure 24 Moyennes du nombre de siestes par tranche horaire d'arrivée d'une heure sur la Diagonale des fous et le Trail de Bourbon des sujets finisseurs

Les moyennes du nombre de siestes des coureurs ayant terminé leur épreuve en passant une nuit, deux nuits ou trois nuits sur le parcours étaient respectivement de  $0,16 \pm 0,38$  siestes,  $1,49 \pm 1,64$  siestes et  $3,27 \pm 2,24$  siestes.

Le nombre moyen de siestes effectuées sur le parcours était de  $2,57 \pm 2,17$  sur la Diagonale des fous et de  $1,04 \pm 1,32$  sur le Trail de Bourbon,  $p < 0,001$ .

La durée moyenne cumulée de sommeil des sujets pendant la course était de  $1h16 \pm 1h21$  sur la Diagonale des fous et de  $0h27 \pm 0h44$  sur le Trail de Bourbon,  $p < 0,001$ .

Concernant la répartition des durées de siestes par catégorie de coureurs et de performance, l'histogramme ci-dessous (Figure 25) représente les durées moyennes de sommeil cumulées au cours des épreuves du Trail de Bourbon et de la Diagonale des fous par tranches horaires d'une heure à l'arrivée. Le nombre de nuits passées sur le parcours est également indiqué.

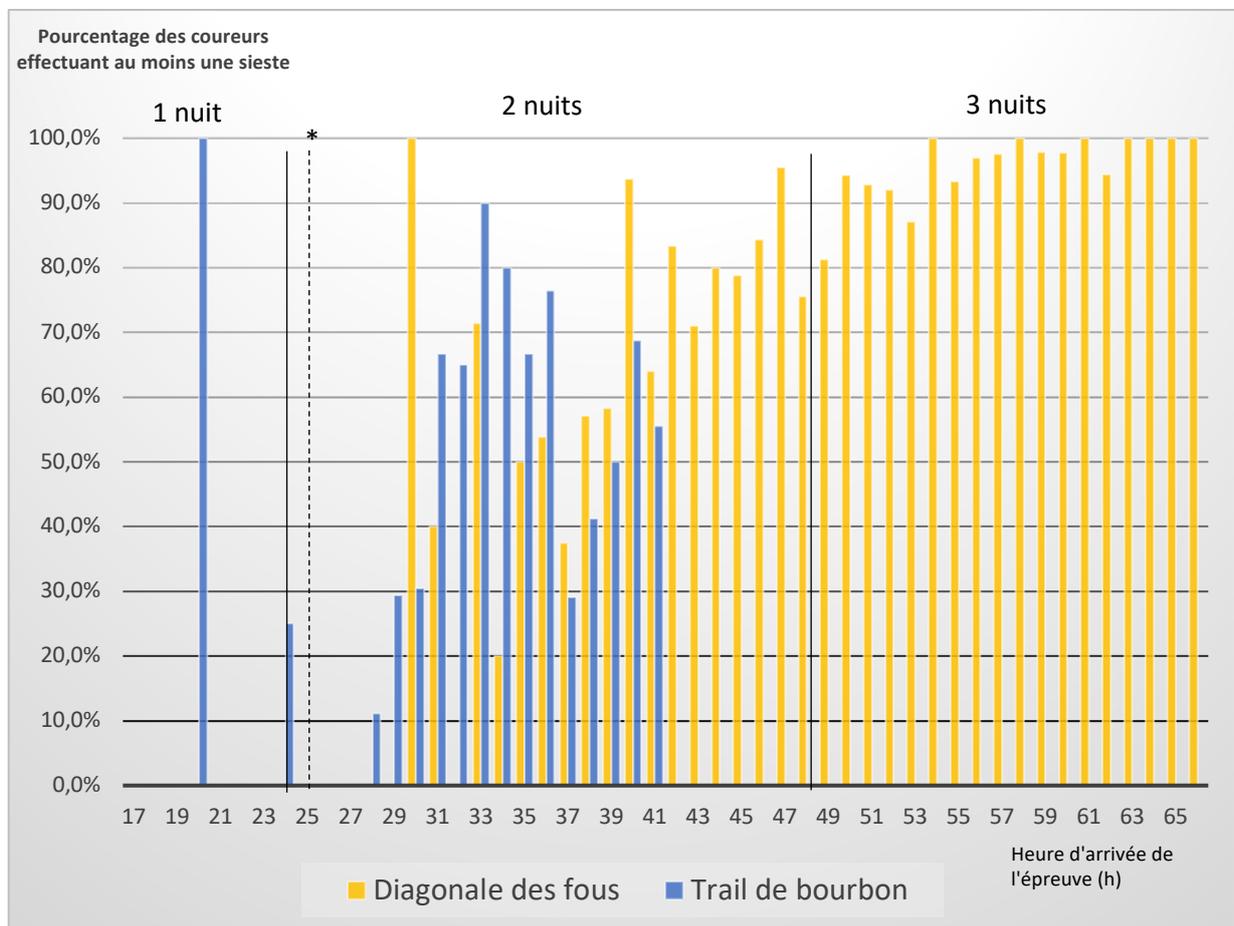


\*La ligne pointillée correspond à la séparation des groupes ayant passé 1 et 2 nuits sur le parcours du Trail de Bourbon (les lignes plaines sont affectées à la séparation des nuits pour la Diagonale des fous).

Figure 25 Durée moyenne de sommeil cumulée pendant le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous en fonction des temps d'arrivées chez les sujets finisseurs

Les moyennes des durées de sommeil pendant l'épreuve, des coureurs ayant terminé leur épreuve entre 17 et 26h, 27 à 48h et de 49 à 66h étaient respectivement de 3min20+/-8min24, 40min48+/-1h01min04 et 1h39min05 +/-1h23min25.

L'histogramme ci-dessous (Figure 26) représente les pourcentages de coureurs finisseurs ayant effectué au moins une sieste sur le parcours en fonction de leur temps d'arrivée à leur épreuve. Le nombre de nuits passées sur le parcours est également indiqué.



\*La ligne pointillée correspond à la séparation des groupes ayant passé 1 et 2 nuits sur le parcours du Trail de Bourbon (les lignes plaines sont affectées à la séparation des nuits pour la Diagonale des fous).

Figure 26 Coureurs finisseurs effectuant au moins une sieste sur le parcours du Trail de Bourbon et de la Diagonale des fous en fonction des temps d'arrivées aux épreuves

Les effectifs des coureurs ayant effectué au moins une sieste et terminé leur épreuve entre 17 et 24h, 25 à 48h et de 49 à 66h étaient respectivement de 3 (16,7%) sujets, 427 (65,3%) sujets et 453 (94,0%) sujets.

La Figure 27 ci-après présente les effectifs (avec pourcentages) des sujets finisseurs ayant effectué au moins une sieste, par catégories d'âges.

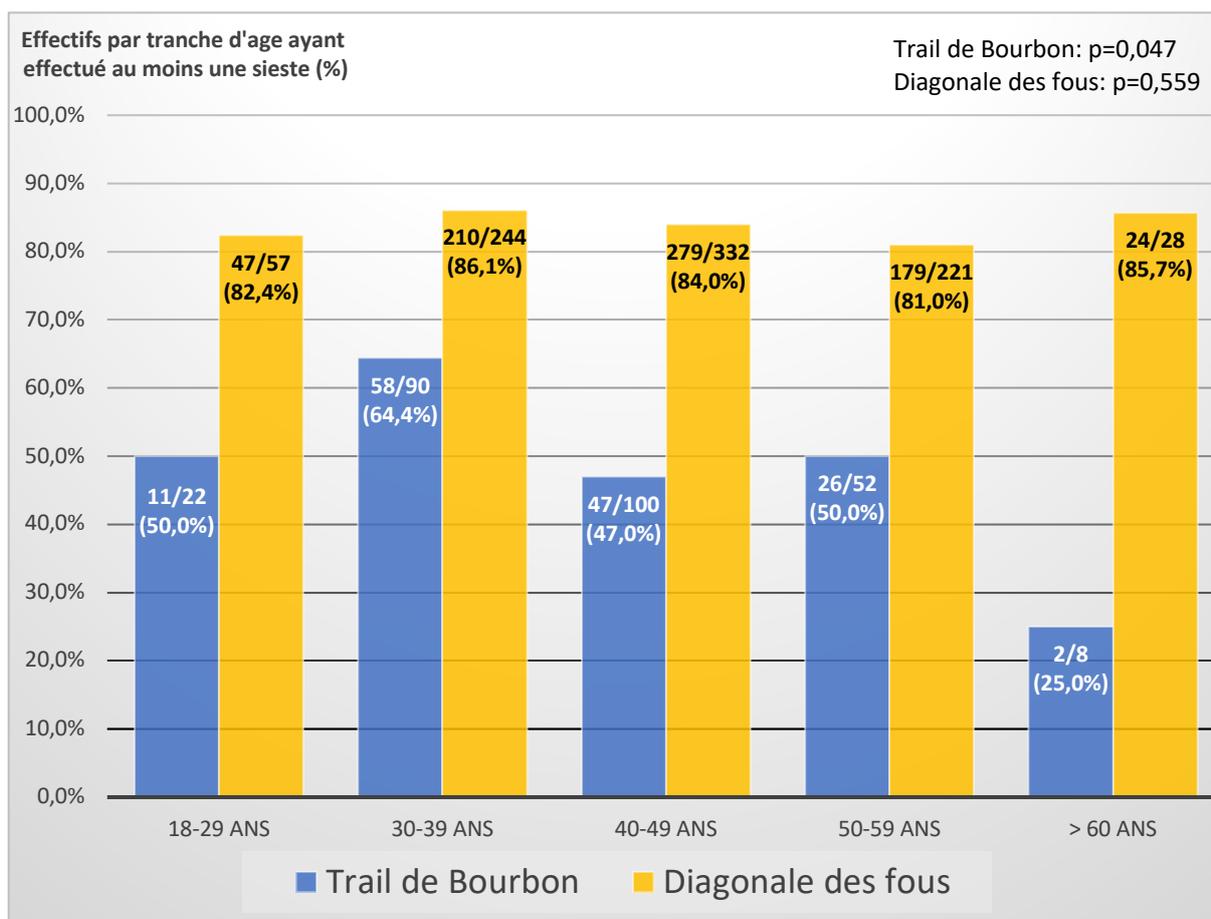


Figure 27 Concurrents par tranches d'âges des finisseurs ayant effectué au moins une sieste durant l'épreuve

Parmi les concurrents finisseurs de l'étude ayant terminé la Diagonale des fous, 91 (84,2%) femmes et 648 (83,7%) hommes ont fait au moins une sieste ( $p=0,02$ ).

Parmi les concurrents finisseurs de l'étude ayant terminé le Trail de Bourbon, 28 (49,1%) femmes et 116 (53,9%) hommes ont fait au moins une sieste ( $p=0,52$ ).

L'histogramme ci-après (Figure 28) représente les lieux des siestes effectuées (toutes courses), en fonction des numéros de siestes.

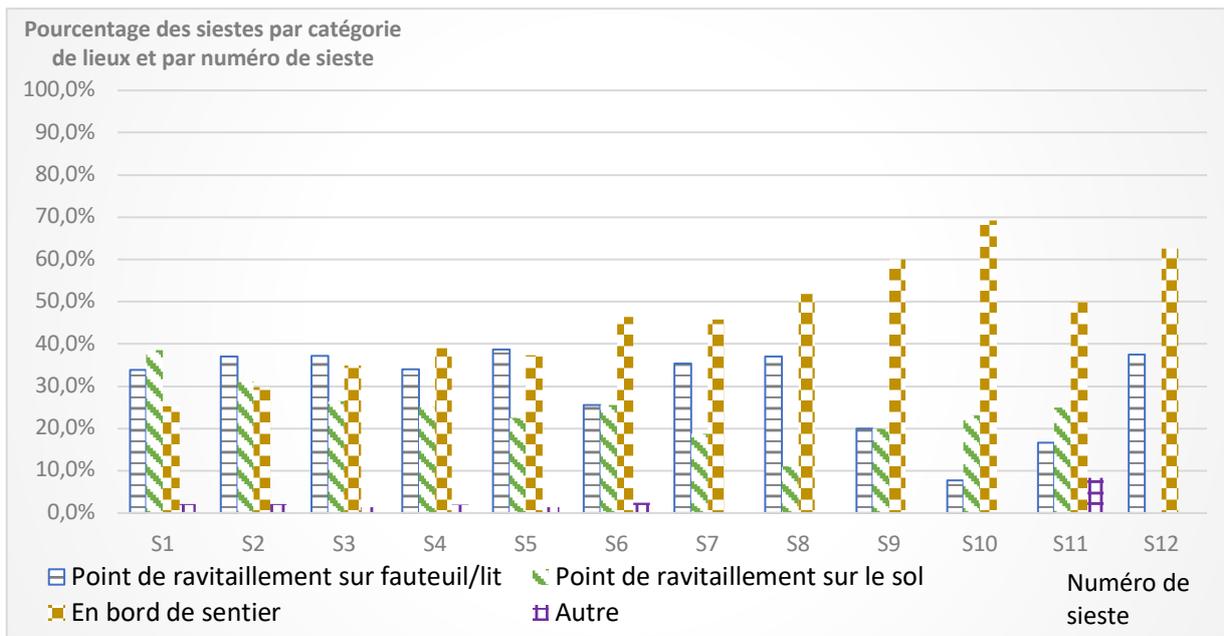


Figure 28 Lieux des siestes en fonction du numéro de sieste toutes courses confondues chez les finisseurs

Les histogrammes ci-après (Figure 29 et Figure 30) représentent les lieux des siestes effectuées sur le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous en fonction des numéros de siestes.

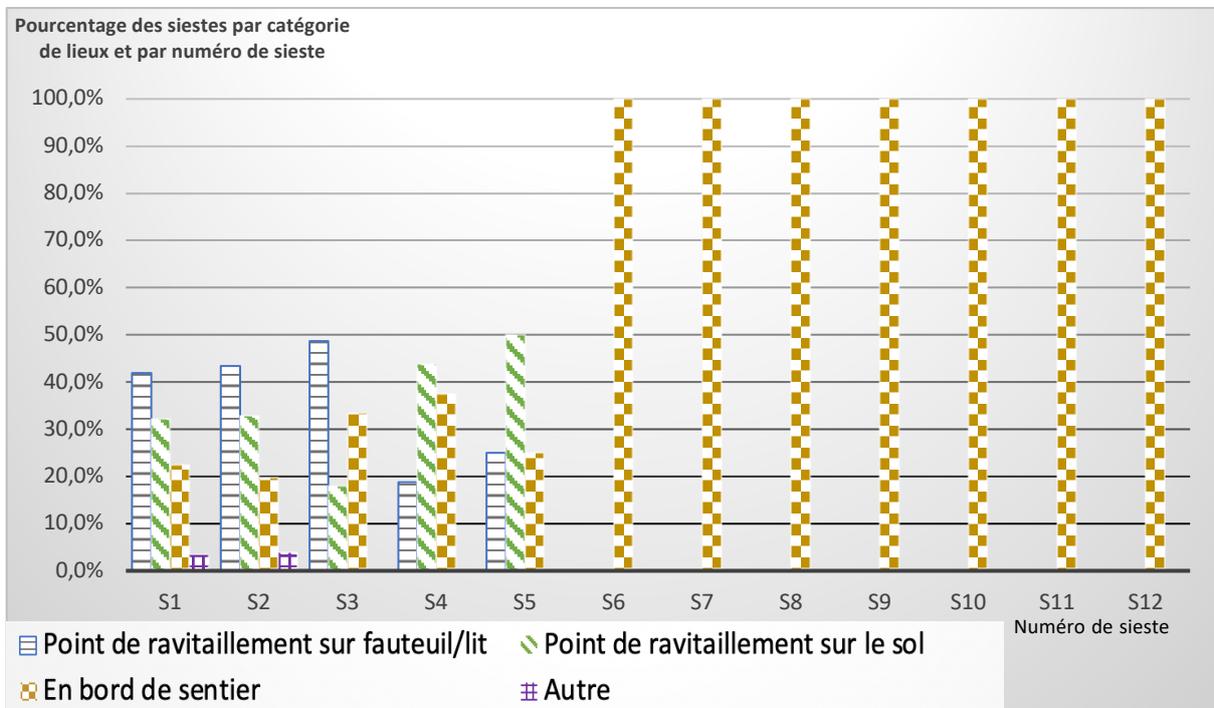


Figure 29 Lieux des siestes sur le Trail de Bourbon chez les finisseurs

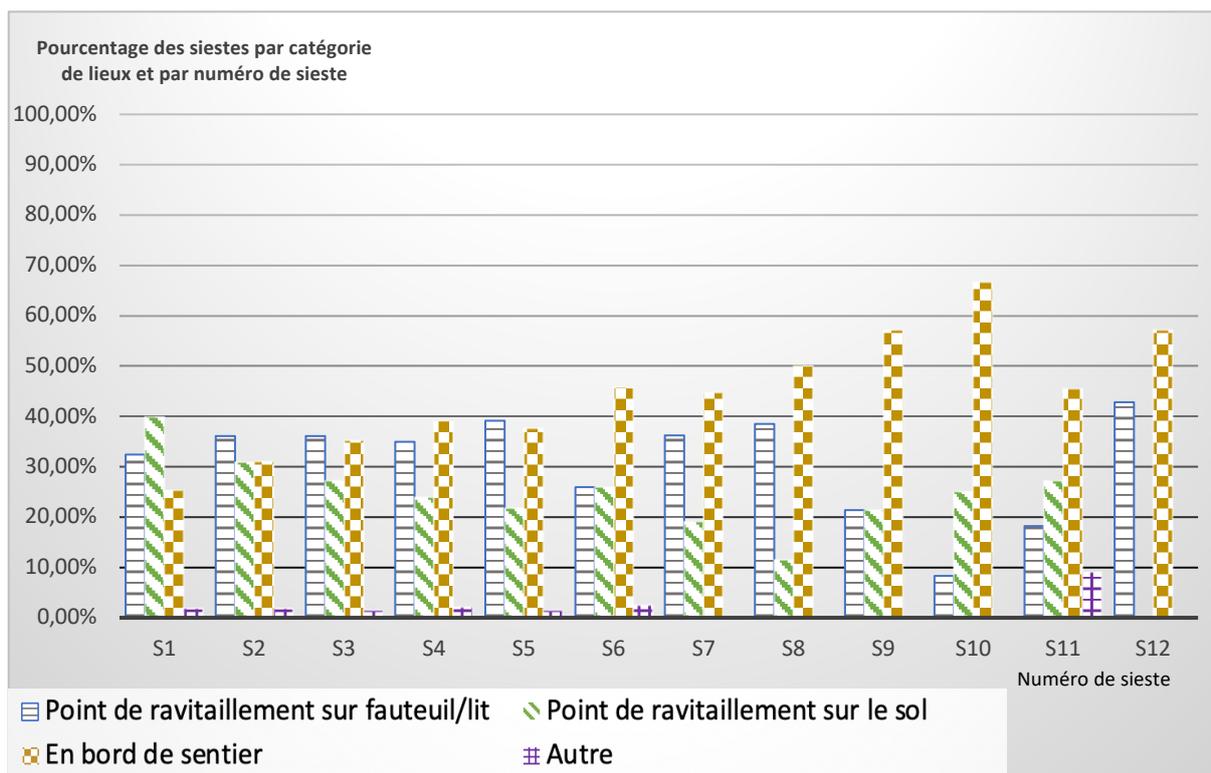


Figure 30 Lieux des siestes des sujets finisseurs sur la Diagonale des fous

Le Tableau 16 présente l'avis des concurrents finisseurs de chaque épreuve concernant l'utilité des siestes pour être plus vigilants.

Tableau 16 Utilité déclarés des siestes pendant l'épreuve pour se sentir plus vigilant chez les finisseurs\*

	OUI	NON	NE SAIS PAS
Diagonale des fous	691 (93,6%)	20 (2,7%)	27 (3,7%)
Trail de Bourbon	127 (88,2%)	10 (6,9%)	7 (4,9%)
Toutes courses	818 (92,7%)	30 (3,4%)	34 (3,8%)

\*Les données sont des effectifs (avec % des sujets par catégories)

p=0,03

La Figure 31 ci-après présente les pourcentages de siestes effectuées par tranche horaire sur le cycle nyctéméral de 24h pour le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous chez les coureurs finisseurs.

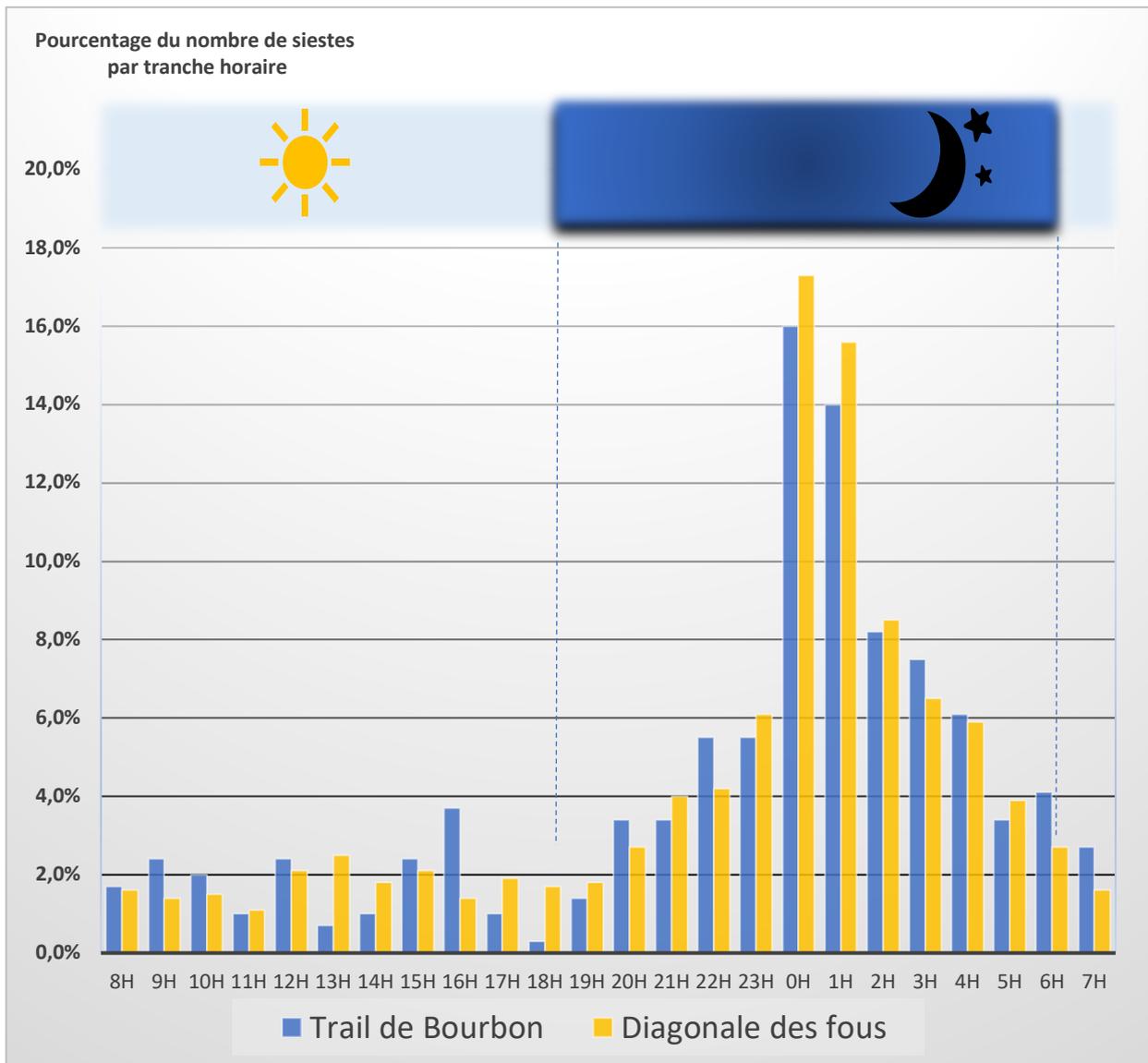


Figure 31 Pourcentage du total des siestes effectuées pour chaque tranche horaire du cycle nyctéméral de 24h pour le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous chez les coureurs finisseurs

Nous avons constaté que 78,2% des siestes des concurrents de la Diagonale des fous et 74,7% des siestes des concurrents du Trail de Bourbon ont été effectuées sur les périodes de nuit (de 18h00 à 6h00 heure locale de La Réunion sur la période du 18 au 21 octobre 2018).

### 3.8.3 Détail des troubles de vigilance survenus et accidentologie

L'histogramme ci-après (Figure 32) présente les différents troubles déclarés en rapport avec la privation de sommeil sur chacune des courses concernant les concurrents finisseurs.

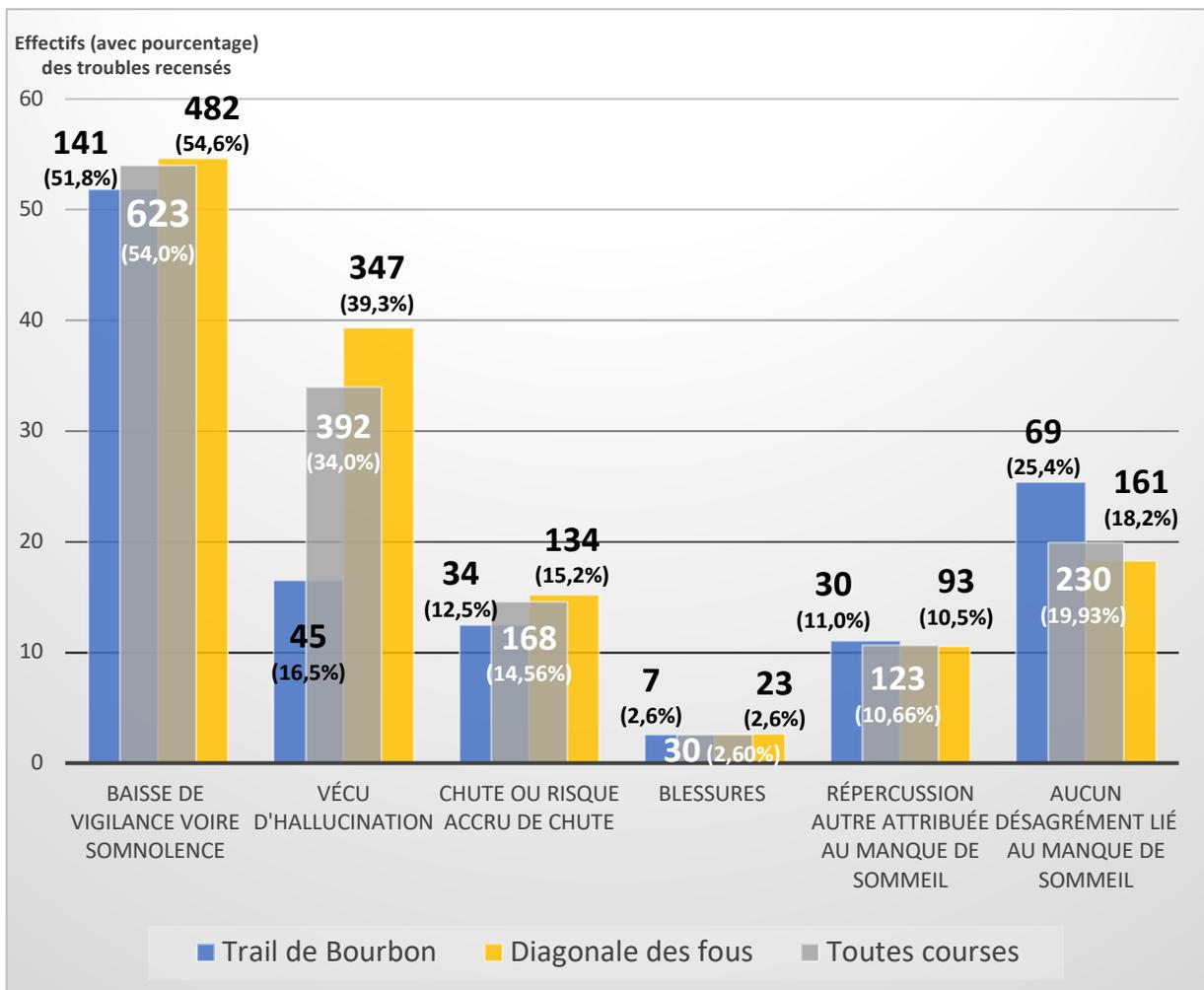
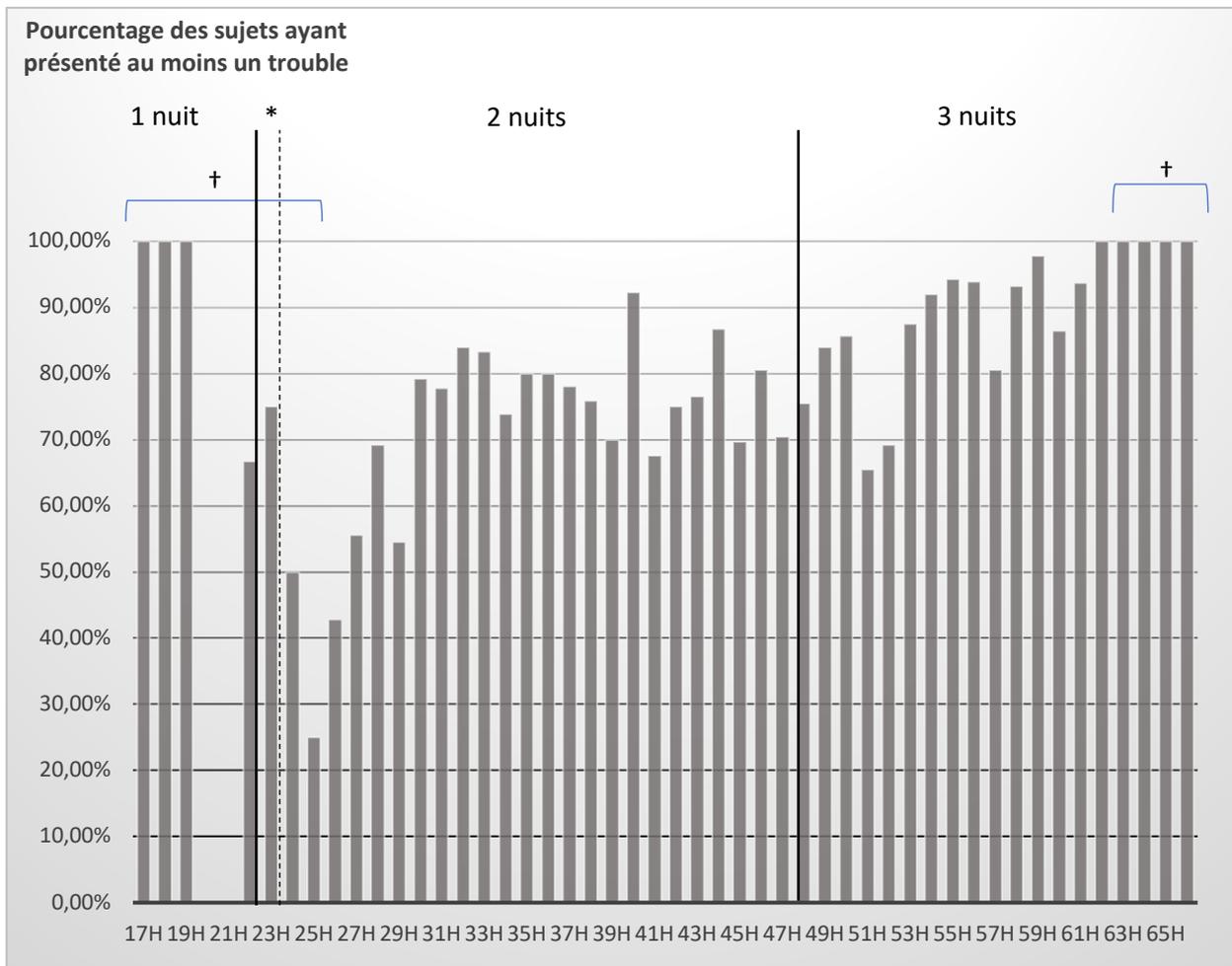


Figure 32 Effectifs des troubles déclarés attribués au manque de sommeil pendant l'épreuve chez les sujets finisseurs

La Figure 33 ci-après présente les pourcentages des sujets finisseur ayant présenté au moins un trouble attribué à la privation de sommeil en fonction des tranches horaires d'une heure du temps d'arrivée (durée de course totale).



\* La ligne pointillée correspond à la séparation des groupes ayant passé 1 et 2 nuits sur le parcours du Trail de Bourbon (les lignes plaines sont affectées à la séparation des nuits pour la Diagonale des fous).

† Les valeurs de temps d'arrivées aux extrêmes sont peu représentatives, étant calculées sur de très faibles effectifs < 5 sujets sur chacune de ces tranches horaires d'arrivées.

Figure 33 Répartition des sujets finisseurs ayant présenté au moins un trouble attribué au manque de sommeil par tranches horaires d'arrivée

Sur le total des sujets finisseurs de l'étude (Diagonale des fous et Trail de Bourbon), 923 sujets (80,0%) ont déclaré avoir eu au moins un trouble attribué à la privation de sommeil, 720 (81,6%) pour les sujets de la Diagonale des fous et 203 (74,6%) pour les concurrents du Trail de Bourbon.

La tranche horaire médiane caractérisant les sujets ayant présenté au moins un trouble lié au manque de sommeil était à 47h.

Le Tableau 17 ci-après présente la survenue de troubles ou évènements à risques pour la santé en fonction des groupes de sujets finisseurs ayant passé une, deux ou trois nuits sur le parcours.

Tableau 17 Survenue de troubles attribués à la privation de sommeil en fonction du nombre de nuits passées sur le parcours chez les sujets finisseurs

Temps d'arrivée (durée de course)	1 nuit	2 nuits	3 nuits	p
<b>Survenue de symptôme ou évènement attribué à la privation de sommeil*</b>				
<b>NON</b>	<b>7 (38,9%)</b>	<b>161 (24,6%)</b>	<b>62 (12,9%)</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>OUI</b>	<b>11 (61,1%)</b>	<b>493 (75,4%)</b>	<b>420 (87,1%)</b>	
- Dont trouble de vigilance voire de la somnolence	8 (44,4%)	321 (49,1%)	294 (61,0%)	<b>&lt;0,001</b>
- Dont hallucinations	1 (5,5%)	184 (28,1%)	207(42,9%)	<b>&lt;0,001</b>
- Dont chutes	1 (5,5%)	90 (13,8%)	77(16,0%)	0,319
- Dont blessures	0 (0,0%)	19 (2,9%)	11 (2,3%)	0,633
- Dont mise en danger ressenti	0 (0,0%)	57 (8,7%)	55 (11,4%)	0,119
- Autre trouble/évènement (troubles digestifs, de l'humeur, douleur)	1 (5,5%)	66 (10,1%)	55 (11,4%)	0,223

\*A noter qu'il existe une donnée manquante ou non informative non catégorisable.

Le Tableau 18 présente les effectifs de coureurs finisseurs pensant que le manque de sommeil les aurait mis en danger (avec ou non la présence de troubles liés au manque de sommeil).

Tableau 18 Mise en danger estimée du fait du manque de sommeil pour les sujets finisseurs\*

Diagonale des fous	91(10,3%)
Trail de Bourbon	21(7,7%)
Toutes courses	112(9,7%)

\* Les données sont les effectifs (avec le pourcentage par catégorie).

La Figure 34 ci-après présente les effectifs (avec pourcentages) des sujets finisseurs ayant présenté au moins un trouble lié au manque de sommeil, par catégories d'âges.

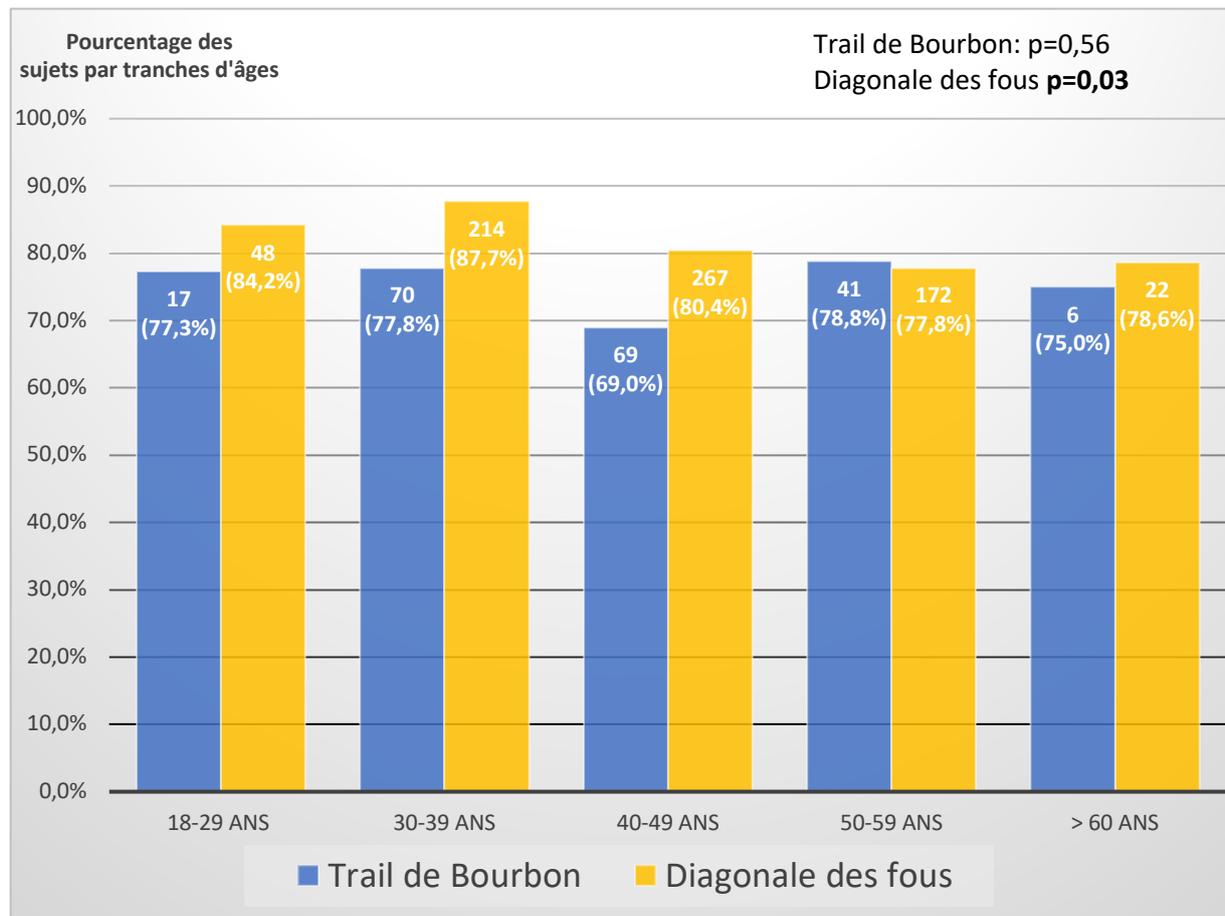


Figure 34 Concurrents finisseurs par tranches d'âges ayant présenté au moins un trouble attribué au manque de sommeil

Parmi les concurrents de l'étude ayant terminé la Diagonale des fous, 94 (87,0%) femmes et 629 (81,3%) hommes ont présenté au moins un trouble attribué au manque de sommeil ( $p=0,21$ ).

Parmi les concurrents de l'étude ayant terminé le Trail de Bourbon, 41 (71,9%) femmes et 162 (75,3%) hommes ont présenté au moins un trouble attribué au manque de sommeil ( $p=0,598$ ).

Parmi les sujets finisseurs sur le Trail de Bourbon ayant présenté au moins un trouble attribué à la privation de sommeil, 34(16,5%) déclaraient avoir des horaires de travail de nuit ( $p=0,31$ ).

Parmi les sujets finisseurs sur la Diagonale des fous ayant présenté au moins un trouble attribué à la privation de sommeil, 107(14,8%) déclaraient avoir des horaires de travail de nuit ( $p=0,98$ ).

### 3.9 Description du sommeil après la course (finisseurs)

L'histogramme ci-après (Figure 35) présente les durées moyennes de sommeil sur les vingt-quatre premières heures après l'arrivée (finisseurs), durant les premiers jours qui sont sujets à une somnolence inhabituelle puis une fois la récupération effectuée.

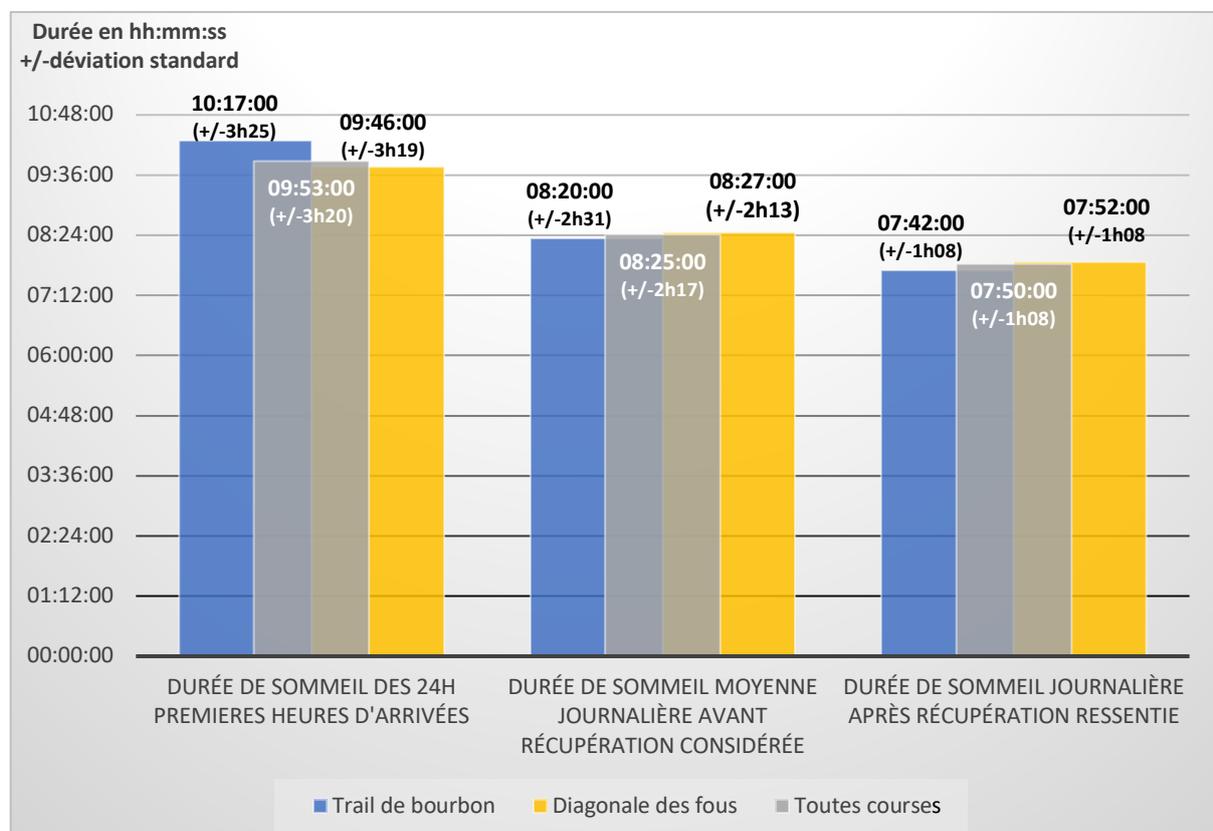


Figure 35 Durées de sommeil après l'épreuve chez les finisseurs

La Figure 36 ci-après présente les proportions de coureurs finisseurs par délais moyens de récupération d'un état d'éveil sans somnolence après l'épreuve.

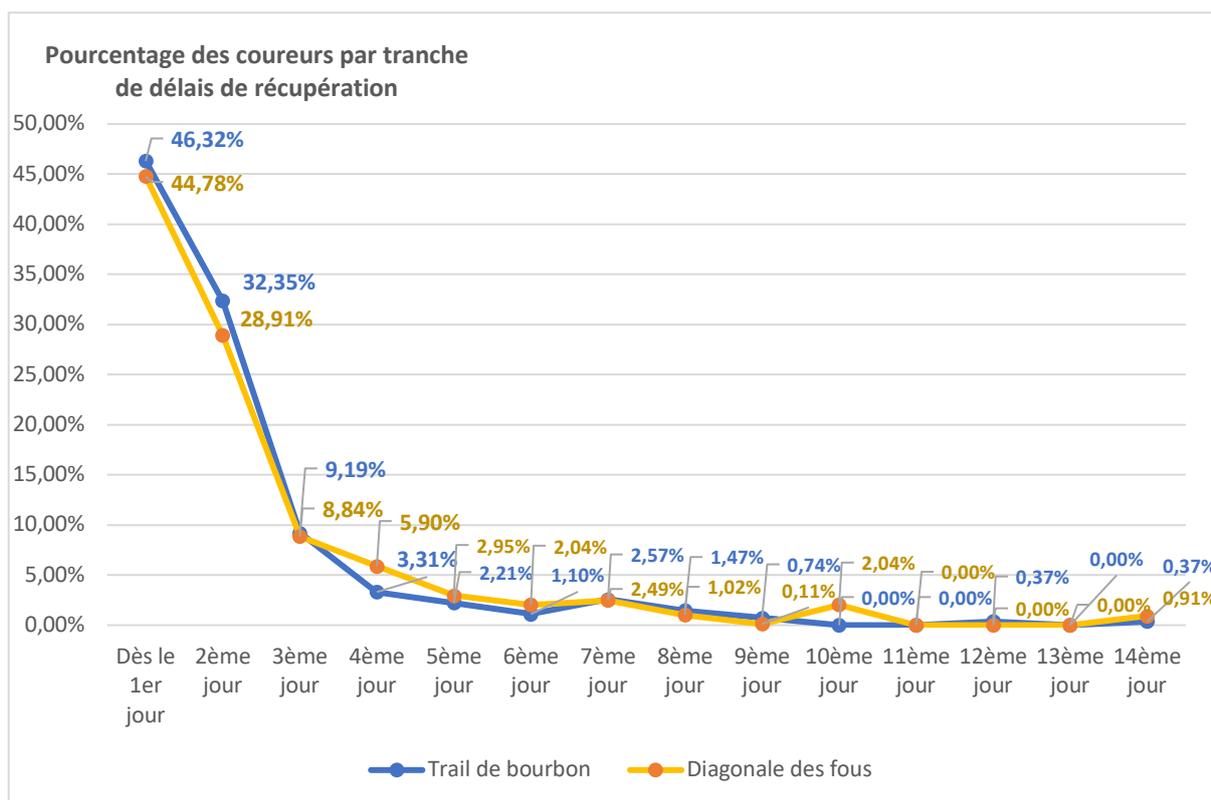


Figure 36 Délais de récupération d'un état d'éveil sans somnolence après l'épreuve chez les finisseurs

Les 3 premiers jours après la fin de l'épreuve 967 (83,8%) sujets déclaraient avoir récupéré un état d'éveil sans somnolence, 239 (87,9%) sujets pour le Trail de Bourbon et 728 (82,5%) sujets pour la Diagonale des fous.

Le nombre moyen de jours déclarés avant le retour à un état d'éveil correct sans somnolence après l'arrivée de l'épreuve était de 1,9+/-1,1 jours pour les sujets ayant passé une nuit (17 à 24h), 2,1+/-1,8 jours pour les sujets ayant passé deux nuits (25 à 48h) et 2,6 +/-2,5 jours pour les sujets ayant passé trois nuits (49 à 66h) sur le parcours (p<0,001).

### 3.9.1 Évènements indésirables en lien avec le sommeil en post-épreuve

Concernant un potentiel danger qui pourrait encore être présent après la course du fait de la privation de sommeil, l'histogramme ci-après (Figure 37) présente les proportions de concurrents finisseurs pensant que la privation de sommeil pendant la course pouvait constituer un risque d'accident de santé pour la période après course.

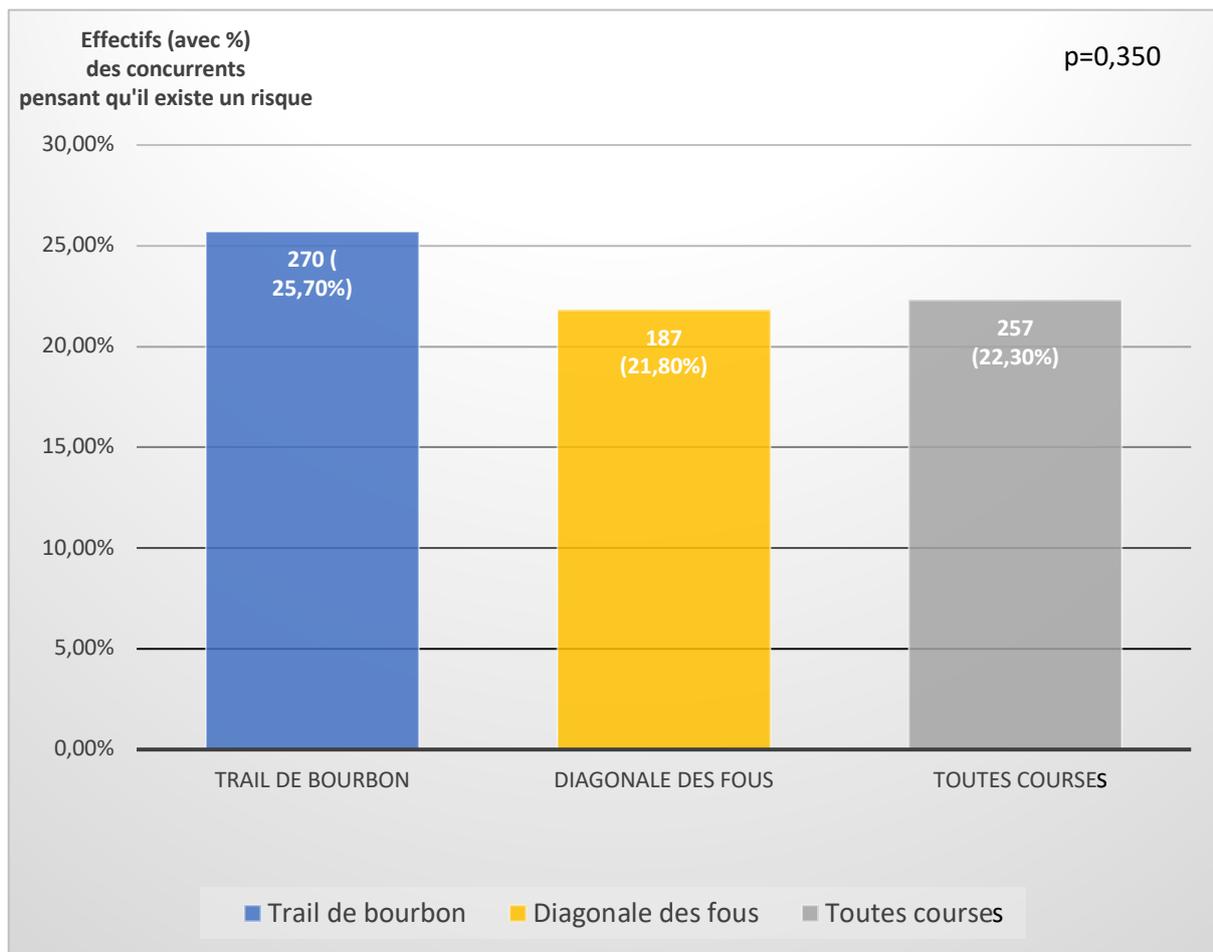


Figure 37 Danger supposé du fait de la privation de sommeil, persistant après l'épreuve chez les finisseurs

Sur l’histogramme ci-dessous (Figure 38) sont décrites les proportions des types de risques considérés en post-épreuve lorsque qu’ils étaient supposés présents.

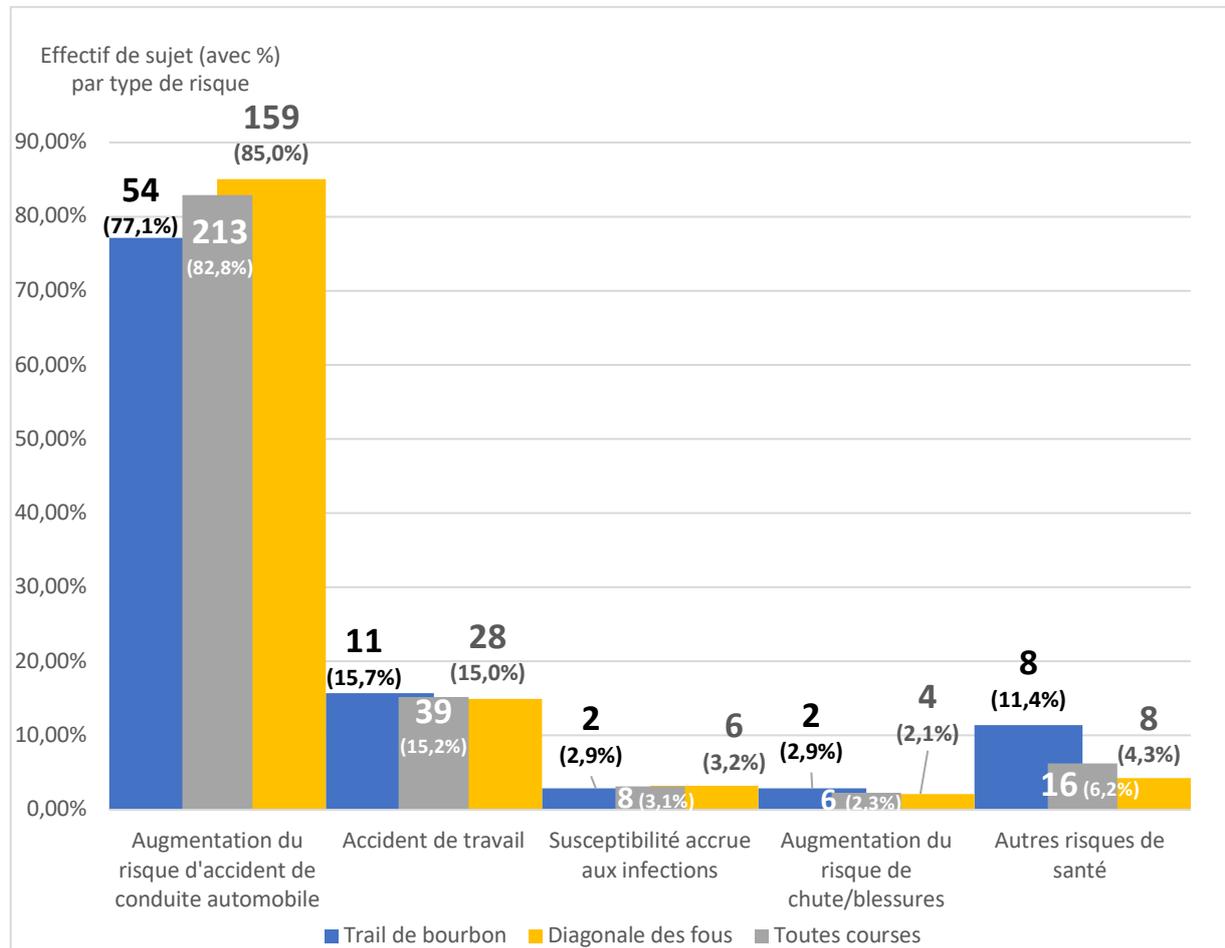


Figure 38 Types de risques considérés comme présents après l’arrivée (chez les finisseurs) en fonction du type d’épreuve concourue.

Parmi les autres risques de santé étaient cités les accidents domestiques, le ralentissement psycho-moteur et somnolence pouvant entraîner des maladroites, le manque de lucidité et la fatigue sans précision.

Le Tableau 19 ci-après présente les effectifs de coureurs finisseurs ayant eu recours à une ou plusieurs alternatives pour resynchroniser leur sommeil après l’épreuve.

Tableau 19 Recours à des alternatives pour la resynchronisation du sommeil après l'épreuve chez les finisseurs\*

Diagonale des fous	33(3,7%)
Trail de Bourbon	10(3,7%)
Toutes courses	43(3,7%)

\* Les données sont les effectifs (avec le pourcentage par catégorie)

L'histogramme ci-dessous (Figure 39) présente les proportions des différentes techniques évoquées par les sujets finisseurs ayant utilisé une ou plusieurs alternatives pour resynchroniser leur sommeil. A noter que certains concurrents déclarent avoir utilisé plusieurs techniques associées.

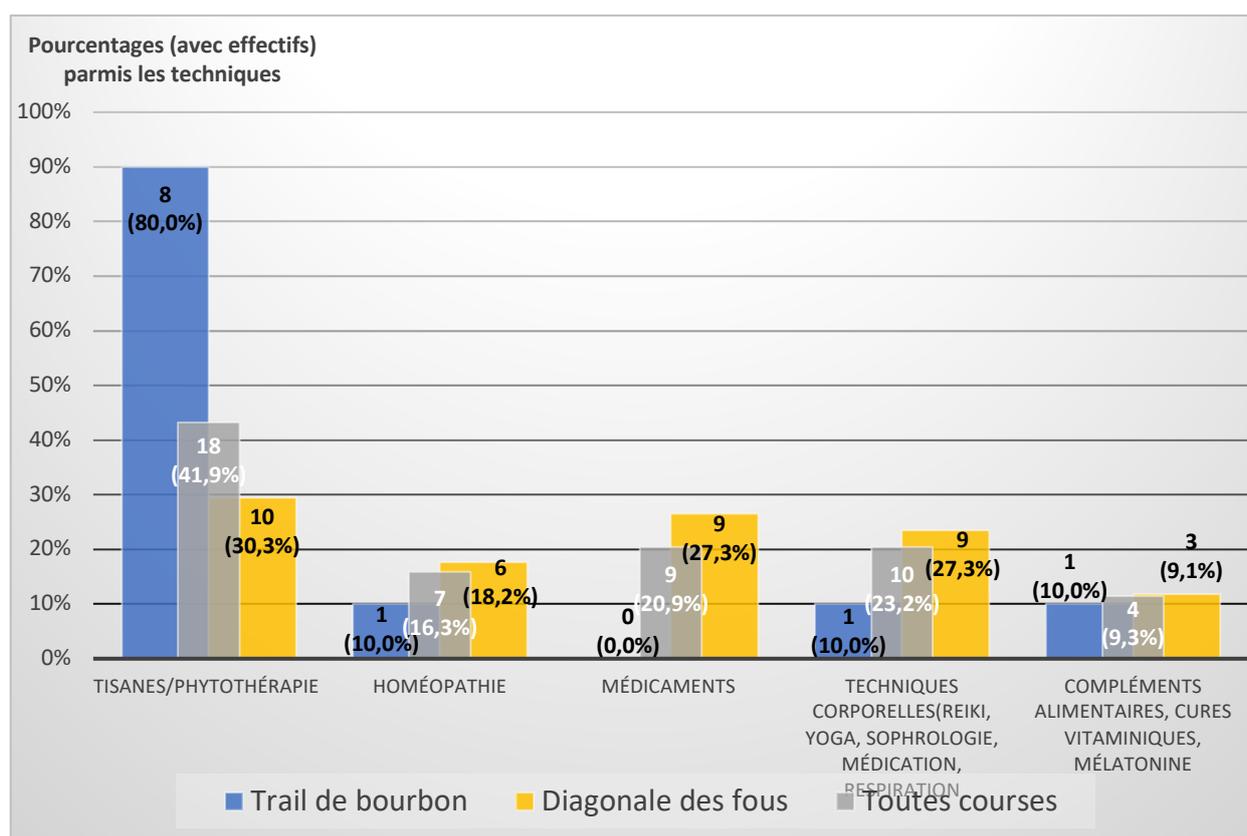


Figure 39 Types de recours utilisés pour la resynchronisation du sommeil après l'épreuve chez les finisseurs

L'histogramme ci-dessous (Figure 40) présente l'importance déclarée du sommeil en regard d'autre paramètre comme l'alimentation ou l'hydratation dans la pratique de l'ultra-trail chez les finisseurs des épreuves .

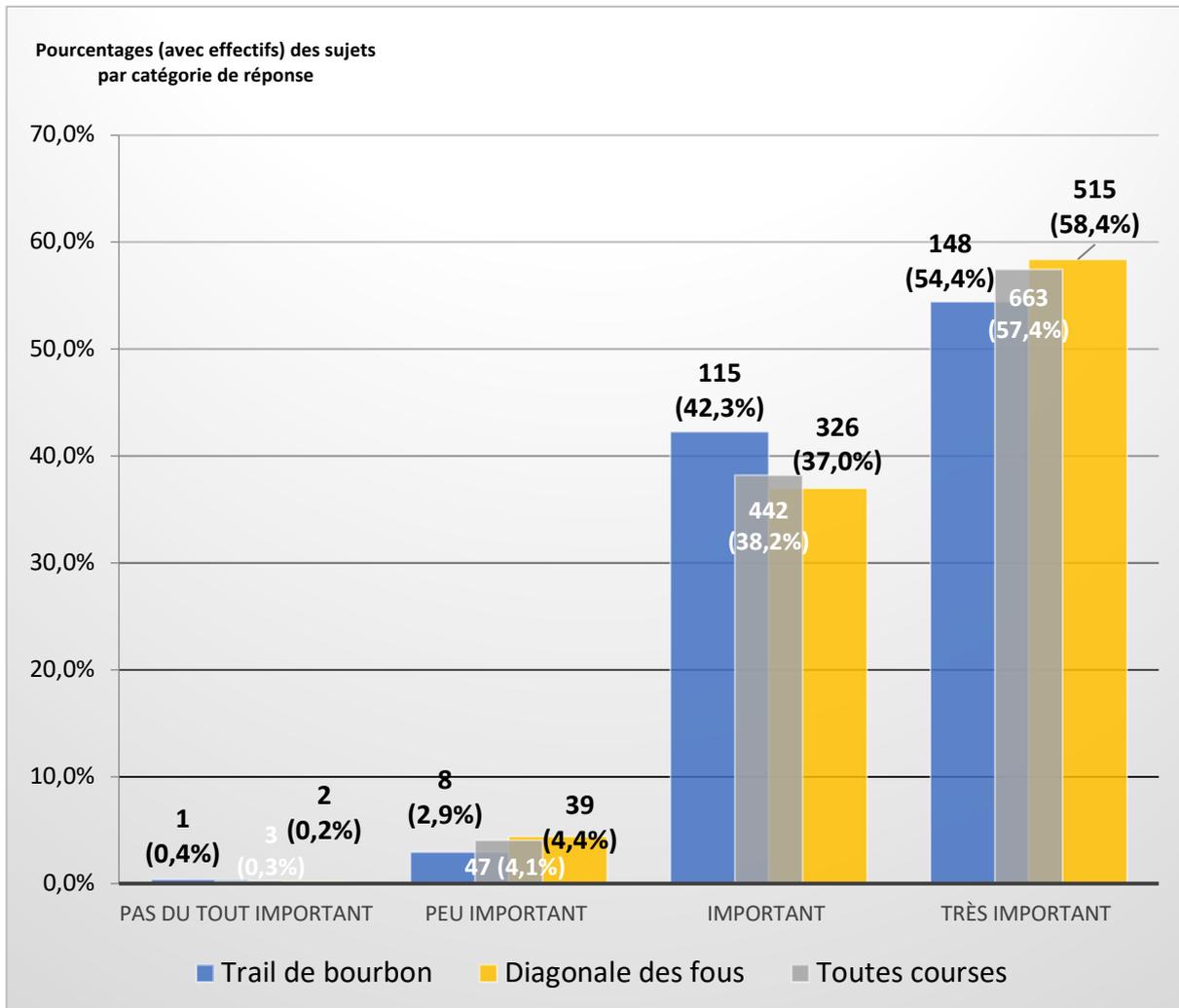


Figure 40 Importance du sommeil par rapport aux autres paramètres de gestion d'une épreuve d'ultra-trail chez les finisseurs

### 3.10 Description des sujets non-finis (abandons)

Le Tableau 20 présente la répartition des effectifs des non-finis ainsi que leurs caractéristiques.

Tableau 20 Répartition des sujets non-finis et leurs caractéristiques

		Diagonale des fous	Trail de Bourbon	Toutes courses
Répartition des effectifs	Total des abandons	6	3	9
	Genre			
		Homme	1	5
		Femme	2	4
Caractéristiques des sujets				
Age moyen	Tout sujets	48,8+/-7,6 ans	44,3+/-6,1 ans	47,3+/-7,1 ans
		Homme		45,8+/-7,3 ans
		Femme		49,2+/-7,4 ans
Temps final d'abandon		18h01+/-2h10	15h50+/-4h31	17h21+/-3h20
		Homme		18,3+/-3,1 ans
		Femme		16,0+/-3,4 ans
Sujets dont il s'agissait du 1er ultra-trail		0	1	1
Ancienneté de pratique		11,3+/-9,8 ans	5,7+/-3,8 ans	
Nombre d'ultra-trails antérieurs		4,7+/-2,2	3,0+/-2,8	
Durée d'entraînement hebdomadaire		11,25+/-2,0 h	7,7 +/-2,1 h	

Le Tableau 21 présente les caractéristiques du sommeil habituel des concurrents non-finisseurs

Tableau 21 Caractéristiques du sommeil habituel des sujets non-finisseurs

Habitudes de sommeil	Toutes courses
Durée habituelle journalière de sommeil	7h36+/-2h06
Durée journalière idéale de sommeil	7h48+/-1h05
Déficit de sommeil par rapport à la durée idéale	-0h12+/-2h12
Effectif de sujets ayant des horaires de travail de nuit	2(22,2%)
Typologie circadienne du matin	5(55,6%)
Typologie circadienne du soir	1(11,1%)
Sans typologie circadienne particulière	3(33,3%)
Horaire de lever habituel	6h24+/-1h06
Horaire de coucher habituel	22h12+/-1h00
Troubles du sommeil et de l'humeur (déclarés)	
Apnée du sommeil	0
Insomnies	2 (22,2%)
Dépression	0
Traitements médicaux déclarés	
Antidépresseurs	0
Somnifères	3(33,3%)
Appareillage nocturne d'apnée du sommeil	0

Le Tableau 22 présente le sommeil spécifique la semaine avant l'épreuve et les stratégies élaborées ou non

Tableau 22 Sommeil la semaine avant la course des sujets non-finisateurs et éventuelles stratégies élaborées

Modes de préparation à l'épreuve	Toutes courses
Entraînement en privation volontaire de sommeil	2(22,2%)
<b>Stratégie de sommeil avant course</b>	
Sujets ayant une stratégie de sommeil	7(77,8%)
Stratégie pour la période avant-course	5(55,6)
Stratégie pour la course elle-même	5(55,6%)
Stratégie pour la période après-course	0(0,0%)
<b>Respect des stratégies envisagées</b>	
Respect de la stratégie d'avant course	5(100,0%)
Respect de la stratégie pour la course elle-même	1(20,0%)
Respect de la stratégie d'après-course	0(0,0%)
<b>Sources utilisées pour l'élaboration des stratégies</b>	
Expérience personnelle	7(77,8%)
Source internet	1(11,1%)
Conseils d'amis et autres coureurs	4(44,4%)
Conseils d'entraîneurs	2 (22,2%)
<b>Planification de sommeil pour la course</b>	
Prévision de ne pas du tout dormir	4(44,4%)
Siestes planifiées	2(22,2%)
Siestes seulement si besoin peu importe le lieu	3(33,3%)
Siestes seulement si besoin sur un ravitaillement	1(11,1%)
Pas de réflexion sur la question du sommeil	0(0,0%)
Difficulté à dormir avant le départ	3(33,3%)
Période de privation involontaire de sommeil avant le départ	4(44,4%)
<b>Qualité de la dernière nuit</b>	
Très bonne	0
Bonne	6(66,7%)
Moyenne	2(22,2%)
Mauvaise	1(11,1%)
<b>Recours à une alternative pour aider à dormir avant l'épreuve</b>	
Médicaments	1(11,1%)
Autre alternative	0
<b>Description du sommeil avant l'épreuve</b>	
Augmentation du temps de sommeil de nuit	6(66,7%)
Augmentation du temps de sommeil de jour	7(77,8%)
Décalage des périodes de sommeil plus tôt ou plus tard	0
Fractionnement du sommeil	0
Rythme de sommeil conservé à l'identique	1(11,1%)

La Figure 41 décrit les durées moyennes journalières de sommeil des sujets non-finisseurs la semaine avant l'épreuve.

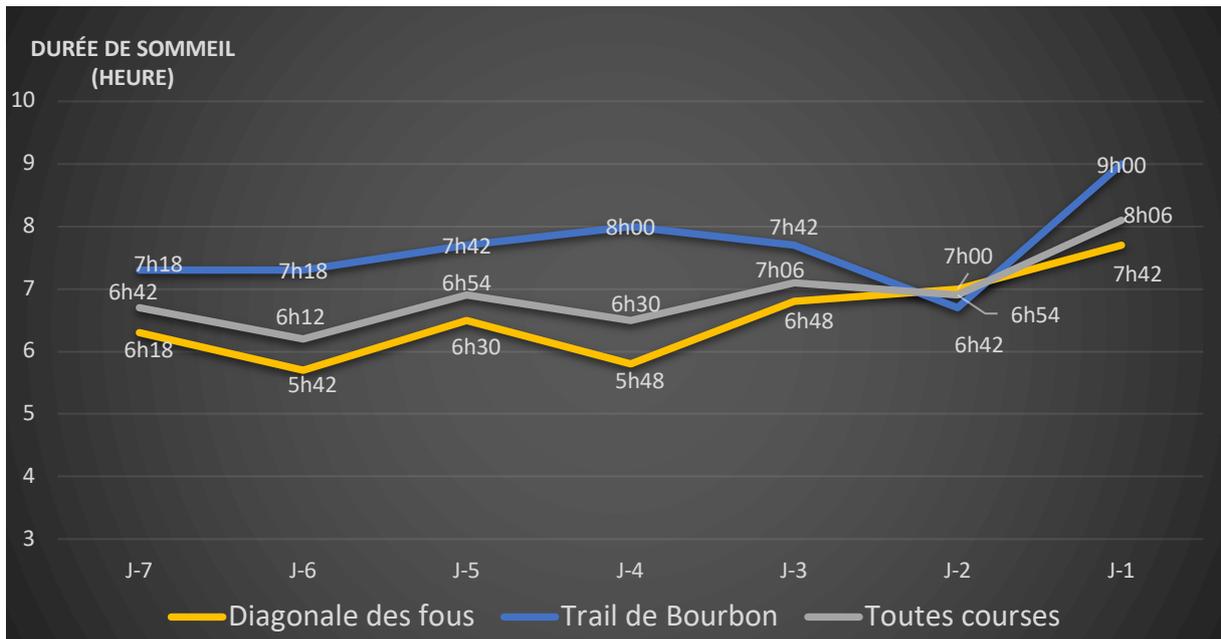


Figure 41 Durées journalières de sommeil des non-finisseurs, la semaine avant l'épreuve

Le tableau 23 ci-après décrit les éventuels troubles liés à la privation de sommeil décrits par les sujets non-finisseurs ainsi que les caractéristiques des siestes quand elles ont été effectuées.

Tableau 23 Troubles liés à la privation de sommeil et siestes éventuelles effectuées sur le parcours

Troubles liés à la privation de sommeil	
Baisse de la vigilance et/ou somnolence	2(22,2%)
Hallucinations	0
Chutes	0
Mise en danger ressentie	0
Blessures	0
Autres	4(44,4%)
Sommeil sur le parcours	
Nombre de sujets ayant effectué une sieste	1(11,1%) (sur le Trail de Bourbon)
Nombre moyen de siestes	1
Durée des siestes	15-30min

Le Tableau 24 ci-après décrit les caractéristiques de la récupération après l'arrêt de la course des non-finisateurs ainsi que les troubles persistants éventuels.

Tableau 24 Caractéristiques de la période de récupération et éventuels dangers persistants chez les non-finisateurs

Sommeil après la course	
Récupération d'un état d'éveil normal après l'épreuve	
Dès le 1er jour	5(55,5%)
2ème jour	0
3ème jour	2(22,2%)
4ème jour	1(11,1%)
5ème jour	1(11,1%)
Durée journalière de sommeil après l'épreuve	
Les 24 premières heures après l'abandon	7h51+/-2h30
Le(s) premier(s) jours avec somnolence inhabituelle	8h04+/-1h25
Les jours suivants, une fois l'état de vigilance correcte retrouvé	7h42+/-0h52
Sujets pensant qu'un danger persiste après l'arrêt de l'épreuve	
Conduite automobile	3(33,3%)
Autres risques	0

### 3.11 Résultats analytiques (Sujets finisseurs)

#### 3.11.1 Durée moyenne de sommeil pendant l'épreuve en fonction du profil de dormeur

L'histogramme ci-dessous (Figure 42) rapporte la durée de sommeil moyen sur le parcours de la Diagonale des fous et du Trail de Bourbon selon le profil de dormeur de < 7h30 et  $\geq$ 7h30 journalier.

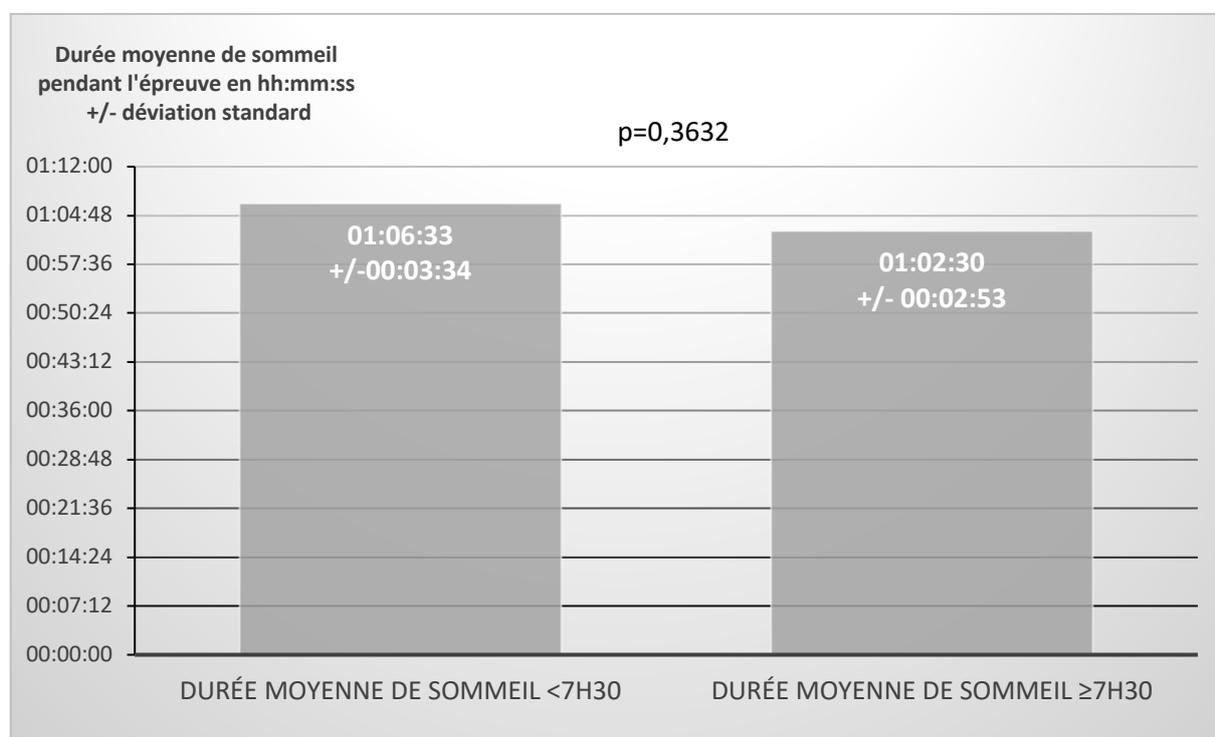


Figure 42 Durée cumulée de sieste sur le parcours en fonction du profil de dormeur toutes courses

Concernant les concurrents de la Diagonale des fous, les « petits dormeurs » de <7h30/jour dormaient en moyenne sur le parcours 79min18s+/-86min06s contre 73min06s+/-75min42s pour les « grands dormeurs » de  $\geq$  7h30, p=0,2544.

Concernant les concurrents du Trail de Bourbon, les « petits dormeurs » de <7h30/jour dormaient en moyenne sur le parcours 19min54s+/- 38min48s contre 32min00s+/- 47min00s pour les « grands dormeurs » de  $\geq 7h30$ , **p=0,0261**.

### 3.11.2 Nombre moyen de siestes effectuées sur l'épreuve en fonction du nombre d'ultra-trails (expérience) déjà effectués.

La Figure 43 ci-après présente le nombre moyen de siestes effectuées.

La distinction est faite entre les coureurs ayant déjà effectué, 1 ou 2 ultra-trails et ceux ayant déjà effectué > 2 ultra-trails pour le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous.

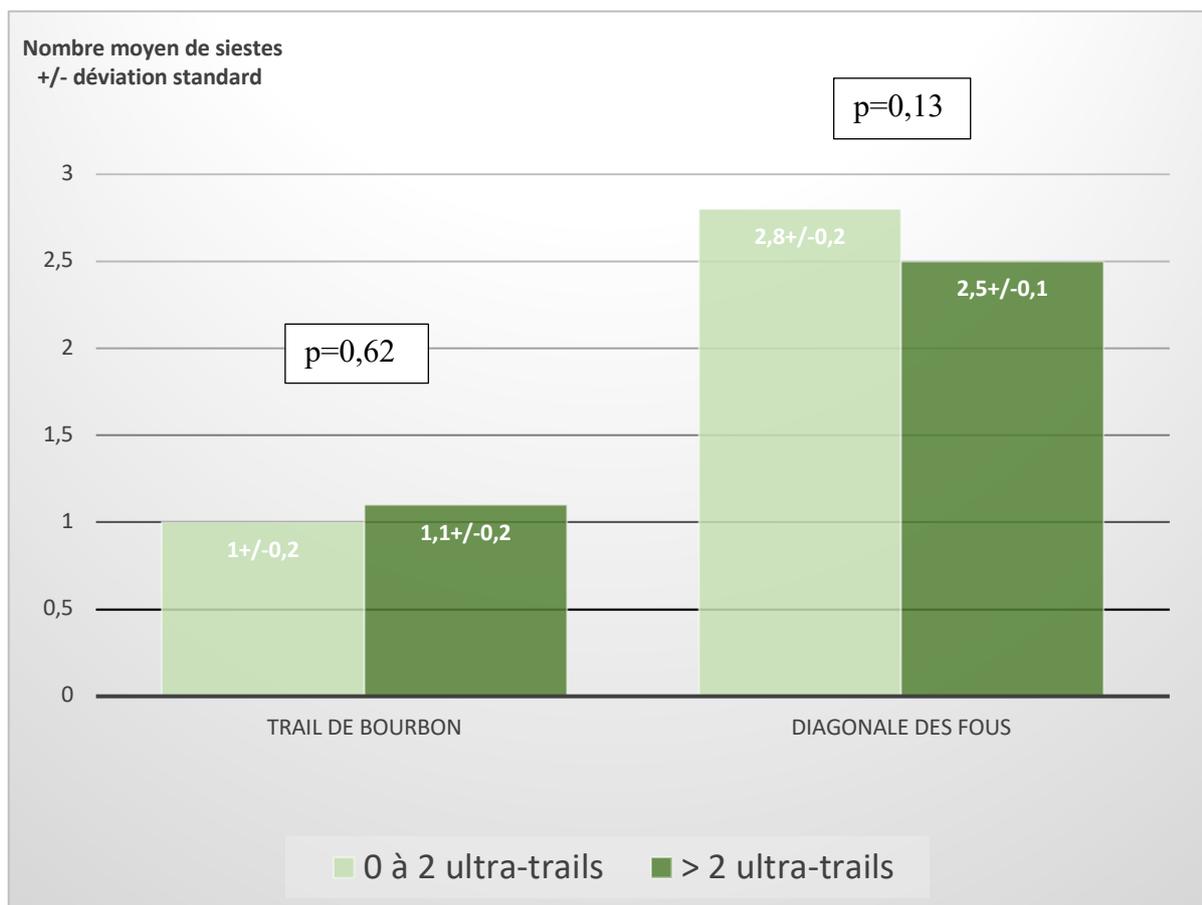


Figure 43 Nombre moyen de siestes en fonction du nombre d'ultra-trails déjà effectués

### 3.11.3 Durée moyenne de sommeil durant l'épreuve en fonction du genre homme/femme

La Figure 44 présente la durée moyenne de sommeil cumulée à chacune des épreuves pour les femmes et les hommes pour le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous.

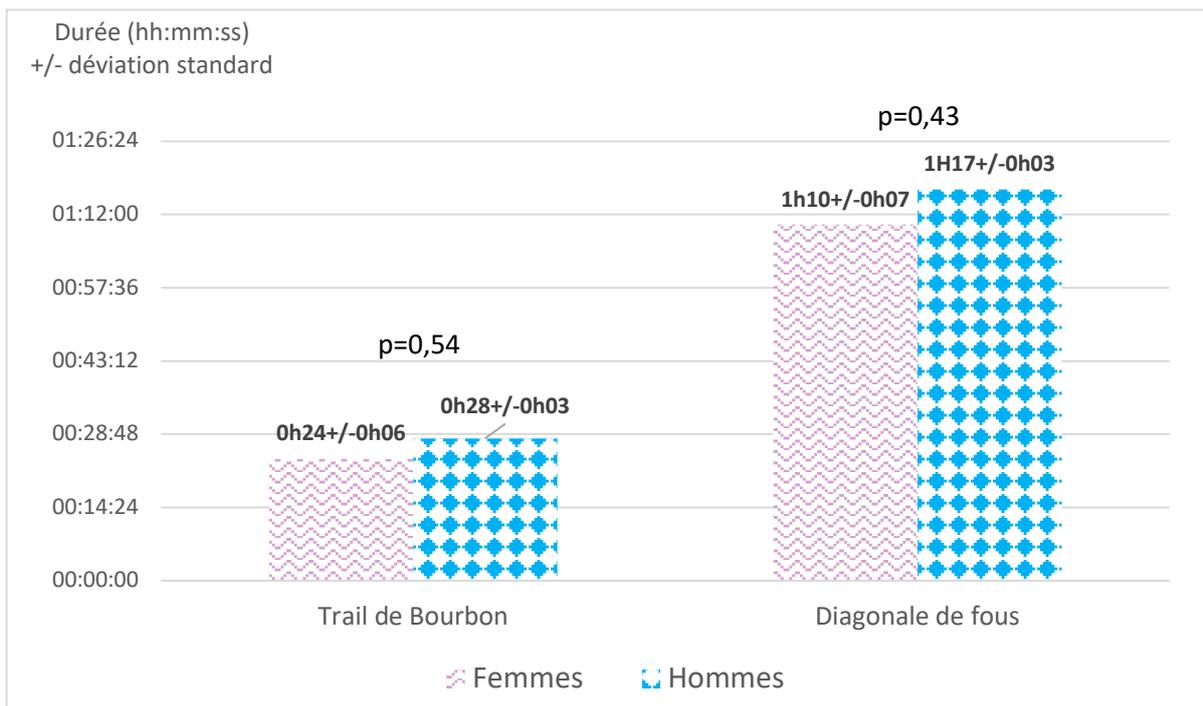


Figure 44 Durée moyenne de sommeil pendant l'épreuve par genres

### 3.11.4 Durée moyenne de sommeil durant l'épreuve en fonction de la survenue ou non de désagréments liés à la privation de sommeil

L'histogramme ci-après (Figure 45) présente la durée moyenne de sommeil sur le parcours en fonction des sujets ayant présenté ou non des troubles attribués à la privation de sommeil (troubles de vigilance, somnolence, hallucinations, chutes, troubles digestifs, autres). Les représentations concernent le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous.

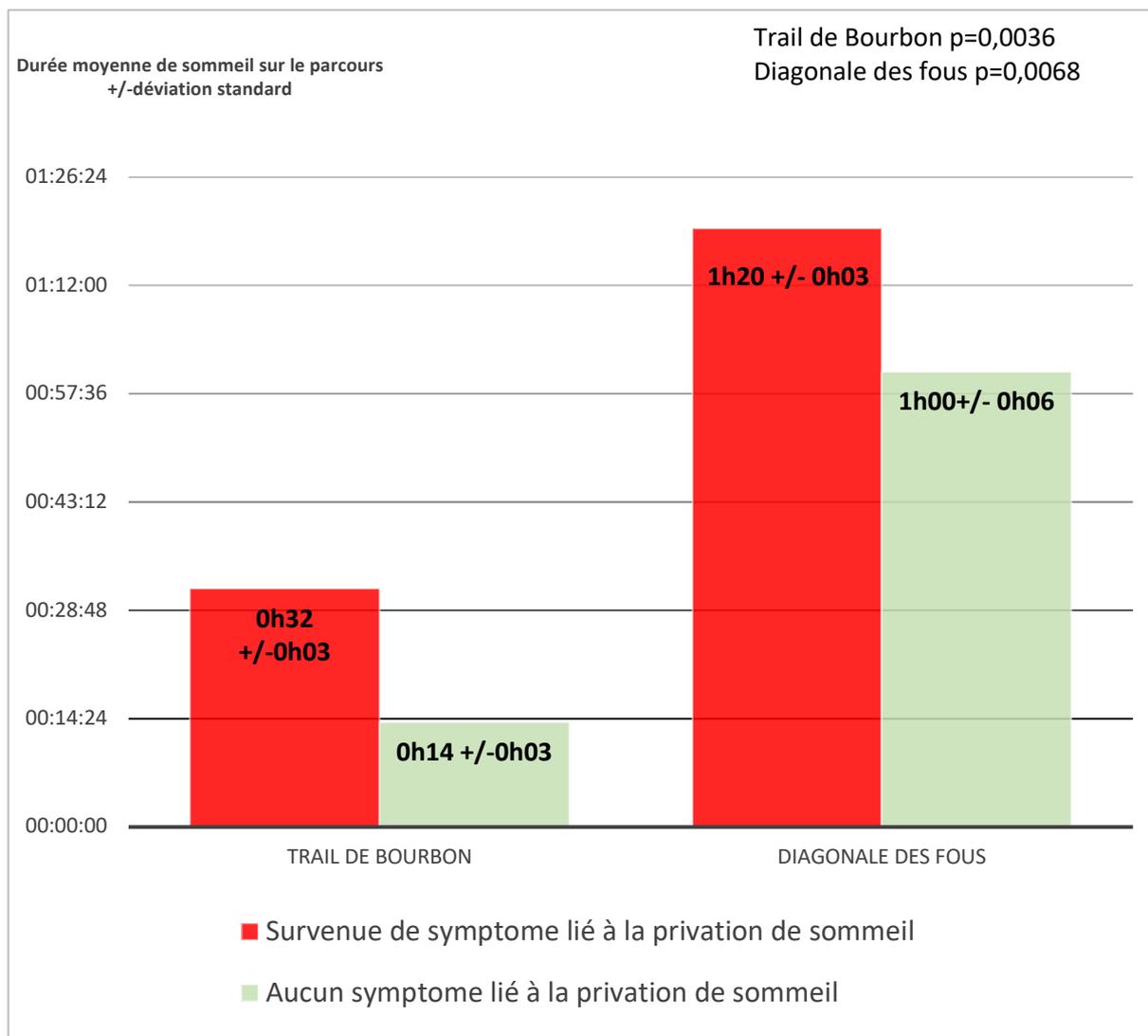


Figure 45 Durée moyenne de sommeil sur l'épreuve en fonction de la survenue ou non de symptômes liés à la privation de sommeil

### 3.11.5 Durée moyenne de sommeil durant l'épreuve en fonction d'une augmentation ou non du risque considéré d'accident en post-épreuve

L'histogramme ci-après (Figure 46) représente la durée moyenne cumulée de sommeil pendant l'épreuve en fonction du risque considéré par les concurrents d'augmentation d'accidents de santé en post-course. Les représentations concernent le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous.

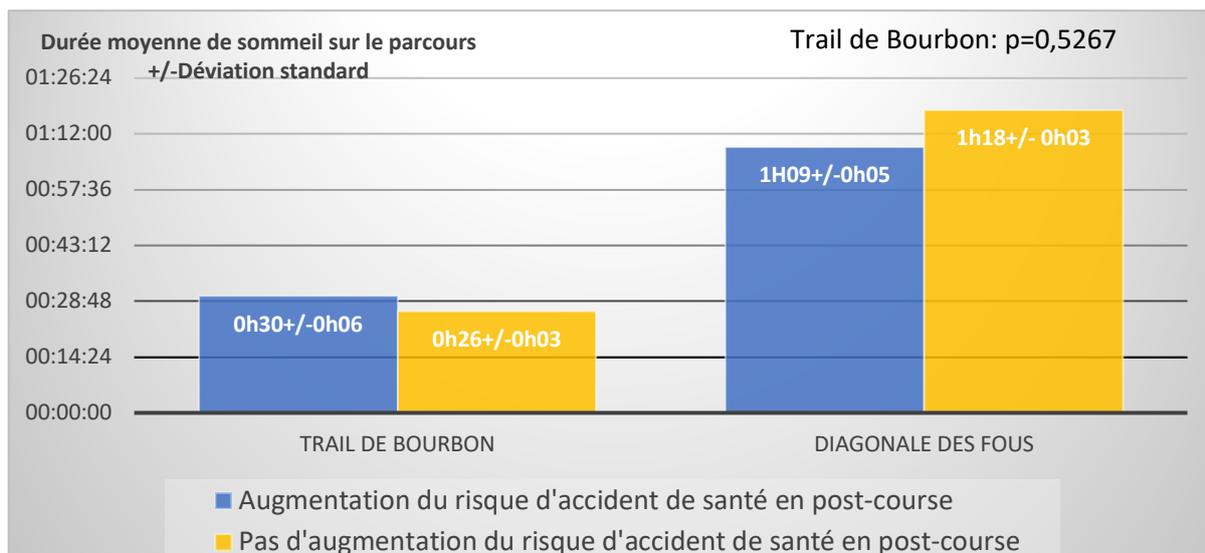


Figure 46 Durée moyenne de sommeil pendant l'épreuve en fonction du risque considéré d'accident de santé en post-course

### 3.11.6 Survenue ou non de désagréments liés au sommeil pendant l'épreuve en fonction de l'élaboration ou non d'une stratégie de sommeil avant le départ.

L'histogramme ci-après (Figure 47) représente le pourcentage de coureurs ayant élaboré ou non une stratégie de sommeil parmi ceux qui ont présenté ou non des symptômes liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve du Trail de Bourbon.

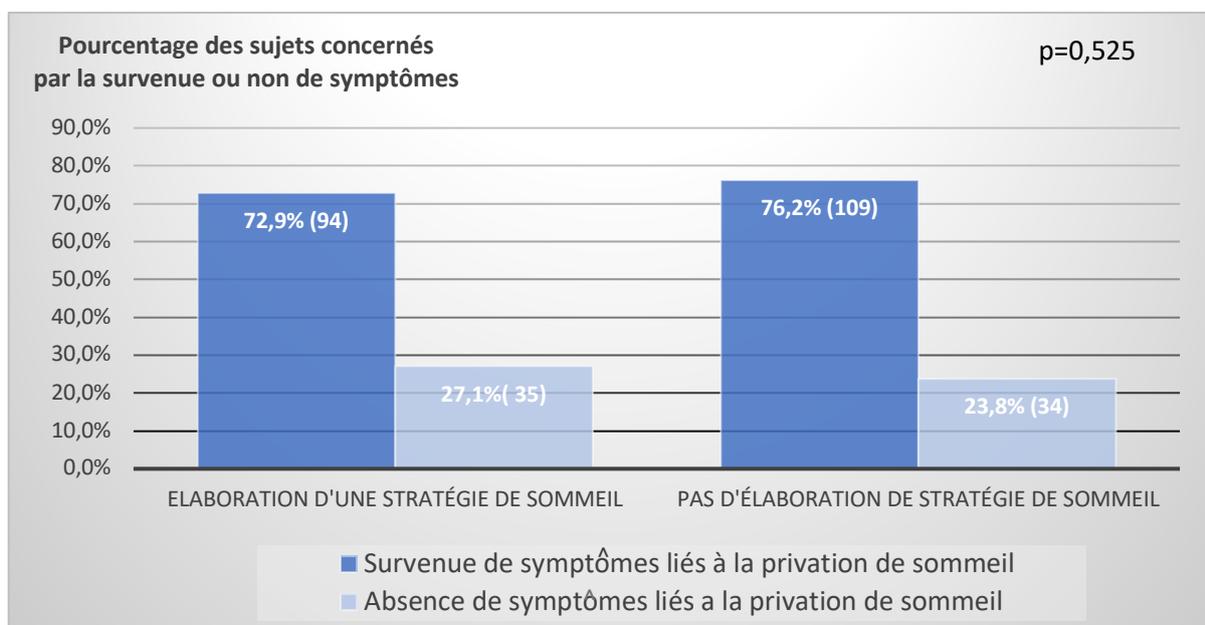


Figure 47 : Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de l'élaboration ou non d'une stratégie de sommeil sur le Trail de Bourbon

L'histogramme ci-après (Figure 48) représente le pourcentage de coureurs ayant élaboré ou non une stratégie de sommeil parmi ceux qui ont présenté ou non des symptômes liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve de la Diagonale des fous.

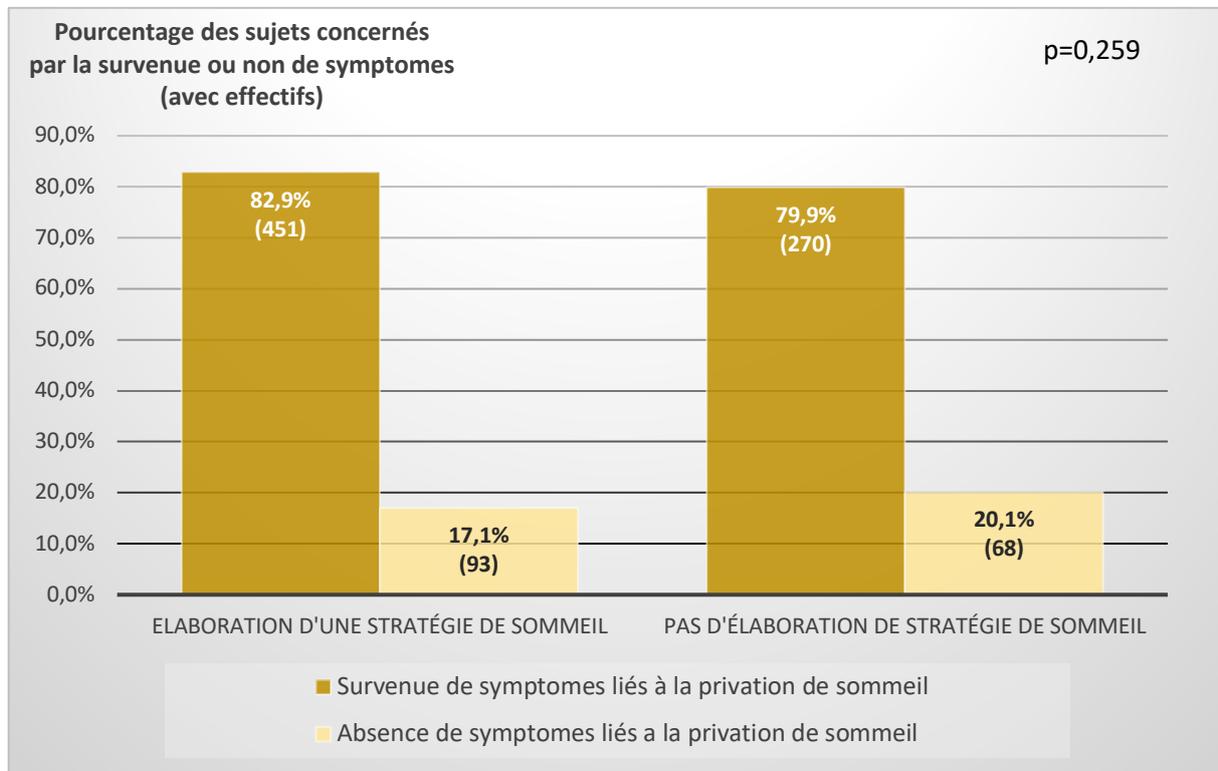


Figure 48 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de l'élaboration ou non d'une stratégie de sommeil sur la Diagonale des fous

### 3.11.7 Survenue de troubles liés à la dette de sommeil pendant l'épreuve en fonction d'une privation involontaire de sommeil, survenue ou non la semaine avant le départ

L'histogramme ci-après (Figure 49) représente le pourcentage de coureurs ayant présenté des symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la privation ou non de sommeil la semaine précédant le départ du Trail de Bourbon.

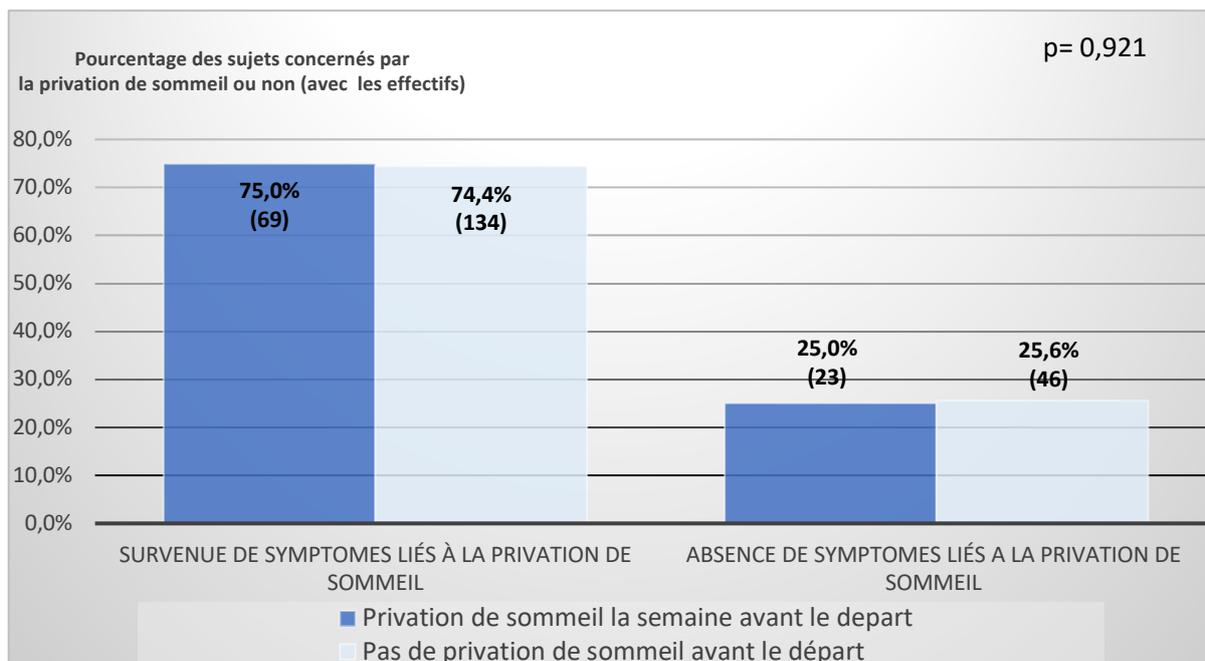


Figure 49 : Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la privation de sommeil ou non la semaine avant le départ du Trail de Bourbon

L'histogramme ci-après (figure 50) représente le pourcentage de coureurs ayant présenté des symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la privation ou non de sommeil la semaine avant le départ de la Diagonale de fous.

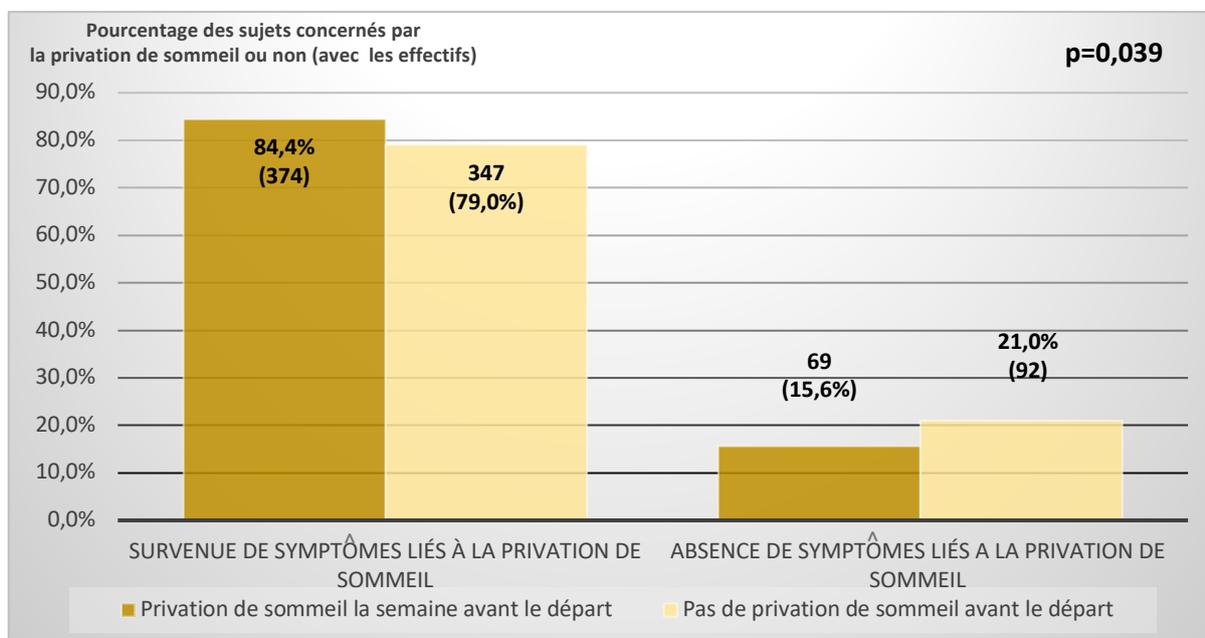


Figure 50 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la privation de sommeil ou non la semaine avant le départ de la Diagonale des fous

### 3.11.8 Survenue de désagréments liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve en fonction de la pratique des entrainements volontaires en privation de sommeil

L'histogramme ci-après (figure 50) représente le pourcentage de coureurs ayant présenté des symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la pratique d'entraînement, volontairement en privation de sommeil, pour se préparer à l'épreuve du Trail de bourbon. Le p est de 0,13.

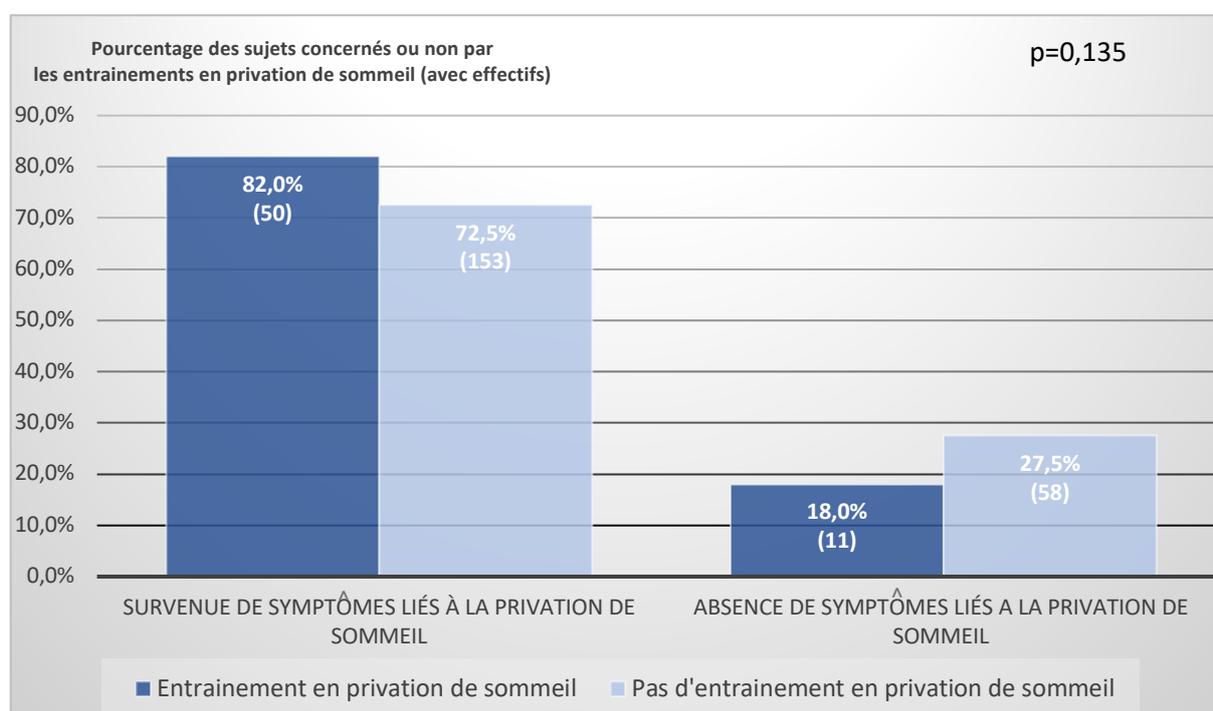


Figure 51 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la pratique d'entraînement en privation de sommeil chez les coureurs du Trail de Bourbon

L'histogramme ci-après (figure 52) représente le pourcentage de coureurs ayant présenté des symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la pratique d'entraînement volontairement en privation de sommeil pour se préparer à l'épreuve de la Diagonale des fous Le p est de 0,71.

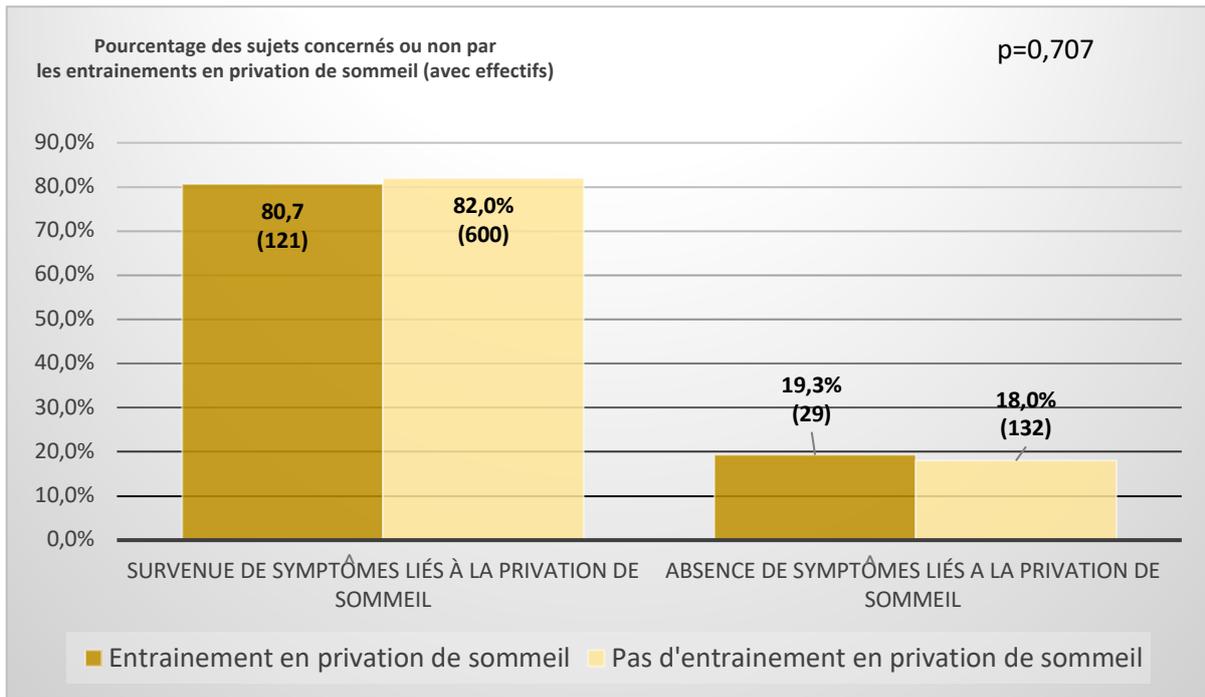


Figure 52 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil en fonction de la pratique d'entrainement en privation de sommeil chez les coureurs de la Diagonale des fous

### 3.11.9 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve en fonction de la durée moyenne de sommeil habituelle ou du profil de dormeur (>/< 7h30)

L'histogramme ci-après (figure 53) représente les taux de survenue de symptômes liés à la privation de sommeil chez les « petits et « grand » dormeurs habituels.

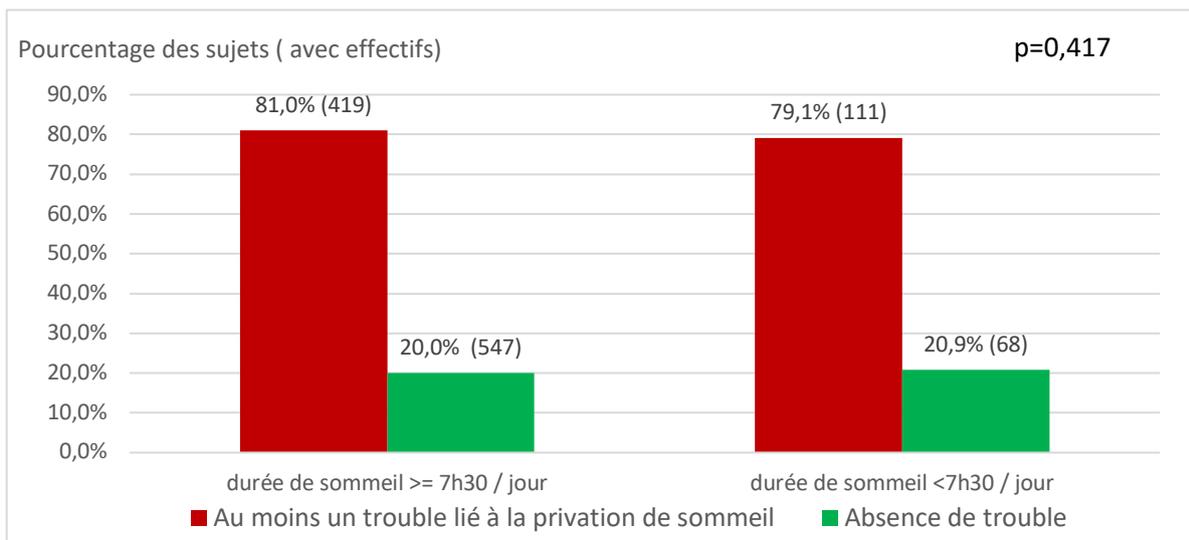


Figure 53 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil durant l'épreuve en fonction du type de dormeur (« grands dormeurs» et « petits dormeurs ») sur le total des deux épreuves

Sur la Diagonale des fous, 382 (83,6%) sujets grands dormeurs ( $\geq 7h30$ ) ont présenté au moins un trouble lié à la privation de sommeil contre 333 (79,9%) sujets pour les petits dormeurs ( $< 7h30$ ),  $p=0,153$ .

Sur le Trail de Bourbon, 116 (73,4%) sujets grands dormeurs ( $\geq 7h30$ ) ont présenté au moins un trouble lié à la privation de sommeil contre 86 (79,9%) sujets pour les petits dormeurs ( $< 7h30$ ),  $p=0,616$ .

### 3.11.10 Survenue de symptômes liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve en fonction du type de stratégie adoptée

Tableau 25 Survenue d'évènements et troubles préjudiciables\* liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve en fonction de la stratégie adoptée

		Augmentation du sommeil de jour	p	Augmentation du sommeil de nuit	p	Total des extensions de sommeil	p	Décalage horaire avec lever et coucher plus tôt	p	Décalage horaire avec lever et coucher plus tard	p	Fractionnement du sommeil	p	Rythme gardé à l'identique	p
<b>Augmentation des chutes</b>	Oui	50 (14,2%)	0,822	<b>58 (11,6%)</b>	<b>0,013</b>	<b>78 (12,3%)</b>	<b>0,018</b>	6 (13,0%)	0,766	1 (4,5%)	0,179	<b>1 (100,0%)</b>	<b>0,015</b>	<b>78 (17,5%)</b>	<b>0,023</b>
	Non	302 (85,8%)		<b>442 (88,4%)</b>		<b>555 (87,7%)</b>		40 (87,0%)		21 (95,5%)		<b>0 (0,0%)</b>		<b>367 (82,5%)</b>	
<b>Augmentation des hallucinations</b>	Oui	122 (34,7%)	0,743	184 (36,8%)	0,076	229 (36,2%)	0,081	19 (41,3%)	0,284	5 (22,7%)	0,261	0 (0,0%)	0,473	136 (30,6%)	0,053
	Non	230 (65,3%)		316 (63,2%)		404 (63,8%)		27 (58,7%)		17 (77,3%)		1 (100,0%)		309 (69,4%)	
<b>Augmentation des blessures</b>	Oui	7 (2,0%)	0,387	12 (2,4%)	0,709	14 (2,2%)	0,361	1 (2,2%)	0,853	0 (0,0%)	0,439	0 (0,0%)	0,87	15 (3,4%)	0,192
	Non	345 (98,0%)		488 (97,6%)		619 (97,8%)		45 (97,8%)		22 (100,0%)		1 (100,0%)		430 (97,6%)	
<b>Augmentation du danger ressenti</b>	Oui	33 (9,4%)	0,802	49 (9,8%)	0,924	62 (9,8%)	0,91	3 (6,5%)	0,457	3 (13,6%)	0,529	0 (0,0%)	0,743	42 (9,4%)	0,808
	Non	319 (9,6%)		451 (9,2%)		571 (9,2%)		43 (93,5%)		19 (86,7%)		1 (100,0%)		403 (90,6%)	

Les p-values (p) concernent les différences entre les réponses positives (oui) et négatives (non) pour chaque risques cités.

\*Les chutes, les hallucinations, les blessures et la mise en danger ressentie ont été considérées comme des évènements immédiatement préjudiciables pour la santé par rapport aux seuls troubles de vigilance peu discriminants dans l'analyse.

## 4 Discussion

---

### 4.1 Résultats clés

La majorité des stratégies de préparation à l'épreuve consistait en une extension de la durée de sommeil la semaine avant la course (Tableau 14). Cette constatation est concordante avec celles des précédentes études sur les habitudes et stratégies de sommeil des ultra-traileurs (7,8). L'augmentation de la durée de sommeil nocturne avec, pour certains, la pratique de siestes supplémentaires en journée était le mode de changement privilégié (Tableau 14). Au moment du départ, les stratégies consistant à dormir seulement si le besoin s'en faisait ressentir étaient majoritaires pour les concurrents de la Diagonale des fous. Les concurrents au Trail de Bourbon prévoyaient, eux, de ne pas dormir du tout, pour la plupart (Figure 22). Les siestes courtes (0-15 min et 15-30 min) étaient les plus pratiquées sur les deux types de parcours (Figure 23). La pratique de ces siestes était très inconstante pour les concurrents ayant passé deux nuits de privation et très prédominantes pour les coureurs dont le temps de course les maintenait trois nuits sur le parcours (Figure 25, Figure 26). Les siestes pratiquées chez les coureurs n'ayant passé qu'une seule nuit sur le parcours étaient anecdotiques. Il existait par ailleurs une nette prédominance des horaires de nuit (18h-6h heure locale de La Réunion) concernant la pratique des siestes (Figure 31). Ceci est concordant avec ce qui avait été observé sur la dernière étude similaire (8).

La majorité des symptômes liés à la privation de sommeil se présentaient sous forme de troubles de vigilance, de somnolence et d'hallucinations. Le taux de chute n'était pas majoritaire mais les effectifs étaient importants à prendre en compte du fait des conséquences traumatiques voire vitales sur les terrains accidentés. Une association significative a été observée entre les chutes et la modification du rythme de sommeil habituel avec un taux moins important en faveur de l'extension du temps de sommeil et en particulier celle qui concerne la durée de sommeil de nuit (Tableau 25). Une association significative a également été décrite avec un taux moins important de survenue de chutes, en faveur du rythme de sommeil conservé à l'identique (Tableau 25).

Le sommeil était un critère reconnu et jugé important par les ultra-traileurs pour la gestion de leur épreuve et la prévention des symptômes liés à la privation de sommeil (Figure 40). Cette population cible d'ultra-traileurs présentait, de plus, une durée moyenne de sommeil journalière supérieure à celle de la population générale en 2018 (Tableau 9)(14).

La majorité des stratégies élaborées à propos du sommeil concernait les périodes avant et pendant la course (Figure 13). Les stratégies pré-courses étaient les plus respectées en comparaison de celles prévues pour la course elle-même et en post-course (Tableau 13). L'augmentation observée des durées de sommeil pendant la semaine précédant la course était en moyenne progressivement croissante sur les sept jours consécutifs pour les concurrents du Trail de Bourbon et de la Diagonale des fous (figure 16) avec cependant une significativité n'ayant été observée qu'à partir de J-4 pour les deux épreuves .

Les effectifs de coureurs ayant eu recours à une alternative (dont des médicaments) pour les aider à dormir avant la course n'étaient pas négligeables (Figure 20).

En période post-course le délai de récupération d'un état d'éveil habituel était majoritairement court voire très court, inférieur ou égal à trois jours (Figure 36).

La manifestation de symptômes liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve était apparue plus importante chez les coureurs ayant déclaré une durée de sommeil cumulée plus longue sur le parcours (figure 45). Il n'avait en revanche pas été établi de lien statistique entre la durée moyenne de sommeil sur le parcours et l'augmentation supposée du risque d'accident de santé en période post-épreuve (figure 46).

L'élaboration d'une stratégie de sommeil pour les périodes avant, pendant et après l'épreuve, n'avait également pas montré de différences significatives concernant la survenue de symptômes liés à la privation de sommeil (Figure 47, Figure 48). Le fait d'avoir subi une privation de sommeil involontaire la semaine précédant le départ augmentait en revanche le taux de survenu des troubles liés à la privation de sommeil durant l'épreuve sur La Diagonale des fous (figure 50).

L'entraînement en privation de sommeil en vue de se préparer à l'épreuve n'avait montré aucun lien statistique dans la survenue des troubles liés à la privation de sommeil pendant l'épreuve (figure 51 et 52).

Nous avons pu mettre en évidence, concernant la traumatologie et la survenue de troubles liés à la privation de sommeil, des taux non-négligeable d'évènements (Figure 32).

Les troubles présentés, majoritairement psychiques et psychomoteurs, étaient concordants aux résultats exposés dans les dernières études concernant les symptômes liés à la privation de sommeil (9). L'accidentologie potentielle (notamment par chutes) liée à ces troubles de vigilance sur des terrains à risques (précipices, terrains instables, erreurs de trajectoires possibles) était à prendre en compte car leurs conséquences pouvaient aller jusqu'au risque vital.

## 4.2 Points forts et limites

Cette étude a pour point fort d'être portée sur un échantillon homogène de population d'ultra-traileurs (population recrutée sur un même évènement sportif, aux mêmes conditions climatiques et aux mêmes dates). Le nombre important de sujets étudiés (1163 concurrents) permet d'obtenir des résultats avec une puissance statistique intéressante, et d'effectuer des comparaisons avec les deux dernières études sur le même thème (7,8). De plus cette étude n'était pas restreinte aux finisseurs, malgré le faible taux des réponses obtenues du sous-groupe des non-finisateurs.

Cette épreuve touchait un public international et nous avons donc produit une version anglophone, diffusée simultanément pour diminuer le biais de sélection lié à la barrière de la langue des sujets non-francophones.

Il existait une concordance des catégories d'âges majoritaires (30-40 ans et 40-50 ans) par rapport aux dernières études touchant au domaine de l'ultra-trail (2,111-115).

Deux épreuves de mêmes profils et de mêmes environnements étaient étudiées. L'amplitude des horaires plutôt large pour un ultra-trail, allant jusqu'à 66h, permettait de rendre légitime une telle étude sur le sommeil avec une durée de course pouvant correspondre à 3 nuits de privation.

Il existe à ce jour très peu d'études concernant la gestion de la privation de sommeil en ultra-trail. Ce sujet est un thème d'actualité au vu du nombre croissant d'adeptes

de la discipline. Il est également intéressant au vu de l'évolution de notre société actuelle en ce qui concerne le sommeil, dont les derniers constats, plaçant la durée moyenne de sommeil en déclin, sont alarmants (14).

Outre les stratégies de sommeil décrites, cette étude s'intéressait de près à la manifestation de symptômes liés à la privation de sommeil ainsi qu'à l'augmentation des risques d'accidents de santé y compris en période post course. Ceci en fait un projet original, dont certaines données ne sont pas retrouvées dans la littérature actuelle. Les constatations et conclusions de notre étude avaient comme buts privilégiés d'orienter les lecteurs et professionnels de santé dans leur attitude de conseil et de prévention, ce qui distingue ce projet des autres études, d'avantage axées sur la performance.

A l'instar des deux principales études ayant eu pour objet de décrire les attitudes de sommeil adoptées par les coureurs d'ultra-trail, notre étude a pour faiblesse de ne pas offrir une grande précision dans la présentation des durées de sommeil. Ce manque de précision était cependant minimisé par une communication rapide du questionnaire en post course pour limiter le biais de mémorisation. Une meilleure précision aurait pu être obtenue par l'utilisation d'appareillages adaptés tels que des actigraphes et électroencéphalographes portatifs permettant en plus du repérage précis des siestes, de repérer les épisodes de micro-sommeil. Des balises *Global Positioning System* (GPS) associées auraient pu permettre, en complément, de localiser les points privilégiés de sommeil des concurrents sur le parcours.

Les contraintes techniques et budgétaires n'ont pas permis de réaliser de telles mesures avec du matériel, au profit cependant de l'obtention d'un échantillon plus important et adapté à l'objectif descriptif poursuivi. La population de sujets étudiés s'en trouvait alors plus représentative. Ce projet serait intéressant à exploiter dans de prochaines études afin d'obtenir des mesures objectives et précises.

Concernant les typologies circadiennes, nous avons obtenu des résultats montrant une prédominance de chronotypes « du matin » (Tableau 11), non concordante avec les dernières études épidémiologiques sur le sujet qui montraient des répartitions de type gaussiennes, davantage équivalentes entre les chronotypes « du matin » et « du soir » (116,117). Nous n'avons cependant pas utilisé de questionnaire validé équivalent comme le Morningness-Eveningness Questionnaire (MEQ) de Horne et Ostberg pour répondre à cette question.

Concernant la répartition des siestes durant l'épreuve, plusieurs erreurs ont été commises dans les réponses concernant les jours de sieste, la forme du questionnaire ayant pu prêter à confusion notamment pour l'horaire « minuit ». N'ayant pu constituer de ce fait une chronologie fiable, nous avons choisi de présenter les résultats sur un cycle de 24 heures par cumul des siestes, par tranche horaire sur les différents jours, sans distinction des dates de manière chronologique.

Les troubles du sommeil ont été observés comme moins fréquents que ceux retrouvés dans la population générale (Figure11) (14), ce qui avait également été une constatation de la dernière étude sur les habitudes de sommeil dans cette population (8). Ces observations restent cependant déclaratives, sans vérifications standardisées des diagnostics et uniquement axées sur trois troubles du sommeil et de l'humeur (apnée du sommeil, insomnie et dépression).

Les sujets non-finisateurs étaient sollicités de la même façon que les finisseurs dans la population cible initiale, cependant, malgré plusieurs relances, nous n'avons pas pu obtenir un effectif acceptable (n=9) permettant de justifier une analyse comparative avec le groupe des finisseurs. Nous avons donc choisi de n'effectuer qu'une analyse descriptive simple de ce sous-groupe. Il existait un manque de puissance pour démontrer un éventuel effet de la gestion de sommeil en tant que facteur favorisant des abandons. Par soucis de clarté de l'exposé nous avons décidé de présenter de façon séparée les données des finisseurs (comprenant une étude descriptive et analytique) et des non-finisateurs dont l'analyse descriptive a été faite dans une partie distincte. L'absence de représentativité numérique des non-finisateurs reste un point faible dommageable de l'étude.

### 4.3 Biais : sens et importances

Par souci de recrutement d'un maximum d'effectif, nous avons choisi de ne pas procéder à une randomisation de l'échantillon et de laisser le libre choix de réponse au questionnaire pour tous les volontaires de la population cible. Un biais de sélection est présent, cependant l'effectif est le plus important connu en matière de nombre et de pourcentage de la population cible sur ce type d'étude à ce jour, ceci permet d'obtenir une meilleure puissance statistique.

La rapidité de diffusion chez cette population cible homogène a permis d'obtenir un échantillon d'une qualité intéressante, au regard des populations recrutées sur le même type d'étude disponible dans la littérature scientifique actuelle.

Notre étude a été présentée aux coureurs 2 semaines après l'épreuve permettant de limiter le biais de mémorisation qui peut devenir très important plusieurs mois, voire années après la fin de course. Un délai restreint à 2 semaines en post-course a permis d'explorer avec une relative fiabilité les paramètres de sommeil recherchés.

Un recrutement transversal rétrospectif (sur des données longitudinales) nous a permis d'éviter les perdus de vue, bien qu'un recueil longitudinal prospectif aurait pu être d'une meilleure précision. Cependant les moyens humains et techniques n'auraient pu être suffisants pour organiser un tel recueil et auraient probablement porté sur un échantillon plus restreint. L'objectif était de repérer de grandes tendances descriptives, plus qu'une importante précision des données. Ce mode de recueil semblait donc plus adapté.

L'effectif de sujets non-finisateurs était très faible. Il en résultait donc un taux beaucoup plus important de non-finisateurs présents dans le reste de la population cible n'ayant pas participé à l'étude. Les sujets non-finisateurs ont probablement présenté des troubles ayant entraîné leur abandon dont certains potentiellement liés à la privation de sommeil. Le très faible effectif de ce sous-groupe recruté dans notre étude ne permet pas de conclure quant aux motifs des abandons. Une sous-estimation de certains paramètres défavorables de la gestion de sommeil (habitudes et stratégies) et des troubles liés à sa privation peut être suggérée au regard de l'effectif trop restreint de non-finisateurs inclus dans l'étude.

Durant la période post-épreuve, il a été exploré le danger persistant potentiel que les concurrents percevaient en conséquence de cette période de privation et la durée de l'état de somnolence excessive. Un questionnaire validé d'*Epworth* (118) aurait pu être inclus au questionnaire. Nous avons choisi malgré tout de ne pas inclure ce questionnaire afin de limiter et simplifier les questions. Dans un souci d'allègement du questionnaire comprenant déjà 55 questions pour une durée nécessaire dépassant la vingtaine de minutes, l'ajout des 8 questions supplémentaires du questionnaire *Epworth* a été exclu. Pour la même raison, l'inclusion d'un questionnaire de typologie circadienne de *Horne et Ostberg* n'a pas été effectuée en totalité, seules certaines questions, semblant les plus adaptées à notre sujet ont été reprises.

## 4.4 Interprétation

Comme dans les deux principales études concernant les habitudes et stratégies de sommeil chez les ultra-traileurs, le sujet du sommeil a une importance qui n'est pas sous-estimée par les concurrents (7,8). Cependant les élaborations de stratégies ont été retrouvées comme moins prédominantes dans notre étude (Figure 13). En effet, concernant les stratégies de sommeil avant course, seul 39,9% des sujets sur le Trail de Bourbon et la Diagonale des fous déclaraient avoir élaboré une stratégie contre 73,9% et 88,0% dans les deux autres articles de référence sur le même sujet (7,8). Nous obtenons tout de même un taux de 54,3% des coureurs ayant adopté un rythme aboutissant à une augmentation de la durée de sommeil journalière durant la semaine avant la course (Tableau 14), ce qui est proche du taux de la dernière étude sur le même sujet avec 54,7% des sujets ayant procédé à une extension de leur durée de sommeil avant l'épreuve (8). La tendance est donc à l'extension du sommeil avant la course dans le but de se préparer à l'épreuve, que cela soit intentionnel dans le cadre d'une stratégie programmée ou simplement lié aux éléments environnementaux plus ou moins favorables.

On notait pour les concurrents de la Diagonale des fous, une durée moyenne journalière de sommeil la semaine précédant l'épreuve significativement inférieure à leur durée moyenne habituelle de sommeil de J-7 à J-4, semblable à J-3, puis significativement supérieure à J-2 et J-1, avec une nette prédominance de l'extension de sommeil les dernières 24 heures (Figure 18). Ce profil peut être expliqué en partie par la privation de sommeil survenant à l'occasion des vols long-courriers arrivant la semaine précédant la course, cette épreuve étant pour moitié constituée de sujets non-résidents de l'île de La Réunion. Cette répartition des durées de sommeil était différente pour les concurrents du Trail de Bourbon. En effet, de J-7 à J-5, la durée de sommeil était inférieure à la durée habituelle au profit d'une période allongée entre J-4 et J-1 où il était constaté des durées de sommeil comparables et augmentées (figure 17).

Cette évolution était plus concordante dans la mesure où les concurrents à cette épreuve résidaient pour plus des trois quarts sur l'île (119).

On observait une diminution des pourcentages du respect des stratégies envisagées (tableau 13) au fur et à mesure des étapes (avant, pendant et après l'épreuve).

Une hypothèse peut mettre en avant les aléas et les conséquences de l'effort physique difficilement prévisibles chez les concurrents au fur et à mesure de l'avancée des événements. Les changements dans les stratégies de sommeil prévues interviendraient alors plus fréquemment en conséquence pendant et après l'épreuve. À l'inverse notre étude a montré un taux d'élaboration de stratégie de sommeil pour la course elle-même plus important que dans la dernière étude en date (41,8% d'élaboration dans cette étude contre 21% sur l'étude considérée) (8). Nos données recueillies portent sur l'épreuve sportive la plus récente parmi celles des autres études sur le même sujet. Le développement croissant des systèmes de communication et l'intérêt grandissant pour cette discipline peut expliquer que notre étude soit portée sur une population cible mieux informée. Ces sujets appréhenderaient davantage la problématique du sommeil en ultra-trail, d'où un nombre plus important de coureurs ayant une stratégie programmée pour la gestion de leur l'épreuve.

Les médicaments comprenant des somnifères (dont les hypnotiques et benzodiazépines) ont été utilisés par certains sujets. Il est possible qu'une utilisation inadaptée, en contexte de privation de sommeil n'ait pas eu un impact bénéfique en terme de récupération et de gestion du sommeil autour de ce type d'épreuve. Ceci est d'autant plus probable sachant que ces molécules ont un potentiel de perturbation de l'architecture du sommeil (120–123). Cette hypothèse serait pertinente à explorer au cours d'une étude comparative afin d'en déduire des conseils adaptés envers les traileurs consommant des médicament somnifères.

Par ailleurs, l'élaboration d'une stratégie préalable à l'épreuve, avec une programmation des temps de sommeil à certains points de la course ou certaines échéances de durées, peut paraître contre-productive. Cette stratégie ne respecterait pas les rythmes biologiques des pressions de sommeil et pourrait ainsi ne pas optimiser la récupération lors des moments de besoins.

Il n'est pas apparu de différences significatives concernant la survenue des troubles liés à la privation de sommeil entre les concurrents s'étant préalablement entraînés en se privant volontairement de sommeil et ceux n'ayant pas déclaré ce mode de

préparation. Cependant malgré l'absence de bénéfice observé sur le groupe de concurrents ayant eu cette pratique, un entraînement de nuit préalable pourrait hypothétiquement permettre un bénéfice en matière de familiarisation avec la pratique de la course à pied de nuit (permettant d'anticiper sa vitesse de course et le réglage du matériel d'éclairage).

Il est possible de penser qu'un travail nécessairement plus axé sur la proprioception la nuit, par la privation partielle de repères visuels pourrait améliorer la technique de course et prévenir le risque de chute.

Cependant le bénéfice d'une éventuelle amélioration de la proprioception dans ces conditions pourrait être contrebalancé par l'effet négatif de la privation de sommeil. En effet, la dette de sommeil pourrait être responsable d'une détérioration de la capacité de contrôle postural, facteur non négligeable dans les pertes d'équilibre et d'éventuelles chutes (124–127).

Concernant le profil de dormeur de notre population cible, nos analyses concluaient à des données différentes de la dernière étude sur le sujet. En effet, la durée moyenne journalière de sommeil des ultra-traileurs concernés ne correspondait pas à la durée moyenne observée dans la population française sur les dernières études (7h29 en moyenne pour la population de notre étude contre 6h55 en moyenne pour la population française). Les ultra-traileurs dans notre étude apparaissent comme des dormeurs de plus longue durée que la population française générale (Tableau 9) (14). En comparaison aux études rapportant les durées de sommeil dans des groupes d'athlètes portant sur différents sports, la durée moyenne de sommeil dans notre population d'ultra-traileurs était également plus longue (89,128,129). En revanche, nos résultats étaient concordants avec les durées moyennes retrouvées dans la dernière étude portant sur les habitudes de sommeil des ultra-traileurs qui pour une majorité avaient une durée moyenne de sommeil de 7 à 8h (8).

La durée moyenne de sommeil plus importante chez les populations d'athlètes, peut trouver son explication dans plusieurs notions. Tout d'abord, comme cité précédemment, il avait été observé que l'activité sportive régulière améliorerait la qualité du sommeil (75), ralentirait le temps de latence d'endormissement et optimiserait la récupération. Il est, de plus, admis et probablement connu de ce public en quête de performance, que le sommeil améliorerait la récupération entre les entraînements et serait nécessaire au phénomène de surcompensation. Les besoins en sommeil d'un

sportif régulier seraient ainsi plus importants avec une population concernée qui s'y adapterait (71).

La majorité des siestes effectuées sur le parcours des deux épreuves étaient nocturnes (Figure 31). Cette observation souligne de façon nette un besoin de sommeil prédominant aux heures habituelles des cycles circadiens où la pression de sommeil se fait plus forte.

Sur le premier tiers de course, il était observé un faible effectif de concurrents effectuant des siestes, par rapport aux deux derniers tiers de course. Ceci peut s'expliquer par une durée cumulée de course relativement courte à ces étapes de l'épreuve, sans privation de sommeil excessive bien que se déroulant la nuit. Le phénomène pourrait cependant aussi être expliqué par le fait que le premier tiers de course était en majorité parcouru à des altitudes supérieures à 1500m. Ce type de terrain ajouté à la période nocturne expose les concurrents à des températures basses, parfois négatives. Ces conditions ne permettent pas d'offrir des opportunités favorables aux coureurs pour effectuer leurs siestes.

De plus on observait une évolution non linéaire du nombre de siestes et de la durée cumulée de sommeil en fonction de l'évolution des temps d'arrivées. Une évolution ascendante par phase au passage à la 2<sup>ème</sup> nuit passée sur le parcours puis à la 3<sup>ème</sup> nuit était mise en évidence. L'effet de la nuit peut avoir un impact sur l'augmentation importante de la pression de sommeil en regard des cycles circadiens plutôt que le cumul proportionnel du temps passé sur le parcours. Cette évolution par phases était concordante avec la répartition des siestes qui étaient effectuées en majorité sur la période nocturne.

En ce qui concerne l'observation montrant que les dormeurs de plus longue durée cumulée sur le parcours présentaient également plus de troubles liés à la privation de sommeil, plusieurs hypothèses sont possibles. Une durée de course plus longue, conduisant les coureurs à pratiquer plus de siestes, pourrait aussi être une condition qui favoriserait l'apparition de troubles liés à la privation de sommeil (Figure 33). La manifestation de troubles liés à la privation de sommeil pourrait aussi inciter les concurrents à s'accorder plus de pauses pour dormir durant l'épreuve. La pratique de la sieste pourrait également entretenir des troubles plus fréquents liés à cette dette de sommeil par inertie importante du sommeil (éveil confusionnel) après les siestes par

effet rebond après privation. Enfin, par leurs effets sur la perturbation des rythmes circadiens les siestes pourraient entretenir l'émergence des troubles en démarrant brièvement de nouveaux cycles de sommeil prématurément interrompus. Ces hypothèses restent à explorer.

Concernant les non-finisateurs, les temps d'arrêt de course furent relativement précoces avec pour la plupart uniquement la première nuit passée sur le parcours.

Il s'agissait, contre-intuitivement pour la majorité, de sujets très entraînés avec des moyennes de durées d'entraînements supérieures à celles constatées pour les finisseurs. La plupart des résultats rapportés, et plus particulièrement sur la période avant-course, étaient proches des moyennes des finisseurs, à l'exception de trois paramètres. Tout d'abord le taux de sujets déclarant une insomnie qui était près de 2 fois plus élevée que la moyenne des finisseurs (Figure 11, Tableau 21). La consommation en somnifères montrait également des taux 7 fois plus élevés (Figure 12, Tableau 21). En parallèle il a également été constaté une moyenne de temps de sommeil plus basse les sept jours précédant l'épreuve avec près d'une demi-heure à une heure de moins de sommeil journalier (figure 16 et 41).

Ceci va dans le sens de possibles difficultés initiales de sommeil, plus présentes chez les sujets ayant abandonné leur épreuve. A noter que parmi ces sujets non-finisateurs, certains ont précisé en commentaires libres, qu'il existait selon eux une influence défavorable de leurs insomnies sur leurs entraînements et leur préparation aux courses qu'elles soient de courtes ou longues distances.

Plus qu'un manque d'expérience dans la discipline, d'importantes erreurs stratégiques ou encore la survenue d'accidents sur le parcours, les troubles du sommeil préexistants lors de la préparation de ces épreuves semblent transparaître comme des facteurs défavorables ayant pu conduire en partie à l'abandon sur ces épreuves d'ultra-trail. Aucune significativité ne peut malheureusement être affirmée sur ce faible effectif. Une étude approfondie des non-finisateurs avec des effectifs suffisants serait indispensable pour explorer cette hypothèse.

## 4.5 Extrapolabilité et propositions d'actions

De nombreuses études ont été effectuées jusqu'à ce jour sur le thème de la privation de sommeil et ses conséquences (11,40,41,51,52,55,85,86,88,93,97,100,107,130–142) mais très peu s'attachant aux répercussions en ultra-trail. Dans la population générale comme chez le sportif, dans ce contexte, les troubles attentionnels et psychomoteurs sont au premier plan. Cette étude est concordante avec les précédents résultats dans le sens où il existe une augmentation des troubles de la vigilance et des déficits psychomoteurs liés à la dette de sommeil. Ces troubles présentés sur des terrains accidentés majoreraient l'accidentologie.

Cette étude permet de montrer une grande hétérogénéité dans les besoins de sommeil et la précocité d'apparition des troubles liés à la privation de sommeil. Au regard de nos résultats, plus la dette cumulée de sommeil est importante et plus la survenue des troubles est constante et le besoin de récupération nécessaire. Cependant, la résistance à la privation de sommeil est sans doute très individuelle et subjective. Des facteurs externes (comme la consommation de stimulants ou encore le rythme et la qualité de l'alimentation) pourraient également venir influencer la vigilance et la résistance au sommeil (143). La très grande majorité des concurrents élaborent leurs stratégies à partir de leur expérience personnelle (Figure 14). Ceci conforte l'idée que la nécessité d'écouter des ressentis individuels est importante dans la gestion du sommeil sur ce type d'épreuve.

Pour les plus novices, il existe souvent un effet de mimétisme et d'influence par les autres coureurs en ce qui concerne la gestion de leur course. Reproduire un schéma de course prévu par d'autres concurrents est inadapté voire risqué, d'autant plus si leurs niveaux et leurs typologies circadiennes sont différents.

Distinguant chaque grand type de stratégie, l'extension du sommeil reste, outre qu'elle soit la plus pratiquée, la réaction la plus innée, physiologique et recommandable. Ceci est valable particulièrement pour le sommeil de nuit dont la qualité (sommeil profond) offre le meilleur rendement en matière de récupération. Il a été constaté plus particulièrement dans les 24 heures avant le départ, qu'il existait un cumul très net du nombre d'heures de sommeil. Cette réaction semble adaptée et permettrait d'obtenir une tolérance à la privation de sommeil plus prolongée par l'effet rebond inverse obtenu en faveur du maintien de l'éveil.

Le maintien à l'identique du schéma de sommeil habituel en pré-course offre, par ailleurs, l'intérêt de l'absence de toute perturbation des rythmes circadiens (avance ou retard de phase), avec l'optimisation des heures de sommeil déjà en place au regard de chaque rythme individuel. L'avantage serait d'épargner tout stress biologique réactionnel aux adaptations demandées par de nouveaux changements de rythmes. Les stratégies plus minoritaires, de type « fractionnement » du sommeil, décalage « plus tôt » ou « plus tard » des phases d'endormissement et de réveil, n'ont pas montré de bénéfices et sembleraient même inadaptées au vu du raisonnement évoquant la perturbation du rythme circadien habituel. A noter que ce décalage pouvait être involontaire, notamment pour les coureurs résidants hors-département de la Réunion et qui devaient choisir à leur arrivée de conserver leur rythme physiologique initial ou s'adapter au décalage horaire (par exemple : +3h en octobre à La Réunion par rapport à l'heure Métropole). La diminution des heures de sommeil avant l'épreuve qu'elle soit imposée (le plus souvent) ou volontaire ne semble offrir aucun bénéfice et majorerait d'autant plus la dette de sommeil cumulée de façon inévitable pendant l'épreuve.

Mettre en place une stratégie de sommeil, reste une démarche courante. A noter que notre population était en quasi-totalité composée de finisseurs ayant pour un nombre important d'entre eux, élaboré d'une stratégie. Une réflexion sur le sommeil dans la préparation reste indispensable malgré l'absence d'arguments forts dans cette étude en faveur de l'obligation à établir une programmation précise de sommeil.

Cependant, rester à l'écoute de ses ressentis individuels en terme de besoin de sommeil, à l'instant où la pression semble la plus forte, que ce soit avant, pendant ou après l'épreuve, semble être un comportement indispensable à adopter.

La consommation de médicaments hypnotiques (benzodiazépines, hypnotiques non-benzodiazépines, anti-histaminiques ou antidépresseurs à visée sédatrice), qu'elle soit habituelle dans le cadre d'un trouble authentifié du sommeil ou en vue de cumuler des heures de sommeil avant l'épreuve est défavorable et déconseillée. En effet il peut exister un phénomène de rebond d'insomnie à l'arrêt du médicament au moment de l'épreuve, ne permettant pas d'adapter sa récupération par la mise en place de siestes. Elle pourrait également majorer le risque de chute par l'altération résiduelle de la vigilance et les possibles ataxies.

La phytothérapie, principalement utilisée sous forme de tisanes dans notre étude, paraît peu risquée, mais dépend des principes actifs des plantes utilisées et de leurs dosages. Des précautions et les conseils de pharmaciens pourraient être nécessaires. D'autres méthodes ont été citées telle que la luminothérapie par exemple. Cette méthode pourrait apporter un bénéfice pour les troubles du rythme circadien et la lutte contre les syndromes dépressifs saisonniers (144). L'ostéopathie et les techniques corporelles de relaxations diverses semblent également appropriées (145).

Le sommeil sous forme de siestes sur le parcours était très inégalement pratiqué par les concurrents. Cela est explicable par les niveaux de performance différents reliés directement aux temps différents d'exposition à la privation de sommeil, mais aussi par les niveaux différents de tolérance à la dette de sommeil. Les objectifs sportifs individuels sont aussi à prendre en compte, ces derniers pouvant faire considérer que les arrêts liés aux siestes pourraient être des « pertes de temps » ou au contraire qu'ils permettraient une restauration énergétique, psychomotrice et de la vigilance bénéfique pour la poursuite d'un chronomètre final intéressant. Une recommandation générale est difficilement élaborable, cependant, il semble approprié de conseiller, au vu des pratiques constatées dans cette étude qu'au-delà de deux nuits de privation de sommeil (48h de course), un temps de sommeil minimum soit accordé. Les siestes courtes (15-30 min) les plus pratiquées, seraient les plus bénéfiques en matière de limitation de l'inertie de sommeil, de minimisation de temps passé immobile sur le parcours (barrières horaires) et de restauration de la vigilance sur plusieurs heures (42,43).

Interrompre par ailleurs cette phase de sieste par la mise en place d'un réveil peut être perturbateur dans le processus de restauration s'il ne respecte pas un éventuel réveil spontané au même moment prévu. Cependant, en comparaison aux siestes habituelles pouvant être pratiquées hors contexte de privation de sommeil, il est possible que le temps de latence d'endormissement pendant cette période de dette de sommeil soit réduit et les passages successifs aux phases plus profondes de sommeil accélérés, d'autant plus si les siestes sont pratiquées en dehors d'une période réfractaire dans le cadre du mode de sommeil polyphasique (6,146). Cette réorganisation du mode de repos avec ses conséquences sur l'architecture du sommeil ne permettrait pas de se fier aux programmations des siestes habituelles au domicile hors contexte de privation.

Une alarme est cependant utile à régler pour s'autoriser un délai maximum, privilégiant cependant l'opportunité d'un réveil spontané, y compris s'il intervient avant le délai fixé. Dans cette optique, la programmation des siestes sur un lieu de ravitaillement n'est pas une stratégie qui semble toujours la plus adaptée. Bien que ces lieux offrent un confort avec lits de camp/tapis et nourriture à proximité, les ravitaillements ne se présenteraient pas toujours au moment opportun pour la pratique d'une sieste et seraient parfois inadaptés pour favoriser l'endormissement (nuisances sonores, lieux de passage fréquentés, présence des proches).

En dehors de ces généralités, il reste des profils de sportifs qui présentent des critères de fragilité à considérer et à rechercher à l'occasion d'une consultation de médecine générale en prévision de ce type d'épreuve. En effet la proportion de sportifs présentant des troubles de type insomnies chroniques, apnées du sommeil ou dépressions n'est pas négligeables (Figure 11), même si les taux peuvent paraître inférieurs à ceux de la population générale (14). Les consommateurs réguliers ou occasionnels de médicaments sédatifs ou hypnotiques seraient également à considérer (Figure 12). Un trouble initial du sommeil pourrait majorer le risque d'accident sur le parcours (ou en post-épreuve), par l'absence d'optimisation possible du sommeil en préparation à l'épreuve et la moins bonne efficacité récupératrice lors des éventuelles siestes sur le parcours. Optimiser la prise en charge de ce type de trouble en amont de l'épreuve (sur plusieurs mois) semble être un objectif à poursuivre par le médecin, pour préparer le sportif à l'approche de son épreuve.

La population cible de l'étude a évolué sur des parcours, dont les difficultés en matière de dénivelé, de différentiel de température, de durée et de difficulté du terrain pourraient être considérées comme représentatives, avec des conclusions reproductibles sur d'autres épreuves à venir du même type.

Une étude à plus grande échelle avec une randomisation initiale des participants serait intéressante pour confirmer ces résultats et améliorer la qualité de l'échantillon.

## 5 Conclusion

---

L'occasion d'un exercice sportif engendrant une privation de sommeil fait prendre toute son importance à la réflexion entourant la gestion du sommeil avant, pendant, et après une épreuve telle que l'ultra-trail.

Pour résumer les notions importantes qui se dégagent de cette étude, nous pouvons présenter plusieurs lignes directrices et recommandations. Ceci aura pour objectif d'aider à la pratique concrète en médecine générale et d'élaborer des préconisations, en ce qui concerne la gestion du sommeil chez les ultra-traileurs en consultation.

Ces lignes directrices sont les suivantes :

- Savoir que la privation de sommeil reste un des paramètres majeurs les plus difficiles à appréhender et à conséquences potentiellement graves pour la santé sur une épreuve d'ultra-trail.
- S'intéresser à la gestion prévue du sommeil de ces sportifs pour les périodes avant, pendant et après l'épreuve pour détecter des stratégies contre-productives voire dangereuses.
- Rechercher d'éventuels troubles du sommeil préexistants et une éventuelle consommation de somnifères. Équilibrer au mieux ces troubles pourrait contribuer à une préparation plus efficace de l'épreuve.
- Évaluer le temps « cible » de l'épreuve prévue par le sujet et conseiller des siestes courtes (15-30 min), quand le besoin s'en fait ressentir, à la pression de sommeil la plus forte et d'autant plus à partir de deux nuits de privation.
- Sensibiliser les coureurs aux risques de chutes et d'accidents traumatiques sur les terrains accidentés du fait de la dégradation de la vigilance et du contrôle postural avec la dette cumulée de sommeil.
- Inciter à une extension de sommeil (ou au moins au maintien du rythme habituel) avant la course.
- Rappeler que savoir s'arrêter à temps pour dormir et écouter ses propres ressentis individuels sans se laisser influencer par d'autres coureurs de niveau et d'expérience différents est la base de la sécurité dans cette épreuve.
- Déconseiller fortement la conduite automobile et la reprise du travail durant les 48 à 72h après la fin de l'épreuve du fait de la persistance des troubles de la vigilance. Cette période reste variable et individuelle.

- Rappeler que le plaisir reste le moteur principal de leur discipline. Les fluctuations de l'humeur seront inévitables et même majorées par la privation de sommeil. Ces variations thymiques peuvent faire cependant tout l'intérêt, avec prudence, de ce défi physique et psychologique.

Une onzième « règle d'or » pourrait être rajoutée à la « Fiche de conseils médicaux aux sportifs » du Grand Raid (Annexe 7.3) :

« **SOMMEIL** : *Allonger la durée de sommeil avant l'épreuve ou garder au moins le même rythme. La privation de sommeil associée à l'effort dégrade la vigilance et augmente le risque de chute. Savoir s'arrêter pour de courtes siestes (<30 min) quand le besoin de sommeil se montre prédominant pendant l'épreuve. »*

L'étude de la privation de sommeil en ultra-trail en est à ses débuts et mérite que des investigations adaptées avec les moyens techniques actuels soient mis en place pour obtenir des mesures de précision. Mieux comprendre pourquoi certains coureurs résistent à la pression de sommeil à certains moments de la course alors que d'autres montrent des signes de défaillance les poussant à s'arrêter, pourra éventuellement être précisé par l'analyse de l'activité électrique cérébrale, grâce aux électro-encéphalographes portatifs accompagnant les actigraphes et les balises GPS. Chaque exploration permettra d'en connaître plus sur certains processus qui régissent la gestion de l'effort prolongé associée à la dette de sommeil dans cette discipline et permettra, in fine, d'obtenir une meilleure proximité, une meilleure compréhension et des conseils fiables de la part de la communauté médicale envers leurs patients pratiquant l'ultra-trail.

## 6 Références bibliographiques

---

1. Knechtle B, Wirth A, Knechtle P, Rüst CA, Rosemann T, Lepers R. No improvement in race performance by naps in male ultra-endurance cyclists in a 600-km ultra-cycling race. *Chin J Physiol*. 2012 Apr 30;55(2):125–33.
2. Hoffman MD, Krishnan E. Health and Exercise-Related Medical Issues among 1,212 Ultramarathon Runners: Baseline Findings from the Ultrarunners Longitudinal Tracking (ULTRA) Study. *PLOS ONE* [Internet]. 2014 Jan 8 [cited 2019 Sep 7];9(1):e83867. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0083867>
3. Khodae M, Ansari M. Common ultramarathon injuries and illnesses: race day management. *Curr Sports Med Rep*. 2012 Dec;11(6):290–7.
4. Dubos F. Accidentologie des courses à pied hors stades dans les Pyrénées-Atlantiques en 2015, évaluation des dispositifs de secours et mise en place du concept Se'coureur. 2016;131.
5. Stampi C. Polyphasic sleep strategies improve prolonged sustained performance: A field study on 99 sailors: *Work & Stress: Vol 3, No 1*. *Work & Stress* [Internet]. 2007 Sep 25 [cited 2019 Sep 7];3(1):41–55. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02678378908256879>
6. Magon De La Giclais B, Léger D, Tiberge M, Arbus L. Sommeil du navigateur solitaire en mode polyphasique. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*. 1996;26.
7. Poussel M, Laroppe J, Hurdiel R, Girard J, Poletti L, Thil C, et al. Sleep Management Strategy and Performance in an Extreme Mountain Ultra-marathon. *Res Sports Med*. 2015;23(3):330–6.
8. Martin T, Arnal PJ, Hoffman MD, Millet GY. Sleep habits and strategies of ultramarathon runners. *PLOS ONE* [Internet]. 2018 May 9 [cited 2019 Sep 2];13(5):e0194705. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0194705>
9. Dudoignon M, Hurdiel R, Jardri R. Troubles hallucinatoires lors de l'Ultra Trail du Mont Blanc® 2015 (UTMB®) : description et effet de la dette de sommeil. *Médecine du Sommeil* [Internet]. 2016 Jan 1 [cited 2019 Sep 7];13(1):26. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1769449316000777>
10. Belenky G, Wesensten NJ, Thorne DR, Thomas ML, Sing HC, Redmond DP, et al. Patterns of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery: a sleep dose-response study. *J Sleep Res*. 2003 Mar;12(1):1–12.
11. Pilcher JJ, Huffcutt AI. Effects of sleep deprivation on performance: a meta-analysis. *Sleep* [Internet]. 1996 May 15 [cited 2019 Nov 24];4(19):318–26. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8776790>
12. Lentino CV, Purvis DL, Murphy KJ, Deuster PA. Sleep as a component of the performance triad: the importance of sleep in a military population. *US Army Med Dep J*. 2013 Dec;98–108.
13. Hirshkowitz M, Whiton K, Albert SM, Alessi C, Bruni O, DonCarlos L, et al. National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary. *Sleep Health* [Internet]. 2015 Mar 1 [cited 2019 Sep 7];1(1):40–3. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352721815000157>
14. Faraut B, Léger D, Richard J, Zeghnoun A. Le temps de sommeil, la dette de sommeil, la restriction de sommeil et l'insomnie chronique des 18-75 ans : résultats du Baromètre de Santé publique France 2017. *Education Santé* [Internet]. 2019 Apr 1 [cited 2019 Nov 25];(354). Available from: <http://educationsante.be/article/le-temps-de-sommeil-la-dette-de>

sommeil-la-restriction-de-sommeil-et-l'insomnie-chronique-des-18-75-ans-resultats-du-barometre-de-sante-publique-france-2017/

15. INSEP. Cahier des charges à Label Trail [Internet]. 2009 [cited 2019 Sep 2]. Available from: [http://www.athle.fr/Reglement/cahier\\_des\\_charges\\_trail2009.pdf](http://www.athle.fr/Reglement/cahier_des_charges_trail2009.pdf)
16. Bouscaren N, Millet GY, Racinais S. Heat Stress Challenges in Marathon vs. Ultra-Endurance Running. *Front Sports Act Living* [Internet]. 2019 [cited 2019 Dec 25];1. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fspor.2019.00059/full>
17. Zaryski C, Smith DJ. Training principles and issues for ultra-endurance athletes. *Curr Sports Med Rep*. 2005 Jun;4(3):165–70.
18. Chaloin Caroline. ALPES. Le marché du trail en pleine ascension [Internet]. [cited 2020 Mar 9]. Available from: <https://www.ledauphine.com/economie-et-finance/2018/09/04/le-marche-du-trail-en-pleine-ascension>
19. Kantard Média, Uniteam Active. Le running, une tendance de fond. Etude sport, loisir et bien être [Internet]. 2013 Mar 26 [cited 2020 Feb 9]; Available from: <https://www.running-club.fr/media/Presentation-Etude-Sport-Loisir-et-Bien-etre.pdf>
20. Jourdan M. Runraid : calendrier, classements trails et course nature 2019 [Internet]. Runraid, le site des Sports nature. [cited 2019 Dec 29]. Available from: <http://runraid.free.fr/calendrier.php>
21. Association Grand Raid. Carnet De Route GRAND RAID 2018 [Internet]. calameo.com. 2018 [cited 2019 Dec 30]. Available from: <https://www.calameo.com/read/005707579106ea61873aa>
22. Dauvilliers Y. Les troubles du sommeil. Elsevier Health Sciences; 2019. 457 p.
23. INSERM. Sommeil: Faire la lumière sur notre activité nocturne [Internet]. Inserm - La science pour la santé. 2011 [cited 2020 Feb 5]. Available from: <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/sommeil>
24. Collège des enseignants de neurologie. Troubles du sommeil de l'enfant et de l'adulte [Internet]. CEN. 2016 [cited 2020 Feb 5]. Available from: <https://www.cen-neurologie.fr/deuxieme-cycle/troubles-du-sommeil-lenfant-ladulte>
25. Hirshkowitz M, Whiton K, Albert SM, Alessi C, Bruni O, DonCarlos L, et al. National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary. *Sleep Health* [Internet]. 2015 Mar 1 [cited 2020 Feb 9];1(1):40–3. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352721815000157>
26. Hirshkowitz M, Whiton K, Albert SM, Alessi C, Bruni O, DonCarlos L, et al. National Sleep Foundation's updated sleep duration recommendations: final report. *Sleep Health* [Internet]. 2015 Dec 1 [cited 2020 Feb 9];1(4):233–43. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352721815001606>
27. Gonzalo G, Alvarez MD, Najib T, Ayas MD. The Impact of Daily Sleep Duration on Health: A Review of the Literature. *Spring* [Internet]. 2004 [cited 2020 Feb 9];19(9):56–9. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.0889-7204.2004.02422.x>
28. Steptoe A, Peacey V, Wardle J. Sleep Duration and Health in Young Adults. *Arch Intern Med* [Internet]. 2006 Sep 18 [cited 2020 Feb 9];166(16):1689–92. Available from: <https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/fullarticle/410837>
29. Réseau Morphée. Questionnaire de matinalité et de vespéralité de Horne et Österb [Internet]. Réseau Morphée. [cited 2020 Feb 9]. Available from: <https://reseau-morphee.fr/le-sommeil-et-ses-troubles-informations/quel-dormeur/soir-matin/questionnaire-de-typologie-circadienne-de-horne-et-ostberg>
30. Bonnet MH, Gomez S, Wirth O, Arand DL. The use of caffeine versus prophylactic naps in sustained performance. *Sleep*. 1995 Feb;18(2):97–104.
31. Benoit O, Foret J. Régulation circadienne des états de veille et de sommeil. *Neurophysiol clin*. 1988 Sep 1;18(5):403–31.

32. Lack LC, Wright HR. Chronobiology of sleep in humans. *Cell Mol Life Sci.* 2007 May;64(10):1205–15.
33. Borbely A.A. A two-process Model of Sleep Regulation. *Human Neurobiology.* 1982;3(1):195–204.
34. Krack PP. Les troubles du sommeil (en dehors du syndrome de l'apnée du sommeil) (43a) [Internet]. 2004 [cited 2020 Feb 6]. Available from: <http://www-sante.ujf-grenoble.fr/SANTE/corpus/disciplines/neuro/troublespe/43a/leconimprim.pdf>
35. Kales A, Rechtschaffen A, University of California LA, Brain Information Service, National Institute of Neurological Diseases and Blindness (U.S.). A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Washington, DC: United States Government Printing Office; 1968.
36. INSERM. Chronobiologie - La science pour la santé . Dossier d'information [Internet]. [cited 2020 Feb 1]. Available from: <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/chronobiologie>
37. Cannard C. Le développement de l'adolescent: L'adolescent à la recherche de son identité, Chap. 3 La nutrition et le sommeil. De Boeck Supérieur; 2019. 468 p.
38. Yetish G, Kaplan H, Gurven M, Wood B, Pontzer H, Manger PR, et al. Natural sleep and its seasonal variations in three pre-industrial societies. *Curr Biol* [Internet]. 2015 Nov 2 [cited 2019 Dec 22];25(21):2862–8. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4720388/>
39. Valatx JL. Mécanisme du cycle veille-sommeil-rêve. *La Revue du Praticien (Paris).* 1996;46(2404–10).
40. Porkka-Heiskanen T, Strecker RE, Thakkar M, Bjorkum AA, Greene RW, McCarley RW. Adenosine: a mediator of the sleep-inducing effects of prolonged wakefulness. *Science.* 1997 May 23;276(5316):1265–8.
41. Wright KP, Drake AL, Frey DJ, Fleshner M, Desouza CA, Gronfier C, et al. Influence of sleep deprivation and circadian misalignment on cortisol, inflammatory markers, and cytokine balance. *Brain, Behavior, and Immunity* [Internet]. 2015 Jul 1 [cited 2019 Sep 7];47:24–34. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889159115000069>
42. McDevitt EA, Alaynick WA, Mednick SC. The effect of nap frequency on daytime sleep architecture. *Physiol Behav.* 2012 Aug 20;107(1):40–4.
43. Lovato N, Lack L. The effects of napping on cognitive functioning. *Prog Brain Res.* 2010;185:155–66.
44. O'Reilly MF. Functional Analysis and Treatment of Escape-Maintained Aggression Correlated with Sleep Deprivation. *Journal of Applied Behavior Analysis* [Internet]. 1995 [cited 2020 Feb 9];28(2):225–6. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1901/jaba.1995.28-225>
45. Reznick RK, Folse JR. Effect of sleep deprivation on the performance of surgical residents. *The American Journal of Surgery* [Internet]. 1987 Nov 1 [cited 2020 Feb 9];154(5):520–5. Available from: [https://www.americanjournalofsurgery.com/article/0002-9610\(87\)90269-8/abstract](https://www.americanjournalofsurgery.com/article/0002-9610(87)90269-8/abstract)
46. Timothy F, Deaconson MD, Daniel P, Marlon F, Levy M. Sleep deprivation and resident performance. *JAMA.* 1988 Sep 23;260(12):1721–7.
47. Lahart IM, Lane AM, Hulton A, Williams K, Godfrey R, Pedlar C, et al. Challenges in Maintaining Emotion Regulation in a Sleep and Energy Deprived State Induced by the 4800Km Ultra-Endurance Bicycle Race; The Race Across AMerica (RAAM). *J Sports Sci Med.* 2013;12(3):481–8.
48. William D.S. Killgore, Thomas J. Balkin, Angela M. Yarnell, Vincent F. Capaldi. Sleep deprivation impairs recognition of specific emotions. 2017 Jun 3 [cited 2019 Dec

- 22];10–6. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6575584/>
49. Van der Helm E, Walker MP. Overnight Therapy? The Role of Sleep in Emotional Brain Processing. *Psychol Bull* [Internet]. 2009 Sep [cited 2019 Dec 22];135(5):731–48. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2890316/>
50. Valatx J-L. Effets de la privation de sommeil [Internet]. *Médecine et hygiène*. 1988 [cited 2020 Feb 5]. Available from: [http://sommeil.univ-lyon1.fr/articles/valatx/mh\\_88/effets.php](http://sommeil.univ-lyon1.fr/articles/valatx/mh_88/effets.php)
51. Liu Q, Zhou R, Liu L, Zhao X. Effects of 72hours total sleep deprivation on male astronauts’ executive functions and emotion. *Comprehensive Psychiatry* [Internet]. 2015 Aug 1 [cited 2019 Dec 8];61:28–35. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010440X15000905>
52. Brauchi JT, West LJ. Sleep deprivation. *JAMA* [Internet]. 1959 Sep 5 [cited 2019 Sep 7];171(1):11–4. Available from: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/326638>
53. Boyum A, Wiik P, Gustavsson OP, Veiby J, Reseland AH, Haugen PK, Opstad. The Effect of Strenuous Exercise, Calorie Deficiency and Sleep Deprivation on White Blood Cells, Plasma Immunoglobulins and Cytokines. *Scandinavian journal of immunology* [Internet]. 1996 Feb 1 [cited 2020 Feb 9];43(2):228–35. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3083.1996.d01-32.x>
54. Scott JPR, McNaughton LR, Polman RCJ. Effects of sleep deprivation and exercise on cognitive, motor performance and mood. *Physiology & Behavior* [Internet]. 2006 Feb 28 [cited 2020 Feb 9];87(2):396–408. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031938405005196>
55. Lorenzo IJ, Ramos J, Arce C, Guevara MA, Corsi-Cabrera M. Effect of total sleep deprivation on reaction time and waking EEG activity in man. *Sleep* [Internet]. 1995 Jun 15 [cited 2019 Nov 25];18(5):346–54. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7676168>
56. Clodoré M. La vigilance: évolution circadienne et horaires de sommeil [Thèse de doctorat des universités]. Paris VI; 1988.
57. Orfeu M, Buxton, Sean W, Cain, Shawn P, O’Connor, James H, Porter, Jeanne F, Duffy, Wei Wang, Charles A. Adverse Metabolic Consequences in Humans of Prolonged Sleep Restriction Combined with Circadian Disruption | *Science Translational Medicine*. *Science Translational Medicine* [Internet]. 2012 Apr 11 [cited 2019 Sep 7];4:129. Available from: <https://stm.sciencemag.org/content/4/129/129ra43>
58. Hurtado-Alvarado G., Lenin Pavón, Ariadne Castillo-García M., Hernández M., Domínguez-Salazar E., Velázquez-Moctezuma J., Gómez-González B. Sleep Loss as a Factor to Induce Cellular and Molecular Inflammatory Variations. *Clinical and Developmental Immunology* [Internet]. 2013 Jul 26 [cited 2019 Sep 7];2013:14. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/jir/2013/801341/>
59. Andler R. Sleep characteristics and psychoactive substances consumption: results from the santé publique France 2017. *Health Barometer*. 2018 Nov 30;8.
60. Cordina-Duverger E, Houot M, Tvardik N, El Yamani M, Pilorget C, Guénel P. Prevalence of night work in France: characterization from a job-exposure matrix. *Sleep time in france* [Internet]. 2019 Mar 12 [cited 2019 Dec 8];8–9(2019):168–74. Available from: [http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2019/8-9/2019\\_8-9\\_3.html](http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2019/8-9/2019_8-9_3.html)
61. Léger D, Bourdillon F. Le déclin du temps de sommeil en France n’est pas une fatalité. *Bull Epidémiol Hebd* [Internet]. 2019;(8–9):146–8. Available from: [http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2019/8-9/2019\\_8-9\\_0.html](http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2019/8-9/2019_8-9_0.html)
62. Tefft, B C. Prevalence of Motor Vehicle Crashes Involving Drowsy Drivers, United States, 2009–2013. *AAA Foundation* [Internet]. 2014 Nov 22 [cited 2019 Dec 8]; Available from: <https://aaafoundation.org/prevalence-motor-vehicle-crashes-involving-drowsy-drivers->

united-states-2009-2013/

63. Wheaton AG, Shults RA, Chapman DP, Ford ES, Croft JB. Drowsy Driving and Risk Behaviors — 10 States and Puerto Rico, 2011–2012. *2014*;63(26):24.
64. Espiritu JRD. Aging-related sleep changes. *Clin Geriatr Med.* 2008 Feb;24(1):1–14, v.
65. Menegaux F, Truong T, Anger A, Cordina-Duverger E, Lamkarkach F, Arveux P, et al. Night work and breast cancer: a population-based case-control study in France (the CECILE study). *Int J Cancer.* 2013 Feb 15;132(4):924–31.
66. Shigesato M, Kawai Y, Guillermo C, Youkhana F, Shvetsov YB, Setiawan VW, et al. Association between sleep duration and breast cancer incidence: The multiethnic cohort. *Int J Cancer.* 2020 Feb 1;146(3):664–70.
67. Verkasalo PK, Lillberg K, Stevens RG, Hublin C, Partinen M, Koskenvuo M, et al. Sleep duration and breast cancer: a prospective cohort study. *Cancer Res.* 2005 Oct 15;65(20):9595–600.
68. VIDAL. Mélatonine - EurekaSanté [Internet]. 2019 [cited 2020 Feb 5]. Available from: <https://eurekasante.vidal.fr/parapharmacie/complements-alimentaires/melatonine.html>
69. JORF n°0191 du 17 août 2017. Arrêté du 24 juillet 2017 fixant les caractéristiques de l'examen médical spécifique relatif à la délivrance du certificat médical de non-contre-indication à la pratique des disciplines sportives à contraintes particulières [Internet]. du Sport, ESRH1719924A Jul 24, 2017. Available from: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000035427635&categorieLien=id>
70. Société française de médecine du sport. Visite Non contre-indication [Internet]. [cited 2020 Feb 3]. Available from: [https://www.sfmes.org/images/sfmes/pdf/Visite\\_NCI.pdf](https://www.sfmes.org/images/sfmes/pdf/Visite_NCI.pdf)
71. Bird, Stephen P. Sleep, Recovery, and Athletic Performance: A Brief Review a... : Strength & Conditioning Journal. *Strength and Conditioning Journal* [Internet]. 2013 Oct 1 [cited 2019 Dec 9];43–7. Available from: [https://journals.lww.com/nsca-scj/Fulltext/2013/10000/Sleep,\\_Recovery,\\_and\\_Athletic\\_Performance\\_\\_A.8.aspx](https://journals.lww.com/nsca-scj/Fulltext/2013/10000/Sleep,_Recovery,_and_Athletic_Performance__A.8.aspx)
72. Waterhouse J, Atkinson G, Edwards B, Reilly T. The role of a short post-lunch nap in improving cognitive, motor, and sprint performance in participants with partial sleep deprivation. *J Sports Sci.* 2007 Dec;25(14):1557–66.
73. Daaloul H, Souissi N, Davenne D. Sieste récupératrice versus sieste énergisante : des effets différents sur les performances du sportif de haut niveau. *Médecine du Sommeil* [Internet]. 2019 Mar 1 [cited 2020 Mar 9];16(1):63. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S176944931930127X>
74. Aloulou A, Duforez F, Bieuzen F, Nedelec M. The effect of night-time exercise on sleep architecture among well-trained male endurance runners. *Journal of Sleep Research* [Internet]. [cited 2020 Feb 9];n/a(n/a):e12964. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jsr.12964>
75. Singh NA, Clements KM, Fiatarone MA. A randomized controlled trial of the effect of exercise on sleep. *Sleep.* 1997 Feb;20(2):95–101.
76. Horne JA, Moore VJ. Sleep EEG effects of exercise with and without additional body cooling. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1985 Jan;60(1):33–8.
77. Kräuchi K, Wirz-Justice A. Circadian clues to sleep onset mechanisms. - PubMed - NCBI. *Neuropsychopharmacology* [Internet]. 2001 Nov 25 [cited 2019 Dec 4];92:25. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11682282>
78. Youngstedt SD. Effects of exercise on sleep. *Clin Sports Med.* 2005 Apr;24(2):355–65, xi.
79. Van Reeth O, Sturis J, Byrne MM, Blackman JD, L'Hermite-Balériaux M, Leproult R, et al. Nocturnal exercise phase delays circadian rhythms of melatonin and thyrotropin secretion in normal men. *Am J Physiol.* 1994 Jun;266(6 Pt 1):E964-974.

80. Atkinson G, Edwards B, Reilly T, Waterhouse J. Exercise as a synchroniser of human circadian rhythms: an update and discussion of the methodological problems. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2007 Mar 1 [cited 2019 Sep 7];99(4):331–41. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0361-z>
81. Edwards B, Waterhouse J, Atkinson G, Reilly T. Exercise does not necessarily influence the phase of the circadian rhythm in temperature in healthy humans. *J Sports Sci*. 2002 Sep;20(9):725–32.
82. Young T, Skatrud J, Peppard PE. Risk factors for obstructive sleep apnea in adults. *JAMA*. 2004 Apr 28;291(16):2013–6.
83. Van Ryswyk E, Weeks R, Bandick L, O’Keefe M, Vakulin A, Catcheside P, Barger L, Potter A, Poulos N, Wallace J, Antic NA. A novel sleep optimisation programme to improve athletes’ well-being and performance. *European Journal of Sport Science* [Internet]. 2017 Mar 17 [cited 2019 Sep 7];17(2):144–51. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27574901>
84. Faraut B, Nakib S, Drogou C, Elbaz M, Sauvet F, De Bandt JP, Léger D. Napping reverses the salivary interleukin-6 and urinary norepinephrine changes induced by sleep restriction. - PubMed - NCBI. *J Clin Endocrinol Metab* [Internet]. 2015 02 [cited 2019 Nov 20];100:416–26. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25668196>
85. Temesi J, Arnal P, Davranche K, Bonnefoy R, Levy P, Verges S, et al. Does Central Fatigue Explain Reduced Cycling after Complete Sleep Deprivation? *Medicine & Science in Sports & Exercise* [Internet]. 2013 Dec [cited 2019 Sep 7];45(12):2243–53. Available from: [insights.ovid.com](https://insights.ovid.com)
86. Rupp TL, Wesensten NJ, Bliese PD, Balkin TJ. Banking sleep: realization of benefits during subsequent sleep restriction and recovery. *Sleep*. 2009 Mar;32(3):311–21.
87. Arnal P, Lapole T, Erblang M, Guillard M, Bourrilhon C, Léger D, et al. Sleep Extension before Sleep Loss: Effects on Performance and Neuromuscular Function. *Medicine & Science in Sports & Exercise* [Internet]. 2016 Aug [cited 2019 Sep 7];48(8):1595–603. Available from: [insights.ovid.com](https://insights.ovid.com)
88. Arnal PJ, Sauvet F, Leger D, van Beers P, Bayon V, Bougard C, et al. Benefits of Sleep Extension on Sustained Attention and Sleep Pressure Before and During Total Sleep Deprivation and Recovery. *Sleep* [Internet]. 2015 Dec 1 [cited 2019 Sep 7];38(12):1935–43. Available from: <https://academic.oup.com/sleep/article/38/12/1935/2417960>
89. Lastella M, Lovell GP, Sargent C. Athletes’ precompetitive sleep behaviour and its relationship with subsequent precompetitive mood and performance. *European Journal of Sport Science* [Internet]. 2014 Jan 21 [cited 2019 Sep 7];14(1):123–30. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17461391.2012.660505?src=recsys>
90. Kline CE, Durstine JL, Davis JM, Moore TA, Devlin TM, Zielinski MR, et al. Circadian variation in swim performance. *J Appl Physiol*. 2007 Feb;102(2):641–9.
91. Vercruyssen F, Brisswalter J, Hausswirth C, Bernard T, Bernard O, Vallier JM. Influence de la fréquence de pédalage sur la course à pieds pour les triathlètes. *Med Sci Sports Exer*. 2002;34(3):530–6.
92. Van Dongen HPA, Maislin G, Mullington JM, Dinges DF. The cumulative cost of additional wakefulness: dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. *Sleep*. 2003 Mar 15;26(2):117–26.
93. Julian Lim D, Dinges F. A Meta-Analysis of the Impact of Short-Term Sleep Deprivation on Cognitive Variables. *Psychol Bull* [Internet]. 2012 Feb 29 [cited 2019 Sep 7];3(66):375–89. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3290659/>
94. Guessard W, Beaumont M. Les variations de la vigilance et des processus attentionnels : leurs implications dans la conduite de système.

- /data/revues/17694493/v2i5/S1769449305701369/ [Internet]. 2009 Apr 17 [cited 2019 Nov 24]; Available from: <https://www.em-consulte.com/en/article/209284>
95. Walters PH. Sleep, the Athlete, and Performance. *Strength & Conditioning Journal* [Internet]. 2002 Apr [cited 2019 Dec 9];24(2):17. Available from: [https://journals.lww.com/nsca-scj/Citation/2002/04000/Sleep,\\_the\\_Athlete,\\_and\\_Performance.5.aspx?Ppt=Article|nsca-scj:2002:04000:00005](https://journals.lww.com/nsca-scj/Citation/2002/04000/Sleep,_the_Athlete,_and_Performance.5.aspx?Ppt=Article|nsca-scj:2002:04000:00005)
96. Magon De La Giclais B. Etude du sommeil fractionne d'un navigateur solitaire en course transatlantique a la voile [Internet] [thesis]. Toulouse 3; 1991 [cited 2019 Nov 24]. Available from: <http://www.theses.fr/1991TOU31015>
97. Antunes H, Andersen M, Tufik S, De Mello M. Sleep deprivation and exercise. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2008 Feb 1;14:51–6.
98. Takeuchi L L, Davis G, Plyley M, Good R, Shephard RJ. Sleep deprivation, chronic exercise and muscular performance. *Ergonomics* [Internet]. 1985 Mar 1 [cited 2020 Feb 9];28(3):591–601. Available from: <https://doi.org/10.1080/00140138508963173>
99. Theunynck D, Hurdie R, Pez  T, Estruch X, Bui-Xu n G. Sommeil et course au large en solitaire : comportements des coureurs et  tude de faisabilit  d'un « agenda interactif de sommeil ». *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la sant * [Internet]. 2010 May 1 [cited 2019 Nov 20];(12–2). Available from: <http://journals.openedition.org/pistes/2485>
100. Bonnet MH, Arand DL. Clinical effects of sleep fragmentation versus sleep deprivation. *Sleep Med Rev*. 2003 Aug;7(4):297–310.
101. Wheatley D. Why we sleep. The functions of sleep in humans and other mammals. James Horne. Oxford Medical Publications, 1988. No of pages: 319. Price  22.50. *Stress Medicine* [Internet]. 1988 [cited 2019 Nov 24];4(3):181–2. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/smi.2460040317>
102. Marcora SM, Staiano W. The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle? *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2010 Jul 1 [cited 2020 Mar 9];109(4):763–70. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1418-6>
103. Astokorki AHY, Mauger AR. Tolerance of exercise-induced pain at a fixed rating of perceived exertion predicts time trial cycling performance. *Scand J Med Sci Sports*. 2017 Mar;27(3):309–17.
104. Temesi J, Rupp T, Martin V, Arnal P, F asson L, Verges S, et al. Central fatigue by TMS in ultratrail running - Temesi et al 2014 MSSE. 2016.
105. Barth B, Qu innec Y, Verdier F. L'analyse de l'activit  de travail en postes de nuit : bilan de 25 ans de recherches et perspectives. *Le travail humain* [Internet]. 2004 Jan 15 [cited 2019 Nov 24];1(67). Available from: [https://www.researchgate.net/publication/247913199\\_L%27analyse\\_de\\_l%27activite\\_de\\_travail\\_en\\_postes\\_de\\_nuit\\_bilan\\_de\\_25\\_ans\\_de\\_recherches\\_et\\_perspectives](https://www.researchgate.net/publication/247913199_L%27analyse_de_l%27activite_de_travail_en_postes_de_nuit_bilan_de_25_ans_de_recherches_et_perspectives)
106. Rodgers CD, Paterson DH, Cunningham DA, Noble EG, Pettigrew FP, Myles WS, et al. Sleep deprivation: effects on work capacity, self-paced walking, contractile properties and perceived exertion. *Sleep*. 1995 Jan;18(1):30–8.
107. Mougin F, Simon-Rigaud M, Davenne D, Renaud A, Garnier A, Magnin P. Influence d'une privation partielle de sommeil sur l'adaptation   l'exercice physique. *Science & Sports* [Internet]. 1990 Jun 1 [cited 2019 Sep 2];5(2):83–90. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0765159705802102>
108. Souissi N, Sesbo  B, Gauthier A, Larue J, Davenne D. Effects of one night's sleep deprivation on anaerobic performance the following day. *Eur J Appl Physiol*. 2003 May;89(3–4):359–66.
109. Milewski MD1, Skaggs DL, Bishop GA, Pace JL, Ibrahim DA, Wren TA, Barzdukas A. Chronic lack of sleep is associated with increased sports injuries in adolescent athletes. *J*

- Pediatr Orthop [Internet]. 2014 Mar 15 [cited 2019 Sep 7];2(34):129–33. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25028798>
110. Runraid. Grand Raid de La Réunion - Diagonale des Fous - Palmarès complet depuis la 1ère Marche des Cimes, de 1989 à 2018 [Internet]. [cited 2020 Jan 22]. Available from: [http://runraid.free.fr/grand\\_raid/palmares.php](http://runraid.free.fr/grand_raid/palmares.php)
111. Hoffman MD. Injuries and Health Considerations in Ultramarathon Runners. *Phys Med Rehabil Clin N Am* [Internet]. 2016 Feb 10 [cited 2019 Dec 4];1(27):203–2016. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26616184>
112. Martin D Hoffman, Kristin J Stuenkel. Muscle Cramping During a 161-km Ultramarathon: Comparison of Characteristics of Those With and Without Cramping. *Muscle Cramping* [Internet]. 2015 Dec 15 [cited 2019 Dec 22];1(14). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4532703/>
113. Hoffman M, Krishnan E. Exercise Behavior of Ultramarathon Runners: Baseline Findings From the ULTRA Study. *Journal of Strength and Conditioning Research* [Internet]. 2013 Nov [cited 2019 Sep 7];27(11):2939–45. Available from: [insights.ovid.com](https://insights.ovid.com)
114. Deutsche ultramarathon vereinigung. Statistiques d’ultramarathon de DUV [Internet]. [cited 2019 Sep 7]. Available from: <http://statistik.d-u-v.org/summary.php?country=1&Submit.x=8&Submit.y=7>
115. Didier S, Vauthier JC, Gambier N, Renaud P, Chenuel B, Poussel M. Substance use and misuse in a mountain ultramarathon: new insight into ultrarunners population? - *PubMed - NCBI. Res Sports Med* [Internet]. 2017 Jan 25 [cited 2019 Dec 22];2(25):244–51. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28114830>
116. Paine S-J, Gander PH, Travier N. The epidemiology of morningness/eveningness: influence of age, gender, ethnicity, and socioeconomic factors in adults (30-49 years). *J Biol Rhythms*. 2006 Feb;21(1):68–76.
117. Taillard J, Philip P, Chastang J-F, Bioulac B. Validation of Horne and Ostberg Morningness-Eveningness Questionnaire in a Middle-Aged Population of French Workers. *J Biol Rhythms* [Internet]. 2004 Feb 1 [cited 2019 Dec 22];19(1):76–86. Available from: <https://doi.org/10.1177/0748730403259849>
118. Johns MW, Johns MW. A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep* [Internet]. 1991 Dec 15 [cited 2019 Nov 25];6(14):540–5. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1798888>
119. Association Grand Raid. Lancement des pré-inscriptions [Internet]. Diagonale des Fous - Trail de Bourbon - Mascareignes - Zembrocal Trail. [cited 2019 Dec 26]. Available from: <https://www.grandraid-reunion.com/francais/accueil/actualites/lancement-des-pre-inscriptions-1377>
120. MA Quera-Salva C, McCann J, Boudet M, Frisk P, Borderies P, Meyer P. Effects of zolpidem on sleep architecture, night time ventilation, daytime vigilance and performance in heavy snorers. - *British Journal Of Clinical Pharmacology* [Internet]. 2014 Jun 2 [cited 2019 Dec 26];37(6):539–43. Available from: <https://bpspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2125.1994.tb04301.x>
121. Besset A, Tafti M, Villemin E, Borderies P, Billiard M. Effects of zolpidem on the architecture and cyclical structure of sleep in poor sleepers. - Abstract - Europe PMC. *Drugs under Experimental and Clinical Research*, [Internet]. 1995 Jan 1 [cited 2019 Dec 26];21(4):161–9. Available from: <https://europepmc.org/article/med/8529530>
122. F. Mougin, M. L. Simon-rigaud, D. Davenne, H. Bourdin, J. C. Guillard, J. P. Kantelip & P. Magnin. Tolérance à l’effort après réduction de sommeil et après prise d’un hypnotique: Le Zolpidem: *Archives Internationales de Physiologie, de Biochimie et de Biophysique: Vol 100, No 3. Archives Internationales de Physiologie, de Biochimie et de Biophysique* [Internet]. 1991 Jun 30 [cited 2019 Dec 26];100(3):255–62. Available from:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/13813459208998111>

123. Célyne H, LeBlanc M, Carrier J, Morin C. Sleep EEG Power Spectra, Insomnia, and Chronic Use of Benzodiazepines. *Sleep* [Internet]. 2003 Mar 1 [cited 2019 Dec 26];26(3):313–7. Available from: <https://academic.oup.com/sleep/article/26/3/313/2708378>
124. Martin T, Gauthier A, Ying Z, Benguigui N, Moussay S, Bulla J, et al. Effect of sleep deprivation on diurnal variation of vertical perception and postural control. *J Appl Physiol*. 2018 01;125(1):167–74.
125. Aguiar SA, Barela JA. Sleep deprivation affects sensorimotor coupling in postural control of young adults. *Neurosci Lett*. 2014 Jun 27;574:47–52.
126. Robillard R, Prince F, Boissonneault M, Filipini D, Carrier J. Effects of increased homeostatic sleep pressure on postural control and their modulation by attentional resources. *Clin Neurophysiol*. 2011 Sep;122(9):1771–8.
127. Bougard C, Lepelley M-C, Davenne D. The influences of time-of-day and sleep deprivation on postural control. *Exp Brain Res*. 2011 Mar;209(1):109–15.
128. Nedelec M, Aloulou A, Duforez F, Meyer T, Dupont G. The Variability of Sleep Among Elite Athletes. *Sports Med Open* [Internet]. 2018 Jul 27 [cited 2019 Dec 22];4. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6063976/>
129. Leeder J, Glaister M, Pizzoferro K, Dawson J, Pedlar C. Sleep duration and quality in elite athletes measured using wristwatch actigraphy. *J Sports Sci*. 2012;30(6):541–5.
130. Goel N, Basner M, Rao H, Dinges DF. Chapter Seven - Circadian Rhythms, Sleep Deprivation, and Human Performance. In: Gillette MU, editor. *Progress in Molecular Biology and Translational Science* [Internet]. Academic Press; 2013 [cited 2019 Sep 7]. p. 155–90. (Chronobiology: Biological Timing in Health and Disease; vol. 119). Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123969712000075>
131. Hurdziel R, Pezè T, Daugherty J, Girard J, Poussel M, Poletti L, et al. Combined effects of sleep deprivation and strenuous exercise on cognitive performances during The North Face® Ultra Trail du Mont Blanc® (UTMB®). *Journal of Sports Sciences* [Internet]. 2015 Apr 21 [cited 2019 Sep 7];33(7):670–4. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.960883>
132. Mu Q, Mishory A, Johnson KA, Nahas Z, Kozel FA, Yamanaka K, et al. Decreased brain activation during a working memory task at rested baseline is associated with vulnerability to sleep deprivation. *Sleep*. 2005 Apr;28(4):433–46.
133. Mohamed Arbi Mejri, Narimen Yousfi, Thouraya Mhenni, Amel Tayech, Omar Hammouda, Tarak Driss, Anis Chaouachi, Nizar Souissi. Does one night of partial sleep deprivation affect the evening performance during intermittent exercise in Taekwondo players? *J Exerc Rehabil* [Internet]. 2019 Nov 19 [cited 2019 Nov 19];12(1):47–53. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4771153/>
134. Sauvet F. Effet de la privation aigue de sommeil sur la regulation de la pression artérielle et le controle de la vasomotricité [Internet] [Doctorat Biologie]. [Anger]: Anger; 2011 [cited 2020 Feb 6]. Available from: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00984355/document>
135. Haack M, Sanchez E, Mullington JM. Elevated inflammatory markers in response to prolonged sleep restriction are associated with increased pain experience in healthy volunteers. *Sleep*. 2007 Sep;30(9):1145–52.
136. Leproult R, Colecchia EF, Berardi AM, Stickgold R, Kosslyn SM, Van Cauter E. Individual differences in subjective and objective alertness during sleep deprivation are stable and unrelated. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2003 Feb;284(2):R280-290.
137. Goel N, Rao H, Durmer JS, Dinges DF. Neurocognitive consequences of sleep deprivation. *emin Neurol* [Internet]. 2009 Sep 15 [cited 2019 Nov 25];4(29):320-39. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19742409>

138. Samuel J. Oliver, Ricardo J. S. Costa, Stewart J. Laing, James L. J. Bilzon & Neil P. Walsh. One night of sleep deprivation decreases treadmill endurance performance | SpringerLink. *European Journal of Applied Physiology* volume [Internet]. 2009 Jun 20 [cited 2019 Sep 7];(107):155–61. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00421-009-1103-9>
139. VanHelder T, Radomski MW. Sleep deprivation and the effect on exercise performance. *Sports Med.* 1989 Apr;7(4):235–47.
140. Lim J, Dinges DF. Sleep deprivation and vigilant attention. *Ann N Y Acad Sci.* 2008;1129:305–22.
141. Chua EC, Yeo SC, Lee IT, Tan LC, Lau P, Cai S, Zhang X, Puvanendran K, Gooley JJ. Sustained attention performance during sleep deprivation associates with instability in behavior and physiologic measures at baseline. *Sleep* [Internet]. 2014 Jan 1 [cited 2019 Nov 25];37(1):27–39. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24470693>
142. Corsi-Cabrera M, Arce C, Ramos J, Lorenzo I, Guevara MA. Time course of reaction time and EEG while performing a vigilance task during total sleep deprivation. *Sleep.* 1996 Sep;19(7):563–9.
143. Bigard X, Simler N, Koulmann N. Nutrition, vigilance et sommeil : relations biologiques et comportementales. *Médecine du Sommeil* [Internet]. 2007 Sep 1 [cited 2020 Feb 12];4(13):15–23. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1769449307700304>
144. Leger D, Duforez F, Gronfier C. Le traitement par la lumière des troubles circadiens du rythme veille-sommeil. *La Presse Médicale* [Internet]. 2018 Nov 1 [cited 2020 Feb 12];47(11, Part 1):1003–9. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0755498218303956>
145. Réseaux Morphée, Traitement des insomnies [Internet]. [cited 2020 Feb 3]. Available from: <https://reseau-morphee.fr/wp-content/uploads/2010/04/Traitement-des-insomnies.pdf>
146. Stampi C. The Effects of Polyphasic and Ultrashort Sleep Schedules | SpringerLink. Why we nap [Internet]. 1992 Mar 1 [cited 2019 Sep 7];137/179. Available from: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4757-2210-9\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4757-2210-9_10)

## 7 Annexes

---

### 7.1 Questionnaire (Version francophone) communiqué aux participants de la Diagonale des fous et Trail de Bourbon 2018.

---

---

# Sommeil et Ultratrail

---

Le Grand Raid 2018

Ce questionnaire a pour objet de décrire les attitudes de sommeil avant, pendant et après un ultra-trail.

Il fera un état des lieux des pratiques et tentera d'identifier des profils de sommeils associés à la meilleure sécurité des coureurs ainsi qu'à la survenue la plus faible des signes liés à la privation de sommeil en contexte d'effort (troubles de vigilance, hallucinations, chutes et traumatismes)

Merci beaucoup pour votre participation à ce travail de thèse!

Il n'y a pas de bonnes ou mauvaises réponses, répondez de la manière la plus sincère possible même approximativement.

Temps moyen du questionnaire : 15 min

Les retours sur ces résultats vous seront communiqués dès le travail conclu (début 2019).

---

Quel âge avez-vous? \*

Vous êtes: \*

Un homme

Une femme

Vous avez participé: \*

A la Diagonale des fous 2018

Au Trail de Bourbon 2018

Êtes-vous finisseur sur la course à laquelle vous avez participé? \*

Oui

Non

Quel était votre temps d'arrivée ou d'abandon (selon le cas) ? \*

hh :mm :ss

### Votre pratique du Trail

En moyenne, quelle a été votre durée d'entraînement par semaine pour la préparation de cette course? \*

hh :mm :ss

Depuis combien d'année pratiquez-vous le trail? \*

Si vous avez débuté cette année, renseigner 1

La Diagonale des fous ou le Trail de Bourbon était-il votre premier ultra-trail? (course de montagne > 80km selon définition FFA) \*

Oui

Non

### Votre pratique du Trail

Combien d'autres ultra-trails avez-vous fait ? \*

L'expérience acquise sur ces autres ultra-trails vous a été utile pour mieux gérer votre sommeil sur cette dernière épreuve \*

OUI

NON

Ne se prononce pas

## Votre profil de sommeil

La majorité du temps, combien d'heures par jour dormez-vous (siestes comprises)? \*

hh :mm :ss

La majorité du temps, à quelle heure vous levez-vous ? \*

hh :mm :ss

La majorité du temps, à quelle heure vous couchez-vous ? \*

hh :mm :ss

Dans l'idéal combien d'heures de sommeil par jour vous faudrait-il pour vous sentir bien (siestes comprises)? \*

hh :mm :ss

Si vous viviez à votre rythme (celui qui vous plaît le plus), à quelle heure vous lèveriez-vous? \*

hh :mm :ss

Si vous viviez à votre rythme (celui qui vous plaît le plus), à quelle heure vous coucheriez-vous? \*

hh :mm :ss

Avez-vous des horaires de travail de nuit? \*

Oui

Non

Vous vous définiriez comme quelqu'un: \*

Du matin

Du soir

Ni l'un ni l'autre

Je souffre ou pense souffrir : (0 à plusieurs réponses possibles)  
d'apnée du sommeil

d'insomnies  
de dépression

Avez-vous déjà pris ou utilisé récemment un des traitements suivants: (0 à plusieurs réponses possibles)

un antidépresseur  
un somnifère  
un appareillage de ventilation pour le sommeil

### Stratégie générale de sommeil en lien avec l'épreuve

Vous êtes-vous déjà entraîné en vous privant volontairement de sommeil pour vous préparer à cette course? \*

Oui  
Non

Vous aviez élaboré une stratégie en rapport avec le sommeil (1 à 3 réponses possibles) \*

Par stratégie on entend : mis en place de mesures spécifiques du fait de la course

Pour la période avant la course  
Pour la course elle-même  
Pour la période de récupération après la course  
Je n'ai pas élaboré de stratégie en rapport avec le sommeil

Si vous aviez élaboré une ou des stratégies de sommeil, les avez-vous respecté (0 à plusieurs réponses possibles):

Pour la période avant la course  
Pour la course elle-même  
Pour la période de récupération après le course

Si vous aviez élaboré une ou des stratégies de sommeil, sur quoi vous étiez-vous appuyé pour élaborer votre stratégie concernant le sommeil (0 à plusieurs réponses possibles)? \*

Expérience personnelle  
Information trouvée sur internet  
Conseils d'amis ou d'autres coureurs

Conseil d'un entraîneur

Autre :

Avant le départ, concernant ma planification de sommeil pendant la course

: \*

J'avais prévu de ne pas du tout dormir.

J'avais planifié toutes mes périodes de sommeil en amont.

J'avais prévu de dormir quand j'en ressentirai le besoin peu importe le lieu.

J'avais prévu de dormir quand j'en ressentirai le besoin plutôt sur des points de ravitaillement.

Je n'avais pas du tout réfléchi à cette question

Autre :

## Votre sommeil avant la course

Cette partie du questionnaire va s'intéresser à votre sommeil avant la course et plus particulièrement à la semaine avant le départ.

La semaine avant la course, quel(s) rythme(s) représente(nt) le mieux votre modification (ou non) de sommeil? (plusieurs réponses possibles) \*

- J'ai augmenté mon temps de sommeil de nuit (coucher plus tôt et/ou lever plus tard)
- J'ai augmenté mon temps de sommeil de jour par la mise en place de siestes
- J'ai conservé ma durée de sommeil mais j'ai décalé mes horaires : coucher plus tard et lever plus tard
- J'ai conservé ma durée de sommeil mais j'ai décalé mes horaires: coucher plus tôt et lever plus tôt
- J'ai conservé ma durée de sommeil mais j'ai fractionné mon sommeil
- Je n'ai pas du tout changé mon rythme de sommeil habituel
- Autre : précisez

J'ai subi une période de privation de sommeil involontaire et inhabituelle (vol long-courrier, décalage horaire, insomnie liée au stress, autres raisons de privations de sommeil) : \*

Oui

Non

Si oui, pour quelle(s) raison(s) avez-vous été privé de sommeil?

Vol long courrier

Décalage horaire  
Insomnie liée au stress  
Autre : précisez

Remplissez selon vos souvenirs, le nombre d'heures en moyenne de sommeil par jour (Nuit + siestes ) que vous avez effectué sur les différents jours de la semaine avant le départ : \*

Bougez le curseur horizontal si besoin pour sélectionner la durée correspondante si elle n'apparaît pas

Réponses attendues pour les items suivants :

<3 h de sommeil  
4h de sommeil  
5h de sommeil  
6h de sommeil  
7h de sommeil  
8h de sommeil  
9h de sommeil  
10h de sommeil  
11h de sommeil  
12h de sommeil  
13h de sommeil  
14h de sommeil  
>15h de sommeil

Réponses attendues pour les dates suivantes :

jeudi 11 octobre  
Vendredi 12 octobre  
Samedi 13 octobre  
Dimanche 14 octobre  
Lundi 15 octobre  
Mardi 16 octobre  
Mercredi 17 octobre  
Jeudi 18 octobre  
jeudi 11 octobre  
Vendredi 12 octobre  
Samedi 13 octobre  
Dimanche 14 octobre  
Lundi 15 octobre  
Mardi 16 octobre  
Mercredi 17 octobre  
Jeudi 18 octobre

Avez-vous eu des difficultés à dormir la dernière nuit avant le départ de l'épreuve? \*

Oui  
Non

Précisez la qualité de votre dernière nuit de sommeil avant le départ: \*

Très mauvaise  
Mauvaise  
Moyenne

Bonne  
Très bonne

Combien de temps estimez-vous avoir dormi (nuit + siestes comprises) sur les 24h avant le départ ? \*

De 22h00 le 17 octobre à 22h00 le 18 octobre pour la Diagonale des Fous ou de 21h00 le 18 octobre à 21h00 le 19 octobre pour le Trail de Bourbon  
Heure

hh :mm :ss

Avez-vous eu recours à des médicaments ou autres alternatives (tisanes, sophrologie, homéopathie, médecines alternatives, phytothérapie, ect..) avant la course pour vous aider à dormir? \*

Oui  
Non

Si oui, précisez lequel ou lesquels

Médicament  
Tisane  
Sophrologie  
Homéopathie  
Hypnose  
Yoga  
Phytothérapie  
Aromathérapie  
Autre :

Concernant mon état de fatigue avant le départ de la course, je me sentais: \*

Cochez le chiffre qui correspond le mieux à votre état de fatigue. Cette échelle va de 0 = "Très fatigué" à 5 = "Très en forme"

	Très fatigué
0	
1	
2	
3	
4	
5	
	Très en forme

## Votre sommeil pendant la course

Cette partie du questionnaire va s'intéresser à votre gestion du sommeil tout au long de votre course.

**Pendant la course (plusieurs réponses possibles): \***

J'ai eu des moments de baisse de vigilance importante voire de la somnolence

Je pense avoir eu des hallucinations

Je pense avoir chuté ou failli chuter du fait d'un manque de vigilance

Je pense que le manque de sommeil à pu me mettre en danger

Je pense qu'une de mes blessures est liée (au moins en partie) au manque de sommeil.

J'ai eu d'autre désagréments que j'attribue (au moins en partie) au manque ou à la mauvaise gestion de mon sommeil ( si oui précisez dans la section "autre" )

Autre :Précisez

**Pendant la course, combien de périodes de sommeil avez-vous faites? \***

## Votre sommeil pendant la course

Cette partie va s'intéresser aux conditions dans lesquelles se sont réalisées vos siestes : heure de la sieste, durée, lieu. Merci de préciser les paramètres proposés pour chaque sieste.

**Pouvez-vous estimer votre durée totale de sommeil cumulée pendant la course ? \***

hh :mm :ss

**Cocher les horaires (approximatif) de vos siestes pendant la course**

Déplacez le curseur horizontal pour faire défiler les horaires

Réponses attendues pour les items suivants :

0h00  
1h00  
2h00  
3h00  
4h00  
5h00  
6h00  
7h00  
8h00  
9h00  
10h00  
11h00  
12h00  
13h00  
14h00  
15h00  
16h00  
17h00  
18h00  
19h00  
20H00

21h00  
22h00  
23h00

Réponses attendues pour les dates suivantes :

Jeudi 18 octobre
Vendredi 19 octobre
Samedi 20 octobre
Dimanche 20 octobre
Jeudi 18 octobre
Vendredi 19 octobre
Samedi 20 octobre
Dimanche 20 octobre

## Quelle étaient approximativement la durée de vos siestes

Remplissez la durée pour chacune de vos siestes.

Réponses attendues pour les items suivants :

0 à 15 min  
15 à 30 min  
30 à 60 min  
1h00 à 1h30  
1h30 à 2h00  
2h00 à 3h00  
> 3h00

Réponses attendues pour chaque siestes suivantes si effectuées :

Sieste 1
Sieste 2
Sieste 3
Sieste 4
Sieste 5
Sieste 6
Sieste 7
Sieste 8
Sieste 9
Sieste 10
Sieste 11
Sieste 12
Sieste 1
Sieste 2
Sieste 3
Sieste 4
Sieste 5
Sieste 6
Sieste 7
Sieste 8
Sieste 9
Sieste 10
Sieste 11
Sieste 12

## Dans quelles conditions avez-vous réalisé ces siestes ?

Réponses attendues pour les items suivants :

- Sur le sentier ou au bord du sentier, à même le sol
- A un point de ravitaillement sur un lit ou un fauteuil
- A un point de ravitaillement à même le sol
- Autre

Réponses attendues pour chaque siestes suivantes si effectuées :

Sieste 1  
Sieste 2  
Sieste 3  
Sieste 4  
Sieste 5  
Sieste 6  
Sieste 7  
Sieste 8  
Sieste 9  
Sieste 10  
Sieste 11  
Sieste 12  
Sieste 1  
Sieste 2  
Sieste 3  
Sieste 4  
Sieste 5  
Sieste 6  
Sieste 7  
Sieste 8  
Sieste 9  
Sieste 10  
Sieste 11  
Sieste 12

J'ai l'impression que ces périodes de sommeil m'ont été utiles pour me sentir plus vigilant dans la course:

On entend par "vigilant" se sentir plus éveillé, avec une meilleure lucidité et de meilleurs réflexes

Oui

Non

Je ne sais pas

## Après la course

Combien de temps avez-vous dormi (siestes comprises) les 24 premières heures après votre arrivée ou abandon? \*

Exemple : Si vous êtes arrivé (ou avez abandonné) à 15h30 le samedi , la période considérée s'étend jusqu'à 15h30 le lendemain (dimanche)

hh :mm :ss

Après la course, j'ai retrouvé un état d'éveil habituel sans somnolence au bout de : \*

Dès le 1er jour  
Deux jours  
Trois jours  
Quatre jours  
Cinq jours  
Six Jours  
Sept jours  
Huit jours  
Neuf jours  
Dix jours  
Onze jours  
Douze jours  
Treize jours  
Quatorze jours

Ce(s) premier(s) jour avec une somnolence inhabituelle, j'estime que ma durée de sommeil par jour était de : \*

hh :mm :ss

Les jours suivants, une fois mon état d'éveil habituel retrouvé , j'estime que ma durée de sommeil par jour était en moyenne de: \*

hh :mm :ss

Je pense que le manque de sommeil accumulé pendant la course a pu augmenter le risque d'accident de santé même après la course (conduite automobile, autre situations de mise en danger). \*

Oui  
Non

Si oui, précisez quel(s) risque(s) pour vous a été augmenté :

Conduite automobile  
Accident de travail  
Autre : précisez

Avez-vous eu recours à des médicaments ou autres alternatives (tisanes, sophrologie, homéopathie, médecines alternatives, phytothérapie, ect..) après la course pour resynchroniser votre sommeil ou vous aider à dormir? \*

Oui  
Non

Si oui, précisez lequel ou lesquels

Médicament  
Tisane  
Sophrologie  
Homéopathie  
Hypnose  
Yoga  
Phytothérapie  
Aromathérapie  
Autre :

Par rapport aux autres sujets tels que l'alimentation ou l'hydratation, vous pensez que la question du sommeil en ultra-trail est quelque chose qui est : \*

Pas du tout important  
Peu important  
Important  
Très important

Commentaires libres

---

---

## 7.2 Mail d'information et d'invitation à participation à l'étude.

---

### **Concurrentes et concurrents du GRAND RAID 2018,**

Vous avez participé cette année à **La Diagonale des Fous ou au Trail de Bourbon**, félicitation pour cette épreuve et tous les efforts entrepris pour tenter de réaliser votre rêve ou votre défi personnel.

La communauté scientifique s'intéresse de près aux mécanismes d'adaptations résultant de ces conditions extrêmes.

La **gestion du sommeil** est un sujet qui retient particulièrement l'attention, car très peu explorée jusqu'à maintenant en matière de recherche scientifique.

Troubles de vigilance, hallucinations, siestes, « dormir ou rester éveillé » ..., le domaine du sommeil est large et présent dans tous les esprits des ultra-traileurs qui ne laissent souvent pas ce paramètre au hasard.

Profitez de cette opportunité pour nous faire part de votre expérience que vous soyez finisseur ou non, toutes vos réponses nous apporterons des données utiles.

Une fois l'étude réalisée, nous vous communiquerons les résultats ce qui permettra d'améliorer vos connaissances et vos pratiques ultérieurement dans ce domaine.

Votre participation à cette étude est strictement volontaire et les données seront analysées de manière anonymes.

### **Voici le lien vers le questionnaire à utiliser pour votre participation**

: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfRBLz\\_GQjXbrJnEAsDbhGqYYezWbU4hvT67nQXL61NlmITcA/viewform?usp=sf\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfRBLz_GQjXbrJnEAsDbhGqYYezWbU4hvT67nQXL61NlmITcA/viewform?usp=sf_link)

### ***Version anglophone***

: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdM79D00RCZQmaW7G18OiAQPNYgMhkjLE-5jOs-hBmi1FpjmA/viewform?usp=sf\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdM79D00RCZQmaW7G18OiAQPNYgMhkjLE-5jOs-hBmi1FpjmA/viewform?usp=sf_link)

*Étudiant : Thèse Médecine Générale: KISHI ANTHONY*

*Directeur de Thèse : Dr Bruno LEMARCHAND (UF Médecine du Sport CHU Sud Réunion)*

Le traitement de vos données sera réalisé en conformité avec l'article 6 du Règlement Général Européen sur la Protection des Données.

Vous avez le droit d'accès, de rectification, d'opposition, à l'effacement, à la limitation du traitement de vos données.

Pour toutes vos questions et commentaires sur cette étude une adresse mail est à votre disposition : **sommeil.ultratrail@gmail.com**

Un grand merci d'avance pour votre participation.

KISHI Anthony

Thèse de Médecine générale : Gestion du sommeil en Ultratrail

Université de La Réunion

---

## English-speaking version

### Competitors of the « GRAND RAID 2018 »,

This year you participated in the « Diagonale des fous » or in the « Trail de Bourbon», congratulations on this event and all the efforts undertaken to try to realize your dream or your personal challenge.

The scientific community is interested in the mechanisms of adaptations resulting from these extreme conditions.

Sleep management is a subject which is particularly under study as it is little explored in terms of scientific research.

Lack of vigilance, hallucinations, naps, to sleep or remain awake..., the question of sleep is wide and present in the minds of all the ultra-trail runners and this parameter is not often left to chance.

Take advantage of this opportunity to share your experience whether you are a finisher or not, all your answers shall bring useful data.

Once the study carried out, we shall communicate with you the results that will allow you to improve your knowledge and your practices later in this domain.

Your participation in this study is strictly voluntary and the data will be analyzed anonymously.

### **Here is the link to the questionnaire for your participation (English-speaking**

**version) :**[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdM79D00RCZQmaW7G180iAQPNYgMhkjLE-5jOs-hBmi1FpjmA/viewform?usp=sf link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdM79D00RCZQmaW7G180iAQPNYgMhkjLE-5jOs-hBmi1FpjmA/viewform?usp=sf_link)

The treatment of your data will be realized in accordance with the article 6 of the European General regulation on Data protection.

You have the right to access, rectify, oppose, delete, and limit the treatment of your data. For all your questions and comments on this study an e-mail address is at your disposal: **sommeil.ultratrail@gmail.com**

Thank you for your participation.

KISHI Anthony : Thesis of General medicine: management of the sleep in Ultratrail  
Supervisor: Dr Bruno LEMARCHAND (Sports medicine department. University Health center. South Reunion)

## 7.3 Fiche de conseils médicaux aux concurrents du Grand Raid



### "LA DIAGONALE DES FOUS"

Les 17, 18, 19 et 20 octobre 2019

Diagonale des fous 27<sup>e</sup> édition – Trail de Bourbon 20<sup>e</sup> édition  
La Mascareignes 9<sup>e</sup> édition– Zembrocal trail 3<sup>e</sup> édition

#### Conseils médicaux au sportif

Ces "10 REGLES D'OR" sont une base essentielle pour une bonne pratique sportive :

1. **ENTRAÎNEMENT** : Se préparer plusieurs mois à l'avance et avoir l'expérience de sorties longues en montagne. S'échauffer avant, bien s'étirer pendant et après l'effort.
2. **HYDRATATION** : Boire suffisamment (avant, pendant et après l'activité) avant même d'avoir la sensation de soif, toutes les 15 min, environ 1 litre/heure d'effort important.
3. **ALIMENTATION** : Toujours avoir sur soi une réserve alimentaire. Manger très régulièrement, avant même d'avoir faim.
4. **BLESSURE** : Ne pas prendre le départ d'une épreuve avec une lésion musculaire, osseuse ou ligamentaire en cours, qui ne pourra que s'aggraver avec les kilomètres.
5. **INFECTION** : Pas de sport intense en cas de fièvre, ni dans les 8 jours qui suivent un syndrome grippal (risque d'atteinte cardiaque et de lésions musculaires).
6. **MEDICAMENTS** : Les effets indésirables de certains médicaments peuvent se majorer à l'effort et provoquer de graves complications (rénales et musculaires). Prendre toujours conseil auprès d'un médecin.
7. **DOPAGE** : L'utilisation des substances ou méthodes dopantes est illicite et passible de sanctions. La liste est disponible sur [www.afld.fr](http://www.afld.fr). Tout médicament interdit mais indispensable doit faire l'objet d'une demande d'Autorisation d'Usage à des fins Thérapeutique (AUT).
8. **TABAC** : Sa consommation nuit à la santé. Il est particulièrement dangereux de fumer 1h avant et jusqu'à 2h après une activité sportive.
9. **SYMPTOMES A L'EFFORT** : Des DOULEURS dans la poitrine, des PALPITATIONS, un ESSOUFFLEMENT anormal ou un MALAISE à l'effort ou juste après l'effort doivent absolument être signalés à un médecin.
10. **SYMPTOMES APRES L'EFFORT** : Des urines très foncées ou peu abondantes, du sang dans les selles, des œdèmes avant un voyage en AVION... imposent de consulter un médecin.

N'hésitez pas à prendre également l'avis des kinésithérapeutes, des podologues ou des nutritionnistes. N'oubliez pas de vous documenter sur les techniques d'entraînement et de préparation (matérielle, physique et psychologique) essentielles à la participation à un Trail.

#### Recommandations médicales

Il existe des **RECOMMANDATIONS** concernant le contenu de la **visite de non contre-indication au sport**, la réalisation de l'**ECG de repos** pour le sport en compétition, l'indication d'une **Epreuve d'Effort** et la liste des **substances ou méthodes dopantes**.

Elles sont disponibles sur :

- Société Française de Médecine du Sport (SFMS) : [www.sfms.asso.fr](http://www.sfms.asso.fr)
- Société Française de Cardiologie (SFC) : [www.sfc cardio.fr](http://www.sfc cardio.fr)
- Club des Cardiologues du Sport (CCS) : [www.clubcardiosport.com](http://www.clubcardiosport.com)
- Agence Française de Lutte contre le Dopage (AFLD) : [www.afld.fr](http://www.afld.fr)

**Gestion de la privation de sommeil en ultra-trail: Étude transversale des habitudes, stratégies et répercussions chez les coureurs du Grand Raid de La Réunion 2018.**

Résumé

**Introduction:** La gestion du sommeil en ultra-trail est un critère de réussite et de prévention face aux troubles liés à la privation de sommeil. L'objectif de cette étude était de décrire les habitudes et stratégies de sommeil adoptées avant, pendant et après un ultra-trail. Une identification des stratégies apparaissant en lien avec une diminution de survenue des troubles liés à la dette cumulée de sommeil était un objectif secondaire. **Méthode:** Il s'agissait d'une étude épidémiologique descriptive transversale déclarative par questionnaire auto-administré ciblant les participants de la Diagonale des fous et du Trail de Bourbon du Grand Raid de La Réunion 2018. L'analyse a porté sur 1153 coureurs finisseurs dont 882 sur la Diagonale des fous et 272 coureurs finisseurs du Trail de Bourbon. **Résultats:** L'extension de la durée journalière de sommeil avant l'épreuve était majoritaire avec 54,3% (n=627) des concurrents sur les deux courses. Les siestes courtes de moins de 30 minutes pendant l'épreuve étaient les plus pratiquées (37,5% pour les siestes de 0 à 15 min et 40,7% pour les siestes de 15 à 30min). Le délai de récupération d'un état d'éveil sans somnolence était très majoritairement d'un à trois jours après l'épreuve concernant 83,8% (n=967) des sujets sur les deux épreuves. La majorité des concurrents ont adapté leur rythme de sommeil à l'occasion de leur épreuve. **Conclusion:** Le sommeil, en matière de rythme, qualité et durée est un paramètre à prendre en compte dans la préparation d'un ultra-trail dans le but d'appréhender les troubles de vigilance et réduire l'accidentologie. L'extension de la durée de sommeil avant le départ, la mise en place de siestes durant l'épreuve, et le repos minimal de trois jours après l'arrivée sont les axes de prévention prioritaires.

Discipline: Médecine générale

Mots-Clés: Privation de sommeil, ultra-trail, trouble de vigilance, sieste, sommeil, stratégies

**Management of sleep deprivation in ultra-trail: A cross-sectional study of habits, strategies and repercussions among the racers of the *Grand Raid de La Reunion* 2018.**

Abstract

**Background:** Sleep management during an ultra-trail is a key to success and an important prevention factor in the face of sleep deprivation disorders. The objective of this study was to describe sleep habits and strategies used before, during and after an ultra-trail. An identification of strategies arising from a decrease in the occurrence of accumulated sleep debt disorders was a secondary objective. **Method:** This was a declarative cross-sectional descriptive epidemiological study by self-administered questionnaire targeting participants of the *Diagonale des fous* and *Le trail de Bourbon* of the *Grand Raid de La Reunion* 2018. The analysis covered 1153 finishers including 882 on the *Diagonale des fous* and 272 finishers of the *Trail de Bourbon*. **Results:** The extension of the daily sleep time before the event was the majority with 54.3% (n=627) of the competitors on both races. Short naps of less than 30 minutes during the test were the most common (37.5% for naps of 0 to 15 minutes and 40.7% for naps of 15 to 30 minutes). The recovery time of an awakening state without drowsiness was mainly one to three days after the arrival regarding 83.8% (n=967) of the subjects on both tests. The majority of the competitors adapted their sleep rhythm during their race. **Conclusion:** Sleep, in terms of rhythm, quality and duration is a parameter to be taken into account in the preparation of an ultra-trail in order to apprehend alertness disorders and reduce accident. The extension of sleep time before departure, the introduction of naps during the race, and the minimum rest period of three days after arrival are the line of thought for accident prevention.

Discipline: General practice

Keywords: Sleep deprivation, ultra-marathon, alertness disorder, nap, sleep, strategies