



HAL
open science

Évaluation des risques sanitaires liés à la pratique sportive en période de fortes chaleurs

Léo Moutet

► **To cite this version:**

Léo Moutet. Évaluation des risques sanitaires liés à la pratique sportive en période de fortes chaleurs. Sciences pharmaceutiques. 2022. dumas-03867001

HAL Id: dumas-03867001

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03867001>

Submitted on 23 Nov 2022

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.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance.

La propriété intellectuelle du document reste entièrement celle du ou des auteurs. Les utilisateurs doivent respecter le droit d'auteur selon la législation en vigueur, et sont soumis aux règles habituelles du bon usage, comme pour les publications sur papier : respect des travaux originaux, citation, interdiction du pillage intellectuel, etc.

Il est mis à disposition de toute personne intéressée par l'intermédiaire de [l'archive ouverte DUMAS](#) (Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance).

Si vous désirez contacter son ou ses auteurs, nous vous invitons à consulter en ligne les annuaires de l'ordre des médecins, des pharmaciens et des sages-femmes.

Contact à la Bibliothèque universitaire de Médecine Pharmacie de Grenoble :

bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr

Année : 2022

ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIÉS À LA PRATIQUE SPORTIVE EN PÉRIODE DE FORTES CHALEURS

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

SPÉCIALITÉ : RECHERCHE

Par M. Léo MOUTET

[Données à caractère personnel]

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE PHARMACIE DE GRENOBLE

Le 14/11/2022

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

Président du jury :

Mme le Dr Anne BRIANÇON-MARJOLLET

Membres :

Mme le Dr Mathilde PASCAL (directrice de thèse)

Mme le Dr Delphine MORIN-ALDEBERT

Mme le Dr Fanny RANCIÈRE

M. Robin LAGARRIGUE

M. le Dr Sébastien CHANOINE

L'UFR de Pharmacie de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.

ENSEIGNANTS - CHERCHEURS Année 2022 / 2023

Doyen de la Faculté - Pr Michel SÈVE
Vice-Doyen Pédagogie - Dr Pierre CAVAILLÈS
Vice-Doyen Recherche – Pr Walid RACHIDI

STATUT	NOM	PRÉNOM	LABORATOIRE	HDR
MCF	ALDEBERT	DELPHINE	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS, TheREx	Oui
PU-PH	ALLENET	BENOÎT	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS, ThEMAS	Oui
AHU	AMEN	AXELLE		
Professeur Emérite	BAKRI	ABDELAZIZ	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS	
MCF	BARDET	JEAN-DIDIER	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS, ThEMAS	
MCF	BATANDIER	CÉCILE	LBFA – INSERM U1055	
PU-PH	BEDOUCHE	PIERRICK	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS, ThEMAS	Oui
MAST	BELLET	BÉATRICE	-	
MCF	BOUCHERLE	BENJAMIN	DPM - UMR 5063 CNRS	
PU	BOUMENDJEL	AHCENE	LRB /INSERM U 1039	Oui
MCF	BOURGOIN	SANDRINE	TIMC	
MCF	BRETON	JEAN	LCIB – UMR E3 CEA	Oui
MCF	BRIANÇON-MARJOLLET	ANNE	HP2 – INSERM U1042	Oui
PU	BURMEISTER	WILHEM	UVHCI- UMI 3265 EMBL CNRS	Oui
MCU-PH	BUSSER	BENOÎT	Institute for Advanced Biosciences, UGA / Inserm U 1209 / CNRS 5309	Oui
Professeur Emérite	CALOP	JEAN		
MCF	CAVAILLÈS	PIERRE	IAB	
MCU-PH	CHANOINE	SÉBASTIEN	CR UGA - INSERM U1209 - CNRS 5309	
MCF	CHOISNARD	LUC	DPM – UMR 5063 CNRS	
MCU-PH	CHOVELON	BENOIT	DPM – UMR 5063 CNRS	
MAST	COMBE	JÉRÔME	-	
PU-PH	CORNET	MURIEL	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS, TheREx	Oui
Professeur Emérite	DANEL	VINCENT	-	
ATER	DARRACQ GHITALLA CLOCK	MARIE		
Professeur Emérite	DECOUT	JEAN-LUC	DPM – UMR 5063 CNRS	
MCF Emérite	DELÉTRAZ-DELPORTE	MARTINE	LPSS – EAM 4129 LYON	
MCF	DEMEILLIERS	CHRISTINE	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS	Oui
PU-PH	DROUET	CHRISTIAN	GREPI EA7408	Oui
PU	DROUET	EMMANUEL	IBS – UMR 5075 CEA CNRS HIV & virus persistants Institut de Biologie Structurale	Oui
MCF	DURMORT	CLAIRE	IBS – UMR 5075 CEA CNRS	Oui
PU-PH	FAURE	PATRICE	DPM – UMR5063	Oui
MCF	FAURE-JOYEUX	MARIE	HP2 – INSERM U1042	Oui

Mise à jour le 06/09/2021 Sana HACHANI

STATUT	NOM	PRÉNOM	LABORATOIRE	HDR
PRCE	FITE	ANDRÉE	-	
MCU-PH	GARNAUD	CÉCILE	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS, TheReX	
PRAG	GAUCHARD	PIERRE-ALEXIS	-	Oui
PU-PH	GERMI	RAPHAËLE	IBS – UMR 5075 CEA CNRS HIV & virus persistants Institut de Biologie Structurale	Oui
MCF	GÉZE	ANNABELLE	DPM – UMR 5063 CNRS	
MCF Emérite	GILLY	CATHERINE	DPM – UMR 5063 CNRS	Oui
MCF	GONINDARD	CHRISTELLE	LECA – UMR CNRS 5553	
Professeure Emérite	GRILLOT	RENÉE	-	
MCF	GUIEU	VALÉRIE	DPM – UMR 5063 CNRS	Oui
MCU-PH	HENNEBIQUE	AURÉLIE	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS, TheReX	
MCF	HININGER-FAVIER	ISABELLE	LBFA – INSERM U1055	
MCF	KHALEF	NAWEL	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS	Oui
MCF	KOTZKI	SYLVAIN	HP2 – UMR S1042	
MCF	KRIVOBOK	SERGE	DPM – UMR 5063 CNRS	Oui
AHU	LEENHARDT	JULIEN	INSERM – U1039	Oui
PU	LENORMAND	JEAN-LUC	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS, TheReX	
AHU	LEO	CAROLINE		
PU	MARTIN	DONALD	TIMC-IMAG UMR 5525 CNRS	
PRCE	MATTHYS	LAURENCE	-	
AHU	MINOVÉS	MÉLANIE	HP2 – INSERM U1042	Oui
PU	MOINARD	CHRISTOPHE	LBFA - INSERM U1055	Oui
PU-PH	MOSSUZ	PASCAL	IAB – INSERM U1209	Oui
MCF	MOUHAMADOU	BELLO	LECA – UMR 5553 CNRS	Oui
MCF	NICOLLE	EDWIGE	DPM – UMR 5063 CNRS	
MCF	OUKACINE	FARID	DPM – UMR 5063 CNRS	Oui
ATER	OZCAN	BILGEHAN		
MCF	PERES	BASILE	DPM – UMR 5063 CNRS	Oui
AHU	PERRIER	QUENTIN		
MCF	PEUCHMAUR	MARINE	DPM – UMR 5063 CNRS	Oui
PU	PEYRIN	ERIC	DPM – UMR 5063 CNRS	
PU	RACHIDI	WALID	BGE/BIOMICS/ CEA	Oui
PU	RAVELET	CORINNE	DPM – UMR 5063 CNRS	Oui
PU	RIBUOT	CHRISTOPHE	HP2 – INSERM U1042	
Professeure Emérite	ROUSSEL	ANNE-MARIE	-	Oui
PU-PH	SÈVE	MICHEL	TIMC	Oui
MCF	SOUARD	FLORENCE	DPM – UMR 5063 CNRS	Oui

STATUT	NOM	PRÉNOM	LABORATOIRE	HDR
MCF	SPANO	MONIQUE	IBS – UMR 5075 CEA CNRS	
MCF	TARBOURIECH	NICOLAS	IBS – UMR 5075 CEA CNRS	
AHU	TRUFFOT	AURÉLIE		
MCF	VANHAVERBEKE	CÉCILE	DPM – UMR 5063 CNRS	Oui
AHU	VITALE	ELISA		
MCF	WARTHER	DAVID	DPM	
Professeur Emérite	WOUESSIDJEWÉ	DENIS	-	

AHU : Assistant Hospitalo-Universitaire
ATER : Attachés Temporaires d'Enseignement et de Recherches
BCI : Biologie du Cancer et de l'Infection
CHU : Centre Hospitalier Universitaire
CIB : Centre d'Innovation en Biologie
CRI : Centre de Recherche INSERM
CNRS : Centre National de Recherche Scientifique
DCE : Doctorants Contractuels Enseignement
DPM : Département de Pharmacochimie Moléculaire
HP2 : Hypoxie Physiopathologie Respiratoire et Cardiovasculaire
IAB : Institute for Advanced Biosciences
IBS : Institut de Biologie Structurale
LAPM : Laboratoire Adaptation et Pathogenèse des Microorganismes
LBFA : Laboratoire Bioénergétique Fondamentale et Appliquée
LCBM : Laboratoire Chimie et Biologie des Métaux
LCIB : Laboratoire de Chimie Inorganique et Biologie
LECA : Laboratoire d'Ecologie Alpine
LPSS : Laboratoire Parcours Santé Systémique
LR : Laboratoire des Radio pharmaceutiques
MAST : Maître de Conférences Associé à Temps Partiel
MCF : Maître de Conférences des Universités
MCU-PH : Maître de Conférences des Universités et Praticiens Hospitaliers
PAST : Professeur Associé à Temps Partiel
PRAG : Professeur Agrégé
PRCE : Professeur certifié affecté dans l'enseignement
PU : Professeur des Universités
PU-PH : Professeur des Universités et Praticiens Hospitaliers
SyMMES : Systèmes Moléculaires et nanoMatériaux pour l'Energie et la Santé
TIMC-IMAG : Laboratoire Technique de l'Imagerie, de la Modélisation
UMR : Unité Mixte de Recherche
UVHCI : Unit of Virus Host Cell Interactions

Remerciements

Je remercie Anne BRIANÇON-MARJOLLET de me faire l'honneur de présider le jury.

Je remercie Mathilde PASCAL, ma directrice de thèse, pour m'avoir supervisé à Santé publique France et tout au long de la rédaction de ma thèse, et pour m'avoir apporté les clés du monde professionnel dans lequel je vais évoluer. J'admire ton investissement, ton travail et ta motivation qui sont pour moi une source d'inspiration.

Je remercie Robin LAGARRIGUE, mon maître de stage, toujours disponible, de bon conseil et qui m'a encadré et instruit sur un sujet intéressant et riche. J'ai apprécié et j'applaudis ton dynamisme et ton esprit fédérateur.

Je remercie toute l'unité milieux pour leur accueil et leur bienveillance, ainsi que les appuis de Véréne WAGNER en statistique, Fabienne LEMONNIER et Florence ROSTAN pour les entretiens.

Je remercie Franck BROCHERIE et Grégory FIFRE pour leur collaboration et leur aide qui m'a permis de redécouvrir mon travail avec différentes perspectives.

Je remercie Delphine MORIN-ALDEBERT, ma tutrice de thèse, pour le développement de la filière recherche à Grenoble, sa qualité d'enseignante et pour m'avoir supervisé malgré la distance lors de cette thèse.

Je remercie mes parents pour leurs soutiens au quotidien, depuis mes couches jusqu'à mon diplôme, et dans tous mes projets. C'est grâce à votre éducation, vos conseils et votre appui que je peux profiter de ma vie.

Merci à Daniel et Yvette pour leur modèle de vie exemplaire.

Merci à Mathieu, Charlotte, Maxime et Lucas, je suis heureux de vous avoir et fier d'être parmi vous, depuis et pour toujours.

Je remercie Remze et Tuteur parce que ma vie sans vous ne serait plus la mienne.

Merci Lolo, Loulou, Gru et Paulo pour ce rêve inoubliable qu'on a construit.

Merci Thibs, Dadou, Tatou, RomB, Bapto, Simon, Picard, Dudu, Galin, Denis, Charlot, Josy, Perette, Bleuge et tous les autres de Grenoble pour tous les moments passés, des salles de classes aux soirées, de la rouille aux festoch, du délire à la fraternité.

Merci à Raph, notre berger à tous, merci le sanctuaire pour ce havre de paix et de plaisir.

Merci Bboy Gold, mon poto en or, je pourrais te revoir dans 800 ans que nos histoires ne seront pas oubliées.

Merci Florine de m'avoir supporté toute l'année et jusqu'à Chenonceau, Julie pour ton énergie ludique et ton sourire quelque soit l'heure, Marie d'avoir toujours de l'inspiration en accord avec ta bonne humeur.

Je remercie aussi toutes les bonnes surprises que j'ai pu avoir à Paris : Quacks, Mathis, Louis, Felix, Benjamin, Gauthier, Jimmie-lee, Clara, Dodo, Marine, Carla, Elise, Angelo et toute la promo.

Enfin, je vous remercie vous, lecteur de mon travail, car sans vous, il n'aurait aucun sens et n'existerait pas.

Table des matières

1 - Introduction.....	11
1.1. L'activité physique, un déterminant fondamental de la santé.....	11
1.2. Évolution des pratiques physiques en France.....	12
1.3. L'activité physique, un risque pendant les périodes de fortes chaleurs.....	14
1.4. Comment assurer la sécurité de la pratique sportive pendant les fortes chaleurs ?.....	17
1.5. Objectifs	19
2 - Méthode	21
2.1. Recherche bibliographique.....	21
2.2. Description des indicateurs thermiques et de leur influence sur les passages aux urgences.....	21
2.2.2. Données sanitaires	21
2.2.2. Indicateurs thermiques	22
2.2.3. Zones et période d'étude.....	24
2.2.4. Analyses statistiques	24
2.3. Proposition d'une typologie des pratiques sportives et perception des risques par le milieu sportif	25
3 - Résultats.....	27
3.1. Revue de la littérature.....	27
3.1.1. Articles sélectionnés.....	27
3.1.2. Indicateurs d'expositions	29
3.1.3. Indicateurs sanitaires.....	30
3.1.4. Systèmes de surveillance	32
3.1.5. Pratiques sportives étudiées	33
3.1.6. Méthodes statistiques des études	34
3.1.7. État des lieux des risques de l'activité sportive en période de fortes chaleurs	35
3.2 Analyse des indicateurs météorologiques et des données de passages aux urgences en France :	39
3.2.1. Choix des indicateurs météorologiques d'intérêt.....	39
3.2.2. Distribution des indicateurs selon la vigilance météorologique	41
3.2.3. Analyse des passages aux urgences en France selon l'exposition	45
3.2.4. Analyse des passages aux urgences en France selon l'état de canicule	54
3.2.5. Application des seuils de WBGT proposés aux JO de Tokyo.....	58
3.3. Typologie des pratiques	61
3.3.1. Baromètre national des pratiques sportives 2018 :	61
3.3.2. Typologie des sports.....	62
3.3.3. Entretien avec les fédérations	63
4 - Discussion	67
4.1. Principaux enseignements de la revue de littérature	67
4.1.1. Une littérature peu fournie et disproportionnée.....	67
4.1.2. La chaleur a des conséquences graves lors de la pratique sportive	68
4.1.3 Un risque inégal dans la population.....	69
4.1.4 Une exposition difficile à caractériser	69

4.1.5 Il existe plusieurs paramètres permettant de réduire le risque	70
4.2. Analyse de la relation exposition-impact de santé	73
4.2.1. Une plus-value limitée des indicateurs thermiques composites par rapport à la température	73
4.2.2. Des passages aux urgences révélateurs d'un risque pour la population générale ...	74
4.3. Une typologie de pratiques variée	75
4.4. Sport et changement climatique	77
5 – Recommandations	79
5.1. Utilisation des indicateurs d'exposition	79
5.2. Système de surveillance et besoin de recherche	79
5.3. Rôle des gestionnaires dans la prévention et la gestion des risques	81
5.4. Rôle du Pharmacien	84
5.4.1. En période de fortes chaleurs	84
5.4.2 En lien avec les pratiques sportives	86
6 - Bibliographie	92
7 – Annexes	101
Annexe 1 – Équation de recherche	101
Annexe 2 – Indicateurs thermiques (Source : MétéoFrance)	102
Annexe 3 – Stations météorologiques produisant les indicateurs d'exposition (Source : Météo France)	105
Annexe 4 – Liste des villes et départements de recueil des indicateurs d'exposition	106
Annexe 5 – Questionnaire	108
Annexe 6 – Date de parution des articles analysés	109
Annexe 7 – Incidence de départ infructueux en fonction du WBGT (Roberts W.O. / PMID : 19927037)	110
Annexe 8 – Taux de passages pour malaise, hyponatrémie, fièvre isolée et déshydratation en fonction du niveau d'exposition	111
Annexe 9 – Intervalles de confiance des risques relatifs de passage aux urgence selon la température et les classes d'âges (associés aux Tableaux 3-6)	116
Annexe 10 – Taux de passages pour hyperthermie, hyponatrémie, déshydratation, fièvre isolée et malaise selon les quartiles de distribution de 4 indicateurs d'exposition.	118
Annexe 11 – Risque relatif par classes d'âge pour chaque indicateur sanitaire en fonction d'une augmentation d'exposition correspondante à l'IQR des 4 indicateurs d'exposition.	119
Annexe 12 – Recommandation sur la quantité d'activité physique pouvant être pratiqué selon le WBGT au JO de Tokyo (Source : Japan meteorology agency)	121
Annexe 13 – Univers les plus pratiqués en France (Source : Baromètre national des pratiques sportives 2018, INJEP)	122
Annexe 14 – Typologie des sports	123
Annexe 15 – Liste des études épidémiologiques analysées	125
8 – Résumé	130

Liste des figures

Figure 1 - Nombre de vigilances canicules le 30 Juin 2022 depuis 2004 (Source: Santé publique France)	14
Figure 2 - Sélection des articles à analyser	26
Figure 3 - Valeurs des indicateurs d'exposition moyen entre le 1er juin et le 15 septembre, de 2015 à 2019	37
Figure 4 - Corrélation des indicateurs moyens sur toute la période étudiée	38
Figure 5 - Comparaison de la température en fonction du niveau de vigilance	40
Figure 6 - Comparaison du WBGT en fonction du niveau de vigilance	40
Figure 7 - Comparaison du Heat Index en fonction du niveau de vigilance	41
Figure 8 - Comparaison de l'UTCI en fonction du niveau de vigilance	41
Figure 9 - Comparaison de la température en fonction de la présence ou non de canicule	42
Figure 10 - Comparaison du WBGT en fonction de la présence ou non de canicule	42
Figure 11 - Comparaison du Heat Index en fonction de la présence ou non de canicule	43
Figure 12 - Comparaison de l'UTCI en fonction de la présence ou non de canicule	43
Figure 13 - Taux de passage selon les classes d'âges	44
Figure 14 - Taux de passages pour hyperthermie selon les niveau d'exposition	45
Figure 15 - Taux de passages pour hyperthermie et malaise selon les quartiles de distribution de 4 indicateurs d'exposition	50
Figure 16 - Taux de passage en période canicule selon les classes d'âge	52
Figure 17 - Taux de passage selon l'état de canicule	53
Figure 18 - Taux de passage selon la vigilance	55
Figure 19 - Seuils des JO de Tokyo par rapport au WBGT en France entre 2015 et 2019 en période d'alerte canicule	56
Figure 20 - Comparaison des taux de passage aux urgences pour hyperthermie en fonction du seuil de WBGT	57

Liste des tableaux

Tableau 1 - Nombres d'articles analysés par types d'études	27
Tableau 2 - Taux moyen par quartile	46
Tableau 3 - Risques relatifs de passage aux urgence selon la température et les classes d'âges	47
Tableau 4 - Risques relatifs de passage aux urgence selon le WBGT et les classes d'âges	48
Tableau 5 - Risques relatifs de passage aux urgence selon l'UTCI et les classes d'âges	48
Tableau 6 - Risques relatifs de passage aux urgence selon le Heat Index et les classes d'âges	49
Tableau 7 - Risque relatif pour chaque indicateur sanitaire en fonction d'une augmentation d'exposition correspondante à l'IQR des 4 indicateurs d'exposition	51
Tableau 8 - Risque relatif des passages aux urgence selon l'état de canicule et la classe d'âge	54
Tableau 9 - Recommandations de la Japanese society of Biometeorology selon le WBGT (80)	57
Tableau 10 - Typologie des sports	59

Liste des abréviations

ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire alimentaire nationale
CIM	Classification Internationale des Maladies
DGS	Direction générale de la santé
EHI	<i>Exertional Heat Illness</i> (pathologie de chaleur à l'exercice)
EHS	<i>Exertional Heat Stroke</i> (coup de chaleur à l'exercice)
ESI	<i>Environmental Stress Index</i>
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
HCSP	Haut conseil de la santé publique
INJEP	Institut national de la jeunesse et de l'éducation populaire
IPR	<i>Injury Proportion Ratio</i> (Ratio de proportion de blessure)
JO	Jeux Olympiques
MDI	<i>Modified Discomfort Index</i>
MET	<i>Metabolic Equivalent of Task</i>
NS	Non-significatif
OMS	Organisation mondiale de la santé
PET	<i>Physiological Equivalent Temperature</i> (Température équivalente physiologique)
(m)PET	<i>Modified Physiological Equivalent Temperature</i>
PNC	Plan national canicule
SurSaUD	Surveillance sanitaire des urgences et des décès
THI	<i>Temperature-Humidity Index</i>
UTCI	<i>Universal Thermal Comfort Index</i> (Indice universel du climat thermique)
WBGT	<i>Wet-Bulbe Globe Temperature</i> (Température au thermomètre-globe mouillé)

1 - Introduction

1.1. L'activité physique, un déterminant fondamental de la santé

L'activité physique est indispensable au maintien d'un métabolisme sain et équilibré. Elle se définit comme « tout mouvement corporel produit par contraction des muscles squelettiques entraînant une augmentation de la dépense énergétique par rapport à la dépense énergétique de repos » (1). Elle s'exerce via différentes modalités comme le travail, les déplacements, les activités domestiques et les loisirs, dont le sport. L'agence nationale de sécurité sanitaire alimentaire nationale (ANSES) définit l'inactivité physique comme un niveau insuffisant d'activité physique d'intensité modérée à élevée¹ (2).

Afin de standardiser l'intensité de la dépense énergétique lors d'une activité physique, le Metabolic Equivalent of Task (MET) a été développé. 1 MET correspond à une dépense énergétique de repos, par exemple lorsqu'une personne est assise en silence. Cela se traduit chez un adulte moyen par une dépense de 3,5 ml d'oxygène par kilogramme ou 1 kilocalorie par kilogramme par heure. L'utilisation du MET est toujours faite avec précaution étant donné que l'intensité d'une activité physique va aussi dépendre d'autres facteurs comme la morphologie, la psychologie ou l'état de fatigue.

Aujourd'hui 95% des français sont exposés à un risque de détérioration de la santé par manque d'activité physique ou un temps passé assis trop long. Ces risques sont majorés lorsque le manque d'activité physique et l'excès de sédentarité sont cumulés (3).

La pratique régulière d'une activité physique est fortement recommandée par les autorités de santé et s'inscrit dans un objectif de prévention d'un large panel de maladies non

¹ Soit une activité supérieure à 3 équivalent métabolique (MET).

transmissibles, notamment les maladies cardio-vasculaires, les cancers et le diabète. Elle a également un impact positif sur la santé mentale (capacités de réflexion, d'apprentissage et de jugement, réduction des symptômes de dépression et d'anxiété) (4). Chez les adultes, l'organisation mondiale de la santé (OMS) conseille 150 à 300 minutes par semaine d'activité d'endurance à intensité modérée pour lutter contre la sédentarité² (5).

Dans ce cadre, une des missions de Santé publique France est de « promouvoir les comportements en matière d'alimentation, d'activité physique et de sédentarité favorables à la santé ». La pratique d'un sport³ ou d'une activité physique de loisir est une manière d'augmenter l'activité physique recommandée par Santé publique France (6).

1.2. Évolution des pratiques physiques en France

En 1967, selon l'INSEE, 28% des Français âgés d'au moins 14 ans se livraient à un sport. En 1985, 73 % des Français de 15 à 75 ans pratiquent une activité physique, cette proportion augmente à 83 % en 2000, avec 36 millions de Français s'adonnant à une activité sportive. Le nombre de licences a également augmenté, avec 8 fois plus de licenciés en 2016 par rapport à 1950. Cependant, il existe depuis toujours beaucoup de pratiquants non licenciés. Certains sports sont adaptés à la pratique autonome comme certains sports collectifs (football, tennis de table, volley-ball...), les sports de forme (muscultation, course à pied...) ou la danse.

Depuis 2004, les sports les plus populaires sont la course à pied, la natation, le vélo et les sports de forme et de gymnastique. Même si la démocratisation des activités physiques et

² La sédentarité est une situation d'éveil caractérisée par une dépense énergétique faible en position assise ou allongée.

³ Le sport correspond à « un ensemble d'activités physiques se présentant sous forme de jeux individuels ou collectifs, donnant généralement lieu à des compétitions pratiquées en observant certaines règles précises » (Larousse).

sportives est incontestable, des marqueurs sociaux demeurent. Outre des disciplines comme la voile ou le golf qui nécessitent des revenus importants, les sports d'hiver, le tennis et la marche sportive (la randonnée en montagne, trekking) connaissent une pratique plus importante de la part des groupes sociaux les mieux dotés financièrement et culturellement. Entre 2000 et 2018 il y a eu un taux d'évolution de 19% du nombre de licences alors que la population a augmenté de 11%. La hausse de la pratique sportive en France aujourd'hui est notamment portée par la génération des sexagénaires dynamiques et en bonne santé relative. Les deux motivations principales pour faire du sport chez le français sont la recherche du bien-être ainsi que l'affirmation de la sociabilité par la performance, la compétition ou le goût du risque. Ce qui est cohérent avec le baromètre des sports de 2000 et 2017 de Santé publique France, se basant respectivement sur 12 588 et 12 637 interviews, ils identifient le plaisir et la santé comme principales raisons motivant la pratique sportive quel que soit le sexe. Les principaux freins à la pratique sportive sont le manque d'intérêt pour le sport, les problèmes de santé, une offre inadaptée ainsi que les contraintes professionnelles ou familiales. Ces interviews révèlent aussi des étapes de vie clés qui influencent les pratiques avec une diminution des activités par manque de temps lors du passage au lycée ou en études supérieures ou lors de la parentalité. On observe aussi une augmentation des pratiques lors du départ à la retraite ou du départ d'un enfant du foyer, ou comme exutoire lors de moments de stress. Les pratiques sportives chez les adultes ont nettement augmentées entre 2000 et 2017. Le sport ayant été marqué par la plus forte augmentation est la pratique de la marche à pied de loisir qui a été multiplié par 2,3 chez les adultes de 18 à 75 ans. Une évolution générale de la pratique sportive semble ainsi ressortir sur cette période, en étant moins centrée sur la compétition ou la performance en 2017, et davantage sur des aspects liés à la santé et au bien-être. La proportion de français ayant déclaré avoir pratiqué au moins un sport dans les 7

derniers jours à augmenté d'environ 20 points entre 2000 et 2017. La durée des pratiques a diminué, avec une proportion plus faible pratiquant pendant plus de 4h et 8h dans les 7 derniers jours. Ces baromètres ont aussi rapporté que les âges où les pratiques étaient les plus faibles sont vers les 40 ans chez les femmes et 50 ans chez les hommes et que le niveau d'éducation, la situation financière perçue et la catégorie socio-professionnelle sont des facteurs influençant les pratiques sportives, quel que soit le sexe. Une limite à ces interviews est que la frontière entre pratique sportive et activité physique est alors floue. Il est parfois difficile, et subjectif, de faire la part des choses entre activité sportive et mobilité active. Des activités physiques comme le ménage, le jardinage ont été mentionnées comme sport par certains, tandis que la pêche et la chasse ne sont ni totalement exclues ni totalement intégrées aux pratiques sportives.

1.3. L'activité physique, un risque pendant les périodes de fortes chaleurs

Les changements climatiques actuels se traduisent par un déplacement de la distribution des températures vers des valeurs plus élevées, et une augmentation de la variabilité climatique. Ceci se caractérise par des vagues de chaleur⁴ plus fréquentes et plus intenses chaque année (7).

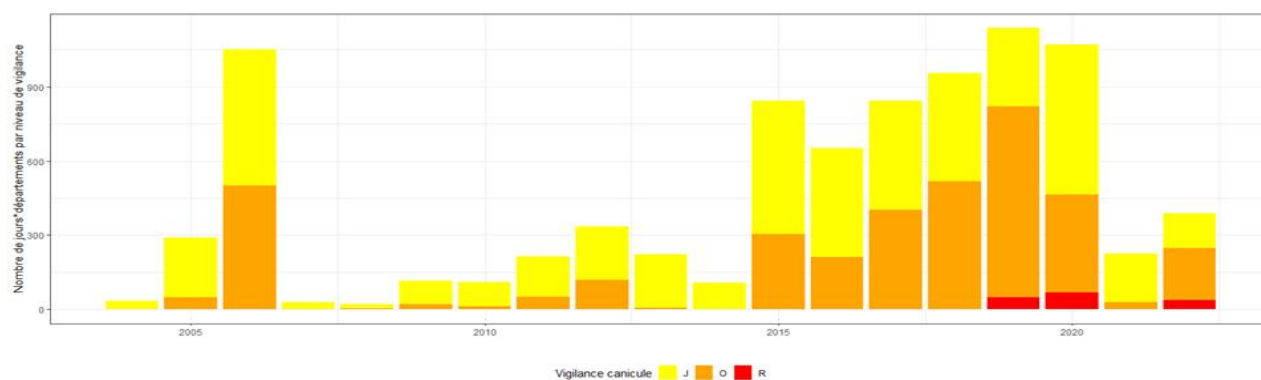


Figure 1 - Nombre de vigilances canicules le 30 Juin 2022 depuis 2004 (Source: Mathilde.PASCAL, 2022)

⁴ Températures anormalement élevées (>25,3°C) pendant au moins 3 jours consécutifs

La Figure 1 montre une augmentation du nombre de départements français en vigilance jaune et orange à partir de 2015 et le début des vigilances rouges en 2019.

Le système de vigilance a été mis en place en 2001 par Météo France et permet d'anticiper les dangers météorologiques sur 24h, il complète les prévisions et permet d'apporter une aide aux actions de gestion et de prévention sanitaire (8). En se basant sur des zones (départements) et conditions climatiques habituelles, il est défini par 4 couleurs de vigilance canicule en fonction des niveaux de température : verte (pas de vigilance), jaune (attention), orange (vigilance), rouge (vigilance absolue). La canicule est un état climatique défini à posteriori et désigne un épisode de températures élevées, de jour comme de nuit, sur une période prolongée, généralement sur trois jours (9). Il n'existe pas ici de seuil national : la canicule est déterminée au niveau départemental avec des seuils de températures et des durées variables. Le seuil de canicule ne dépend pas seulement de critères météorologiques : il est déterminé conjointement par Météo France, Santé Publique France et le ministère de la Santé. Des critères d'environnement local et de vulnérabilité de la population entrent ainsi en compte.

L'exposition à des températures inhabituellement élevées par rapport aux normales climatiques a de nombreux effets délétères sur la santé (10). La morbidité et la mortalité liées à la chaleur sont identifiées comme l'un des principaux risques en Europe par le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (Giec) (11). En France, dans la décennie 1990-1999, on observait 681 jours-départements⁵ de canicule, contre 2 859 dans la décennie 2010-2019 et 2 252 uniquement entre 2015 et 2019 (12). Ces canicules sont plus fréquentes, mais également plus étendues dans le temps, et surviennent désormais de juin à septembre. Elles sont de plus en plus susceptibles d'interférer avec la pratique d'une activité

⁵ Les alertes canicules sont définies chaque jour par département

physique professionnelle, de loisir, ou dans le milieu scolaire. Dans le monde du sport de haut niveau, une étude estime qu'en 2085, seules quelques villes seront capables d'accueillir les Jeux olympiques (JO), les risques liés à la chaleur chez les athlètes devenant trop dangereux partout ailleurs (13).

L'activité physique est associée à un risque d'événements de santé à court terme lors de fortes chaleurs (14, 15). En effet, plusieurs mécanismes de thermorégulation opèrent lors de la production d'un effort, en particulier s'il s'agit d'une activité aérobie (augmentation prolongée de la consommation d'oxygène). Ils permettent de dissiper la chaleur corporelle produite par l'augmentation du métabolisme. Ces mécanismes peuvent être débordés si l'effort fourni dépasse la capacité métabolique de l'individu. Un environnement chaud va augmenter le stress thermique appliqué sur le corps et va donc favoriser le dérèglement de la thermorégulation.

La thermorégulation s'appuie sur quatre mécanismes par lesquels les transferts de chaleur s'effectuent (16, 17) : 1) la conduction de la chaleur du tissu musculaire aux couches plus superficielles de la peau ; 2) la radiation ; 3) l'évaporation de la sueur ; 4) la convection grâce à la vasodilatation qui permet une redistribution de la chaleur vers la circulation superficielle. La perte de chaleur par conduction est limitée par le port de vêtements, tandis que la convection est améliorée par les mouvements d'air ou d'eau environnant, donc est aussi tributaire du port de vêtements. Au repos, les pertes de chaleur sont majoritairement assurées par les mécanismes passifs de conduction et de radiation (18). Lors d'exercice physique, 85% de la perte de chaleur a lieu par évaporation (jusqu'à 2 litres d'eau éliminés par la sudation

par heure). Or, si la température et l'humidité ambiante augmentent, l'évaporation est moins efficace, allant jusqu'à produire un gain de chaleur par radiation (18).

Les conséquences de santé à court-terme d'une défaillance de la thermorégulation peuvent aller jusqu'à la dysfonction d'organes, voire le décès (19). Les risques liés à la chaleur lors d'une activité physique sont pris en compte chez les militaires, certains travailleurs et chez les sportifs de haut niveau (20). Ils sont toutefois encore méconnus dans la population générale pratiquant une activité physique, et restent difficiles à documenter.

Dans le cadre de la surveillance sanitaire réalisée pendant les canicules, Santé publique France enregistre chaque année une augmentation de recours aux soins pour hyperthermie, et parfois une surmortalité chez des personnes jeunes, et un lien avec l'activité physique peut être suspecté (12). Des signalements liés à la chaleur et la pratique sportive peuvent être transmis directement à Santé publique France (par exemple, décès lors d'une course cycliste en 2019), mais sans que cela soit systématique et donc exhaustif.

1.4. Comment assurer la sécurité de la pratique sportive pendant les fortes chaleurs ?

Une revue systématique sur 74 articles portant sur la population générale montre une augmentation des activités physiques (de loisirs et de déplacement) avec les températures jusqu'à un seuil de 26-28°C, puis une diminution en particulier à partir de températures >36°C (21). Cependant, une étude récente réalisée sur la perception des risques pendant les canicules montre que les sportifs adoptent peu des comportements préventifs pendant les canicules (22), significatifs d'une augmentation potentielle des risques.

Les mesures existantes en France ciblent majoritairement la prévention relative aux comportements individuels. Aucune fédération sportive n'a développé de réglementation pour les compétitions professionnelles, seuls certains sports comme le tennis peuvent laisser à l'arbitre l'appréciation d'allonger les temps de pause. Le report ou l'annulation d'événements pour cause de chaleur peut être engagé uniquement lors d'arrêtés préfectoraux. En France, les recommandations sanitaires du Plan National Canicule (PNC) de 2014 mettent à disposition des fiches actions destinées aux sportifs, à leur entourage et aux organisateurs de manifestations sportives (23). Elles contiennent des messages clés sur les risques et des recommandations pour encadrer et sécuriser les pratiques en cas de vague de chaleur. Elles expliquent aussi le principe, les facteurs favorisants et comment se protéger des coups de chaleur. La fiche destinée aux sportifs spécifie les signaux d'alerte et les actions à mettre en place en cas d'apparition de pathologie de chaleur à l'exercice. Celle destinée aux organisateurs donne des éléments afin de déterminer les modifications voire l'annulation des manifestations sportives ainsi que des actions de gestion à mettre en place avant et pendant les périodes à risque. Elle met aussi en avant que l'entourage des sportifs est plus à même de repérer les signes d'alerte d'une pathologie de chaleur à l'exercice que les sportifs eux-mêmes. Plus récemment, en 2021, la direction générale de la santé (DGS) a rédigé le guide de l'organisation de la réponse de sécurité civile (ORSEC) départemental avec une disposition spécifique pour la gestion sanitaire des vagues de chaleur (24). Ce guide contient des fiches afin d'assurer que les décideurs puissent avoir des éléments de protection de la population exposée aux fortes chaleurs. La décision de report, annulation ou interdiction d'un événement sportif peut être prise par les maires, préfets ou organisateurs sur la base de critères inhérents aux conditions d'accueil et au déroulement des épreuves.

Toutefois, ces conseils ne distinguent pas la diversité des pratiques sportives et des pratiquants, ce qui les rendent probablement peu opérationnels.

1.5. Objectifs

Dans une perspective de promotion de l'activité physique et sportive, de prévention de l'impact des vagues de chaleur, et d'adaptation au changement climatique, il est nécessaire de mieux documenter et comprendre les enjeux croisés entre pratiques sportives et fortes chaleurs.

L'objectif de ce travail est de réaliser une évaluation des risques liés à la pratique sportive en période de fortes chaleurs, afin de proposer des pistes de réflexion pour la surveillance, dans une logique d'adaptation au changement climatique. Le travail réalisé dans le cadre de cette thèse s'appuie sur plusieurs étapes : état des connaissances sur les risques sanitaires et les facteurs de risques liés à la pratique sportive, prise en compte de ces risques par les parties prenantes, description des expositions en France et analyse de leur impact en terme de recours aux soins d'urgences, et proposition pour la surveillance et la prévention.

Les objectifs spécifiques sont :

- Réaliser une revue bibliographique des effets sur la santé liés aux pratiques sportives et à la chaleur
- Comparer plusieurs indicateurs thermiques et leurs capacités à expliquer le recours aux soins pour des causes liées à la chaleur, possiblement aggravées par l'activité sportive

- Proposer une typologie des pratiques sportives selon leurs caractéristiques les plus à risque vis-à-vis de la chaleur
- Explorer la perception des risques du point de vue de la communauté sportive
- Faire des propositions en matière de surveillance et de prévention

2 - Méthode

2.1. Recherche bibliographique

La revue bibliographique cible les études épidémiologiques analysant les risques liés à la pratique sportive et à la chaleur, notamment afin d'identifier les déterminants du risque, les principaux effets sanitaires étudiés, les indicateurs météorologiques les plus pertinents et les sports les plus à risques. L'équation de recherche est détaillée en Annexe 1. Elle comporte 3 thèmes de mots-clés : l'activité physique, la chaleur et les événements de santé. Certains termes relatifs aux traitements, à la performance ou à l'alimentation des sportifs ont été utilisés comme facteur d'exclusion. Les articles traitant des militaires et travailleurs sont également exclus, leurs conditions d'expositions étant spécifiques, et les voies métaboliques sollicitées lors d'un effort étant notamment fonctions de l'intensité, de la durée d'exercice, de l'habillement et de la sollicitation musculaire. Ces différences impliquent des variations dans les mécanismes de thermorégulation (25). L'incidence et la distribution des pathologies liées à la chaleur n'est donc différemment transposable selon le type d'exercice physique.

L'équation a été utilisée sous PubMed et Scopus en mars 2022. Les études ont été sélectionnées sur la base du titre, puis de la lecture des résumés.

2.2. Description des indicateurs thermiques et de leur influence sur les passages aux urgences

2.2.2. Données sanitaires

Il n'existe pas en France de système de surveillance permettant d'identifier des effets de santé suite à une pratique sportive. En l'absence de données spécifiques, le choix a été fait de

travailler sur des données génériques, à savoir les données extraites de l'application « Surveillance sanitaire des urgences et des décès » (SurSaUD). Il s'agit d'un système de surveillance mis en place par Santé publique France, dit syndromique, basé sur la collecte de données non spécifiques. Le système permet la centralisation quotidienne d'informations, provenant, d'un peu plus de 600 services d'urgences participant au réseau de surveillance coordonnée des urgences (OSCOUR®). Le système SurSaUD® recouvre ainsi 86 % de l'activité des services d'urgences en France (26).

Les regroupements syndromiques retenus et les classes d'âges ont été choisis en s'appuyant sur la revue de littérature : hyperthermie/coup de chaleur, épuisement, évanouissement/syncope, déshydratation, hyponatrémie, par âge (0-14, 15-29, 30-44, 45-59, 60-74, 75+) et par sexe. Les données sont analysées en taux de passages pour une cause parmi l'ensemble des passages codés du jour, afin de s'affranchir des biais liés aux variations du nombre de passages codés chaque jour (qui dépend notamment des pratiques de chaque médecin).

2.2.2. Indicateurs thermiques

Les indicateurs thermiques ont été sélectionnés en s'appuyant sur une réflexion menée par ailleurs par Météo France, en particulier pour répondre à des interrogations sur les JO 2024.

Les indicateurs retenus sont :

- 1) La **température minimale, maximale et moyenne** de la journée
- 2) Des indicateurs proposés dans la littérature pour prendre en compte d'autres paramètres influençant la thermorégulation : **Humidex**, **WBGT** (*Wet bulb globe temperature*), **ESI** (*environmental stress index*), **MDI** (*modified discomfort index*), **UTCI** (*Universal Thermal Comfort Index*), **THI** (*temperature-humidity index*), **Indice de confort d'été** et **Heat Index**.

Le MDI prend en compte les températures de l'air et de rosée⁶ (27). L'Humidex, le TDI et le confort d'été prennent en compte la température et l'humidité. Le WBGT prend en plus en compte les rayonnements et la vitesse du vent, tout comme l'ESI qui simplifie la mesure des radiations solaires afin de diminuer les incertitudes de mesures (28, 29). L'UTCI cherche à représenter la température de l'air du milieu dans lequel évolue une personne standard par des modèles complexes de thermo-physiologie (30). Le *Heat index* prend en compte température et humidité avec des hypothèses sur la masse corporelle de l'homme et sa taille, les vêtements et la vitesse du vent, il a été élaboré pour caractériser la température ressentie lors de fortes chaleurs (31). Le calcul du *Heat index* n'est pertinent que dans le cas où la température de l'air est supérieure à 27 °C et l'humidité supérieure à 40 %.

Une définition plus complète ainsi que les équations de chaque indicateur composite est faite en Annexe 2.

Il faut noter que les valeurs prises par les différents indicateurs ne sont pas comparables. Même si le terme « degrés » ou « température » est utilisé pour le WBGT ou le *Heat Index*, les équations, les paramètres météorologiques (et coefficients associés) sont différents pour chaque indicateur, et ne conduisent pas à des degrés Celsius. Il n'est donc pas possible de leur attribuer une unité commune et reste très délicat de les comparer entre eux.

Pour cette étude, la température moyenne a été calculée comme la moyenne de la températures maximum et minimum pour chaque jour. Pour les autres indicateurs (Humidex, WBGT, ESI, MDI, UTCI, THI, Indice de confort d'été et *Heat Index*), la moyenne a été calculée comme la moyenne des valeurs horaires sur 24h.

⁶ Le point de rosée est la température à laquelle l'air doit être refroidi pour que la vapeur d'eau présente dans l'air commence à se condenser. Il dépend de la pression, de l'hygrométrie et de la température.

2.2.3. Zones et période d'étude

Météo France a calculé l'ensemble des indicateurs météorologiques pour 33 départements pour lesquels une station de référence représentative a été retenues (Annexe 3 et Annexe 4). Dans chaque département des stations de référence, les données de l'ensemble des hôpitaux transmettant à SurSaUD© ont été agrégées.

La période d'étude couvre le 1^{er} juin au 15 septembre (période d'activation du système d'alerte canicule et santé) des années 2015 à 2019. Avant 2015, le nombre d'hôpitaux transmettant à SurSaUD © et le nombre de vagues de chaleurs sont moins important. Les années 2020-2021 ont été exclues compte-tenu de la pandémie de COVID-19 qui a désorganisé les systèmes hospitaliers et restreint la pratique sportive.

2.2.4. Analyses statistiques

Dans un premier temps, les corrélations entre indicateurs sur les étés 2015-2019 ont été calculées, puis la distribution des indicateurs comparées selon les périodes de vigilances (définies par Météo France a priori à partir des températures prévues, et prenant éventuellement en compte des facteurs aggravants comme la durée prévues) et de canicules (définies a posteriori à partir du dépassement effectif des seuils d'alerte sur la base des températures observées). Les éventuelles différences de distribution selon la période de vigilance ou canicule sont évaluées avec un test de Kruskal-Wallis ou un test de Student.

Suite à cette étape, un nombre restreint d'indicateurs thermiques est sélectionné, et utilisé pour modéliser les taux de passages aux urgences pour hyperthermie. La description des passages aux urgences est présentée par quartiles des valeurs d'indicateurs d'expositions (Température, WBGT, UTCI et *Heat Index*). Une régression de quasi-Poisson prenant en compte la population de chaque département, et contrôlant sur l'année, les jours de la

semaine et le nombre total de passage est utilisée. Les résultats sont présentés en risques relatifs (RR) pour une augmentation d'une unité de l'indicateur et calculés pour une augmentation de l'indicateur d'exposition correspondant à l'intervalle interquartile (IQR). La même méthode statistique est utilisée pour caractériser les taux de passages aux urgences selon l'état de canicule.

Enfin, des seuils spécifiques aux sportifs ayant été proposés pour le WBGT dans le cadre des JO de Tokyo 2020, le nombre de jours de dépassements de ces seuils a été calculé (32)

2.3. Proposition d'une typologie des pratiques sportives et perception des risques par le milieu sportif

Les déterminants du risque identifiés dans la littérature ont été croisés avec des données relatives à la pratique sportive de différentes disciplines pour proposer une typologie des pratiques les plus à risque. Le baromètre des pratiques sportives en France de l'Institut national de la jeunesse et de l'éducation populaire de 2018 a permis de décrire les différents types de pratiques en France (33). Ce baromètre est révisé tous les 2 ans, celui de 2020 étant centré sur la modification des pratiques lors de la crise sanitaire et sur l'anticipation des pratiques en vue des Jeux Olympiques, seul celui de 2018 a été pris en compte. Le compendium des activités physiques 2011 (34) a été utilisé pour documenter l'intensité physique des différents sports. Enfin, les facteurs de risque propres à la pratique ont été sélectionnés à partir de la littérature et analysés qualitativement : durée et intensité d'effort, équipement lourd, sport individuel ou collectif, mouvements d'air, ombre, possibilité d'hydratation, pratique intérieure ou extérieure.

A partir de cette typologie, des fédérations sportives ont été sélectionnées et interrogées (via les directeurs techniques nationaux ou les médecins fédéraux) afin de mieux connaître l'état des pratiques actuelles en France. Ces fédérations sont : force⁷, athlétisme, golf, judo, aikido, cyclisme. L'entretien s'est déroulé en trois parties, une première sur la prise en compte actuelle des risques, une deuxième sur les éventuelles données en leur possession, et une troisième sur les perspectives futures. Le questionnaire est disponible en Annexe 6. Le but était d'identifier leurs connaissances des risques, les données qu'ils pourraient potentiellement avoir et qu'il serait pertinent d'analyser ainsi que leurs perspectives futures par rapport à ce risque. Ces entretiens ont également permis de confirmer les éléments proposés dans la typologie des sports établie.

⁷ Regroupement de plusieurs disciplines : force athlétique, culturisme, *kettlebell*, bras de fer sportif, *macelifting*, *functional training*.

3 - Résultats

3.1. Revue de la littérature

3.1.1. Articles sélectionnés

42 études ont été retenues suite à la revue bibliographique (Figure 2).

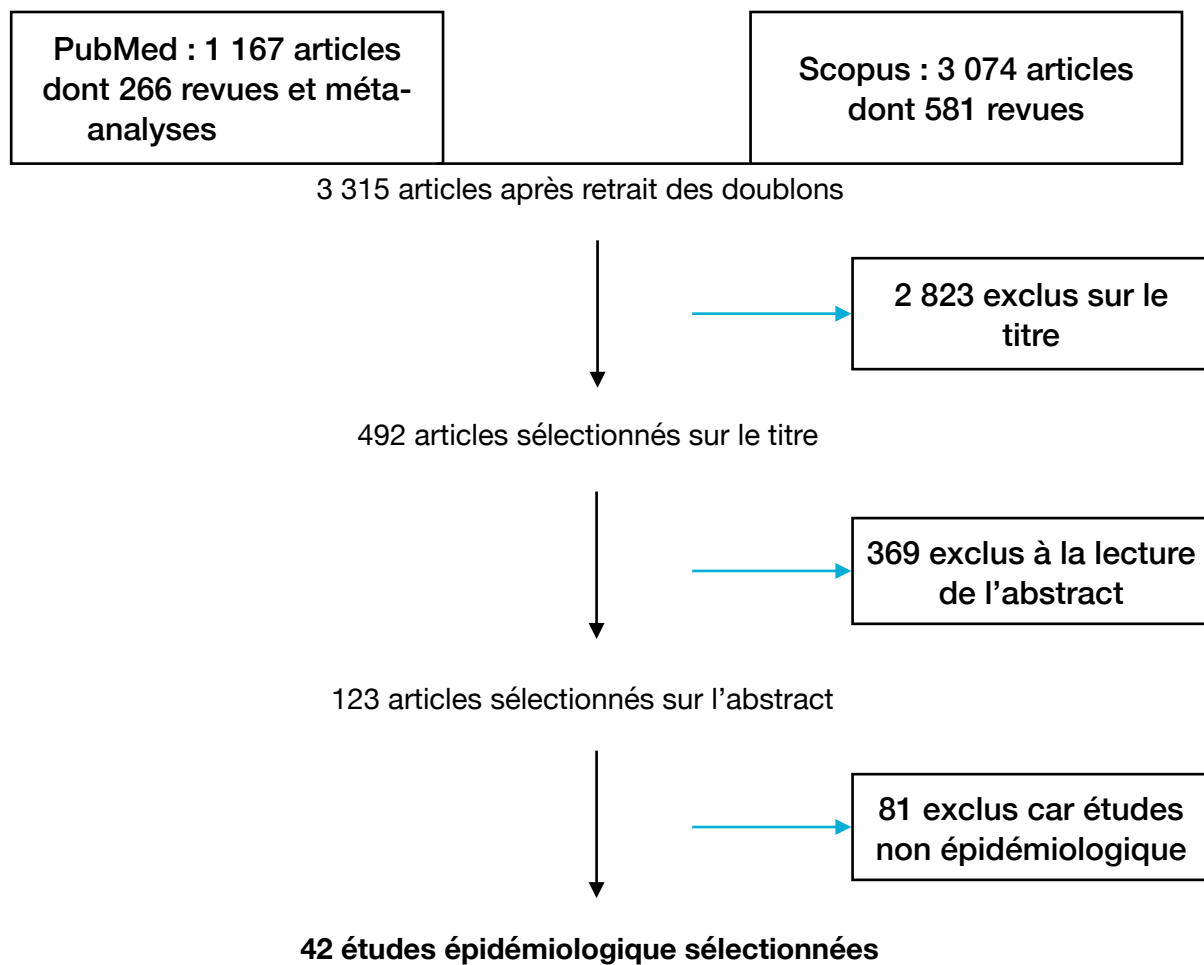


Figure 2 - Sélection des articles à analyser.

L'activité physique en période de fortes chaleurs est un domaine peu étudié dans la population générale. Malgré les mentions « NOT » de l'équation, il subsistait beaucoup d'articles relatifs aux militaires et aux méthodes de traitement des coups de chaleur. Les études relatives aux méthodes de traitement et rafraîchissement sortent du contexte d'étude car elles ne s'intéressent pas aux relations entre exposition et événement de santé. D'autre part, des dizaines de sujets tel que la pollution de l'air ou des études sur des maladies chroniques ou héréditaires ont été exclus.

La moitié des études sélectionnées ont été publiées entre 2019 et 2022, la plus ancienne datant de 1990. L'Annexe 6 montre le nombre d'articles épidémiologiques en fonction de l'année de publication sur les études sélectionnées. Le Tableau 1 recense le nombre d'articles analysés par types d'études.

Type	Nombre (n=42)
Transversale	20
Epidémiologie descriptive	12
Revue	5
Cas-témoins	2
Cohorte prospective	2
Analyse de série temporelle	1

Tableau 1 - Nombres d'articles analysés par types d'études.

Une grande partie (n=23) concernent les États-Unis (35-57), 5 l'Australie (58-62). Le reste présente une répartition dans différents pays (Qatar (63, 64), Inde (65), Espagne (66), Suède (67), Canada (68), Japon (69), Chine (70)) et 6 incluent plusieurs pays (71-76).

3.1.2. Indicateurs d'expositions

Une partie des études n'utilisent pas d'indicateur d'exposition (35, 36, 38, 49, 51, 56-59, 62, 69, 71), mais décrivent les effets observés par saisons, en faisant l'hypothèse que la chaleur explique les observations faites en été.

Pour les autres études, on distingue deux familles d'indicateurs ; 1) des paramètres météorologiques pouvant être directement mesurés 2) des indicateurs composites le plus souvent modélisés, combinant plusieurs paramètres, tels que la température, l'humidité, la composition corporelle et/ou l'habillement, susceptible d'influer sur la thermorégulation (77).

Parmi les études utilisant des paramètres météorologiques simples, douze utilisent la température et l'humidité (39, 40, 44, 45, 50, 60, 61, 63, 70, 72, 74, 75), et de manière moins courante, le point de rosée, les radiations solaires ou le vent (72). Ces paramètres peuvent être introduits en valeur minimale, maximale, moyenne, sur la journée, ou sur la durée d'une pratique. Les mesures maximales, de la veille ou de début de session montrent parfois des associations significatives non retrouvées avec des mesures moyennes (54, 55, 66).

La température paraît être l'indicateur le plus pertinent, car simple à mesurer et permet de mettre en évidence plusieurs associations significatives (45, 66, 73). L'humidité est étudiée dans 13 articles mais n'a pas montré d'association avec aucun des indicateurs de santé non traumatiques (66, 70, 74). Néanmoins, une température et une humidité élevée sont associées à moins de blessures traumatiques au rugby, le mécanisme sous-jacent suggéré étant un ramollissement du terrain (61).

Parmi les indicateurs composites, le WBGT est le plus largement étudié (37, 39, 41-44, 46-48, 50, 52-55, 63, 64, 67, 68, 72, 74-76). Les études se servent aussi du *Heat index* (40, 45, 47, 72). Plus récemment, l'UTCI et le PET ont été développés afin de donner une approche plus précise du stress thermique individuel (67, 73).

Aux États-Unis, il y a une surveillance et un encadrement de ces événements en fonction du WBGT, en particulier dans le cadre scolaire (du collège à l'université) et la plupart du temps pour le football américain (43, 46). Le WBGT est une mesure complexe, chère et qui ne prend pas en compte l'habillement, mais qui peut être relativement bien modélisée et est largement décrite. Utilisé depuis 1956 chez les militaires aux États-Unis, puis plus largement chez les travailleurs et le sport grâce à l'établissement de seuils d'expositions. Ces 2 derniers indices ont été élaborés pour apporter une mesure de la charge thermique dans la population générale.

3.1.3. Indicateurs sanitaires

Six études utilisent la mortalité comme événement de santé (38, 39, 47, 60, 69, 70). Les trois seuls motifs de décès étudiés sont l'hyperthermie, les coups de chaleur à l'exercice et les décès relatifs à la chaleur (code CIM-10 T67 : « Effets de la chaleur et de la lumière »).

Les études de mortalité sont presque toutes des études descriptives. Une seule est une étude cas-témoins (70), elle ne met pas en évidence d'association entre les températures ambiantes et la mortalité pour coups de chaleur.

Plusieurs études se concentrent sur les pathologies liées à la chaleur à l'exercice (*Exertional Heat Illness*, EHI) (CIM-10 : X30 « Exposition à une chaleur naturelle excessive » et T67.9 « Effets de la chaleur et la lumière ») (35, 36, 43-45, 49, 51, 52, 58, 59, 62, 66, 71-73).

Les pathologies de chaleur à l'exercice sont regroupées en 5 pathologies (78) associées à des symptômes plus ou moins spécifiques : 1) Les crampes associées à l'exercice sont les effets de santé les moins graves, caractérisés par une douleur aiguë et une contraction involontaire ; 2) Les syncopes dues à une vasodilatation périphérique qui diminue le retour veineux, souvent à l'arrêt de l'effort ou après une longue période passée debout ; 3) L'épuisement à

l'effort est une incapacité à continuer l'exercice associé à des symptômes de déshydratation et de manque d'énergie, parfois difficile à différencier du coup de chaleur à l'exercice ; 4) Le coup de chaleur à l'exercice est l'effet de santé le plus grave et le plus mortel des 5. Il est communément défini par une température centrale (prise de température œsophagienne ou rectale) supérieure à 40°C associée à un dysfonctionnement du système nerveux central ; 5) L'hyponatrémie à l'exercice est caractérisée par une concentration en sodium dans le sang inférieure à 130 mmol/L, elle arrive souvent lors d'un exercice prolongé (>4h) et est favorisée par une consommation d'eau bien supérieure aux pertes (intoxication à l'eau) ou lors de perte de sodium par transpiration non remplacée.

L'évènement de santé le plus étudié par les articles est le coup de chaleur à l'exercice. Cet effet est utilisé comme indicateur de santé dans 16 des études sélectionnées (37-39, 41, 46, 47, 49, 52, 54, 56, 57, 70-73, 75).

Le regroupement « pathologie de chaleur à l'exercice » comporte les coups de chaleur à l'effort (ou hyperthermie maligne d'effort), les pertes de connaissance dues à la chaleur, l'épuisement dû à la chaleur, les crampes dues à la chaleur. Hormis le coup de chaleur, aucun de ces événements ne présente un diagnostic formel et sont donc déclarés à l'appréciation des équipes médicales ou entraîneurs sportif. Certains auteurs associent les œdèmes dus à la chaleur et l'hyponatrémie à ce regroupement (43, 44, 49, 57). Pour ces événements, 21 articles les utilisent comme indicateurs de santé, en les regroupant ou en les analysant de manière isolée (surtout les coups de chaleur ou les pertes de connaissance).

Enfin, certaines rapportent d'autres événements de santé associés aux risques liés à la chaleur comme la déshydratation, l'hypotension, les nausées et vomissements ou les blessures traumatiques (40, 60, 61, 69, 73, 74). Une étude utilise les arrêts-jeux pour causes médicales comme évènement de santé (74).

3.1.4. Systèmes de surveillance

La difficulté des études est d'identifier des événements de santé associés à une pratique sportive. Aux États-Unis, des systèmes de surveillance adaptés existent, comme le « *National electronic injury surveillance system all injury program* » (NEISS-AIP) (35), le « *National high school sports-related injury surveillance system* » (49) ou le « *NCAA Injury Surveillance Program* » (56). En Australie, différents registres de santé publics ou hospitaliers contiennent une mention de circonstance de survenue. Des études utilisent l'information extraite des centres de soins ou, lors de grands événements sportifs, des tentes médicales installées pour l'occasion (37, 41, 45).

Il existe trois types de systèmes de surveillance parmi les 42 études analysées :

- Un système s'appuyant sur les données de passage aux urgences, d'hospitalisations et/ou des rapports officiels de décès (35, 60, 62). Ce sont essentiellement des systèmes de surveillance continus mis en place par les autorités de santé à l'échelle d'un état ou d'une région. Certaines fiches d'entrée laissent la possibilité d'associer un texte libre sur les circonstances associées au passage aux urgences, permettant cette surveillance spécifique. Ces surveillances sont majoritairement issues de grandes structures de soins tels que les hôpitaux de ville.
- Des systèmes spécifiques aux événements sportifs (37, 40, 41, 45). Les organisateurs couplent les données d'inscription, des tentes médicales ou des structures de soins les plus proches. Ces recherches vont alors être spécifiques du sport pratiqué.
- L'organisation d'un système de surveillance relatif à la pratique sportive dans le cadre scolaire du collège à l'université (46, 47, 49, 51, 56, 57, 69). Cette méthode repose sur

la remontée de données par les entraîneurs ou professeurs de sports. Certains mettent en place des questionnaires papier ou une remontée numérique. Ils peuvent être couplés à des organismes de prévention et être spécifiques à des événements sportifs dans le cadre scolaire. Ce procédé permet de mieux encadrer la pratique chez les jeunes et de sensibiliser les futurs sportifs, qu'ils évoluent dans une pratique autonome ou encadrée, aux risques et aux moyens de préventions.

Ces systèmes ont été mis en place aux États-Unis, en Australie ou au Japon (35, 60, 69).

Les données issues des tentes médicales permettent d'avoir des données précises et spécifiques d'un sport donné, les associations sportives et entraîneurs vont, eux, essentiellement remonter des données issues de pratiques sportives dans le cadre scolaire pour des programmes de surveillance à l'échelle régionale ou nationale.

3.1.5. Pratiques sportives étudiées

Le sport le plus étudié est le football américain avec 13 études (38, 39, 43, 44, 46-48, 50, 52-55, 57) s'intéressant uniquement à cette pratique. Viennent ensuite la course d'endurance avec 9 études (37, 41, 42, 45, 65, 67, 68, 75), puis le cyclisme (40, 63), le rugby (61, 76), la randonnée (36) et le volley-ball (74). Quinze articles prennent en compte plusieurs sports ou se basent sur des événements de santé (mortalité, EHI, EHS...) et ne se restreignent pas à certaines pratiques sportives. Certains ne spécifient pas les pratiques sportives étudiées (66, 70, 72).

La plupart de ces études sont relatives à des sports encadrés non professionnel. Les sports pratiqués en loisir, de manière autonome (non-encadrée), ne sont pris en compte que dans certaines études qui analysent des données hospitalières ou certains programmes de

surveillance. Mais dans les 2 cas, il y a très peu voire pas d'informations sur les conditions de pratique (durée et type d'effort, encadrement, niveau de pratique...).

La majorité des sports étudiés sont des sports d'extérieur, la seule étude mentionnant spécifiquement les sports d'intérieur ne rapporte aucun cas de pathologies de chaleur à l'exercice suite à ce type de pratique (56).

3.1.6. Méthodes statistiques des études

Douze études présentent des taux d'incidence et une analyse descriptive (critères de positions et de dispersions) pour les événements de santé observés en fonction du sexe, de l'âge, de la pratique sportive ou de l'exposition (41, 43, 51-53, 56-58, 62, 64, 69, 73).

Pour montrer une association significative entre une exposition, une typologie de population ou un type de sport et un événement de santé, 8 études analytiques (5 études transversales, 2 cohortes, 1 analyse de série-temporelle) ont utilisé des régressions (37, 42, 46, 50, 55, 66, 73). Une étude de cohorte et une transversale ont calculé des risques relatifs qui permettent d'estimer le risque selon les conditions ou les pratiques (49, 73). L'une d'entre elle utilise l'IPR (Injury Proportion Ratio) pour calculer les risques spécifiques à chaque sport, par exemple : nombre total d'EHI au football / nombre total d'EHI dans tous les autres sports (49).

Seules 10 études établissent une relation statistiquement significative entre exposition et effets de santé (37, 38, 40, 41, 45, 52, 54, 59, 66, 73). Parmi elles, la plupart utilisent des modèles de régressions (Poisson, multiple) ou se servent du Chi² d'indépendance. Ce sont pour la plupart des études transversales.

3.1.7. État des lieux des risques de l'activité sportive en période de fortes chaleurs

a) Mortalité

Les coups de chaleur à l'exercice sont la 2^{ème} cause de décès non traumatique au football américain aux États-Unis (38) et la 3^{ème} cause de mortalité toutes causes chez les athlètes, après les arrêts cardiaques et les traumatismes crâniens (79). Aux États-Unis et en Australie, il est mis en évidence en moyenne 2 décès par an pour coup de chaleur à l'exercice (38, 60). Plus de la moitié ont lieu en août, presque tous lors de périodes chaudes (39, 47). La majorité des victimes était composé d'hommes, âgés entre 21 et 40 ans. Le manque d'acclimatation est souvent mis en cause comme un des principaux facteurs de risque, l'essentiel de ces événements ayant lieu en début de saison sportive ou chez des étrangers en voyage dans des zones particulièrement chaudes.

Une étude sur 11 centres médicaux dispersés en Chine (70) s'est penchée sur les risques associés à la mortalité d'un coup de chaleur à l'exercice. Sur les 31 décès recensés entre 2012 et 2019, 3 facteurs statistiquement associés à une hausse de mortalité ont été mis en évidence : la durée entre l'évènement et la prise en charge, une température corporelle >38°C et le nombre d'organes endommagés.

b) Hospitalisations et passages aux urgences

Depuis 20 ans, le nombre d'événements de santé relatifs à la chaleur augmente au cours du temps. En Australie, la moitié des hospitalisations relatives à la chaleur concernaient des patients admis pour épuisement et un tiers pour coup de chaleur à l'effort (58, 59). De même que pour la mortalité, il est mis en évidence une majorité de cas l'été (60). La majorité des entrées concernent des hommes et 2 tranches d'âge sont les plus à risques : les plus de 65 ans

et les 15-34 ans. Les sports les plus touchés sont le golf et le boulingrin (jeu de boules semblable à la pétanque) (62).

Deux études (Victoria et Madrid), rapportent plus de 300 passages aux urgences pour « blessures relatives à la chaleur liée au sport » par an. Aux États-Unis, il y a presque 6 000 passages aux urgences par an pour pathologie liée à la chaleur pendant une activité physique, soit 2 cas pour 100 000 habitants ; La plupart sont des hommes âgés de 20 à 50 ans, en période d'été, et le sport le plus mis en évidence est le football américain. Le sport le plus rapporté chez les personnes de plus de 45 ans est le golf (35, 66).

Une course de vélo sur 7 jours dans l'Iowa montre une corrélation entre le *heat index* moyen de la semaine et le nombre de cas relatifs à la chaleur transportés à l'hôpital. Et chez les hommes, un âge élevé est associé à un nombre de transport aux urgences plus important (40).

c) Pathologies liées à la chaleur et l'exercice

La plupart des EHI sont issues de données de surveillance ou d'analyses des passages en centre de soins ou tente médicale. Deux tiers des EHI ont lieu l'été, tout sports et pays confondus. Lors de 7 championnats d'athlétisme mondiaux et européens, une forte association entre les températures et l'apparition d'EHI a été mis en avant. Celles-ci représentent $\frac{1}{4}$ des maladies lors des championnats, avec des taux incidence associés à un UTCI élevé (73).

Une étude portant sur 8 marathons de grandes villes entre 2004 et 2008 a tenté de déterminer une température au-dessus de laquelle un marathon doit être annulé (Annexe 7). Les auteurs observent qu'à partir d'un WBGT $>13^{\circ}\text{C}$, le nombre et le taux de visites médicales augmente. Il y a également une forte corrélation entre le taux de départ sans succès et le WBGT au début

des courses (75). Un départ sans succès est défini pour un participant lorsqu'il ne finit pas la course ou qu'il a besoin de n'importe quelle assistance médicale sur la ligne d'arrivée.

Sur le site du grand canyon, en 1993, 116 cas d'EH1 chez des randonneurs sont observés, la plupart lors de températures $>35^{\circ}\text{C}$ et la plupart des cas graves lors de températures comprises entre $38-45^{\circ}\text{C}$ (36).

Au football américain, la majorité des cas sont issus des entraînements en pré-saison (Août), chez les joueurs avec un IMC élevé (47). On observe par ailleurs que les états du Sud sont plus touchés (52). La majorité des cas comprennent des crampes, puis épuisements et syncopes. Le taux d'incidence d'épuisements ou de syncopes est multiplié par 6 lorsque le WBGT passe de 25°C à $28,5^{\circ}\text{C}$ (43). Les incidences sont bien plus élevées lorsque l'entraînement dépasse 3h et lors des premiers entraînements de la saison (53). D'autre part, le WBGT en début d'entraînement n'est pas prédicteur d'EH1 contrairement au WBGT moyen, qui est un prédicteur faible (54).

Les États-Unis ne rapportent aucun cas relatif à un sport d'intérieur entre 2009 et 2015 (56).

On remarque que le risque chez les jeunes sportifs est plus lié à l'effort alors que le risque chez les personnes plus âgées est majoritairement lié aux conditions météorologiques.

d) Facteurs modificateurs

Les facteurs suivants ont un effet protecteur vis-à-vis des EHS : l'acclimatation, la couverture végétale et de la canopée, la couverture nuageuse, la vitesse du vent et l'ombre (72). La course de Falmouth aux États-Unis relève une incidence >2 pour 1 000 expositions (maximum en 2003 avec 53 cas). Dans le cadre de 2 études relatives à cette course, une relation significative entre l'augmentation de température (ou du *heat index*) et l'incidence d'EHS et d'EH1 a été mise en évidence ainsi que la relation entre WBGT et EHS. Le *heat*

index explique une grande partie ($R^2=0,74$) de la variabilité d'EHS. En revanche, pas de relation significative avec l'humidité. D'autre part, il existe une réduction de risque d'EHS chez les femmes âgées de 40 à 59 ans (37, 45).

Au marathon de Boston (à 120 km de Falmouth), une incidence bien plus faible de 3,7 pour 10 000 est calculée. En parallèle, un âge <30 ans est associé à une augmentation d'incidence de coup de chaleur. Il y a aussi une association entre l'augmentation du WBGT maximum ou de début de course et l'incidence de coup de chaleur à l'effort. Il n'y a eu aucun cas en 2015 et 2018, années où le WBGT moyen était entre 6 et 7°C (sa moyenne était entre 17-20°C les autres années). Un autre phénomène est le fait de faire partie des vagues de départ les plus performantes est associé à une incidence plus élevée d'EHS (41).

La différence d'incidence entre ces deux événements s'expliquerait par un taux très élevé à Falmouth due à la période de la course (2^{ème} dimanche d'août vs. fin avril à Boston) et à une distance relativement courte (11 km vs. 42 km) qui appelle à une intensité d'exercice, donc une charge thermique, plus élevée.

3.2 Analyse des indicateurs météorologiques et des données de passages aux urgences en France :

3.2.1. Choix des indicateurs météorologiques d'intérêt

La Figure 3 illustre l'étendue des valeurs prises par les huit indicateurs d'expositions sur la période d'étude. Ces valeurs ne peuvent pas être directement comparées entre elles, chaque indicateur ayant une unité de mesure propre. La figure 3 permet toutefois de noter des valeurs plus importantes du confort d'été par rapport aux autres indicateurs. Le *Heat Index* est aussi particulier avec une étendue de valeurs beaucoup plus large et une médiane à 0 du fait qu'il ne prenne une valeur positive qu'à partir d'une chaleur importante.

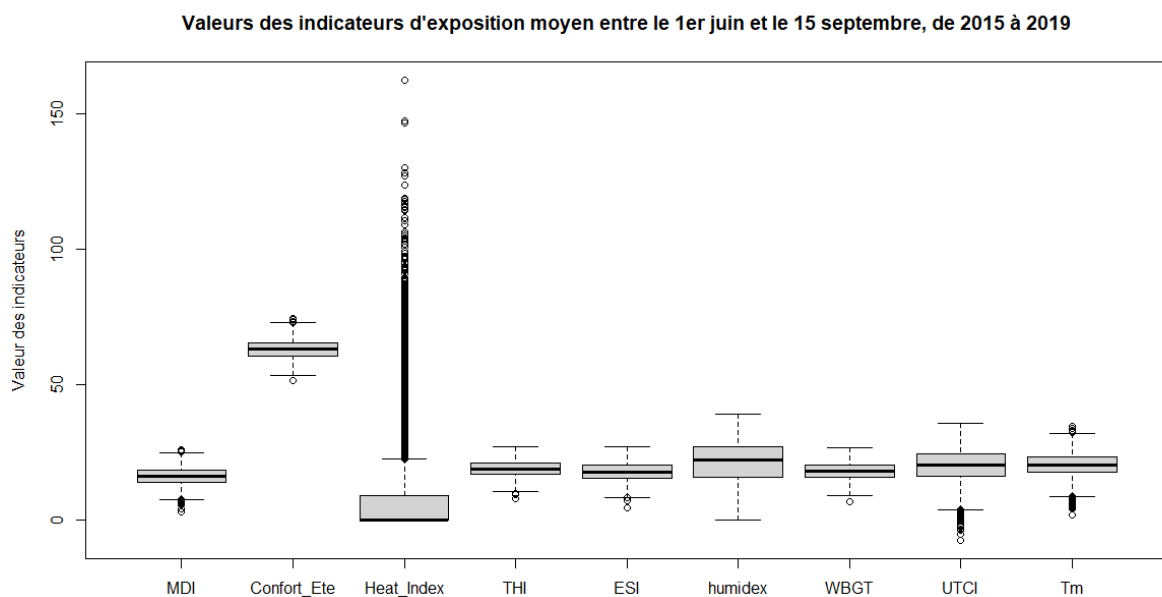


Figure 3 - Valeurs des indicateurs d'exposition moyen entre le 1er juin et le 15 septembre, de 2015 à 2019.

L'ensemble des indicateurs sont très corrélés entre eux ($R > 0,8$), à l'exception du *Heat Index* (Figure 4). Ces fortes corrélations montrent qu'ils expriment et quantifient l'exposition à la chaleur de la même manière. La faible corrélation du *Heat Index* s'explique par sa gamme de valeur très élevée et ses nombreuses valeurs nulles. De plus, la température est en degrés Fahrenheit expliquant son augmentation rapide. Dans sa formulation, l'UTCI intègre, en plus de paramètres physiologiques, une modélisation du corps humain qui permet de calculer la réponse du corps à certains paramètres météorologiques (30) ce qui explique sa faible corrélation aux autres indicateurs.

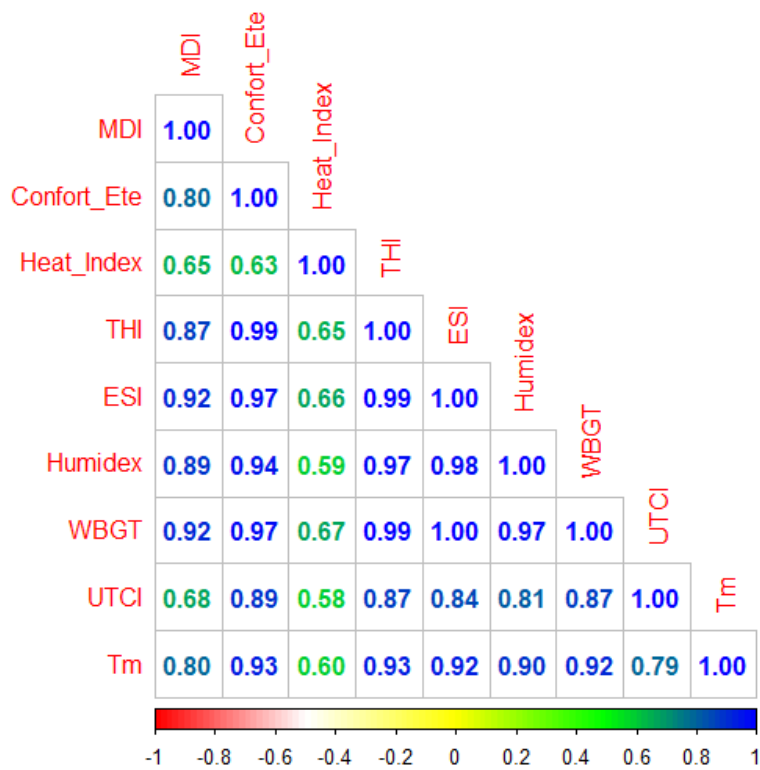


Figure 4 - Corrélation des indicateurs moyens sur toute la période étudiée.

Compte tenu de ces corrélations élevées, nous conservons uniquement quatre indicateurs étant notamment peu corrélés afin de pouvoir analyser la pertinence de différents types de mesures d'exposition :

- la température moyenne (T_m), car il s'agit de l'indicateur de référence,
- le WBGT, compte-tenu de sa forte utilisation dans les études s'intéressant à l'activité physique,
- le *Heat Index*, compte-tenu de son caractère atypique par rapport aux autres indicateurs,
- l'UTCI, qui a prend en compte des paramètres physiologiques et un modèle d'habillement, qui sont deux éléments très important dans la mesure de la charge thermique lors d'une activité physique. Il n'est également pas toujours bien corrélé aux autres indicateurs, notamment sur les analyse de corrélation des indicateurs minimums.

3.2.2. Distribution des indicateurs selon la vigilance météorologique

Les Figures 5 à 12 décrivent la distribution des quatre indicateurs précédemment retenus par niveau de vigilance et selon la présence ou non de canicules. Elles montrent un gradient des valeurs de la vigilance la plus basse (verte) à la plus haute (rouge), et hors canicule *vs.* canicule, sauf pour le *Heat Index* dont les valeurs ne sont pas différentes en vigilance orange et rouge (valeur p spécifique entre la vigilance orange et rouge $>0,05$). Tous les indicateurs thermiques sont significativement plus élevés lors des jours de canicules, en accord avec les définitions canicule de Météo France.

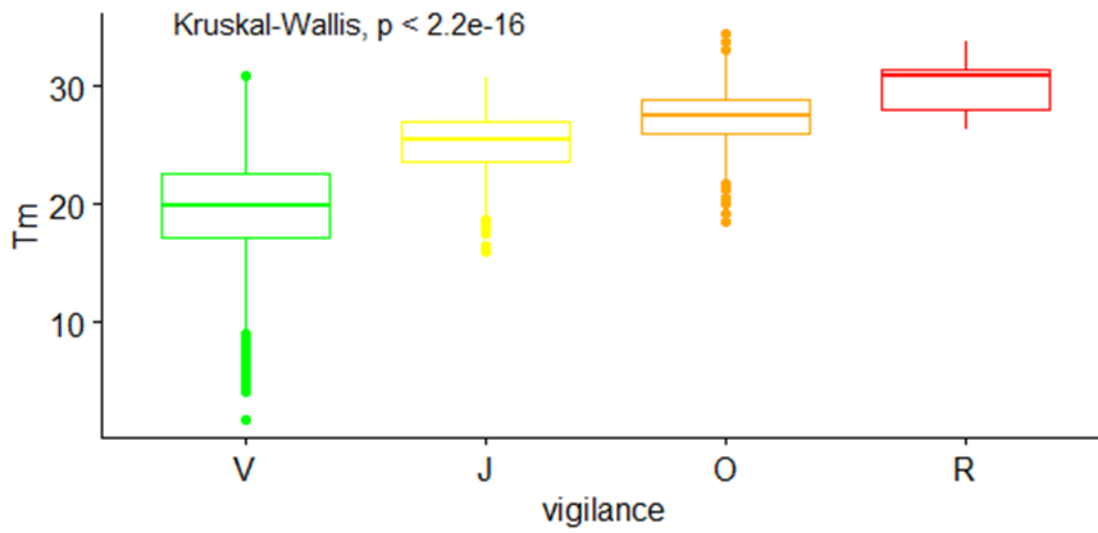


Figure 5 - Comparaison de la température en fonction du niveau de vigilance.

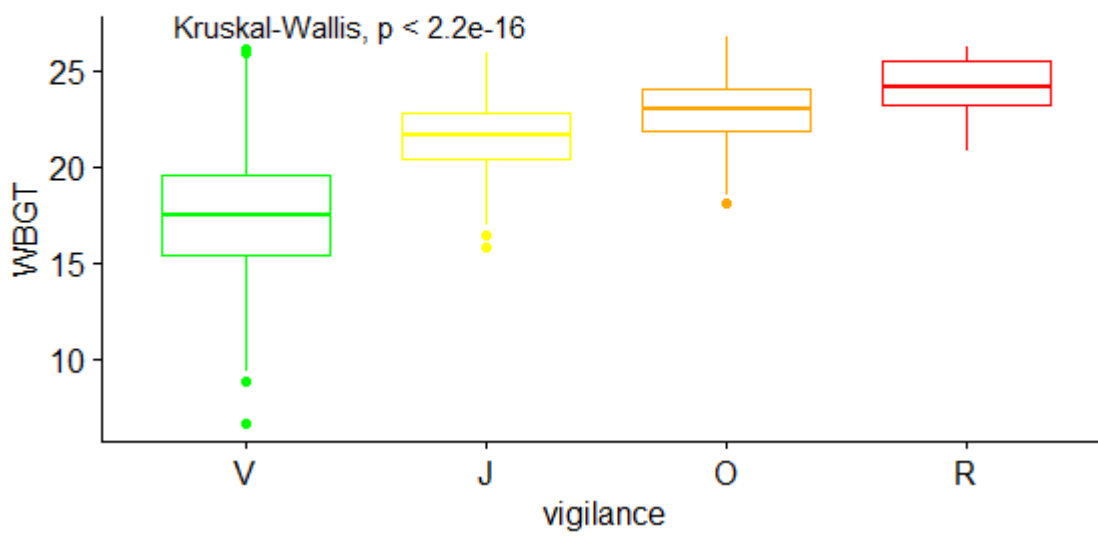


Figure 6 - Comparaison du WBGT en fonction du niveau de vigilance.

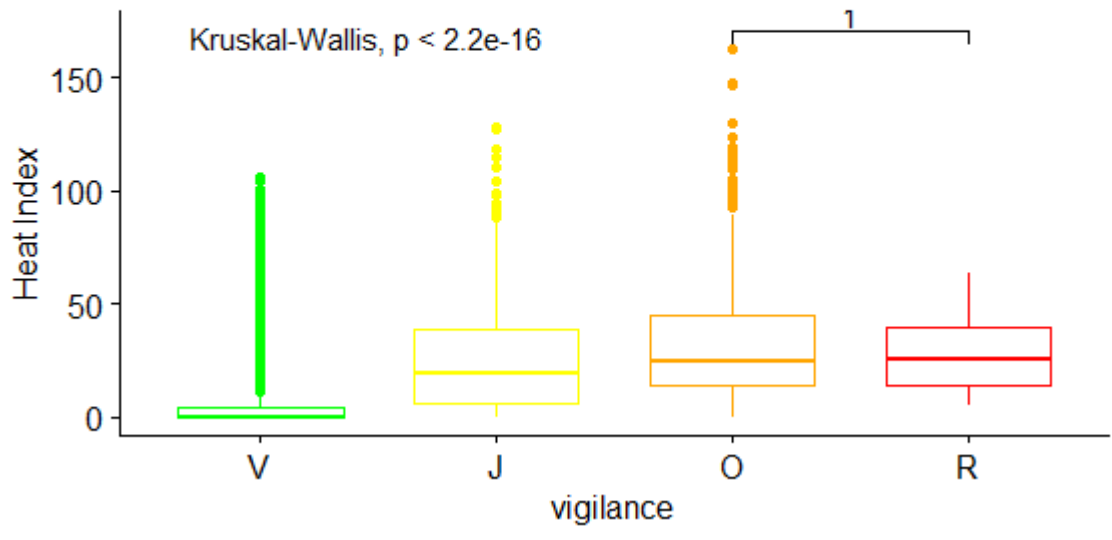


Figure 7 - Comparaison du Heat Index en fonction du niveau de vigilance.

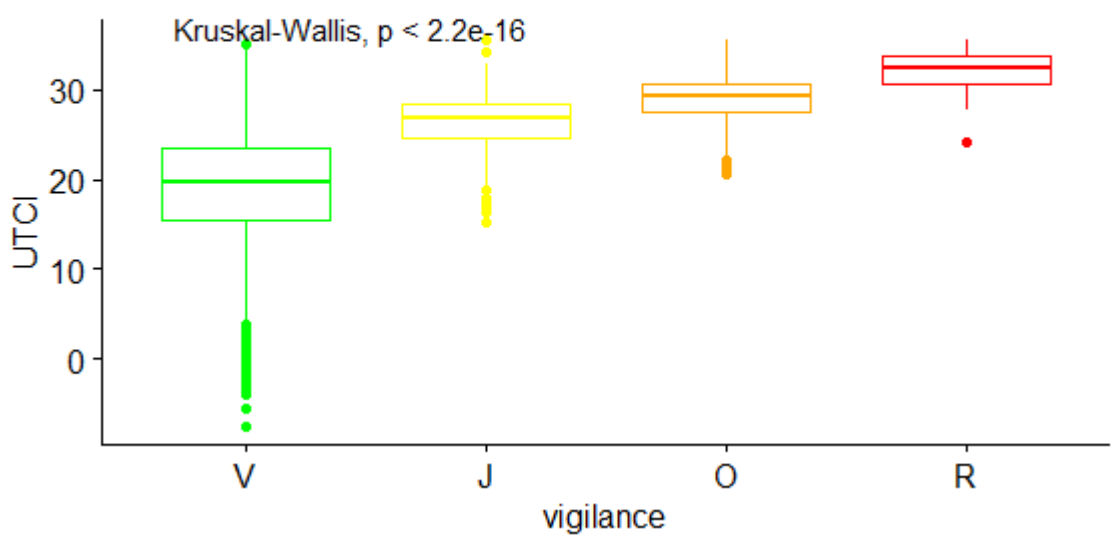


Figure 8 - Comparaison de l'UTCI en fonction du niveau de vigilance.

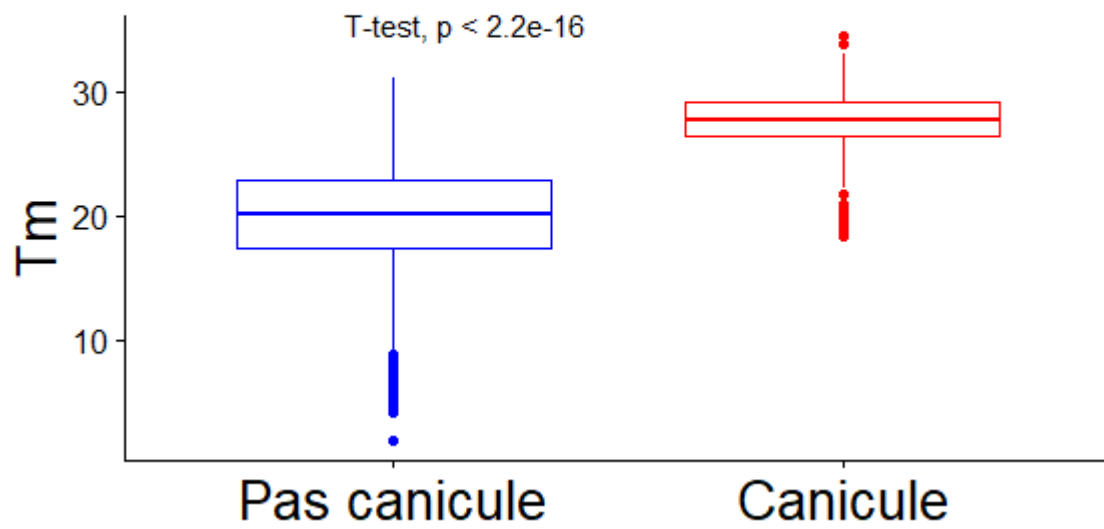


Figure 9 - Comparaison de la température en fonction de la présence ou non de canicule.

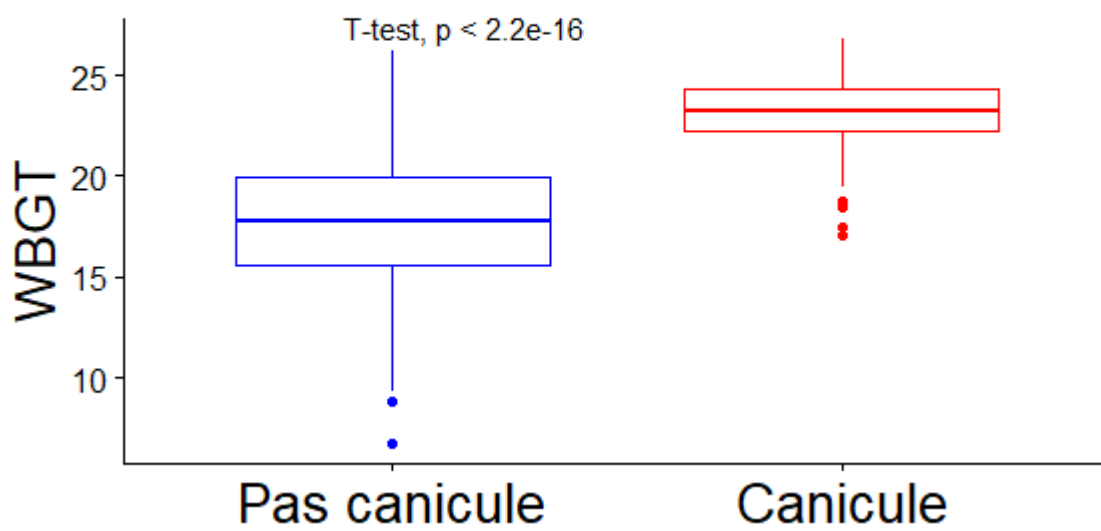


Figure 10 - Comparaison du WBGT en fonction de la présence ou non de canicule.

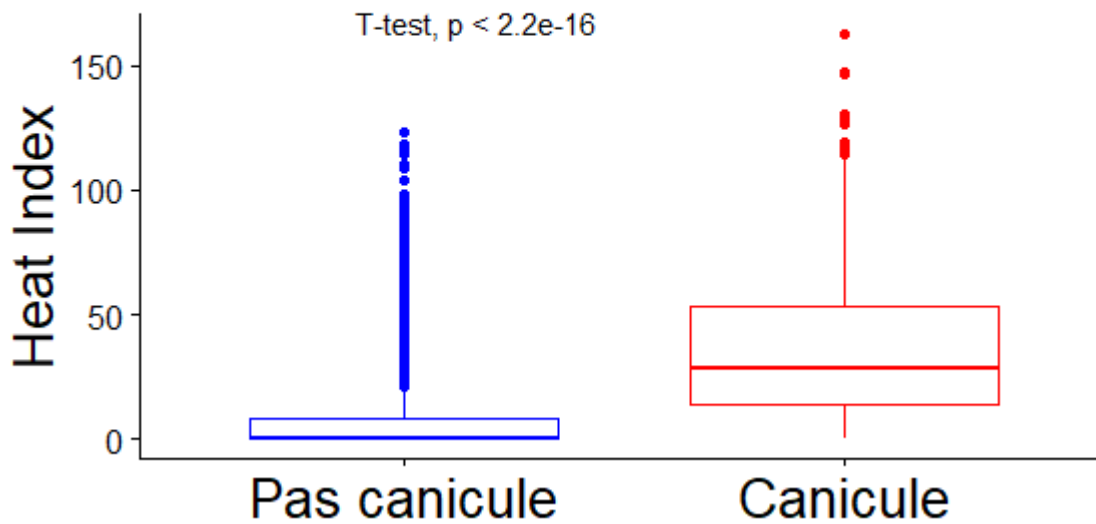


Figure 11 - Comparaison du Heat Index en fonction de la présence ou non de canicule.

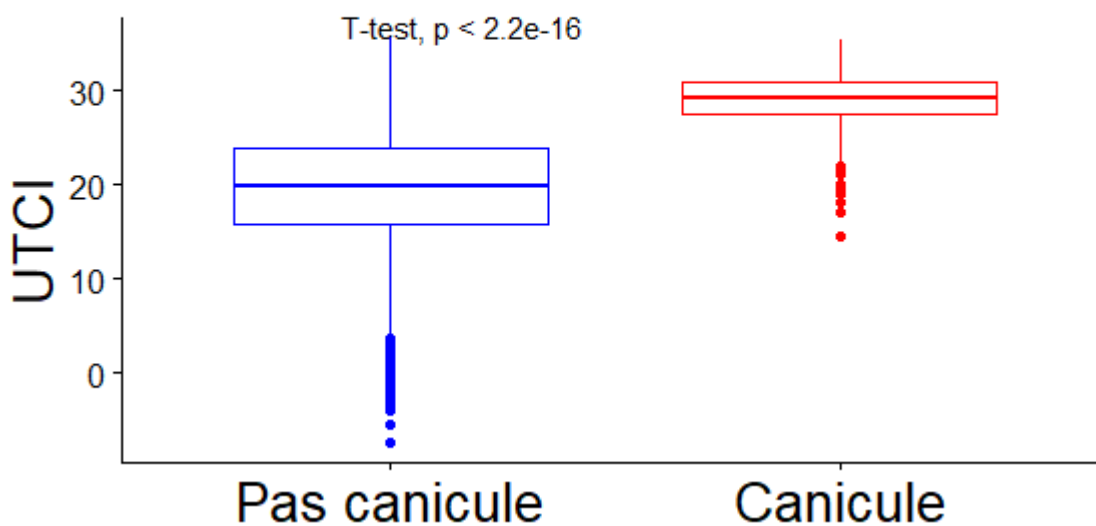


Figure 12 - Comparaison de l'UTCI en fonction de la présence ou non de canicule.

3.2.3. Analyse des passages aux urgences en France selon l'exposition

La Figure 13 montre les taux de passages aux urgences pour les 5 indicateurs sanitaire selon les classes d'âge divisés par tranches de 15 ans. Les hyperthermies sont distribuées de manière relativement homogène selon les âges, avec des taux les plus élevés avant 30 ans.

Les déshydratations, hyponatrémies et à moindre mesure les malaises sont marqués par une augmentation franche des taux à partir de 75 ans. Les taux de passages pour fièvre isolées sont eux très prononcé pour les individus de moins de 15 ans.

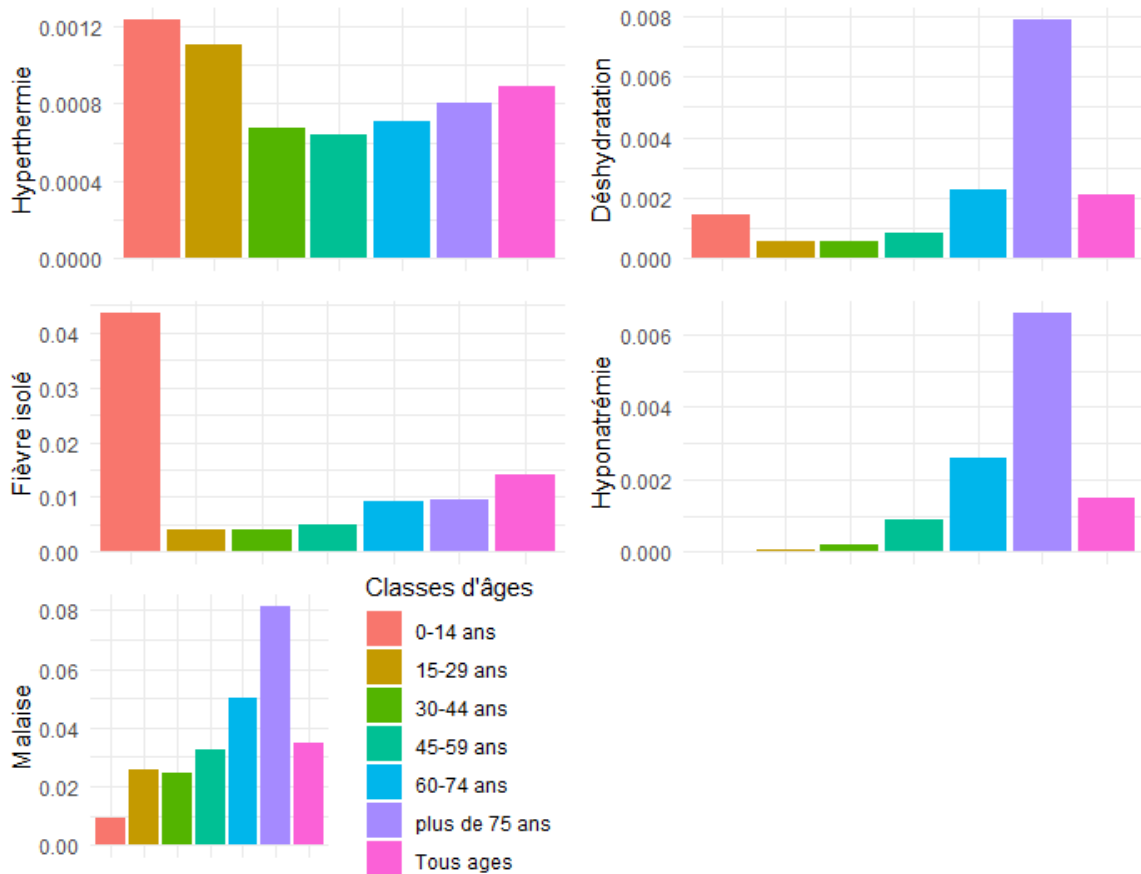


Figure 13 - Taux de passage selon les classes d'âges

La figure 14 montre une augmentation significative des taux de passage aux urgences pour hyperthermie lors de l'augmentation des niveaux de température, WBGT, UTCI et de *Heat Index*. Ces niveaux sont définis par les quartiles d'indicateur d'exposition. On voit en particulier que les jours ou les taux d'hyperthermie étaient les plus élevés correspondent à des jours ou les valeurs d'indicateur étaient les plus élevés. Le *Heat Index* étant souvent à 0 (plus de la moitié des valeurs sur toute la période), le premier niveau correspond à une valeur de 0.

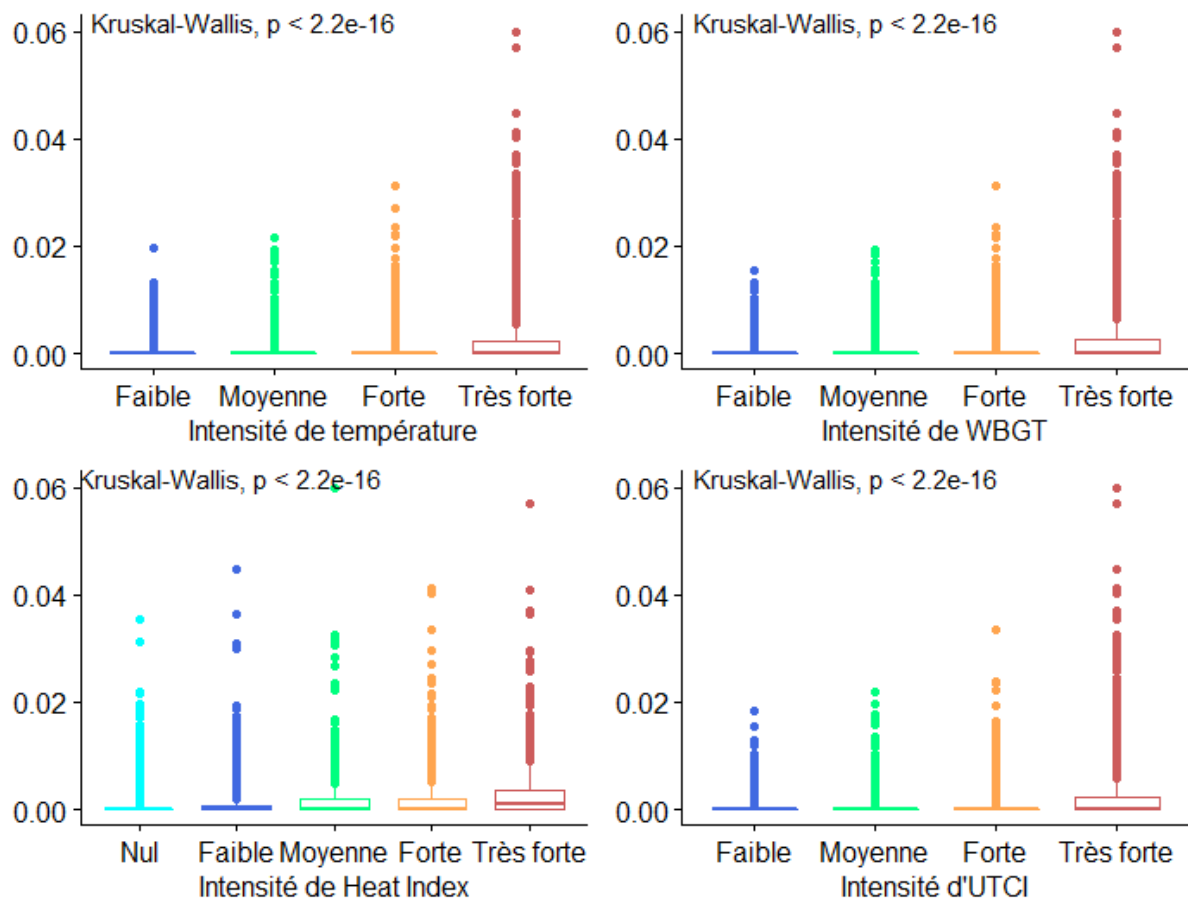


Figure 14 - Taux de passages pour hyperthermie selon les niveau d'exposition

L'annexe 8 montre aussi une augmentation significative des taux de passage aux urgences (pour déshydratation, fièvre isolée, hyponatrémie et malaise) lors de l'augmentation des niveaux de température, WBGT, UHCI et de *Heat Index*.

Le Tableau 2 associé à la figure 14 montre une augmentation des taux de passage moyen lorsque les niveaux d'indicateurs augmentent.

	Température				WBGT				
Intensité	Faible	Moyenne	Forte	Très forte	Faible	Moyenne	Forte	Très forte	
Taux de passage moyen pour hyperthermie (.10 ⁻⁵)	23	43	83	195	20	45	80	204	
Taux de passage médian pour hyperthermie (.10 ⁻⁵)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Taux de passage au 90^{ème} percentile pour hyperthermie (.10 ⁻⁵)	0	125	317	582	0	144	303	592	
	Heat Index					UTCI			
Intensité	Nul	Faible	Moyenne	Forte	Très forte	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Taux de passage moyen pour hyperthermie (.10 ⁻⁵)	44	124	162	177	260	22	46	81	198
Taux de passage médian pour hyperthermie (.10 ⁻⁵)	0	0	0	0	87	0	0	0	0
Taux de passage au 90^{ème} percentile pour hyperthermie (.10 ⁻⁵)	141	424	505	562	708	0	164	314	589

Tableau 2 - Taux moyen de passages aux urgences pour hyperthermie par quartile d'exposition

Le Tableau 3 représente les risques relatifs associés à chaque classes d'âges. L'association température-passages pour fièvre isolée dans la classe 60-74 ans n'est pas significative, mais toutes les autres associations avec la température sont significative pour les 5 indicateurs sanitaire pour toutes les classes d'âges. Le *Heat Index* présente plus de relations non significatives (NS) que les autres indicateurs. Il évolue aussi très peu selon les classes d'âges par rapport aux autres indicateurs. Les indicateurs sanitaires évoluant le plus selon l'âge sont

l'hyperthermie puis la déshydratation, les 3 autres indicateurs et surtout les malaises ne semblent pas varier selon les différentes classes d'âges. Les intervalles de confiance à 95% sont présents en Annexe 9.

L'analyse des taux d'incidence permet d'évaluer l'efficacité de chaque indicateur à prédire l'excès de risque de passage aux urgences. Ici on utilise donc une régression de Poisson ainsi que le risque relatif associé afin d'analyser la tendance des risques étudiés. Tous ces indicateurs permettent de mettre en évidence un risque significatif de passages aux urgences pour hyperthermie, malaise, hyponatrémie, déshydratation et fièvre isolée lors de périodes de fortes chaleur. L'association la plus importante est constaté avec le WBGT, puis avec la température. Elle semble décliner avec l'UTCI et le *Heat Index*. Il est important de ne pas comparer ces risques entre eux étant donné qu'ils sont spécifiques d'indicateurs ayant des unités différentes. Pour la température, une augmentation de 1°C se traduit par une augmentation de 27 % des taux de passage aux urgences pour hyperthermie.

<i>Classes d'âges</i>	<i>Risque relatif (Température)</i>				
	Hyperthermie	Malaise	Hyponatrémie	Déshydratation	Fièvre isolée
<i>0-14</i>	1,27	1,01	1,04	1,11	1,03
<i>15-29</i>	1,24	1,02	1,08	1,16	1,02
<i>30-44</i>	1,27	1,02	1,04	1,14	1,02
<i>45-59</i>	1,30	1,02	1,04	1,13	1,01
<i>60-74</i>	1,29	1,01	1,03	1,09	1,00 (NS)
<i>+75</i>	1,34	1,01	1,06	1,10	1,01
<i>Tous</i>	1,27	1,02	1,06	1,11	1,02

Tableau 3 - Risques relatifs de passage aux urgences selon la température et les classes d'âges

<i>Classes d'âges</i>	<i>Risque relatif (WBGT)</i>				
	Hyperthermie	Malaise	Hyponatrémie	Déshydratation	Fièvre isolée
<i>0-14</i>	1,35	1,02	1,06 (NS)	1,14	1,04
<i>15-29</i>	1,31	1,02	1,11	1,23	1,03
<i>30-44</i>	1,36	1,03	1,04	1,19	1,02
<i>45-59</i>	1,38	1,03	1,05	1,17	1,02
<i>60-74</i>	1,39	1,02	1,04	1,12	1,00 (NS)
<i>+75</i>	1,42	1,02	1,08	1,13	1,01
<i>Tous</i>	1,36	1,02	1,07	1,15	1,02

Tableau 4 - Risques relatifs de passage aux urgences selon le WBGT et les classes d'âges

<i>Classes d'âges</i>	<i>Risque relatif (UTCI)</i>				
	Hyperthermie	Malaise	Hyponatrémie	Déshydratation	Fièvre isolée
<i>0-14</i>	1,19	1,01	1,02 (NS)	1,07	1,02
<i>15-29</i>	1,16	1,01	1,05	1,12	1,02
<i>30-44</i>	1,19	1,01	1,03	1,09	1,01
<i>45-59</i>	1,21	1,01	1,03	1,08	1,01
<i>60-74</i>	1,20	1,01	1,02	1,06	1,00 (NS)
<i>+75</i>	1,23	1,01	1,04	1,07	1,01
<i>Tous</i>	1,19	1,01	1,04	1,07	1,01

Tableau 5 - Risques relatifs de passage aux urgences selon l'UTCI et les classes d'âges

<i>Classes d'âges</i>	<i>Risque relatif (Heat Index)</i>				
	Hyperthermie	Malaise	Hyponatrémie	Déshydratation	Fièvre isolée
<i>0-14</i>	1,02	1,00	1,00 (NS)	1,01	1,00
<i>15-29</i>	1,02	1,00	1,01	1,02	1,00
<i>30-44</i>	1,02	1,00	1,00 (NS)	1,02	1,00
<i>45-59</i>	1,02	1,00	1,00	1,02	1,00 (NS)
<i>60-74</i>	1,02	1,00	1,01	1,01	1,00 (NS)
<i>+75</i>	1,03	1,00	1,01	1,01	1,00
<i>Tous</i>	1,02	1,00	1,01	1,01	1,00

Tableau 6 - Risques relatifs de passage aux urgences selon le Heat Index et les classes d'âges

Pour chaque cause, les taux de passages aux urgences augmentent avec les niveaux de températures, de WBGT, d'UTCI et de *Heat Index* (Figure 15). Par soucis de lisibilité, seul les hyperthermies et les malaises sont représenté sur cette figure. La figure complète est présente en Annexe 10.

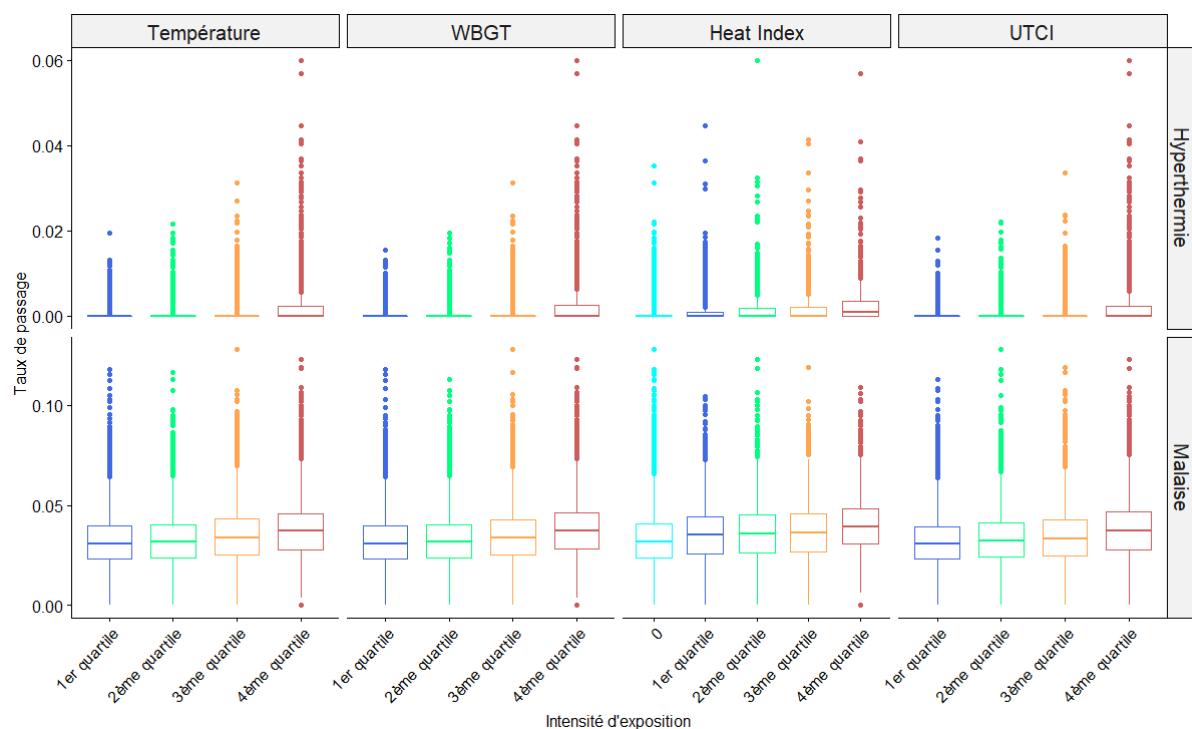


Figure 15 - Taux de passages pour hyperthermie et malaise selon les quartiles de distribution de 4 indicateurs d'exposition.

Il est nécessaire de calculer les risques relatifs pour une augmentation standardisée d'exposition afin de pouvoir comparer les indicateurs entre eux. En effet, chaque indicateur présentant une métrique différente, les risques relatifs associés à chacun d'eux ne sont pas directement comparables. Il a donc été choisi de calculer les risques relatifs pour une augmentation de l'exposition correspondante à l'IQR. L'hyperthermie, l'hyponatrémie et la déshydratation mettent en avant un risque élevé de passages aux urgences pour une augmentation de l'IQR de chaque indicateur d'exposition (Tableau 7).

Toutes les associations sont significatives, mais les valeurs du *Heat Index* sont biaisées car ses valeurs sont égales à 0 pour plus de la moitié d'entre elles, l'IQR et les risques relatifs ont donc été calculés sur les observations positives du *Heat Index* (5 236 observations contre 17 079 pour les trois autres indicateurs). Le risque de passages aux urgences pour les 5 causes

est similaire selon si l'exposition est caractérisée par la température moyenne (Tm), le WBGT ou l'UTCI. Une différence notable se retrouve pour les hyperthermies où l'UTCI va exprimer le risque de manière plus prononcée que le WBGT. Le *Heat Index* exprime le risque de manière beaucoup plus modéré que les 3 autres indicateurs, même lorsque seul les observations positives sont prises en compte. Le tableau spécifiant les résultats par classes d'âge est présent en Annexe 11.

	IQR	RR calculé pour une augmentation d'exposition correspondant à l'IQR				
		Hyperthermie	Hyponatrémie	Déshydratation	Fièvre isolée	Malaise
Tm	5,7	3,97 [3,82 – 4,13]	1,36 [1,32 – 1,40]	1,82 [1,77 – 1,86]	1,11 [1,10 – 1,12]	1,11 [1,10 – 1,11]
WBGT	4,4	3,81 [3,67 – 3,95]	1,35 [1,32 – 1,39]	1,82 [1,77 – 1,86]	1,11 [1,10 – 1,12]	1,11 [1,10 – 1,12]
UTCI	8,3	4,22 [4,01 – 4,43]	1,34 [1,30 – 1,37]	1,79 [1,74 – 1,84]	1,12 [1,10 – 1,13]	1,09 [1,08 – 1,10]
Heat Index	8,7	1,22 [1,21 – 1,23]	1,07 [1,07 – 1,08]	1,13 [1,12 – 1,13]	1,02 [1,02 – 1,03]	1,03 [1,03 – 1,03]
Heat Index > 0	24,5	1,38 [1,33 – 1,44]	1,15 [1,11 – 1,18]	1,29 [1,25 – 1,32]	1,04 [1,02 – 1,05]	1,06 [1,05 – 1,07]

Tableau 7 - Risque relatif pour chaque indicateur sanitaire en fonction d'une augmentation d'exposition correspondante à l'IQR des 4 indicateurs d'exposition

3.2.4. Analyse des passages aux urgences en France selon l'état de canicule

La distribution selon les classes d'âges est similaire en canicule que pour toute la période d'étude

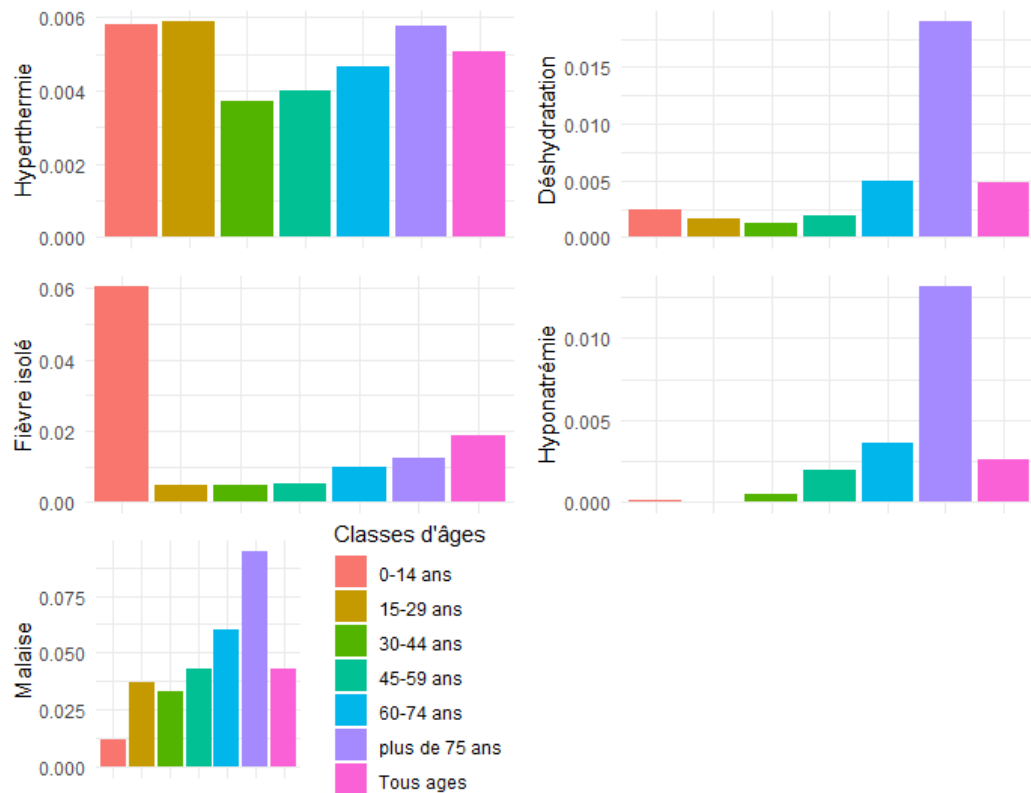


Figure 16 - Taux de passage en période canicule selon les classes d'âge

Pour tous les indicateurs sanitaires testés, il y a une augmentation significative des taux de passages selon l'état de canicule. On remarque que les taux les plus élevés ne sont pas forcément présents en période canicule mais on voit souvent une médiane et un 3^{ème} quartile augmentés pour les taux de passage lors de période canicule.

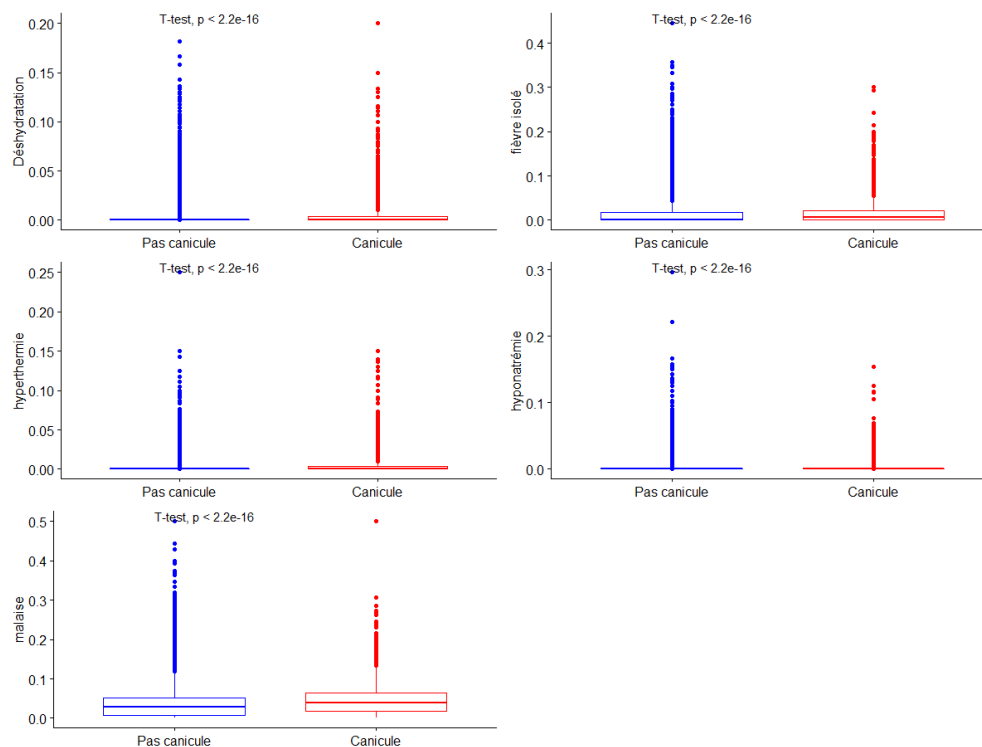


Figure 17 - Taux de passage selon l'état de canicule

Le Tableau 8 représente les RR des taux de passages aux urgences selon l'état de canicule pour chaque classe d'âge. Hormis pour les fièvres isolées chez les 30-59 ans, toutes ces mesures d'associations sont significatives. Parmi les 5 indicateurs retenus, les 3 causes de passages aux urgences les plus à risque lors de canicule sont bien celles composant l'indicateur iCanicule. Cet indicateur sanitaire composite regroupe les hyperthermies, déshydratations et hyponatrémies issues des services d'urgences pour le système d'alerte canicule et santé (Sacs). L'hyperthermie est l'indicateur le plus sensible au passage en état de canicule avec des risques relatifs plus de deux fois plus élevés que tous les autres indicateurs sanitaires pour toutes les classes d'âge. L'analyse par classes d'âge montre une augmentation progressive des risques d'hyperthermie avec l'âge. Pour les autres indicateurs, le risque lié à l'état de canicule est relativement homogène à travers les différentes classes d'âge.

Classes d'âges	Risque relatif [Intervalles de confiance]				
	Hyperthermie	Malaise	Hyponatrémie	Déshydratation	Fièvre isolée
0-14	4,86 [4,72 – 5,00]	1,22 [1,15 – 1,29]	2,01 [1,10 – 2,92]	1,52 [1,34 – 1,70]	1,31 [1,28 – 1,35]
15-29	4,69 [4,54 – 4,83]	1,29 [1,24 – 1,33]	1,92 [1,15 – 2,70]	2,62 [2,41 – 2,84]	1,17 [1,06 – 1,28]
30-44	5,09 [4,90 – 5,28]	1,24 [1,19 – 1,29]	1,51 [1,04 – 1,98]	2,04 [1,77 – 2,31]	1,10 [0,97 – 1,22]
45-59	6,06 [5,85 – 6,27]	1,22 [1,19 – 1,27]	1,90 [1,68 – 2,12]	2,52 [2,31 – 2,74]	1,08 [0,95 – 1,20]
60-74	7,38 [7,17 – 7,59]	1,16 [1,12 – 1,21]	1,42 [1,24 – 1,59]	2,42 [2,26 – 2,57]	1,18 [1,08 – 1,28]
+75	10,05 [9,87 – 10,23]	1,16 [1,13 – 1,19]	1,99 [1,90 – 2,08]	2,68 [2,76 – 2,60]	1,44 [1,53 – 1,35]
Tous âges	5,73 [5,64 – 5,82]	1,20 [1,17 – 1,22]	1,80 [1,72 – 1,87]	2,37 [2,30 – 2,44]	1,29 [1,26 – 1,33]

Tableau 8 - Risque relatif des passages aux urgences pendant les canicules et selon les classes d'âges

La Figure 18 montre une augmentation significative des taux de passages pour tous les indicateurs sanitaires lorsque le niveau de vigilance météorologique augmente. Visuellement, on voit une augmentation franche lors du passage en vigilance rouge pour les hyperthermies et une augmentation progressive selon les vigilances pour les malaises.

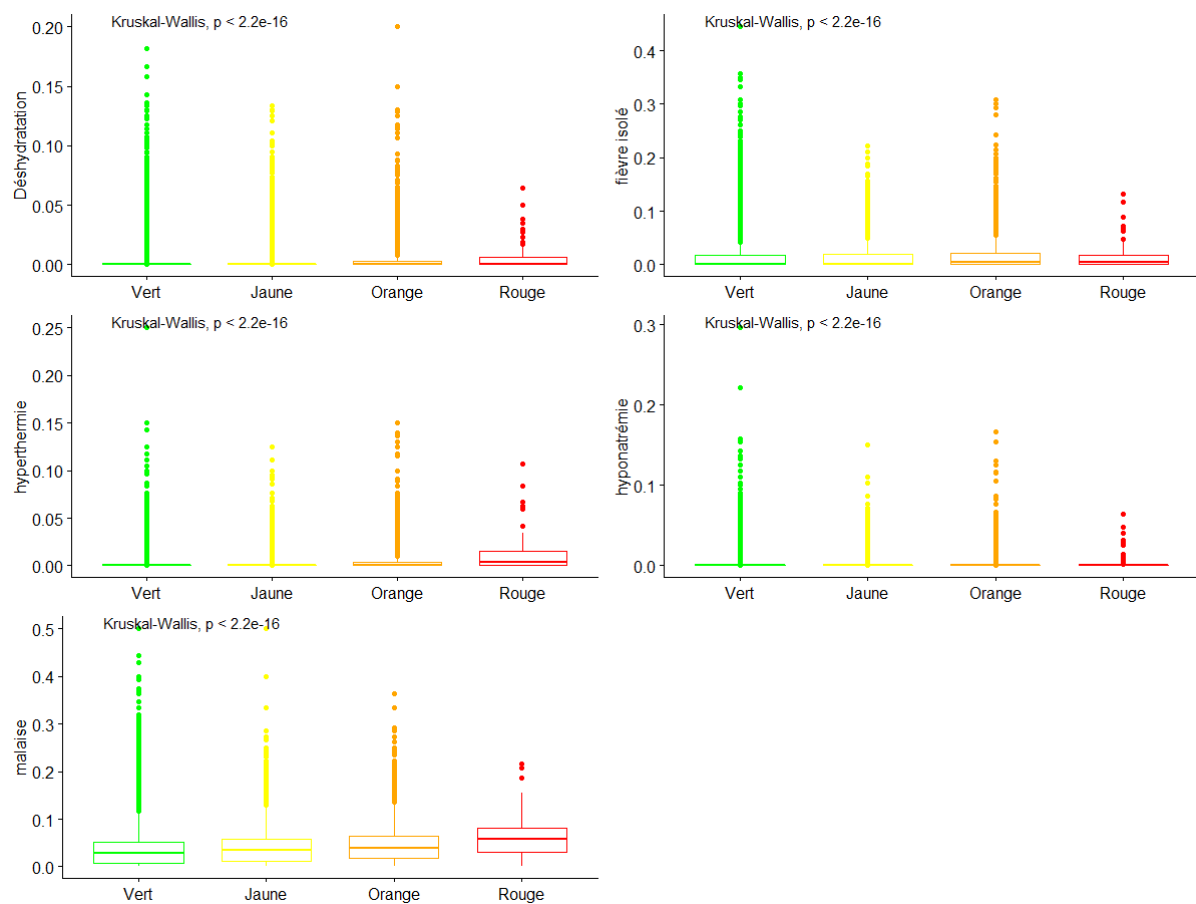


Figure 18 - Taux de passage selon la vigilance

3.2.5. Application des seuils de WBGT proposés aux JO de Tokyo

Pour les JO de Tokyo 2021, des seuils de WBGT ont été fixés par la *Japanese Society of Biometeorology* afin de sécuriser la pratique sportive (80) avec 5 niveaux de recommandation en fonction de la valeur du WBGT (Annexe 12). Nous avons donc cherché à évaluer la pertinence d'application de ces seuils par rapport aux passages aux urgences pour hyperthermie en France. La Figure 19 montre que peu de jours dépassent le seuil jaune compris entre 25 et 28°C (WBGT). Si ce seuil est majoritairement dépassé les 2 dernières années (2018 et 2019), aucune journée pour aucune des 33 stations n'a dépassé le seuil orange fixé à 28°C.

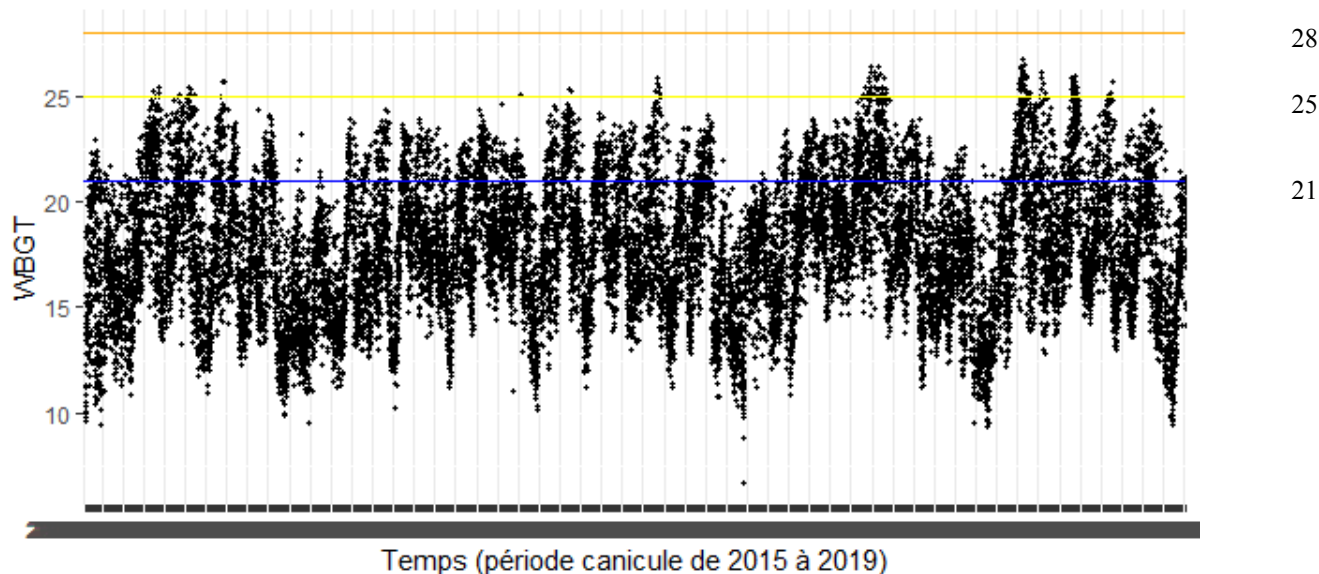


Figure 19 - Seuils des JO de Tokyo par rapport au WBGT en France entre 2015 et 2019 en période d'alerte canicule.

La description de l'évolution du WBGT en France sur la période canicule par rapport aux seuils des JO de Tokyo met en évidence une application peu optimale de ces recommandations. Aucun jour entre 2015 et 2019 n'a dépassé le seuil de WBGT de 28°C.

Une centaine de jours dépasse le seuil de 25°C (majoritairement en 2018 et 2019) et 3 069 dépasse le seuil des 21°C.

Seuil de WBGT	Recommandation	Nombre de jours dépassant le seuil	Nombre de jours moyen par an par station
21-25°	Mise en garde avec des risques lors d'activité à fort demande énergétique.	3069	18,6
25-28°	Attention avec suggestion de temps pause et d'hydratation.	112	0,7
+28°	Attention renforcée des pratiques intenses, avec une suggestion de ne pas pratiquer de sport d'endurance.	0	0

Tableau 9 - Recommandations de la Japanese society of Biometeorology selon le WBGT (80).

La Figure 20 montre une différence significative de taux de passage aux urgences selon le seuil de WBGT utilisés.

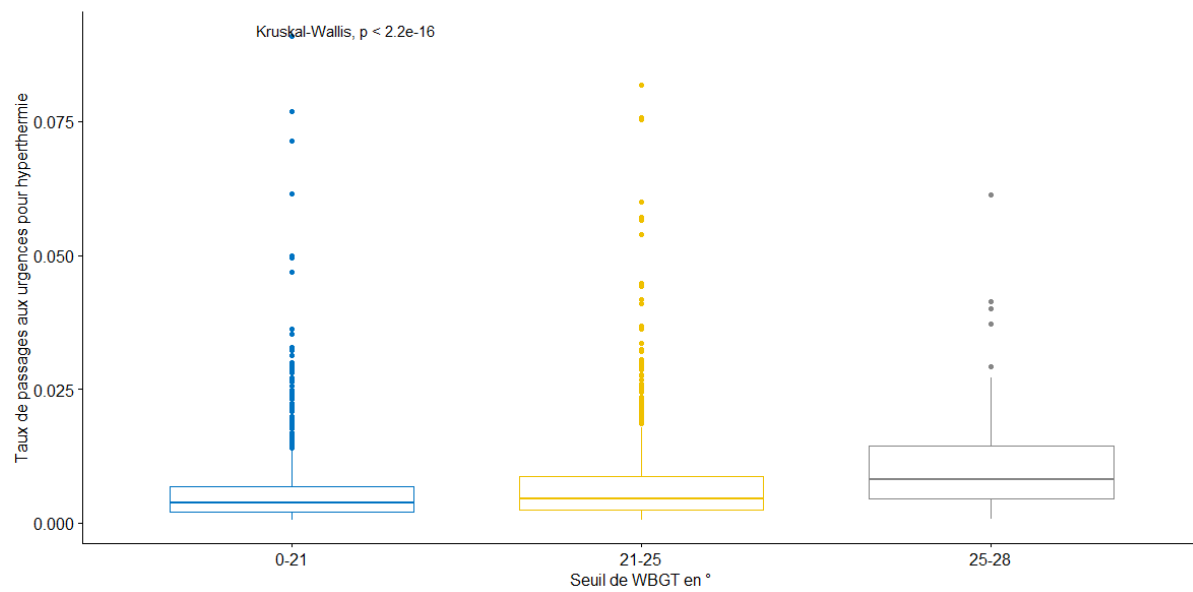


Figure 20 - Comparaison des taux de passage aux urgences pour hyperthermie en fonction du seuil de WBGT.

3.3. Typologie des pratiques

3.3.1. Baromètre national des pratiques sportives 2018 :

Dans ce baromètre (33), 4 061 individus de plus de 15 ans ont été interrogés sur la France, les échantillons sont stratifiés par région avec au moins 200 personnes interrogées dans chaque territoire. Les différents sports sont regroupés en univers et il est mis en évidence que celui de la course et la marche est le plus pratiqué (Annexe 13). C'est également l'univers qui fait le plus l'unanimité car il est le plus pratiqué quel que soit le sexe (homme ou femme) et la catégorie d'âge (supérieur ou inférieur à 40 ans). L'activité la plus souvent déclarée, à savoir la randonnée pédestre (23 % de pratiquants), s'avère particulière dans la mesure où elle est quasiment autant pratiquée par les deux sexes et sa pratique croît avec l'âge. Mis à part la course et la marche, le niveau de pratique est quasiment divisé par deux après 40 ans (passant par exemple de 32 % à 16 % pour les activités de la forme et de la gymnastique). L'univers des sports collectifs est particulièrement délaissé à partir de 40 ans (22 % avant 40 ans, 4 % ensuite).

Le deuxième univers le plus prisé est celui des activités de forme et de la gymnastique, avec une proportion près de deux fois moindre que celle de l'univers de la marche à pied/footing. Au sein de cet univers, les pratiques sont très diversifiées et aucune ne réunit 10 % de la population. C'est le seul univers particulièrement prisé par les femmes, les autres univers sportifs étant systématiquement plus déclarés par les hommes.

Le cadre de prédilection pour faire du sport est le plein-air (47 %, dont 36 % en milieu naturel et 11 % en plein-air en ville). 29 % pratiquent principalement dans une installation sportive et 18 % à la maison.

Ces dernières années, il y a eu un développement de disciplines sportives naissantes particulièrement appréciées par les jeunes actifs comme le *power stretching*, le gainage, le yoga ou encore le pilates que l'on peut pratiquer seul à la maison. En terme de cadre, la plupart des sports se pratiquent soit seul soit à plusieurs sauf la randonnée et le vélo qui se pratiquent autant seul qu'à plusieurs. La pratique est inégale selon les populations : les plus âgés, les peu diplômés, les bas revenus et dans une moindre mesure les femmes et les personnes résidant hors des grandes agglomérations ont moins souvent une pratique sportive.

3.3.2. Typologie des sports

Le Tableau 10 résume les analyses qualitatives de risques pour différents sports (le tableau complet est disponible en Annexe 14). Les sports à haute intensité d'exercice (MET élevé) présentant le plus de risques liés à la thermorégulation dans cette description sont le cyclisme, la danse, le hockey, le roller, le badminton, le handball, les arts martiaux, la course à pied et le football.

Sport					Facteurs de risques inhérents à la pratique / chaleur			
	Durée d'effort	Intensité d'exercice (à partir du compendium)	Equipement lourd	Seul (S) /Collectif (C)	Mouvements d'air	Ombre	Possibilité de boire	Intérieur (I) Extérieur (E)
Cyclisme routes	1-4h	>10 MET	Casque	S	++	-	+	E
Course à pied longue distance	1-4h	>10 MET		S	+	-	+	E
Badminton	1-2h	5-7,5 MET		C	-		+	I
Basketball	1-2h	7,5-10 MET		C	-		+	I
Golf	1-2h	<5 MET		C	-	-	+	E
Escrime	<1h	5-7,5 MET	Protections	C	--		+	I
Football Américain	1-2h	7,5-10 MET	Protections	C	+	-	+	E
Randonnée	1-8h	7,5-10 MET		S	-	+	+	E

Tableau 10 - Typologie des sports.

Cette typologie est construite pour expliciter les types de pratiques sans considération des caractéristiques de la population (âge, vulnérabilités...). Les populations classiquement vulnérables à la chaleur (personnes âgées, jeunes enfants, personnes souffrant de pathologies chroniques) demeurent à risque accru. Les études ne permettent pas de mettre en évidence un risque plus fort pour les hommes que pour les femmes. Par contre, elles soulignent un risque accru pour les personnes jeunes et en bonne santé (risque lié à une sur-motivation potentielle).

3.3.3. Entretien avec les fédérations

Certaines pratiques sont très encadrées, comme la plupart des disciplines d'athlétisme et les arts martiaux, alors que d'autres le sont beaucoup moins, comme pour la course à pied ou la force athlétique. Certaines pratiques en club, donc encadrées, souffrent du manque de

sensibilisation aux risques thermiques (comme en athlétisme). Les sportifs de haut niveau eux sont mieux sensibilisés quel que soit le sport notamment sur les aspects d'acclimatation, de stratégies de refroidissement ou sur les modifications de pratiques en lien avec la chaleur. Pour les sports d'intérieur à haut niveau, le problème ne se pose pas car les salles sont climatisées au besoin.

D'autres démarches existent dans les clubs de certains sports (golf, cyclisme) avec notamment des brochures d'informations lors d'une nouvelle ou d'un renouvellement de licence. Les professeurs ou entraîneurs fédéraux sont aussi formés aux gestes et soins d'urgence et peuvent donc agir s'ils reconnaissent un malaise ou coup de chaleur. Les inconvénients de ces formations sont qu'elles ne sont pas adaptées à chaque discipline sportive, et elles ont lieu une seule fois lors des brevets d'enseignement, il y a donc un manque de formation continue. La fédération de cyclisme est en cours de démarche pour développer une formation de secourisme spécifique aux entraîneurs de vélo. Certaines pratiques, notamment la plupart des compétitions officielles et des certifications de haut niveau demandent un certificat médical.

Toutes les fédérations identifient le risque de déshydratation associé à la chaleur. Ce risque tente d'être contrôlé par l'incitation à une bonne hydratation et à l'adaptation des séances en cas de fortes chaleurs par certains éducateurs, c'est aussi le risque le plus connu des pratiquants du fait de ces recommandations. Le coup de chaleur est aussi presque toujours cité comme l'événement le plus grave pouvant être associé à la chaleur. Il présente des facteurs de risque et protecteur dépendant notamment des pratiques sportives et du type de population pratiquante. La fédération d'athlétisme spécifie que ce risque est également

valable lors des échauffements et lors de l'attente avant de performer (par exemple lors des disciplines de lancer et de sauts).

Les risques liés à l'augmentation de blessures musculaire et tendineuse sont également mis en avant par deux fédérations différentes.

Les facteurs de risque ou protecteur sont liés à la typologie des pratiques et sont donc spécifiés par fédérations :

- Force : risque limité par une pratique intérieure. Les pratiquants âgés sont ceux adoptant le moins les réflexes d'hydratation alors que ce sont les populations les plus à risques, il y a donc une vigilance particulière de cette population en clubs.
- Athlétisme : la durée de l'effort et de l'exposition ainsi que l'humidité qui accompagne la chaleur sont pour eux les facteurs jouant le plus. Pour les coureurs, les distances les plus à risque sont le 5 000 et 10 000 mètres. D'une part c'est la distance qui croise durée et intensité d'effort la plus à risque. D'autre part, les marathoniens sont plus éduqués au risque de déshydratation alors qu'au 5 000 mètres, il est difficile de s'arrêter pour boire car la performance se joue à la seconde.
- Golf : le risque est surtout inhérent à la condition physique, notamment cardiovasculaire des pratiquants. L'exposition au soleil paraît donc être le facteur le plus aggravant.
- Judo : ici, l'interlocuteur était le médecin des équipes professionnel donc les facteurs de risque sont mieux contrôlés qu'en pratiques générales.
- Aïkido : la tenue vestimentaire est un vrai problème car elle pèse 3 kilogrammes à sec (jusqu'à 5 kilogrammes en fin d'entraînement) et elle ne permet pas d'aller aux

toilettes, ce qui aboutit, particulièrement chez les femmes, à une diminution voire une absence d'hydratation. L'hydratation est aussi bridée par la tradition inhérente au sport, tradition défendue par une partie des enseignants. Un autre facteur de risque est que les dojos, même les plus neufs, manquent de ventilations (souvent peu ou pas de fenêtre permettant une bonne circulation d'air).

- Cyclisme : Augmentation de charge thermique largement atténuée par les mouvements d'air (vitesse allant jusqu'à 40km/h). La déshydratation est limitée par la possibilité de s'hydrater à tout moment lors des pratiques. Le risque va aussi dépendre du chemin, du terrain, de l'horaire, de la vitesse de course, des points d'hydratation et du niveau des coureurs.

Toutes les fédérations s'accordent à dire que les performances sportives sont augmentées avec la chaleur jusqu'à un certain degré qui va dépendre des pratiques et sont intéressées pour approfondir le sujet dans notre contexte d'augmentation de la durée et de la fréquence des vagues de chaleur. Aucune des fédérations interrogées ne rapporte de règlement relatif à une modification de pratique lors de fortes chaleurs. Seuls les arrêtés préfectoraux peuvent suspendre un événement ou une pratique sportive.

4 - Discussion

4.1. Principaux enseignements de la revue de littérature

4.1.1. Une littérature peu fournie et disproportionnée

La littérature scientifique traitant du risque thermique lors d'activité sportive est limitée, avec seulement 42 études épidémiologiques identifiées, et une grande hétérogénéité des méthodes utilisées.

On observe aussi une dyssymétrie de publication avec plus de la moitié des articles concernant les États-Unis, et quasiment aucune en Europe. L'absence d'études en France traduit un manque de données nationales. Il y a un faible nombre d'études et de systèmes de surveillance dans des zones où le climat et le système de santé est similaire au notre. On note aussi un focus sur le football américain dans la littérature. Il s'agit d'un sport particulièrement à risque de par son équipement et son intensité d'effort, mais la typologie des pratiques montre que d'autres sports potentiellement à risque pour des raisons similaires ne sont pas étudiés (par exemple l'escrime, les arts martiaux...). Le football américain est très peu pratiqué en France (33).

On note enfin une faible qualité des études publiées, avec peu d'études étiologiques, peu de comparaison de différents indicateurs météorologiques, un faible contrôle sur les facteurs de risques possible, et une faible diversité des populations prises en compte... Certaines pathologies graves ne sont pas du tout étudiées, comme la rhabdomyolyse induite à l'exercice. Comme pour d'autres effets de santé dus à l'effort, les rhabdomyolyses dépendent

de la condition physique, de la durée, de l'intensité et du type d'effort, de la prise de protéine, mais aussi de l'environnement (81, 82). En milieu professionnel, les athlètes exposés à de fortes chaleurs extérieures lors d'activités longues paraissent plus susceptibles de développer une rhabdomyolyse induite à l'exercice, particulièrement s'ils ont un manque de sodium et d'hydratation. L'addition de déshydratation, d'hypovolémie et de désordre électrolytique induit le développement de rhabdomyolyse due à l'exercice pouvant aller jusqu'à l'insuffisance rénale aiguë.

Il y a donc un manque important de données dans la littérature sur les aspects relatifs aux effets de la chaleur sur la santé des populations dans un contexte de pratique sportive, notamment dans des zones climatiques et pratiques sportives proches du contexte français et avec un système sanitaire équivalent.

4.1.2. La chaleur a des conséquences graves lors de la pratique sportive

L'analyse de la littérature met en avant la gravité des risques pour la santé lors d'une activité physique en période de fortes chaleurs. Aux Etats-Unis, en Australie et en Chine, des décès sont rapportés chaque année (38, 39, 47, 60, 70). On note également un risque élevé de passages aux urgences, particulièrement chez les jeunes (35, 62, 66).

La pathologie de chaleur à l'exercice la plus rapportée est la crampe à l'exercice, qui est aussi la moins grave sur le continuum des symptômes.

A l'opposé du continuum, le coup de chaleur à l'exercice est rare mais a souvent des conséquences graves allant de la dysfonction d'organe (hépatique et/ou rénale), à des séquelles neurologiques, susceptible de conduire au décès (78). Les coups de chaleur à l'exercice sont des événements de santé pouvant systématiquement être prévenus dans la

mesure où ils dépendent de l'activité du sujet. Il est donc important de sensibiliser la population sportive à ce risque.

4.1.3 Un risque inégal dans la population

Les sports élevant le plus la charge thermique, comme la course à pied longue distance et la randonnée, sont les sports les plus pratiqués en France, quels que soient l'âge et le sexe. Cependant, c'est avant tout l'excès d'effort dans sa durée et/ou son intensité en regard de la condition physique qui amène les sportifs à se mettre en danger vis-à-vis du risque thermique.

Les études mettent en évidence deux populations particulièrement à risque : les jeunes pratiquants faisant preuve d'une motivation excessive, et les plus âgées, sensible à une exposition excessive à la chaleur, notamment dans le cadre de leur pratique sportive. Les impacts sur la santé sont en grande partie les mêmes (déshydratations, coups de chaleur...) mais la gravité dépend du type de pratique physique et des facteurs de risque. Par exemple, le risque d'exacerbation cardio-vasculaire est majoritairement présent chez les personnes âgées.

En revanche, la littérature ne permet pas de conclure sur la différence de réponse au stress thermique selon le sexe.

4.1.4 Une exposition difficile à caractériser

Plusieurs indicateurs d'expositions sont utilisés, la température paraît être l'indicateur de choix, c'est l'indicateur le plus simple d'utilisation car disponible et révélateur d'augmentation de risques. En revanche, son utilisation dans certains cas particuliers est discutable, notamment lors d'exercices physiques appelant à une augmentation de charge thermique corporelle importante. De même lors de longues durées d'exposition et de pratique, ou pour les sports nécessitant un équipement important. Enfin, la thermorégulation

lors de l'exercice étant principalement effectuée par la transpiration, la température interne va aussi dépendre des mouvements d'air. Le WBGT est aussi très utilisé, notamment dans les règlements de report ou annulation d'événements sportifs. Il est plus spécifique que la température car prend en compte plus de paramètres, mais sa complexité de calcul et son utilisation spécifique rend ses résultats peu parlant pour le grand public. D'autre part, il n'a pas montré de supériorité par rapport à la température en terme d'association avec les événements de santé relatifs à la chaleur lors d'exercice. Certains indicateurs plus récents paraissent mieux correspondre au modèle physiologique mais peu d'études ont pu étayer leur efficacité.

Une autre manière d'estimer l'exposition est l'échelle de Borg : comme l'échelle visuelle analogique pour la douleur, cette mesure de perception d'effort essaye de quantifier le niveau d'effort du point de vue de celui qui le fournit sur une échelle de 6 à 20 (83), c'est donc le sujet lui-même qui estime la difficulté de son effort.

4.1.5 Il existe plusieurs paramètres permettant de réduire le risque

La littérature permet d'identifier plusieurs facteurs intrinsèques liés à la thermorégulation qui vont favoriser ou prévenir l'occurrence des coups de chaleur à l'effort. Les plus importants sont l'hydratation et l'acclimatation (71, 84).

L'hydratation joue un rôle primaire lors de la thermorégulation, en permettant une bonne circulation sanguine, favorisant ainsi les pertes de chaleur (85). Lorsque la déshydratation accompagne l'hyperthermie, on observe un débit cardiaque diminué (86). En pratique, une déshydratation de 2 à 3% de la masse est fréquente, or la sensation de soif ne vient qu'après

la perte de 5%. Ces éléments aboutissent à une diminution de la circulation cutanée et du taux de sueur lors d'un exercice, induisant un plasma hyperosmolaire et hypovolémique (87, 88). Une bonne hydratation est dès lors essentielle. Au travers des entretiens réalisés avec les fédérations, ce levier de prévention semble bien identifié par les fédérations et la population générale y est également sensibilisée dans le cadre des périodes de fortes chaleurs l'été, mais pourrait faire l'objet de davantage de sensibilisation auprès des pratiquants et des encadrants.

L'acclimatation, qui consiste à s'habituer progressivement à la chaleur via l'entraînement, commence au bout de quelques jours et devient presque complète après 2 semaines. Elle permet au corps de s'habituer à des conditions différentes en optimisant la thermorégulation, notamment en augmentant la sudation lors d'un effort (89), et la capacité à supporter une perfusion élevée de la peau en condition de stress cardiovasculaire (90, 91). Les changements physiologiques sur la fréquence cardiaque et la température corporelle sont visibles jusqu'à un mois après l'acclimatation (92). Enfin, l'acclimatation augmente la sudation totale et diminue le taux de sodium dans la sueur, donc prévient des pertes sodiques responsables d'hyponatrémies (93). La littérature met en avant le rôle central de l'acclimatation et de la condition physique dans l'apparition d'hyperthermie à l'effort. En effet, la plupart des incidents ont lieu lors des premiers jours d'entraînement de l'année, lors d'un effort long et/ou chez des gens non habitués à ce type d'effort dans ces conditions. En revanche, la durée d'effort n'est pas proportionnelle avec la fréquence ou l'intensité des pathologies de chaleur à l'exercice : c'est la charge thermique intrinsèque à l'individu qui va induire un déséquilibre métabolique et donc un effet de santé (37, 41).

L'acclimatation devient un enjeu de plus en plus important avec les changements climatiques actuels, notamment l'augmentation du nombre de jours avec des conditions de chaleur

extrêmes, et une aggravation de ces conditions (94). Elle est très utilisée en sport de haut niveau, mais peu rapportée dans les entretiens réalisés avec les fédérations pour les amateurs.

L'acclimatation va de pair avec la condition physique du sujet. D'autre part, l'hyponatrémie est plus susceptible d'arriver chez des sportifs occasionnels, car leur manque d'entraînement va les obliger à boire plus pour compenser leur thermorégulation moins efficace que les athlètes. En effet, les sportifs entraînés vont avoir un volume plasmatique augmenté, cette adaptation est une des plus rapides à se mettre en place et dure jusqu'à 3 semaines. Par la suite, elle leur permettra une meilleure perte de chaleur par convection et une transpiration plus importante. Les athlètes entraînés supportent donc des niveaux de déshydratation plus élevée (18).

Un autre facteur déterminant est la quantité d'effort que va fournir le sportif. En effet, la charge thermique augmente lors de l'exercice : 20 fois plus d'énergie est produite lors d'une activité maximale, dont 75% est converti en chaleur (16). On retrouve un risque augmenté dans les sports demandant une activité en aérobie intense et soutenu. Cet enjeu semble bien identifié lors des entretiens avec les fédérations, qui mettent en avant la possibilité de réduire l'effort physique nécessaire. Le risque d'excès inverse pour tester ses limites a toutefois été mentionné dans les entretiens.

L'habillement, souvent dans une démarche de sécurisation de la pratique (casque de cyclisme) ou dans un contexte artistique (danse) va limiter l'efficacité de thermorégulation par évaporation.

Concernant l'environnement, la pratique à l'ombre se traduit par une exposition moins importante aux radiations solaire et donc une augmentation moins importante de la charge thermique.

L'optimisation des infrastructures est indispensable à la bonne pratique lors de fortes chaleurs associées à un ensoleillement important. Ce levier va de pair avec la qualité des installations relatives aux sports exercés en intérieur qui souffre vite du manque de ventilation. D'après le réseau de l'Association Nationale des Elus en charge du Sport (ANDES), 22% des installations sportives ont plus de 50 ans d'âge, 2 mois d'activité sportive sont perdus par les Français en raison de la hausse des températures et le coût de la sédentarité en France est de 17 Milliards € par an (95). Il est donc primordial de motiver les politiques publics à promouvoir une bonne éducation et un accès aux mobilités actives ainsi qu'à agir pour améliorer la qualité des installations, qui permettrait à la fois de promouvoir et de sécuriser la pratique sportive.

4.2. Analyse de la relation exposition-impact de santé

4.2.1. Une plus-value limitée des indicateurs thermiques composites par rapport à la température

La plupart des indicateurs sont corrélés entre eux, ce qui est cohérent avec les paramètres pris en compte : presque systématiquement la température et l'humidité relative, auxquelles peut être ajouté le point de rosée, le vent ou les rayonnements. Le calcul du *Heat index* fait qu'il prend une valeur égale à 0 jusqu'à une exposition assez importante, puis il peut vite augmenter à des valeurs très élevées en comparaison aux autres indices. Ceci explique sa

faible corrélation avec les autres indices. On remarque aussi que l'UTCI est assez différent des autres indicateurs, ce qui est cohérent du fait que cet indice se base sur des modèles physiologiques et non sur des paramètres météorologiques.

L'analyse des quatre indicateurs d'exposition met en évidence les difficultés du *Heat Index* à mettre en évidence des associations. Les 3 autres indicateurs sont tous associés à une augmentation de passages aux urgences pour les 5 causes retenues, mais sans montrer de plus-value évidente par rapport à la température moyenne. Il faut aussi prendre en compte que ces indicateurs thermiques sont complexes à calculer et à prévoir. Cette étude met en évidence que la connaissance de la température moyenne suffit à expliquer l'évolution du recours aux soins pour des causes sensibles à la chaleur.

Le WBGT est bien corrélé avec tous les autres indicateurs. Mais sa mesure complexe, la non-supériorité de son utilisation pour mettre en évidence des effets de santé et ses seuils non adaptés pour prédire le risque thermique rend plus raisonnable de garder la mesure simple de la température comme mesure de référence.

Ces quatre indicateurs (température, WBGT, *Heat index* et UTCI) sont aussi associés à l'augmentation des passages aux urgences pour EHI ou EHS mais dans des augmentations différentes

4.2.2. Des passages aux urgences révélateurs d'un risque pour la population générale

Les quatre indicateurs retenus montrent une association significative entre leurs augmentations, correspondant à une chaleur plus intense, et les taux de passages aux urgences pour hyperthermie.

Les risques liés à la chaleur se caractérisent par différents événements de santé. En comparaison des taux bruts de passages aux urgences qui diminuent avec l'âge pour les hyperthermies et augmentent avec les quatre autres indicateurs sanitaires, les risques relatifs calculés en fonction de l'état de canicule montrent qu'un âge avancé va uniquement être lié à une augmentation de passages aux urgences pour hyperthermie. Plus les individus sont âgés, plus ces passages sont liés à l'état de canicule. Pour les quatre autres indicateurs, les nombres de cas augmentent avec l'âge sans augmentation nette du risque.

Il a été précisé par des médecins fédéraux que beaucoup de cas de coups de chaleur à l'exercice passent directement en réanimation sans passer par le service d'urgence. Ceci pointe un risque éventuellement sous-estimé lors de cette étude car les analyses ont été effectuées uniquement sur les passages aux urgences.

4.3. Une typologie de pratiques variée

Chaque sport est différent et possède des facteurs de risque inhérents à sa pratique (règle de jeu, tradition, moyens...), il est donc compliqué de dresser une typologie générale. Néanmoins, certains aspects liés à la thermorégulation se rejoignent, ce sont eux qu'il faut identifier pour adapter et sécuriser les pratiques chez un maximum de sportifs.

On retrouve notamment dans les sports d'intérieur, une mauvaise ventilation, des efforts sur la qualité de conception des infrastructures pourrait permettre de générer des mouvements d'air importants à la thermorégulation (ce point aura aussi un impact positif sur la qualité de l'air) afin d'encourager et de sécuriser les pratiques lors de températures extrême en journée.

Pour les pratiques extérieures, certaines dépendent d'infrastructure où un levier d'action serait la mise à disposition d'ombre, particulièrement lors de l'attente des athlètes. Pour les pratiques extérieures hors infrastructure (ex : courses), le chemin tracé par les organisateurs de l'événement a un rôle dans l'exposition des coureurs au soleil et donc influe sur les niveaux de risques thermiques.

Un autre paramètre dépendant des pratiques est l'accès à l'eau. Il faut s'assurer que n'importe quel entraînement, compétition ou événement sportif mette à disposition un accès à l'eau adapté. Ce paramètre peut se heurter aux traditions ou aux habitudes de certains sports et sportifs, il est donc nécessaire d'éduquer les pratiquants et entraîneurs au risque de déshydratation, et d'insister régulièrement sur ce point notamment à l'approche des fortes chaleurs l'été. En parallèle, les organisateurs doivent s'assurer des moyens de refroidissement rapide en cas de coups de chaleur.

Le paramètre équipement est plus compliqué à moduler étant donné qu'il est souvent inhérent aux règlements et à la pratique en elle-même.

Ces aboutissements se basent aussi sur les 6 entretiens de fédérations pratiquant des sports de typologie varié (force, athlétisme, judo, golf, aikido, cyclisme), les informations issues de ces entretiens sont donc non exhaustives mais sont une synthèse de points de vue différents envers une problématique commune : le risque chaleur. Deux derniers types de sport qu'il aurait été intéressant d'entretenir auraient été un sport collectif extérieur et intérieur, sollicitant fortement l'aérobie comme le football ou le rugby et le basketball ou le handball.

Les pratiques autonomes impliquent donc vigilance particulière par le pratiquant, ses coéquipiers et/ou les adversaires. Les sportifs de haut niveau sont eux toujours encadrés, leurs risques de blessures sont plus élevés de par les durées, intensités et fréquences de pratique mais leur condition physique et les moyens dont ils disposent les protègent des risques thermiques. Ils sont aussi suivis par des professionnels sur les aspects d'entraînement physique, de nutrition et sur le plan médical. Face aux fortes chaleurs, les solutions apportées aux professionnels sont les mêmes que celles à apporter à la population générale en pratique autonome (ex : raccourcir le temps d'échauffement, garder une bonne hydratation...). La climatisation des salles de sport, essentiellement dans les salles pour les sportifs professionnels est une solution palliative mais non durable dans un contexte de changement climatique.

Le manque de formation continue des encadrants aboutis à une perception et une gestion des risques basés sur un contexte qui peut dater de plusieurs dizaines d'années sans avoir été mis à jour ou rafraîchi.

Les risques liés à l'augmentation de blessures musculaire et tendineuse ne figurent pas dans la revue bibliographique mais ont été cités par le médecin des équipes nationales de judo et par les 2 médecins fédéraux d'aïkido.

Le facteur de risque distance parcouru pour les coureurs en athlétisme est cohérent avec ce qui a été étudiés sur les courses de Falmouth et Boston (37, 41).

4.4. Sport et changement climatique

Ce travail s'est concentré sur une dimension des liens entre sports et changement climatique, à savoir l'adaptation face aux fortes chaleurs. Or, les liens entre sport et changement

climatique sont plus complexes et commencent à faire l'objet d'une mobilisation du monde sportif. L'adaptation semble avoir été peu abordée dans ces réflexions pour l'instant, alors que se posent de nombreuses questions, telles que :

- Comment adapter les infrastructures sportives et les compétitions face aux évènements climatiques extrêmes ?
- Comment s'appuyer sur les clubs et associations sportives pour promouvoir du lien social et augmenter la résilience face aux risques climatiques ?
- Comment s'appuyer sur les solutions fondées sur la nature déployées pour l'adaptation (par exemple la végétalisation des villes) pour promouvoir l'activité physique tout en respectant la biodiversité en ville ?

Les réflexions se posent également en matière d'atténuation. Par exemple, la popularisation de l'activité physique peut avoir un impact positif sur l'environnement. Le remplacement de certains trajets, notamment les déplacements sur le lieu de travail, par de la marche ou du vélo permet de réduire les émissions contribuant au réchauffement climatique. Mais certaines pratiques vont dans le sens opposé comme les déplacements internationaux des sportifs professionnels ou la pratique de certains sports et loisirs requérant un environnement particulier (montagnes, océans) sans en respecter les écosystèmes ou une consommation particulière (courses motorisés) (21).

5 – Recommandations

5.1. Utilisation des indicateurs d'exposition

Actuellement, l'indicateur température paraît être plus adapté à la pratique et à la mise en place de seuil. Il est révélateur de risque et facilement calculable et interprétable. Mais il n'y a pas encore d'indicateur adapté à tout type de sport. Les pratiques augmentant peu la charge thermique (comme les pratiques novices, les sports à faible intensité d'effort comme le golf ou les pratiques annexes comme les arbitres) peuvent donc se permettre de se reposer sur cet indicateur température pour estimer leur niveau de risque. Mais les pratiques particulièrement exposées à une augmentation de charge thermique (sports d'endurance) ou possédant des spécificités liées à la thermorégulation (équipement de hockey, mouvement d'air au cyclisme) demandent une analyse plus fine de leur exposition. Un point de départ serait de définir des seuils de température pour la pratique la plus courante et basique : la course à pied. Ensuite, un travail d'adaptation des seuils et de recherche d'indicateur pour chaque sport et niveau de pratique pourra être fait en prenant en compte les spécificités de chacun pouvant jouer sur la thermorégulation.

Afin de pouvoir diminuer le risque en outre-mer et au niveau international, l'étude d'autres indicateurs prenant en compte notamment l'humidité et l'habillement ou directement la charge thermique de l'individu serait plus adaptée dans la recherche d'un indice commun.

5.2. Système de surveillance et besoin de recherche

Mettre en place un système de surveillance spécifique de l'activité sportive demeure très complexe. Plusieurs pistes pourraient être explorées :

- Approfondir l'évaluation des indicateurs d'exposition afin de mieux la caractériser et déterminer un indicateur pertinent avec des seuils utilisables en France,
- Faire remonter les données par les professeurs de sport à l'image de ce qui est organisé aux Etats-Unis,
- Collecter les données des tentes médicales,
- Encourager le codage des circonstances lors de passages aux urgences ou d'hospitalisations. Une donnée « circonstance » permet de mieux caractériser les dangers liés des événements de santé,

Plusieurs types d'étude auraient du potentiel et permettraient de mieux caractériser les risques liés à l'activité physique en période de forte chaleur. Outre l'exploration des indicateurs d'exposition, des études basées sur des mesures physiologiques (température corporelle, niveaux de sueur...) avant et après une pratique permettraient de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu.

Pour la mesure d'exposition ou de diagnostic, la thermographie infrarouge est connue depuis longtemps comme outil pour détecter les hyperthermies (96). Elle est récemment de plus en plus étudiée, sa facilité de prise de mesure permettrait d'estimer la température cutanée de manière rapide et non invasive, avec un résultat fiable afin de limiter les risques de coup de chaleur (97, 98). De plus amples études considérant différents sports ou types d'exercice permettraient donc l'utilisation de cette technologie dans le cadre de la santé sportive.

D'autres études interventionnelles notamment lors de grands événements sportifs professionnels (Jeux olympiques, Tour de France, Coupe du monde...) apporteraient des connaissances spécifiques pour ces populations, mais sont peu généralisables à la pratique de la population générale. Pour cela, il faudrait mettre en place des études sur les événements amateurs type marathons, courses ou championnats de ville. Ici encore les résultats seront

assez dépendants et spécifiques des événements étudiés, mais une généralisation sur le type d'effort fourni, la condition physique des participants et les conditions de pratiques permettrait à ces études de produire des résultats transposables aux pratiques sportives communes de la population.

5.3. Rôle des gestionnaires dans la prévention et la gestion des risques

La prévention peut intervenir sur le comportement et la préparation des sportifs, sur leur équipement, et sur les infrastructures dans lesquelles ils évoluent. Dans une démarche d'adaptation au changement climatique, l'ensemble de ces dimensions doit être prise en compte. Outre le fait que le type de prévention doit être adapté à la population cible, ici le risque chaleur n'est pas le même selon l'âge et les comportements des individus. Chaque action de prévention doit donc s'intégrer au type de pratique, de pratiquant et à l'intention ou à l'objectif de la pratique.

Une modification du type de pratique est souhaitable en période de forte chaleur :

- Adaptation des séances sur leur intensité et durée
- Promouvoir une pratique extérieure si le sport ne génère pas de mouvement d'air et que les locaux ne sont pas adaptés
- Prévoir d'apporter des zones d'ombre ou modifier le lieu de pratique si l'ensoleillement est important
- Il est difficile d'agir sur l'équipement tant il est lié à la pratique et aux traditions de chaque sport, mais l'utilisation de matières plus légères en été ou des dérogations à la tenue habituelle dans les règlements pourraient pallier ce facteur de risque
- Les pratiques avec équipement les plus à risques en France (escrime, arts martiaux, cyclisme, danse) devraient conduire à être encore plus vigilant vis à vis du risque

chaleur et à se concentrer sur l'hydratation, la ventilation et l'intensité liées à leur pratique afin de la sécuriser.

L'optimisation des périodes de pratique afin de les conserver tout en maîtrisant le risque :

- Adapter les horaires de pratique pour éviter la période la plus chaude de la journée.
- Effort d'organisation pour que les pratiques les plus intenses (notamment les événements sportifs et les examens de passage de niveau ou d'accréditation sportive) puissent avoir lieu à une période où le risque sera moins important, comme lors des JO d'été de 1964 et 1968, respectivement à Tokyo et Mexico qui ont été déplacés à Octobre.

Une meilleure sensibilisation au risque permettrait d'engager la population exposée à sécuriser ses propres pratiques :

- Une meilleure formation des encadrants sportifs ainsi qu'un système d'information régulier et adapté à la pratique concernée
- La sensibilisation aux risques et méthodes de prévention individuelle des pratiquants à l'approche de l'été et des fortes chaleurs

L'éducation a son rôle à jouer mais ne peut se faire si les conditions de pratique ne changent pas. Aux États-Unis, la mise en place de différents réseaux dans le cadre scolaire apporte plusieurs bénéfices notables. La promotion de la pratique sportive du collège à l'université est appuyée par les moyens mis en place dans ce secteur. On observe alors une éducation sportive large en terme de public et conséquente puisqu'elle est répétée tous les ans pendant toute la scolarité. Le fait de sensibiliser les jeunes à l'importance de la pratique sportive et des risques associés permet d'atteindre les futurs sportifs autonomes qui, dans les autres pays, sont des cibles difficiles à atteindre par les réseaux de santé publique.

L'acclimatation pourrait être davantage prise en compte dans la formation des encadrants des sportifs amateurs, par exemple grâce au certificat de compétences spécifiques à l'intention des cadres fourni par l'INSEP.

5.4. Rôle du Pharmacien

5.4.1. En période de fortes chaleurs

Comme pour toute situation ayant des conséquences sanitaires, le pharmacien est un interlocuteur important pour le grand public lors de périodes de fortes chaleurs. Il permet la transmission d'informations, de recommandations et de comportements permettant de prévenir, d'atténuer ou d'adapter les modes de vie par le biais de règles hygiéno-diététiques. Ces informations peuvent être relatives aux risques lors de fortes chaleurs (déshydratation, coup de chaleur), ou peuvent concerner les médicaments en vente libre pouvant être touchés par ces risques. Le conseil du pharmacien passe aussi par les méthodes de surveillance d'apparition des premiers symptômes.

Le plan national canicule dispose d'une fiche à l'intention des pharmaciens d'officine (23). Elle met en avant deux gestes de prévention simple : 1) La prévention par augmentation des apports en eau, maintien d'une alimentation normale et adaptation des diurétiques chez les sujets à risque d'épuisement ou de déshydratation ; 2) Chez les sujets ne pouvant pas transpirer normalement, la prévention passe par le mouillage de la peau et par la ventilation.

Lors de fortes chaleurs, l'équipe présente à la pharmacie doit donc savoir reconnaître les signes et maîtriser les conduites à tenir en cas de pathologie liée à la chaleur.

La vigilance et la communication avec les prescripteurs concernant la dispensation de traitements notamment des psychotropes, diurétiques et anti-inflammatoires, sont aussi un élément clé de la sécurisation des risques thermiques.

Plusieurs types de médicaments sont susceptibles d'aggraver l'épuisement, la déshydratation et le coup de chaleur (99) :

Les diurétiques (surtout les diurétiques de l'anse), de par les pertes hydriques qu'ils engendrent.

Médicaments altérant la fonction rénale : AINS, IEC/ARA 2, sulfamides...

Médicaments ayant une cinétique dépendante de l'état d'hydratation : lithium, anti-arythmiques, antiépileptiques, biguanides, statines et fibrates.

Les médicaments empêchant la perte calorique et ainsi perturbant la thermorégulation centrale ou périphérique : neuroleptiques, sérotoninergiques, atropiniques, vasoconstricteurs, bêtabloquants et diurétiques.

Pour les patients ayant un traitement au long cours, il faut donc vérifier leurs apports sodés et hydriques (100).

Certains médicaments peuvent directement induire une hyperthermie comme les neuroleptiques, les agonistes sérotoninergiques et les hormones thyroïdiennes.

D'autres médications sont à surveiller car elles peuvent aggraver les effets de la chaleur comme les antihypertenseurs et anti-angoreux en diminuant la pression artérielle ou d'autres en altérant la vigilance. En cas de fièvre lors de fortes chaleurs, il est important d'éviter la prise de paracétamol tant que la cause n'est pas définie car il est inefficace pour traiter l'hyperthermie.

Les problèmes de transport et de conservation liés à la chaleur doivent être pris en compte : la galénique du médicament, notamment pour certains suppositoires, laits ou crèmes qui perdent leur stabilité et leur qualité s'ils sont exposés à une température supérieure à 30°C, de même que les lecteurs glycémiques, les solutions de contrôle et les bandelettes. Si des médicaments

ou dispositifs médicaux sont exposés trop longtemps à une forte température, ils doivent être détruits selon les pratiques de destruction des déchets liés aux activités de soins.

5.4.2 En lien avec les pratiques sportives

En lien avec la qualité du sommeil et de l'alimentation, la pratique d'une activité physique régulière fait partie des principales recommandations que le pharmacien associe régulièrement aux conseils hygiéno-diététiques du patient. En effet, la Stratégie Nationale Sport Santé 2019-2024 encourage à intégrer des pratiques physiques adaptées, accessibles et encadrées dans le parcours de soins (101). Ceci suit la dynamique de la loi n° 2016-41 du 26 Janvier 2016 de modernisation de notre système de santé, avec notamment l'ajout de l'article L.1172-1. « Dans le cadre du parcours de soins des patients atteints d'une affection de longue durée, le médecin traitant peut prescrire une activité physique adaptée à la pathologie, aux capacités physiques et au risque médical du patient ».

Dans sa révision du programme national nutrition santé de 2016, l'ANSES décrit les bénéfices de santé de l'activité physique dans la prévention (primaire, secondaire ou tertiaire) d'un large champ de pathologies, dont la plupart sont couramment rencontrées à l'officine : diabète de type 2, obésité, maladies cardio-vasculaires, ostéo-articulaires, neurodégénératives, auto-immunes et le cancer (102).

Les recommandations liées à la sécurité des pratiques physiques lors de fortes chaleurs sont :

- Organiser ses pratiques tôt le matin ou la nuit (la fin de journée étant la période avec les températures les plus élevées)
- Pratiquer à l'extérieur et à l'ombre dans la mesure du possible

- Appliquer de la crème solaire si exposition au soleil
- Augmenter progressivement l'intensité de l'effort lors d'une session et ne pas essayer d'atteindre ses limites
- S'assurer d'être bien hydraté (eau salée si transpiration excessive, pas d'eau sucrée ni d'alcool)
- S'habiller léger, avec des habits clairs et permettant l'évaporation
- Pratiquer à plusieurs afin de pouvoir surveiller l'état des autres

Les règles hygiéno-diététiques liées au sport doivent être adaptées à la pathologie et aux traitements, mais aussi à l'individu et aux pratiques sportives envisagées. C'est aux professionnels de santé de faire la synthèse des besoins, facultés et risques du patient afin de lui apporter les clés d'une activité adaptée. Les pratiques peuvent être plutôt axées sur l'endurance, la musculation, l'assouplissement ou les capacités neuromotrices selon les cas.

Cette synthèse doit aussi prendre en compte les conditions environnementales et donc la chaleur.

Les recommandations de base spécifiques à chaque pathologie, également valides hors période de fortes chaleurs, sont à intégrer :

- Pratiquer des sports sans atteindre un état d'hyperventilation : pathologies respiratoires.

- Bannir les activités avec un risque de blessure, choc ou traumatisme : Patients sous traitement anticoagulant et antiagrégant plaquettaire et patients atteints de pathologies ostéo-articulaires.

- Éviter de pratiquer lors des phases actives de maladie : pathologies avec des poussées-rémissions (Sclérose en plaques, Polyarthrite rhumatoïde)

Plusieurs solutions spécifiques aux risques et facteurs de risques existent et doivent être prises en compte en regard de la condition physique de chacun lors de fortes chaleurs :

- Un rappel des premiers effets des fortes chaleurs (maux de tête, crampes, nausées) peut suffire au maintien d'une activité physique normale : pour les patients ayant un traitement susceptible d'aggraver l'épuisement, la déshydratation et le coup de chaleur.

- Boire de l'eau de manière plus abondante afin de garder un état d'hydratation suffisant : lors de prise ponctuelle ou au long cours de diurétiques.

- Adapter le conseil en fonction de la demi-vie du médicament : médicaments ayant une cinétique dépendante de l'état d'hydratation, le mieux dans ce cas étant de pratiquer l'activité physique un peu avant la prise.

- Pratiquer une activité physique moins intense et/ou moins longue et privilégier une activité physique augmentant peu la charge thermique du patient : médicaments empêchant la perte calorique car ils vont perturber la thermorégulation générale, en cas de traitement pouvant directement induire une hyperthermie ou avec un médicament pouvant aggraver les effets de la chaleur en diminuant la pression artérielle ou en altérant la vigilance.

Ces recommandations peuvent être croisées entre elles et doivent être individualisées à chaque cas. Deux situations vont demander de renforcer ces recommandations et peuvent parfois justifier de suspendre toute activité sportive :

Chez les patients polymédiqués et/ou d'un âge avancé (>75 ans), conserver les activités proactives de la vie courante devient l'enjeu pour promouvoir une bonne forme physique.

En cas de chaleur extrême (vigilance rouge), toute activité sportive hors complexe climatisé est à éviter.

La pratique doit toujours rester ludique !

THÈSE SOUTENUE PAR : M. Léo MOUTET

TITRE :

ÉVALUATION DES RISQUES SANTAIRES LIÉS À LA PRATIQUE SPORTIVE EN PÉRIODE DE FORTES CHALEURS

CONCLUSION :

Les risques liés à l'activité physique de loisir en période de fortes chaleurs sont peu étudiés. Peu d'articles scientifiques traitent ce sujet et la plupart des études sont récentes. Les États-Unis sont le pays ayant le plus publié sur le sujet notamment grâce à une pratique sportive importante et encadrée du collège à l'université. Lors d'hospitalisations ou de passages aux urgences, le codage d'une variable « circonstance » par certains systèmes de santé permet aussi d'étudier spécifiquement les effets croisés de la chaleur et du sport.

Une analyse des études publiées met en avant un excès de risque lié à la pratique sportive en période de fortes chaleurs et certains facteurs lui étant associés mais manquent de spécifier ce risque selon les types de pratiques et de populations. La littérature met en avant des pathologies de chaleur liées à l'exercice ayant un impact de plus en plus important sur la morbidité et la mortalité ces dernières années.

On distingue un risque plutôt exacerbé par les conditions thermiques chez les personnes âgées et par une pratique trop intensive chez les plus jeunes. Il est difficile de mesurer la charge thermique interne d'un individu, l'indicateur d'exposition idéal semble être la température extérieure moyenne qui est largement utilisée et documentée. Le *Wet Bulb Globe Temperature* prend en compte d'autres paramètres météorologiques jouant un rôle dans la thermorégulation du corps mais est plus difficile à utiliser, il ne montre pas de supériorité par rapport à la température, ce qui est confirmé par les analyses statistiques de cette thèse utilisant les données météorologiques de MétéoFrance et le réseau de surveillance SurSaUD.

Ces analyses en France métropolitaine entre 2015 et 2019 mettent particulièrement en avant le risque d'hyperthermie lors de périodes de fortes chaleurs.

Les risques de déshydratation, hyponatrémie, malaises et fièvres isolées sont aussi augmentés lors de ces périodes et sont associés aux fortes chaleurs.

On identifie plusieurs paramètres permettant d'optimiser la thermorégulation lors d'activité physique en période de fortes chaleurs. L'acclimatation et l'hydratation permettent de réduire au maximum les risques d'hyperthermies, d'autres paramètres comme la condition physique, la quantité d'effort fournie, l'habillement ou l'exposition au soleil vont jouer un rôle important. Tous ces paramètres dépendent du sport pratiqué et du niveau du sportif ou de l'objectif de l'exercice. Il est important d'identifier ces paramètres afin de pouvoir adapter les pratiques au niveau individuel (recommandations spécifiques et personnelles) et collectif (cadre et environnement de pratique). Les entretiens avec les fédérations ont aussi pu identifier le besoin de formation des sportifs et des encadrants au sujet des risques et méthodes de prévention et d'adaptation à la chaleur.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le : 20/10/22

**LE DOYEN
DE L'UFR DE PHARMACIE**

M. le Pr. Michel SÈVE



LE DIRECTEUR DE THESE



Mme Mathilde PASCAL

LE TUTEUR UNIVERSITAIRE



Mme Delphine ALDEBERT

6 - Bibliographie

1. Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. Public Health Rep. 1985;100(2):126-31.
2. Anses. Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'évaluation des risques liés aux niveaux d'activité physique et de sédentarité des enfants et des adolescents. 2016.
3. ANSES. Manque d'activité physique et excès de sédentarité : une priorité de santé publique. 15 Février 2022.
4. INSERM. Activité physique : Contextes et effets sur la santé 2008 [19 avril 2022]. Available from: <https://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/80>.
5. OMS. Activité physique 26 novembre 2020 [1 avril 2022]. Available from: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>.

France Sp. Augmenter l'activité physique [Available from: <https://www.mangerbouger.fr/l-essentiel/les-recommandations-sur-l-alimentation-l-activite-physique-et-la-sedentarite/augmenter-l-activite-physique>].
7. GIEC. 6e Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat 09 Août 2021.
8. MétéoFrance. Un dispositif d'avertissement sur les dangers météorologiques [Available from: <https://vigilance.meteofrance.fr/fr/guide-vigilance-meteo>].
9. MétéoFrance. Qu'est-ce qu'une canicule ? [Available from: <https://vigilance.meteofrance.fr/fr/dangers-meteorologiques-canicule>].
10. Tong SL, Olsen J, Kinney PL. Climate Change and Temperature-related Mortality: Implications for Health-related Climate Policy. Biomed Environ Sci. 2021;34(5):379-86.
11. GIEC. 6e Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 28 Février 2022.

12. Pascal M, Lagarrigue R, Tabai A, Bonmarin I, Camail S, Laaidi K, et al. Evolving heat waves characteristics challenge heat warning systems and prevention plans. *Int J Biometeorol*. 2021;65(10):1683-94.
13. Ebi KL, Capon A, Berry P, Broderick C, de Dear R, Havenith G, et al. Hot weather and heat extremes: health risks. *The Lancet*. 2021;398(10301):698-708.
14. Hanna EG, Tait PW. Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming. *Int J Environ Res Public Health*. 2015;12(7):8034-74.
15. Brocherie F, Girard O, Millet GP. Emerging environmental and weather challenges in outdoor sports. *Climate*. 2015;3(3):492-521.
16. Barrow MW, Clark KA. Heat-related illnesses. *Am Fam Physician*. 1998;58(3):749-56, 59.
17. Leon LR, Bouchama A. Heat stroke. *Compr Physiol*. 2015;5(2):611-47.
18. Reilly T, Drust B, Gregson W. Thermoregulation in elite athletes. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2006;9(6):666-71.
19. Mora C, Counsell CW, Bielecki CR, Louis LV. Twenty-seven ways a heat wave can kill you: deadly heat in the era of climate change. *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes*. 2017;10(11):e004233.
20. Racinais S, Casa D, Brocherie F, Ihsan M. Translating Science Into Practice: The Perspective of the Doha 2019 IAAF World Championships in the Heat. *Front Sports Act Living*. 2019;1:39.
21. Bernard P, Chevance G, Kingsbury C, Baillot A, Romain AJ, Molinier V, et al. Climate Change, Physical Activity and Sport: A Systematic Review. *Sports Med*. 2021;51(5):1041-59.
22. Agnès Verrier JR, Laure Salvaing, Maud Gorza, Isabelle Bonmarin. Freins à l'adoption des gestes de prévention en période de canicule *Bulletin épidémiologique hebdomadaire: Santé publique France*; 2022 22 Mars 2022.
23. HCSP Gdtd. *Recommandations sanitaires du Plan national canicule*. 2014.
24. DGS. *GUIDE ORSEC DÉPARTEMENTAL S6 : DISPOSITION SPÉCIFIQUE « GESTION SANITAIRE DES VAGUES DE CHALEUR »*
2021.
25. Flouris AD, Schlader ZJ. Human behavioral thermoregulation during exercise in the heat. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25 Suppl 1:52-64.

26. France Sp. Surveillance syndromique - SURSAUD® 2022 [Available from: <https://www.santepubliquefrance.fr/surveillance-syndromique-sursaud-R>].
27. Moran D, Shapiro Y, Epstein Y, Matthew W, Pandolfi K. A MODIFIED DISCOMFORT INDEX (MDI) AS AN ALTERNATIVE TO THE WET BULB GLOBE TEMPERATURE(WBGT). 1998.
28. Moran D, Pandolf KB, Shapiro Y, Heled Y, Shani Y, Mathew WT, et al. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). *Journal of Thermal Biology*. 2001;26:427–31.
29. Vanos JK, Grundstein AJ. Variations in athlete heat-loss potential between hot-dry and warm-humid environments at equivalent wet-bulb globe temperature thresholds. *J Athl Train*. 2020;55(11):1190-8.
30. Bröde P, Fiala D, Błażejczyk K, Holmér I, Jendritzky G, Kampmann B, et al. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int J Biometeorol*. 2012;56(3):481-94.
31. Perron AD, Brady WJ, Custalow CB, Johnson DM. Association of heat index and patient volume at a mass gathering event. *Prehosp Emerg Care*. 2005;9(1):49-52.
32. Kakamu T, Wada K, Smith DR, Endo S, Fukushima T. Preventing heat illness in the anticipated hot climate of the Tokyo 2020 Summer Olympic Games. *Environ Health Prev Med*. 2017;22(1):68.
33. Patricia Crouette JM, Sandra Hoibian. Baromètre national des pratiques sportives 2018. Institut national de la jeunesse et de l'éducation populaire (INJEP); 2019.
34. Compendium des activités physiques des adultes. 2011.
35. Nonfatal sports and recreation heat illness treated in hospital emergency departments--United States, 2001-2009. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 2011;60(29):977-80.
36. Backer HD, Shopes E, Collins SL, Barkan H. Exertional heat illness and hyponatremia in hikers. *Am J Emerg Med*. 1999;17(6):532-9.
37. Belval LN, Giersch GEW, Adams WM, Hosokawa Y, Jardine JF, Katch RK, et al. Age- and Sex-Based Differences in Exertional Heat Stroke Incidence in a 7-Mile Road Race. *J Athl Train*. 2020;55(12):1224-9.
38. Boden BP, Fine KM, Breit I, Lentz W, Anderson SA. Nontraumatic Exertional Fatalities in Football Players, Part 1: Epidemiology and Effectiveness of National Collegiate Athletic Association Bylaws. *Orthop J Sports Med*. 2020;8(8):2325967120942490.

39. Boden BP, Fine KM, Spencer TA, Breit I, Anderson SA. Nontraumatic Exertional Fatalities in Football Players, Part 2: Excess in Conditioning Kills. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(8):2325967120943491.
40. Boeke PS, House HR, Graber MA. Injury incidence and predictors on a multiday recreational bicycle tour: The register's annual great bike ride across Iowa, 2004 to 2008. *Wilderness Environ Med.* 2010;21(3):202-7.
41. Breslow RG, Collins JE, Troyanos C, Cohen MC, D'Hemecourt P, Dyer KS, et al. Exertional Heat Stroke at the Boston Marathon: Demographics and the Environment. *Med Sci Sports Exerc.* 2021;53(9):1818-25.
42. Chorley J, Cianca J, Divine J. Risk factors for exercise-associated hyponatremia in non-elite marathon runners. *Clin J Sport Med.* 2007;17(6):471-7.
43. Cooper ER, Ferrara MS, Casa DJ, Powell JW, Broglio SP, Resch JE, et al. Exertional Heat Illness in American Football Players: When Is the Risk Greatest? *J Athl Train.* 2016;51(8):593-600.
44. Cooper Jr ER, Ferrara MS, Broglio SP. Exertional heat illness and environmental conditions during a single football season in the southeast. *J Athl Train.* 2006;41(3):332-6.
45. DeMartini JK, Casa DJ, Belval LN, Crago A, Davis RJ, Jardine JJ, et al. Environmental conditions and the occurrence of exertional heat illnesses and exertional heat stroke at the Falmouth Road Race. *J Athl Train.* 2014;49(4):478-85.
46. Grundstein AJ, Hosokawa Y, Casa DJ. Fatal Exertional Heat Stroke and American Football Players: The Need for Regional Heat-Safety Guidelines. *J Athl Train.* 2018;53(1):43-50.
47. Grundstein AJ, Ramseyer C, Zhao F, Pesses JL, Akers P, Qureshi A, et al. A retrospective analysis of American football hyperthermia deaths in the United States. *Int J Biometeorol.* 2012;56(1):11-20.
48. Hearon CM, Ruiz A, Taylor ZJ. Heat Stress and Injury Prevention Practices During Summer High School Football Training in South Texas. *Int J Exerc Sci.* 2010;3(2):55-63.
49. Kerr ZY, Casa DJ, Marshall SW, Comstock RD. Epidemiology of exertional heat illness among U.S. high school athletes. *Am J Prev Med.* 2013;44(1):8-14.
50. Kerr ZY, Scarneo-Miller SE, Yeargin SW, Grundstein AJ, Casa DJ, Pryor RR, et al. Exertional Heat-Stroke Preparedness in High School Football by Region and State Mandate Presence. *J Athl Train.* 2019;54(9):921-8.

51. Kerr ZY, Yeargin SW, Hosokawa Y, Hirschhorn RM, Pierpoint LA, Casa DJ. The Epidemiology and Management of Exertional Heat Illnesses in High School Sports During the 2012/2013–2016/2017 Academic Years. *J Sport Rehabil.* 2020;29(3):332-8.
52. Poore S, Grundstein A, Cooper E, Shannon J. Regional differences in exertional heat illness rates among Georgia USA high school football players. *Int J Biometeorol.* 2020;64(4):643-50.
53. Tripp BL, Eberman LE, Smith MS. Exertional Heat Illnesses and Environmental Conditions During High School Football Practices. *Am J Sports Med.* 2015;43(10):2490-5.
54. Tripp BL, Winkelmann ZK, Eberman LE, Smith MS. Factors Affecting Incidence Rate of Exertional Heat Illnesses: Analysis of 6 Years of High School Football Practices in North Central Florida. *Orthop J Sports Med.* 2021;9(9):23259671211026627.
55. Yeargin SW, Dickinson JJ, Emerson DM, Koller J, Torres-McGehee TM, Kerr ZY. Exertional heat illness risk factors and physiological responses of youth football players. *J Sport Health Sci.* 2021;10(1):91-8.
56. Yeargin SW, Dompier TP, Casa DJ, Hirschhorn RM, Kerr ZY. Epidemiology of Exertional Heat Illnesses in National Collegiate Athletic Association Athletes During the 2009-2010 Through 2014-2015 Academic Years. *J Athl Train.* 2019;54(1):55-63.
57. Yeargin SW, Kerr ZY, Casa DJ, Djoko A, Hayden R, Parsons JT, et al. Epidemiology of Exertional Heat Illnesses in Youth, High School, and College Football. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(8):1523-9.
58. Driscoll TR, Cripps R, Brotherhood JR. Heat-related injuries resulting in hospitalisation in Australian sport. *J Sci Med Sport.* 2008;11(1):40-7.
59. Finch CF, Boufous S. The descriptive epidemiology of sports/leisure-related heat illness hospitalisations in New South Wales, Australia. *J Sci Med Sport.* 2008;11(1):48-51.
60. Fortington L, Gamage P, Cartwright A, Bugeja L. Exertional heat fatalities in Australian sport and recreation. *J Sci Med Sport.* 2021;24(8):787-92.
61. Gabbett T, Minbashian A, Finch C. Influence of environmental and ground conditions on injury risk in rugby league. *J Sci Med Sport.* 2007;10(4):211-8.
62. McMahon S, Gamage P, Fortington LV. Sports related heat injury in Victoria, Australia: An analysis of 11 years of hospital admission and emergency department data. *J Sci Med Sport.* 2021;24(3):224-8.

63. Racinais S, Nichols D, Travers G, Moussay S, Belfekih T, Farooq A, et al. Health status, heat preparation strategies and medical events among elite cyclists who competed in the heat at the 2016 UCI Road World Cycling Championships in Qatar. *Br J Sports Med.* 2020;54(16):1003-7.
64. Grobler L, Derman W, Racinais S, Ngai ASH, van de Vliet P. Illness at a Para Athletics Track and Field World Championships under Hot and Humid Ambient Conditions. *Pm r.* 2019;11(9):919-25.
65. Fatima Y, Ahmed A, Abdullah S, Shareef I. Epidemiology of illnesses encountered during a marathon race – An EMS perspective. *Int J Emer Med.* 2015;8:03.
66. Tobías A, Casals M, Saez M, Kamada M, Kim Y. Impacts of ambient temperature and seasonal changes on sports injuries in Madrid, Spain: a time-series regression analysis. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2021;7(4):e001205.
67. Thorsson S, Rayner D, Palm G, Lindberg F, Carlström E, Börjesson M, et al. Is Physiological Equivalent Temperature (PET) a superior screening tool for heat stress risk than Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) index? Eight years of data from the Gothenburg half marathon. *Br J Sports Med.* 2021;55(15):825-30.
68. Gerstein SM. Risk factors for collapse of runners: A report on the 1988 Toronto Marathon. *Phys Sportsmed.* 1990;18(12):72-6+81+4-5.
69. Hosokawa Y, Murata Y, Stearns RL, Suzuki-Yamanaka M, Kucera KL, Casa DJ. Epidemiology of sudden death in organized school sports in Japan. *Inj Epidemiol.* 2021;8(1):27.
70. Liu S, Xing L, Wang Q, Xin T, Mao H, Tao Y, et al. Association Between Early Stage-Related Factors and Mortality in Patients with Exertional Heat Stroke: A Retrospective Study of 214 Cases. *Int J Gen Med.* 2021;14:4629-38.
71. Gamage PJ, Fortington LV, Finch CF. Epidemiology of exertional heat illnesses in organised sports: A systematic review. *J Sci Med Sport.* 2020;23(8):701-9.
72. Heidari H, Mohammadbeigi A, Khazaei S, Soltanzadeh A, Asgarian A, Saghafipour A. The effects of climatic and environmental factors on heat-related illnesses: A systematic review from 2000 to 2020. *Urban Clim.* 2020;34.
73. Hollander K, Klöwer M, Richardson A, Navarro L, Racinais S, Scheer V, et al. Apparent temperature and heat-related illnesses during international athletic championships: A prospective cohort study. *Scand J Med Sci Sports.* 2021;31(11):2092-102.

74. Racinais S, Alhammoud M, Nasir N, Bahr R. Epidemiology and risk factors for heat illness: 11 years of Heat Stress Monitoring Programme data from the FIVB Beach Volleyball World Tour. *Br J Sports Med.* 2021;55(15):831-5.
75. Roberts WO. Determining a "do not start" temperature for a marathon on the basis of adverse outcomes. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(2):226-32.
76. Taylor L, Thornton HR, Lumley N, Stevens CJ. Alterations in core temperature during World Rugby Sevens Series tournaments in temperate and warm environments (†). *Eur J Sport Sci.* 2019;19(4):432-41.
77. Brocherie F, Girard O, Pezzoli A, Millet GP. Outdoor exercise performance in ambient heat: Time to overcome challenging factors? *Int J Hyperthermia.* 2014;30(8):547-9.
78. Binkley HM, Beckett J, Casa DJ, Kleiner DM, Plummer PE. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Exertional Heat Illnesses. *J Athl Train.* 2002;37(3):329-43.
79. Mitchell KM, Chevront SN, King MA, Mayer TA, Leon LR, Kenefick RW. Use of the heat tolerance test to assess recovery from exertional heat stroke. *Temperature (Austin).* 2019;6(2):106-19.
80. Association JS. *A Guidebook for the Prevention of Heat Disorder during Sports Activities.* Japan Sports Association: Tokyo, Japan. 2013.
81. Kim J, Lee J, Kim S, Ryu HY, Cha KS, Sung DJ. Exercise-induced rhabdomyolysis mechanisms and prevention: A literature review. *J Sport Health Sci.* 2016;5(3):324-33.
82. Carneiro A, Viana-Gomes D, Macedo-da-Silva J, Lima GHO, Mitri S, Alves SR, et al. Risk factors and future directions for preventing and diagnosing exertional rhabdomyolysis. *Neuromuscul Disord.* 2021;31(7):583-95.
83. Hampton S, Armstrong G, Ayyar MS, Li S. Quantification of perceived exertion during isometric force production with the Borg scale in healthy individuals and patients with chronic stroke. *Top Stroke Rehabil.* 2014;21(1):33-9.
84. Casa DJ, Armstrong LE, Kenny GP, O'Connor FG, Huggins RA. Exertional heat stroke: New concepts regarding cause and care. *Curr Sports Med Rep.* 2012;11(3):115-23.
85. Kenny GP, McGinn R. Restoration of thermoregulation after exercise. *J Appl Physiol (1985).* 2017;122(4):933-44.

86. Rizzo L, Thompson MW. Cardiovascular adjustments to heat stress during Prolonged exercise. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018;58(5):727-43.
87. Wendt D, van Loon LJ, Lichtenbelt WD. Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. *Sports Med*. 2007;37(8):669-82.
88. Coris EE, Ramirez AM, Van Durme DJ. Heat Illness in Athletes: The Dangerous Combination of Heat, Humidity and Exercise. *Sports Med*. 2004;34(1):9-16.
89. Guy JH, Deakin GB, Edwards AM, Miller CM, Pyne DB. Adaptation to hot environmental conditions: an exploration of the performance basis, procedures and future directions to optimise opportunities for elite athletes. *Sports Med*. 2015;45(3):303-11.
90. Junge N, Jørgensen R, Flouris AD, Nybo L. Prolonged self-paced exercise in the heat - environmental factors affecting performance. *Temperature (Austin)*. 2016;3(4):539-48.
91. Sekiguchi Y, Filep EM, Benjamin CL, Casa DJ, DiStefano LJ. Does Dehydration Affect the Adaptations of Plasma Volume, Heart Rate, Internal Body Temperature, and Sweat Rate During the Induction Phase of Heat Acclimation? *J Sport Rehabil*. 2020;29(6):847-50.
92. Pryor JL, Pryor RR, Vandermark LW, Adams EL, VanScoy RM, Casa DJ, et al. Intermittent exercise-heat exposures and intense physical activity sustain heat acclimation adaptations. *J Sci Med Sport*. 2019;22(1):117-22.
93. Baker LB. Sweating Rate and Sweat Sodium Concentration in Athletes: A Review of Methodology and Intra/Interindividual Variability. *Sports Med*. 2017;47(Suppl 1):111-28.
94. Grundstein A, Elguindi N, Cooper E, Ferrara MS. Exceedance of wet bulb globe temperature safety thresholds in sports under a warming climate. *Clim Res*. 2013;58(2):183-91.
95. ANDES. Présentation de l'étude sur l'évolution des attentes et des besoins des acteurs du sport français 6 Mai 2022 [Available from: <https://www.andes.fr/actualites/presentation-de-letude-sur-levolution-des-attentes-et-des-besoins-des-acteurs-du-sport-francais-9-mai-a-18h00/>].
96. Armstrong LE, Crago AE, Adams R, Senk JM. Brief communication: Use of the infrared temperature scanner during triage of hyperthermic runners. *Sports Med Train Rehabil*. 1994;5(3):243-5.
97. Rojas-Valverde D, Tomás-Carús P, Timón R, Batalha N, Sánchez-Ureña B, Gutiérrez-Vargas R, et al. Short-Term Skin Temperature Responses to Endurance Exercise: A Systematic Review of Methods and Future Challenges in the Use of Infrared Thermography. *Life (Basel)*. 2021;11(12).

98. Foster J, Lloyd AB, Havenith G. Non-contact infrared assessment of human body temperature: The journal Temperature toolbox. Temp. 2021;8(4):306-19.
99. ANSM. Médicaments susceptibles d'altérer l'adaptation de l'organisme à la chaleur. 30/07/2021.
100. ANSM. Mise au point sur le bon usage des médicaments en cas de vague de chaleur. 30/07/2021.
101. SANTÉ MDESL, SPORTS MD. Stratégie Nationale Sport Santé 2019-2024 2019 [Available from: <https://www.sports.gouv.fr/pratiques-sportives/sport-sante-bien-etre/Plan-national-sport-sante-et-bien-etre/>].
102. ANSES. Actualisation des repères du PNNS - Révisions des repères relatifs à l'activité physique et à la sédentarité. 2016.

7 – Annexes

Annexe 1 – Équation de recherche

Voici l'équation de recherche élaborée pour Pubmed, la même équation a été transposée pour Scopus :

("Exercice"[Title/Abstract] OR "exercices"[Title/Abstract] OR "sport"[Title/Abstract] OR "sports"[Title/Abstract] OR "physical activity"[Title/Abstract] OR "physical activities"[Title/Abstract] OR "physical exercise"[Title/Abstract] OR "physical exercices"[Title/Abstract] OR "physical exertion"[Title/Abstract] OR "exertional"[Title/Abstract])

AND

("mortality"[Title/Abstract] OR "morbidity"[Title/Abstract] OR "illness"[Title/Abstract] OR "illnesses"[Title/Abstract] OR "disease"[Title/Abstract] OR "diseases"[Title/Abstract] OR "injury"[Title/Abstract] OR "injuries"[Title/Abstract] OR "hospital"[Title/Abstract] OR "hospitals"[Title/Abstract] OR "hospitalizations"[Title/Abstract] OR "hospitalization"[Title/Abstract] OR "hospitalisation"[Title/Abstract] OR "hospitalized"[Title/Abstract] OR "admission"[Title/Abstract] OR "admissions"[Title/Abstract] OR "emergency"[Title/Abstract])

AND

("heat"[Title/Abstract] OR "heat wave"[Title/Abstract] OR "heatwave"[Title/Abstract] OR "heat waves"[Title/Abstract] OR "heatwaves"[Title/Abstract] OR "heat stress"[Title/Abstract] OR "excessive heat"[Title/Abstract] OR "extreme heat"[Title/Abstract] OR "hot temperature"[Title/Abstract] OR "hot temperatures"[Title/Abstract] OR "extreme temperature"[Title/Abstract] OR "extreme temperatures"[Title/Abstract] OR "high temperature"[Title/Abstract] OR "temperatures"[Title/Abstract] OR "temperature"[Title/Abstract])

Abstract] OR "high temperatures"[Title/Abstract] OR "hot weather"[Title/Abstract] OR "hot period"[Title/Abstract] OR "hot periods"[Title/Abstract] OR "high heat"[Title/Abstract] OR "hot days"[Title/Abstract] OR "extreme heat"[Title/Abstract] OR "excessive heat"[Title/Abstract] OR "hot environment"[Title/Abstract] OR "hot environments"[Title/Abstract])
NOT "nutrition"[Title/Abstract] NOT "cooling"[Title] NOT "military"[Title] NOT "performance"[Title] NOT "mice"[Title/Abstract] NOT "diet"[Title/Abstract] NOT "supplementation"[Title/Abstract] NOT "treatment"[Title] NOT "treating"[Title/Abstract]

Annexe 2 – Indicateurs thermiques (Source : MétéoFrance)

Ces définitions sont issues d'un travail bibliographique de Météo France (Estelle Cobosmarie, Grégoire Laroche, Jérémy Montmeas, Zoé Loreau ; Projet EMI 2022).

Humidex :

$E = 6,11 \times \exp(5417,7530 \times ((1/273,16) - (1/(TDECL + 273,15))))$. T est la température de l'air en Kelvin (à 2m) TDECL est la température du point de rosée en °C (à 2 mètres) HX est l'indice Humidex sans unité Limite de validité : Température de l'air T supérieure à 25°C.

D'un point de vue physiologique, l'Humidex ne tient compte que de la température et l'humidité et non de l'exposition de la peau au soleil.

WBGT : $WBGT = 0.7T_w + 0.2T_g + 0.1T_a$. T_w est la température du thermomètre mouillé. T_g est la température du globe (prend en compte le bilan radiatif net d'une surface).

T_a est la température absolue de l'air. Cet indice a été développé aux États-Unis dans les années 50 par et pour les militaires afin de prévenir un coup de chaud lors des entraînements.

Une critique récurrente du WBGT est la difficulté à mesurer T_g car elle induit de fortes incertitudes.

ESI : $ESI = 0.63T_a - 0.03RH + 0.002SR + 0.0054(T_a \cdot RH) - 0.073(0.1 + SR) - 1$.

T_a est la température absolue de l'air. RH est l'humidité relative. SR est le rayonnement solaire reçu par la surface étudiée (mesuré avec un radiomètre EPLAB). Il fournit les mêmes résultats que l'indice WBGT mais avec des paramètres plus simples à mesurer, notamment pour les radiations solaires.

MDI : $MDI = 0,30T_a + 0,75T_w$. Avec la température de l'air T_a et de rosée T_w .

Préconisé par les chercheurs des universités japonaises de par sa simplicité d'utilisation (même privilégié par rapport au WBGT).

L'UTCI : prise en compte de la température, l'humidité, le vent, les rayonnements et l'habillement. Indice qui a été créé par un comité de scientifiques suite à une demande de la Société Internationale de Biométéorologie. Le but de cet indice est de représenter la température de l'air du milieu dans lequel évolue une personne. Afin de calculer cet indice, un modèle de représentation du corps humain a été utilisé, il s'agit du modèle multinœuds Fiala qui permet de représenter le corps humain en différentes parties découpées en carrés et en boules. De cette modélisation on peut calculer les réponses en température des différentes parties du corps humain. L'UTCI a été créé en Europe et est particulièrement adapté pour les climats européens.

THI : $THI = T^\circ - ((0.55 - 0.0055 HU\%) (T^\circ - 14.5))$. T désigne la température en degrés Celsius. HU correspond à l'humidité relative. C'est un indice d'inconfort qui tient compte de la température et de l'humidité, la chaleur ou le froid étant ressentis avec une sévérité croissante à mesure que l'air devient plus humide.

Indice de confort d'été : $IC = 0.81t - 0.001Ur - 0.99t + 14.3 - 4.63$. t = température en °C et Ur = humidité relative en %.

Heat Index

$$HI = -42,379 + 2,04901523T R - 0,22475541 TR - 6,83783 \times 10^{-3} T^2 - 5,481717 \times 10^{-2} R^2 + 1,22874 \times 10^{-3} T^2 R + 8,5282 \times 10^{-4} TR^2 - 1,99 \times 10^{-6} T^2 R^2$$

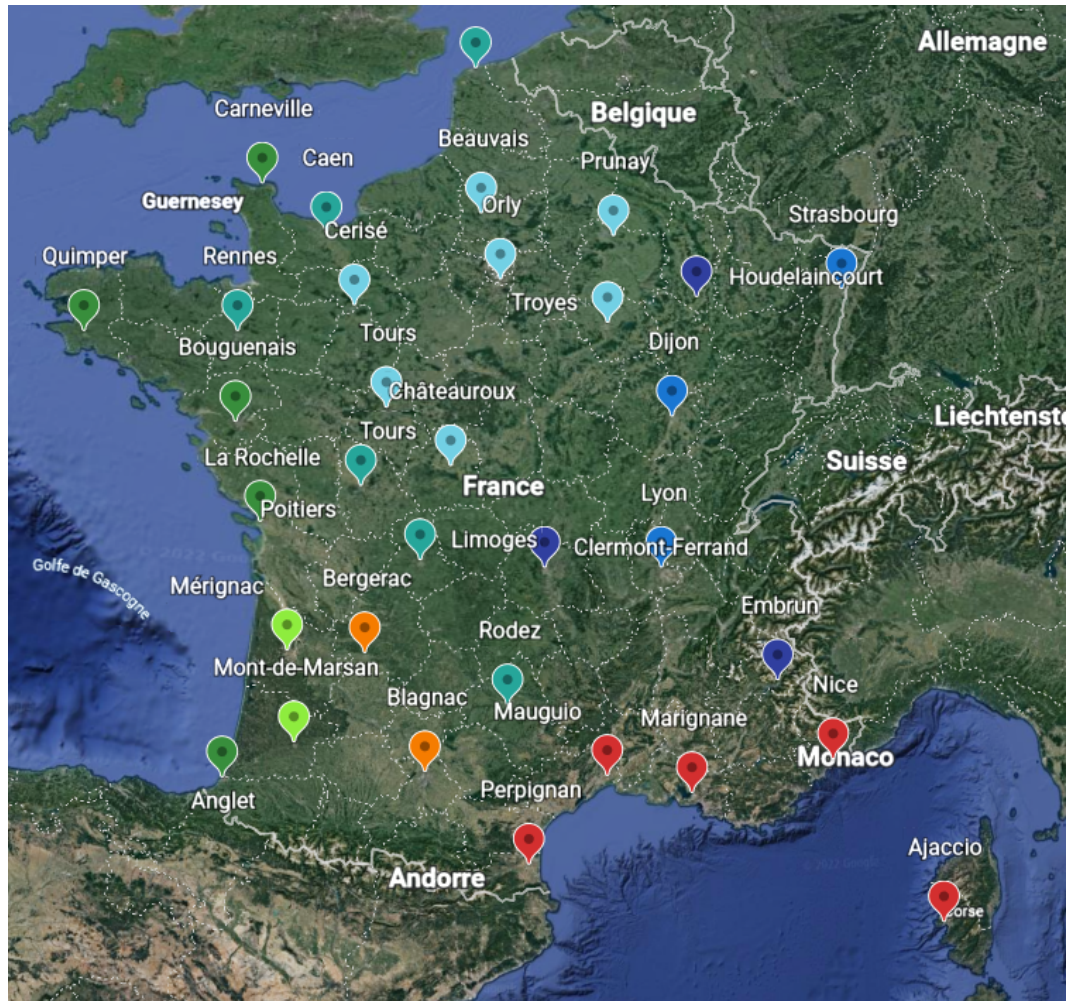
Avec : HI= Heat index (en degrés Fahrenheit). T = température de l'air (en degrés Fahrenheit). R = humidité relative (en %).

L'indice de chaleur est construit sur des hypothèses sur la masse corporelle de l'homme et de la hauteur, les vêtements et la vitesse du vent. Des variations significatives de ces paramètres pourraient en conséquence aboutir à des indices de chaleur qui ne reflèteraient pas la température ressentie. Le calcul d'indice de chaleur n'est pertinent que dans le cas où la température de l'air est supérieure à 27°C (80F) et l'humidité supérieure à 40%.

PET: $M + W + R + C + E_d + E_{re} + E_{sw} + S = 0$ avec M l'énergie interne produite par l'oxydation des aliments, W est la production de travail physique, R est la radiation nette du corps, C correspond au flux de chaleur conducteur, E_d la perspiration, E_{re} la somme des flux de chaleur pour chauffer et humidifier l'air, E_{sw} le flux de chaleur due à l'évaporation de la sueur et S le stockage du flux de chaleur pour chauffer ou refroidir la masse corporelle.

Annexe 3 – Stations météorologiques produisant les indicateurs d'exposition

(Source : Météo France)



*Il y a un "Tours" en trop. Celui du bas correspond à la station de Poitiers.

** La station la plus au nord est Marck

Annexe 4 – Liste des villes et départements de recueil des indicateurs

d'exposition

Ville (températures)	Ville (indices)	Département
ALPE-D'HUEZ	EMBRUN	5
NICE	NICE	6
TROYES-BARBEREY	TROYES-BARBEREY	10
MAURS	RODEZ-AVEYRON	12
MARIGNANE	MARIGNANE	13
CAEN-CARPIQUET	CAEN-CARPIQUET	14
NIORT	LA ROCHELLE-ILE DE RE	17
AJACCIO	AJACCIO	20
DIJON-LONGVIC	DIJON-LONGVIC	21
COULOUNIEIX	BERGERAC	24
BREST-GUIPAVAS	QUIMPER	29
TOULOUSE-BLAGNAC	BLAGNAC	31
BORDEAUX-MERIGNAC	MERIGNAC	33
MONTPELLIER- AEROPORT	MAUGUIO	34
RENNES-ST JACQUES	SAINT-JACQUES-DE-LA- LANDE	35
BOURGES	CHATEAUROUX DEOLS	36
TOURS	PARCAY-MESLAY	37
MONT-DE-MARSAN	MONT-DE-MARSAN	40
NANTES-BOUGUENAIS	BOUGUENAIS	44
GONNEVILLE	CARNEVILLE	50
REIMS-PRUNAY	PRUNAY	51
HOUDELAINCOURT	HOUDELAINCOURT	55
AMIENS-GLISY	BEAUVAIS-TILLE	60
ALENCON	CERISE	61
LILLE-LESQUIN	MARCK	62

CLERMONT-FD	CLERMONT-FERRAND	63
BIARRITZ-PAYS-BASQUE	ANGLET	64
PERPIGNAN	PERPIGNAN	66
STRASBOURG-ENTZHEIM	STRASBOURG-ENTZHEIM	67
LYON-BRON	LYON-BRON	69
PARIS-MONTSOURIS	ORLY	75
POITIERS-BIARD	POITIERS-BIARD	86
LIMOGES-BELLE GARDE	LIMOGES-BELLE GARDE	87

Annexe 5 – Questionnaire

D) Identification et prévention des risques liés à la chaleur

1. Combien avez-vous de licenciés à l'année ? Observez-vous une ou plusieurs classes d'âge majoritaire parmi eux (<18 ans, seniors) et/ou une tendance de pratique spécifique (sexe...) ?
2. La chaleur est-elle identifiée comme présentant des risques particuliers pour vos disciplines ?

Si oui, plus spécifiquement :

- a. Quels sont les risques identifiés ?
 - b. Quels facteurs de risque liés à votre pratique, à l'environnement ou aux comportements des sportifs identifiez-vous ?
 - c. Vous semble-t-il possible d'agir sur ces facteurs de risque ? Si oui, de quelles façons ?
3. Dans les clubs, les encadrants et entraîneurs sont-ils sensibilisés à ce risque thermique ?

Si oui, plus spécifiquement :

- a. Sont-ils formés à reconnaître les premiers symptômes d'un coup de chaleur ?
 - b. Sont-ils formés aux premiers gestes de secours ? Si oui, connaissent-ils les conduites à tenir en cas d'hyperthermie ?
 - c. Sont-ils incités à adapter les séances pour réduire le risque ?
 - d. Ces formations prennent-elles en compte l'âge des pratiquants (enfants, adultes...) et les conditions (intérieur/extérieur, entraînement/compétition, habillement spécifique...)?
4. En cas de compétition, le règlement prend-il en compte les conditions climatiques, notamment la chaleur ? Si oui, via quel indicateur météorologique (température, WBGT), et pouvez-vous donner des exemples d'actions ?
 5. Menez-vous des actions spécifiques de sensibilisation au risque thermique envers les personnes qui pratiquent l'activité en club ? Et envers ceux qui pratiquent de manière autonome, non licencié ?
 6. Connaissez-vous la fiche destinée aux sportifs et à leur entourage des recommandations sanitaires du « Plan national canicule 2014 » du Haut Conseil de la santé publique ? Si oui, vous semble-t-elle utile ?
 7. Connaissez-vous la fiche destinée aux organisateurs de manifestations sportives des recommandations sanitaires du « Plan national canicule 2014 » du Haut Conseil de la santé publique ? Si oui, vous semble-t-elle utile ?

II) Données disponibles à la fédération

8. Les clubs vous ont-ils remontés des données concernant des incidents en lien avec la chaleur ? Si oui pouvez-vous préciser le type d'information ?

9. Avez-vous déjà reporté ou annulé une compétition ou un événement à cause de la chaleur ? Si oui, était-ce en anticipation du risque ou suite à la survenue d'un événement ?
10. Avez-vous déjà modifié des pratiques suite à des remontées d'incidents ou des reports de compétitions ?
11. Avez-vous connaissances d'incidents en lien avec la chaleur chez des personnes qui pratiquent l'activité de manière autonome, non licencié, en dehors d'un club ? Si oui pouvez-vous préciser le type d'information ?

III) Perspectives futures

12. Conduisez-vous actuellement, ou projetez-vous des travaux sur les risques liés à la chaleur ?
13. Dans une logique d'adaptation au changement climatique, envisagez-vous des modifications des conditions de pratiques (ex : modification des infrastructures, des règlements, de l'équipement) ?
14. Seriez-vous intéressés pour réaliser une étude sur l'impact de la chaleur sur la santé dans le contexte de la pratique sportive que ce soit au sein des clubs lors de l'entraînement ou lors de compétitions ?

IV) Présenter les résultats de typologie spécifiques à leur pratique

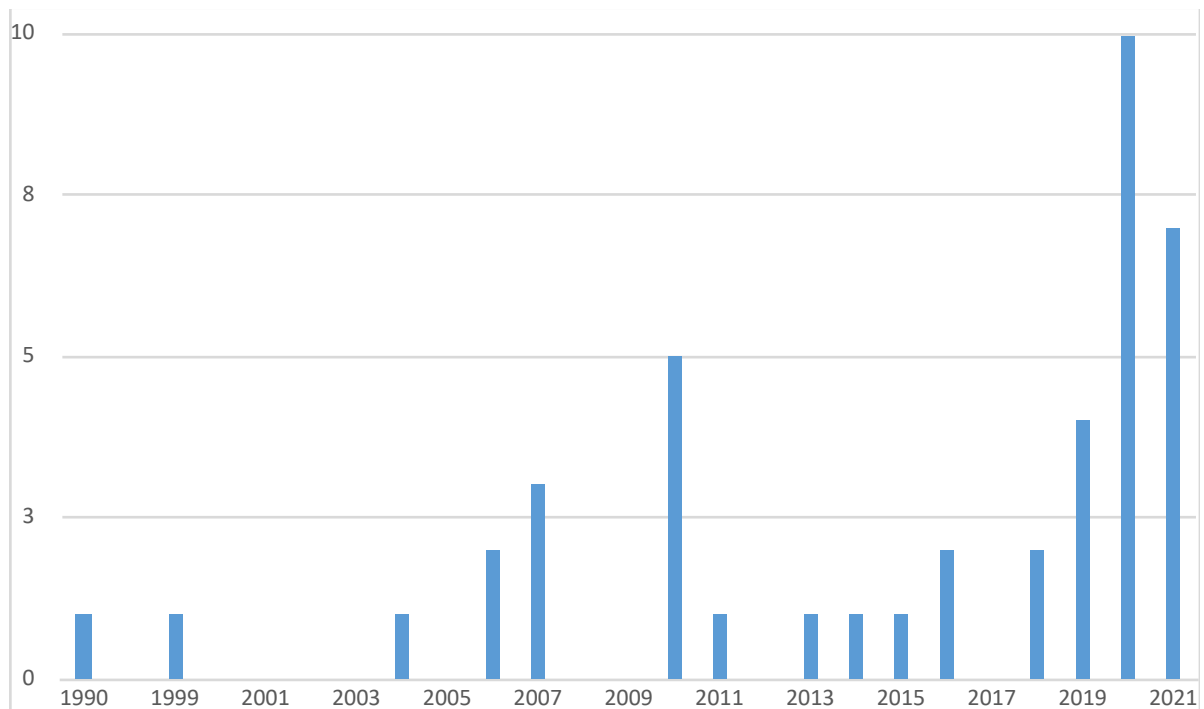
A partir d'un état des lieux des connaissances, nous avons tenté de classer les sports par niveau de risque.

Voici où se situe votre activité selon nos hypothèses. Cela vous paraît-il une bonne analyse de la situation ?

- V) Sur ce sujet des risques liés à la chaleur, y a-t-il un point que nous n'avons pas abordé lors de cet entretien et que vous souhaiteriez développer ?**

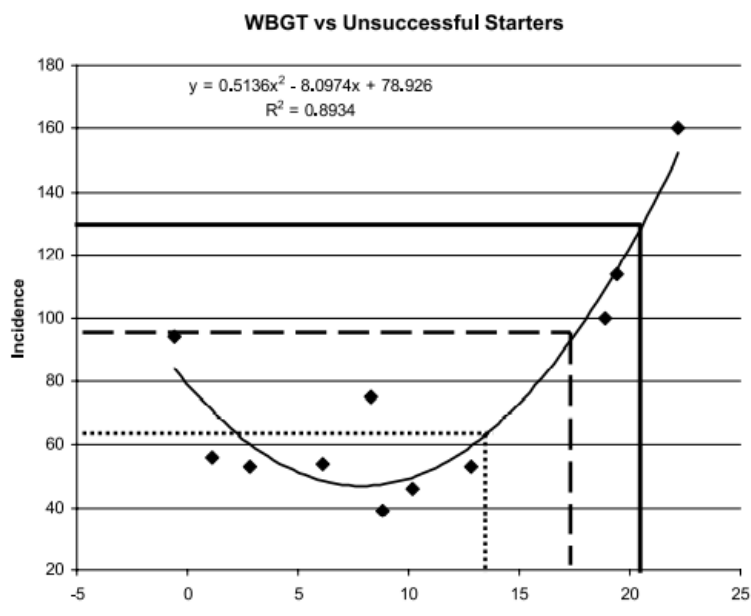
Annexe 6 – Date de parution des articles analysés

Graphique du nombre d'articles épidémiologiques en fonction de l'année de publication

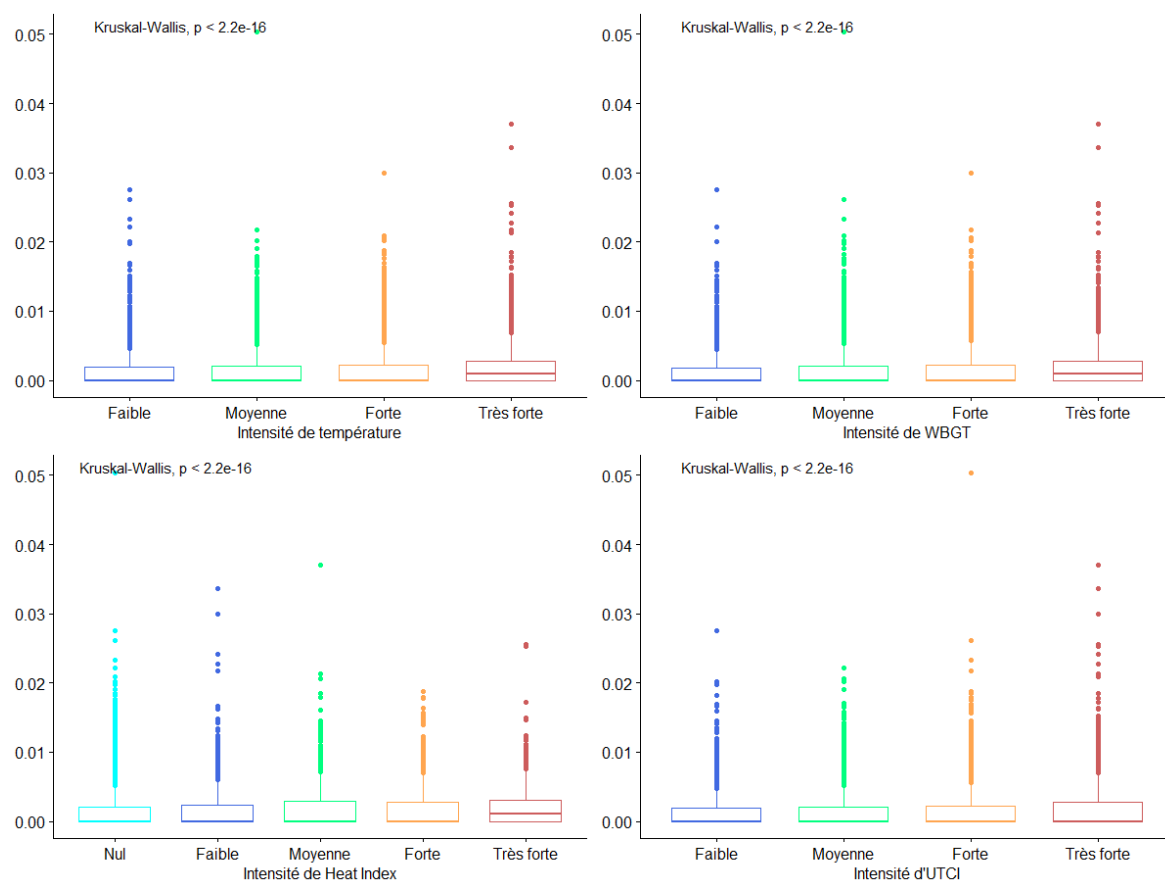


Annexe 7 – Incidence de départ infructueux en fonction du WBGT (Roberts W.O. / PMID : 19927037)

Graphique de l'incidence de départ infructueux en fonction du WBGT



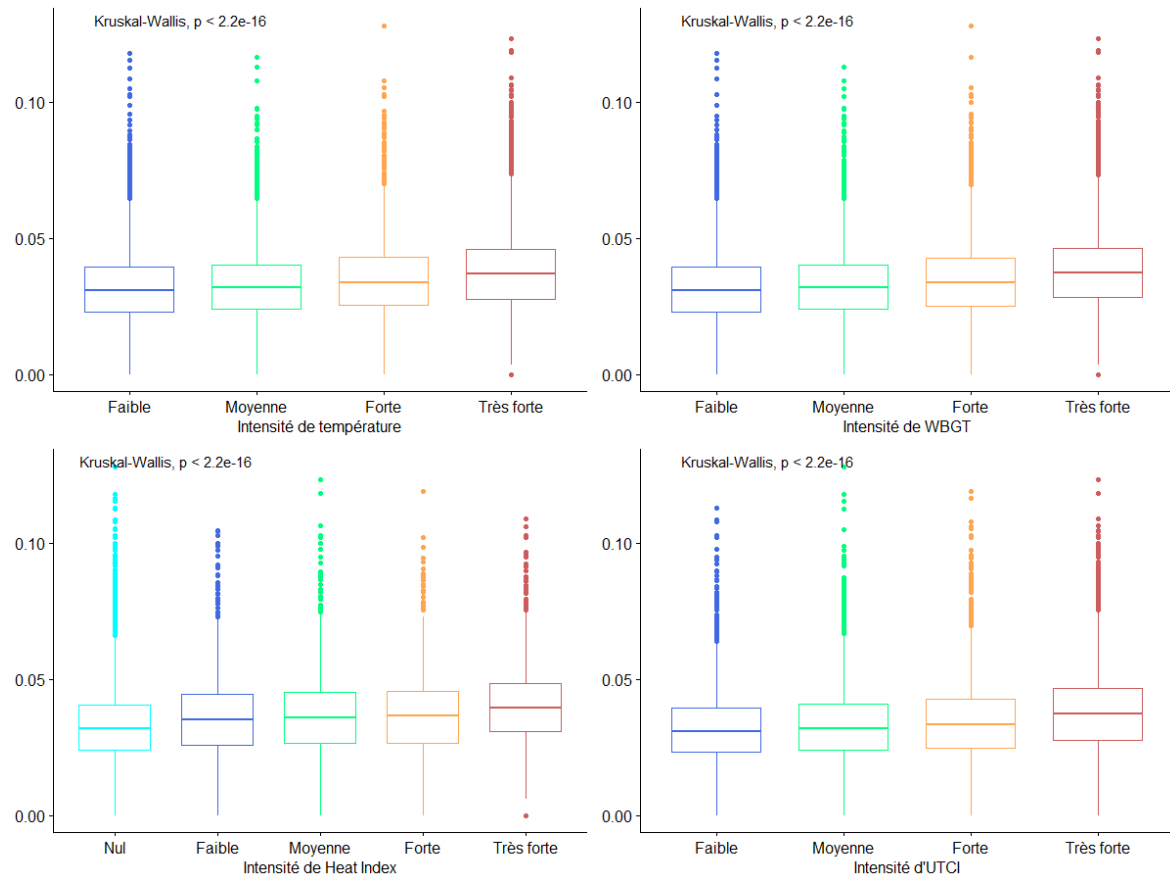
Annexe 8 – Taux de passages pour malaise, hyponatrémie, fièvre isolée et déshydratation en fonction du niveau d'exposition



Taux de passages pour hyponatrémie selon les niveau d'exposition

	Température				WBGT				
Taux de passage moyen pour hyponatrémie ($.10^{-5}$)	124	138	151	182	117	140	154	185	
Taux de passage médian pour hyperthermie ($.10^{-5}$)	0	0	0	87	0	0	0	90	
Taux de passage au 90^{ème} percentile pour hyponatrémie ($.10^{-5}$)	452	442	471	496	423	450	481	500	
	Heat Index				UTCI				
Taux de passage moyen pour hyponatrémie ($.10^{-5}$)	134	163	186	181	196	192	138	155	183
Taux de passage médian pour hyponatrémie ($.10^{-5}$)	0	0	0	0	107	0	0	0	0

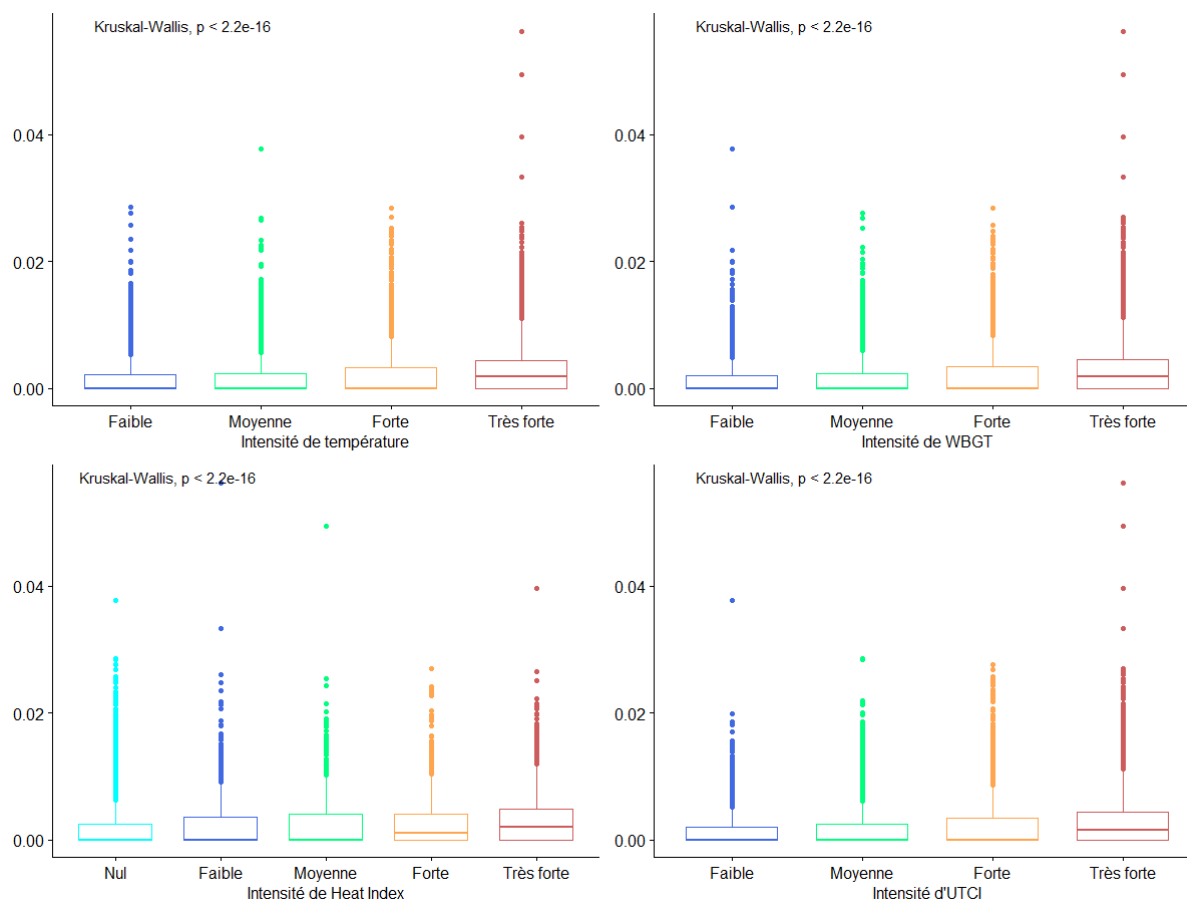
Taux de passage au 90^{ème} percentile pour hyponatrémie ($.10^{-5}$)	441	490	553	503	503	412	450	488	512
--	-----	-----	-----	------------	------------	-----	-----	-----	-----



Taux de passages pour malaise selon les niveau d'exposition

	Température				WBGT				
Taux de passage moyen pour malaise ($.10^{-3}$)	32	33	35	38	32	33	35	38	
Taux de passage médian pour hyperthermie ($.10^{-3}$)	31	32	34	37	31	32	34	37	
Taux de passage au 90^{ème} percentile pour hyponatrémie ($.10^{-3}$)	49	50	53	56	49	50	53	57	
	Heat Index				UTCI				
Taux de passage moyen pour hyponatrémie ($.10^{-3}$)	33	36	37	37	39	32	33	35	38

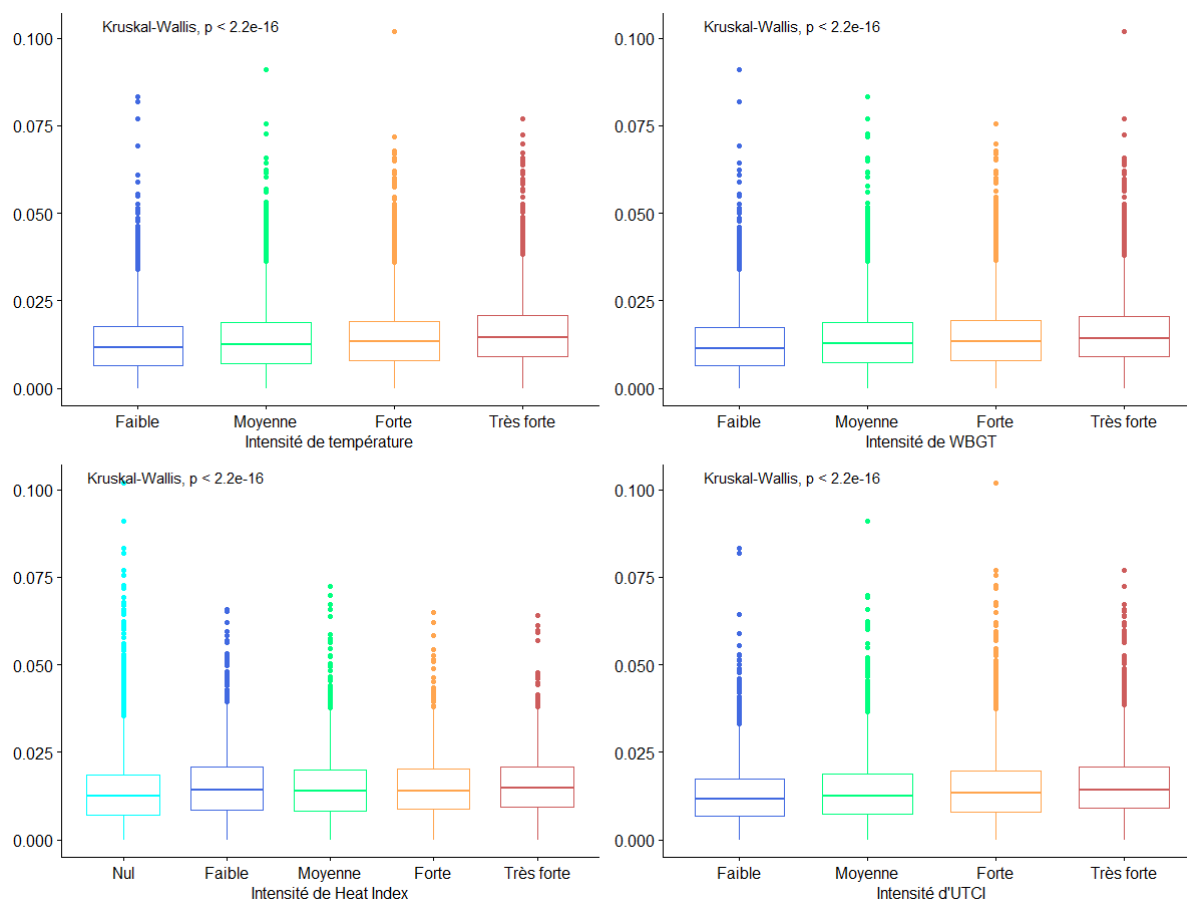
Taux de passage médian pour hyponatrémie ($.10^{-3}$)	32	35	36	36	39	31	32	33	37
Taux de passage au 90^{ème} percentile pour hyponatrémie ($.10^{-3}$)	50	56	56	57	57	48	50	53	57



Taux de passages pour déshydratation selon les niveau d'exposition

	Température				WBGT			
Taux de passage moyen pour déshydratation ($.10^{-5}$)	166	159	201	286	133	163	204	295
Taux de passage médian pour déshydratation ($.10^{-5}$)	0	0	0	177	0	0	0	182
Taux de passage au 90^{ème} percentile pour déshydratation ($.10^{-5}$)	520	508	585	733	489	535	592	752

	Heat Index					UTCI			
Taux de passage moyen pour déshydratation ($\cdot 10^{-5}$)	167	230	251	260	322	130	164	210	289
Taux de passage médian pour déshydratation ($\cdot 10^{-5}$)	0	0	0	98	201	0	0	0	147
Taux de passage au 90^{ème} percentile pour déshydratation ($\cdot 10^{-5}$)	535	626	733	711	807	457	541	629	747



Taux de passages pour fièvre isolée selon les niveau d'exposition

	Température				WBGT			
Taux de passage moyen pour fièvre isolée ($\cdot 10^{-4}$)	129	137	143	154	126	138	145	153

Taux de passage médian pour fièvre isolée (.10 ⁻⁴)	116	124	133	144	115	127	133	142	
Taux de passage au 90^{ème} percentile pour fièvre isolée (.10 ⁻⁴)	244	255	263	270	241	257	265	271	
	Heat Index					UTCI			
Taux de passage moyen pour fièvre isolée (.10 ⁻⁴)	135	154	149	151	155	126	138	145	153
Taux de passage médian pour fièvre isolée (.10 ⁻⁴)	124	142	138	140	147	117	125	134	142
Taux de passage au 90^{ème} percentile pour fièvre isolée (.10 ⁻⁴)	251	282	275	176	269	237	254	269	275

Annexe 9 – Intervalles de confiance des risques relatifs de passage aux urgences selon la température et les classes d'âges (associés aux Tableaux 3-6)

Classes d'âges	Intervalle de confiance (Température)				
	Hyperthermie	Malaise	Hyponatrémie	Déshydratation	Fièvre isolée
0-14	[1,26 – 1,29]	[1,01 – 1,02]	[0,98 – 1,11]	[1,09 – 1,12]	[1,03 – 1,03]
15-29	[1,22 – 1,25]	[1,02 – 1,02]	[1,03 – 1,14]	[1,14 – 1,18]	[1,02 – 1,03]
30-44	[1,25 – 1,29]	[1,02 – 1,02]	[1,01 – 1,07]	[1,12 – 1,16]	[1,01 – 1,02]
45-59	[1,27 – 1,32]	[1,02 – 1,02]	[1,02 – 1,05]	[1,11 – 1,14]	[1,01 – 1,02]
60-74	[1,27 – 1,31]	[1,01 – 1,02]	[1,02 – 1,04]	[1,08 – 1,10]	[0,99 – 1,003]
+75	[1,31 – 1,36]	[1,01 – 1,01]	[1,06 – 1,07]	[1,10 – 1,11]	[1,003 – 1,01]
Tous	[1,27 – 1,28]	[1,02 – 1,02]	[1,05 – 1,06]	[1,11 – 1,12]	[1,02 – 1,02]

Risques relatifs de passage aux urgences selon la température et les classes d'âges

Classes d'âges	Intervalle de confiance (WBGT)				
	Hyperthermie	Malaise	Hyponatrémie	Déshydratation	Fièvre isolée
0-14	[1,33 – 1,37]	[1,01 – 1,03]	[0,98 – 1,14]	[1,13 – 1,16]	[1,04 – 1,04]
15-29	[1,29 – 1,33]	[1,02 – 1,03]	[1,04 – 1,18]	[1,21 – 1,26]	[1,02 – 1,04]
30-44	[1,33 – 1,39]	[1,02 – 1,03]	[1,01 – 1,08]	[1,16 – 1,21]	[1,01 – 1,03]
45-59	[1,35 – 1,41]	[1,02 – 1,03]	[1,03 – 1,07]	[1,15 – 1,19]	[1,01 – 1,03]
60-74	[1,37 – 1,42]	[1,01 – 1,02]	[1,03 – 1,06]	[1,11 – 1,14]	[0,99 – 1,01]
+75	[1,39 – 1,46]	[1,01 – 1,02]	[1,07 – 1,09]	[1,13 – 1,14]	[1,01 – 1,02]
Tous	[1,34 – 1,37]	[1,02 – 1,02]	[1,07 – 1,08]	[1,14 – 1,15]	[1,02 – 1,03]

Risques relatifs de passage aux urgences selon la WBGT et les classes d'âges

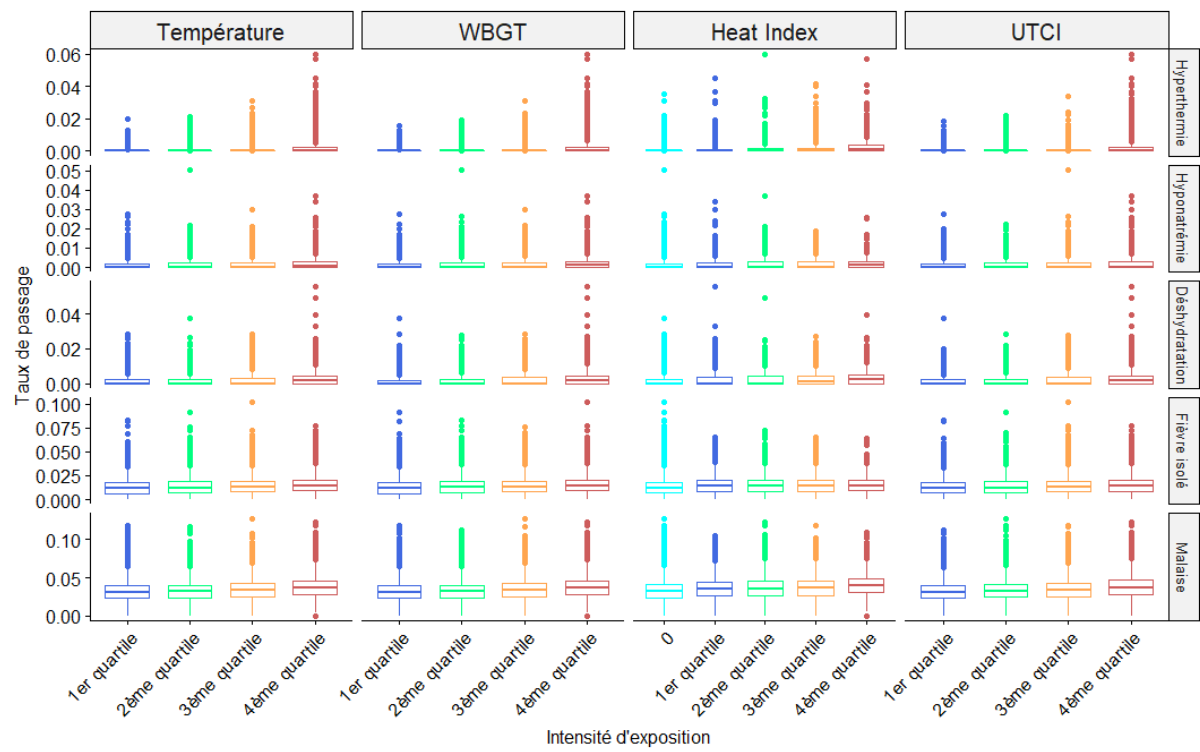
Classes d'âges	Intervalle de confiance (UTCI)				
	Hyperthermie	Malaise	Hyponatrémie	Déshydratation	Fièvre isolée
0-14	[1,18 – 1,20]	[1,01 – 1,01]	[0,97 – 1,06]	[1,06 – 1,08]	[1,02 – 1,02]
15-29	[1,15 – 1,17]	[1,01 – 1,02]	[1,01 – 1,09]	[1,11 – 1,14]	[1,01 – 1,02]
30-44	[1,18 – 1,21]	[1,01 – 1,02]	[1,01 – 1,05]	[1,07 – 1,10]	[1,01 – 1,02]
45-59	[1,18 – 1,23]	[1,01 – 1,01]	[1,01 – 1,04]	[1,07 – 1,10]	[1,004 – 1,01]
60-74	[1,18 – 1,22]	[1,01 – 1,01]	[1,02 – 1,03]	[1,05 – 1,07]	[0,997– 1,004]
+75	[1,21 – 1,25]	[1,01 – 1,01]	[1,03 – 1,04]	[1,06 – 1,07]	[1,003 – 1,01]
Tous	[1,18 – 1,20]	[1,01 – 1,01]	[1,03 – 1,04]	[1,07 – 1,08]	[1,01 – 1,01]

Risques relatifs de passage aux urgences selon la UTCI et les classes d'âges

Classes d'âges	Intervalle de confiance (Heat Index)				
	Hyperthermie	Malaise	Hyponatrémie	Déshydratation	Fièvre isolée
0-14	[1,02 – 1,03]	[1,001 – 1,003]	[0,99 – 1,02]	[1,01 – 1,02]	[1,003 – 1,004]
15-29	[1,02 – 1,02]	[1,003 – 1,004]	[1,01 – 1,02]	[1,02 – 1,02]	[1,001 – 1,001]
30-44	[1,02 – 1,03]	[1,003 – 1,004]	[0,998 – 1,01]	[1,01 – 1,02]	[1,0002 – 1,003]
45-59	[1,02 – 1,03]	[1,003 – 1,004]	[1,001 – 1,01]	[1,01 – 1,02]	[0,9998 – ,003]
60-74	[1,02 – 1,03]	[1,002 – 1,003]	[1,004 – 1,01]	[1,01 – 1,01]	[0,999 – 1,001]
+75	[1,02 – 1,03]	[1,002 – 1,003]	[1,01 – 1,01]	[1,01 – 1,01]	[1,0004 – 1,003]
Tous	[1,02 – 1,02]	[1,003 – 1,004]	[1,01 – 1,01]	[1,01 – 1,01]	[1,002 – 1,003]

Risques relatifs de passage aux urgences selon la Heat Index et les classes d'âges

Annexe 10 – Taux de passages pour hyperthermie, hyponatrémie, déshydratation, fièvre isolée et malaise selon les quartiles de distribution de 4 indicateurs d'exposition.



Annexe 11 – Risque relatif par classes d’âge pour chaque indicateur sanitaire en fonction d’une augmentation d’exposition correspondante à l’IQR des 4 indicateurs d’exposition

	Classe d’âge	IQR	RR calculé pour une augmentation d’exposition correspondant à l’IQR				
			Hyperthermie	Hyponatrémie	Déshydratation	Fièvre isolée	Malaise
Tm	0-14	5,7	3,94 [3,70–4,20]	1,27 [0,87 – 1,81]	1,79 [1,67 – 1,90]	1,18 [1,17 – 1,20]	1,09 [1,06 – 1,11]
	15-29		3,39 [3,16 – 3,64]	1,59 [1,18 – 2,13]	2,37 [2,16 – 2,60]	1,13 [1,09 – 1,17]	1,12 [1,10 – 1,14]
	30-44		3,92 [3,56–4,30]	1,23 [1,04 – 1,45]	2,09 [1,89 – 2,31]	1,09 [1,05 – 1,13]	1,12 [1,10 – 1,14]
	45-59		4,37 [3,92 – 4,86]	1,22 [1,12 – 1,33]	1,96 [1,80 – 2,13]	1,08 [1,04 – 1,12]	1,12 [1,10 – 1,13]
	60-74		4,26 [3,83 – 4,72]	1,20 [1,13 – 1,27]	1,66 [1,56 – 1,76]	0,99 [0,96 – 1,02]	1,08 [1,06 – 1,09]
	75+		5,24 [4,74 – 5,78]	1,41 [1,36 – 1,46]	1,77 [1,71 – 1,82]	1,05 [1,02 – 1,08]	1,07 [1,06 – 1,08]
	Tous		3,97 [3,82 – 4,13]	1,36 [1,32 – 1,40]	1,82 [1,77 – 1,86]	1,11 [1,10 – 1,12]	1,11 [1,10 – 1,11]
WBGT	0-14	4,4	3,75 [3,53 – 3,97]	1,29 [0,90 – 1,80]	1,81 [1,71 – 1,92]	1,18 [1,16 – 1,19]	1,09 [1,07 – 1,12]
	15-29		3,32 [3,11 – 3,54]	1,58 [1,19 – 2,07]	2,52 [2,31 – 2,74]	1,13 [1,09 – 1,17]	1,11 [1,10 – 1,13]
	30-44		3,87 [3,54 – 4,23]	1,21 [1,03 – 1,42]	2,11 [1,92 – 2,32]	1,09 [1,05 – 1,14]	1,12 [1,10 – 1,14]
	45-59		4,12 [3,71 – 4,57]	1,22 [1,12 – 1,32]	1,98 [1,82 – 2,14]	1,09 [1,05 – 1,13]	1,12 [1,10 – 1,13]
	60-74		4,23 [3,82 – 4,68]	1,20 [1,13 – 1,27]	1,67 [1,58 – 1,77]	0,99 [0,96 – 1,02]	1,08 [1,07 – 1,10]
	75+		4,73 [4,29 – 5,21]	1,40 [1,32 – 1,39]	1,74 [1,68 – 1,79]	1,06 [1,03 – 1,09]	1,07 [1,06 – 1,08]
	Tous		3,81 [3,67 – 3,95]	1,35 [1,32 – 1,39]	1,81 [1,77 – 1,86]	1,11 [1,10 – 1,12]	1,11 [1,10 – 1,11]
Heat Index (>0)	0-14	24,5	1,39 [1,31 – 1,47]	0,97 [0,60 – 1,53]	1,27 [1,19 – 1,35]	1,05 [1,03 – 1,07]	1,00 [0,97 – 1,03]
	15-29		1,34 [1,25 – 1,43]	1,44 [1,07 – 1,93]	1,46 [1,34 – 1,59]	1,04 [0,99 – 1,08]	1,06 [1,04 – 1,08]
	30-44		1,44 [1,33 – 1,56]	0,94 [0,74 – 1,18]	1,30 [1,17 – 1,44]	1,02 [0,97 – 1,07]	1,05 [1,03 – 1,07]
	45-59		1,35 [1,23 – 1,48]	1,03 [0,93 – 1,15]	1,34 [1,23 – 1,45]	0,99 [0,94 – 1,04]	1,07 [1,05 – 1,09]

	60-74		1,44 [1,31 – 1,58]	1,07 [0,99 – 1,15]	1,25 [1,17 – 1,33]	1,01 [0,97 – 1,05]	1,05 [1,03 – 1,07]
	75+		1,41 [1,28 – 1,54]	1,17 [1,13 – 1,21]	1,25 [1,21 – 1,30]	1,03 [0,99 – 1,07]	1,05 [1,03 – 1,06]
	Tous		1,38 [1,33 – 1,44]	1,15 [1,11 – 1,18]	1,29 [1,25 – 1,32]	1,04 [1,02 – 1,05]	1,06 [1,05 – 1,07]
UTCI	0-14	8,3	4,17 [3,85 – 4,52]	1,10 [0,75 – 1,59]	1,78 [1,67 – 1,91]	1,17 [1,15 – 1,18]	1,10 [1,07 – 1,12]
	15-29		3,47 [3,18 – 3,78]	1,51 [1,11 – 2,04]	2,60 [2,35 – 2,88]	1,16 [1,12 – 1,20]	1,10 [1,08 – 1,11]
	30-44		4,31 [3,83 – 4,84]	1,28 [1,08 – 1,51]	2,02 [1,81 – 2,26]	1,10 [1,06 – 1,14]	1,10 [1,09 – 1,12]
	45-59		4,74 [4,06 – 5,52]	1,23 [1,13 – 1,34]	1,94 [1,76 – 2,12]	1,08 [1,04 – 1,12]	1,10 [1,08 – 1,11]
	60-74		4,65 [4,04 – 5,33]	1,21 [1,14 – 1,28]	1,65 [1,55 – 1,76]	1,00 [0,97 – 1,03]	1,08 [1,06 – 1,09]
	75+		5,62 [4,91 – 6,42]	1,37 [1,33 – 1,42]	1,71 [1,65 – 1,77]	1,05 [1,02 – 1,08]	1,07 [1,05 – 1,08]
	Tous		4,22 [4,01 – 4,43]	1,34 [1,30 – 1,37]	1,79 [1,74 – 1,84]	1,12 [1,10 – 1,13]	1,09 [1,08 – 1,10]

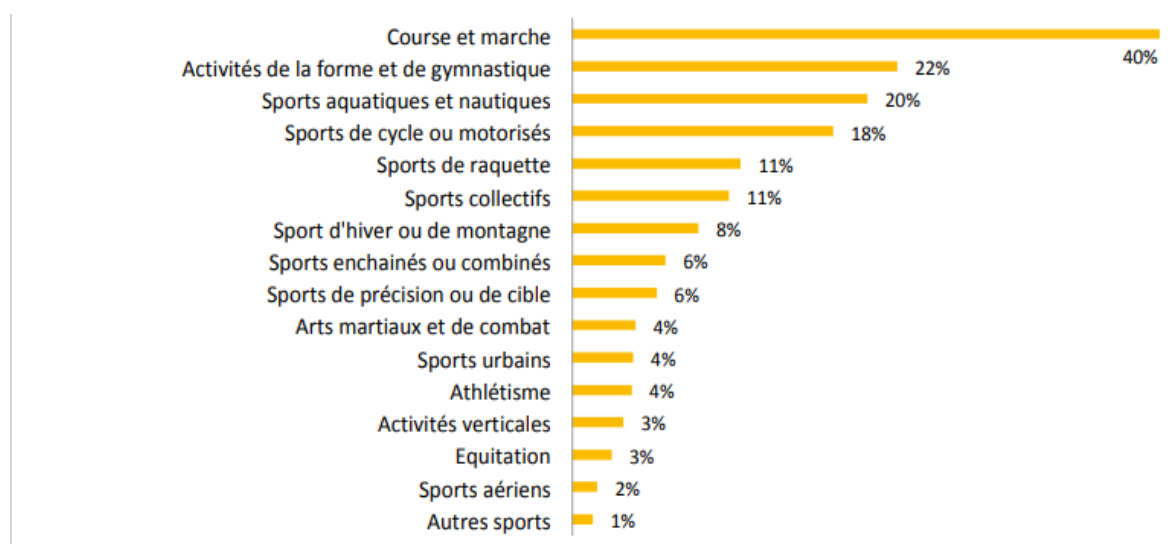
Annexe 12 – Recommandation sur la quantité d’activité physique pouvant être pratiqué selon le WBGT au JO de Tokyo (Source : Japan meteorology agency)

Guidelines to how much exercise can be safely performed

Air temperature (typical value)	WBGT	Guides to how much exercise can be safely performed	
≥ 35 °C	≥ 31	Danger (exercise prohibited)	At a WBGT of 31 °C or above the actual temperature is higher than the skin temperature, so body heat cannot escape, and except for special cases, all exercise should be stopped.
31 - 35 °C	28 - 31	Severe Warning (heavy exercise prohibited)	At a WBGT of above 28 °C the danger of heatillness is high, so events that require heavy exercise or events where the body temperature will rise, like endurance races should be avoided. When such events are held, rest periods should be provided often and water replenishment conducted aggressively. People who are weak or not used to the heat should stop the exercise.
28 - 31 °C	25 - 28	Warning (rests should be provided often)	At a WBGT of above 25 °C the danger of heatillness increases, so rest periods should be provided often and water replenishment conducted. Rest periods should be provided every 30 minutes for events requiring heavy exercise.
24 - 28 °C	21 - 25	Caution (water should be replenished often)	At a WBGT of above 21 °C there is the danger of fatal accidents due to heatillness, so caution is advised, and water replenishment should be promoted during exercise.
< 24 °C	< 21	Almost safe (appropriate water replenishment suggested)	At a WBGT below 21 °C normally the danger of heatillness is small, but appropriate water replenishment is necessary. Heatillness can occur even under these conditions in events such as citizen marathons, so caution is advised.

Annexe 13 – Univers les plus pratiqués en France (Source : Baromètre national des pratiques sportives 2018, INJEP)

Proportion de personnes ayant pratiqué au moins une des activités au cours des 12 derniers mois



Source : INJEP, Ministère des sports, CRÉDOC : Baromètre national des pratiques sportives, 2018.

Champ : ensemble de la population de 15 ans et plus résidant en France DROM compris.

Annexe 14 – Typologie des sports

Sport	Facteurs inhérent à la pratique				Paramètres liés à la thermorégulation			
	Durée de l'effort	Intensité d'exercice	Equipement lourd	Seul (S) / Collectif (C)	Mouvements d'air	Ombre	Possibilité de boire	Intérieur (I) Extérieur (E)
Cyclisme routes	1-4h	>10 MET	Casque	S	++	-	+	E
VTT	1-4h	>10 MET	Casque	S	++	-	+	E
BMX	<1h	7,5-10 MET	Casque	S	++	-	+	E
Cyclisme piste	<1h	>10 MET	Casque	S	++	-	+	I
Musculation (haltérophilie, crossfit, gym suédoise...)	1-2h	7,5-10 MET		S	--		+	I
Danse	1-4h	7,5-10 MET	Costume	S et C	-		+	I
Course à pied longue distance	1-4h	>10 MET		S	+	-	+	E
Course à pied courte distance	<1h	>10 MET		S	+	-	-	E
Badminton	1-2h	5-7,5 MET		C	-		+	I
Volley	1-2h	5-7,5 MET		C	-		+	I
Basketball	1-2h	7,5-10 MET		C	-		+	I
Handball	1-2h	>10 MET		C	-		+	I
Squash	1-2h	>10 MET		C	-		+	I
Boxe	1-2h	>10 MET		C	--		+	I
Baseball	1-2h	<5 MET		C	+	-	+	E
Golf	1-2h	<5 MET		C	-	-	+	E
Pétanque	1-2h	<5 MET		C	--	+	+	E
Boulingrin	1-2h	<5 MET		C	--	+	+	E

Tennis de table	<1h	<5 MET		C	--		+	I
Courses mécaniques circuit/route	1-2h	<5 MET	Protections	C	++	-	+	E
Karting	<1h	<5 MET	Protections	C	++	-	-	E
Escrime	<1h	5-7,5 MET	Protections	C	--		+	I
Football Américain	1-2h	7,5-10 MET	Protections	C	+	-	+	E
Hockey	1-2h	7,5-10 MET	Protections	C	+		+	I
Equitation	1-2h	5-7,5 MET	Casque	S	++	-	+	E
Equitation saut d'obstacle	<1h	7,5-10 MET	Casque	S	++	+	-	E
Arts martiaux	<1h	>10 MET		C	--		+	I
Escalade	<1h	7,5-10 MET		C	--	-	-	E et I
Rugby	1-2h	7,5-10 MET		C	+	-	+	E
Football	1-2h	7,5-10 MET		C	+	-	+	E
Tennis	1-2h	7,5-10 MET		C	-	-	+	E
Skateboard	<1h	5-7,5 MET	Protections	S	+	-	+	E
Roller	1-2h	>10 MET	Protections	S	++	-	+	E
Gymnastique	<1h	5-7,5 MET		S	-		+	I
Athlétisme (hors course)	<1h	5-7,5 MET		S	-	-	+	E
Randonnée	1-8h	7,5-10 MET		S	-	+	+	E

Annexe 15 – Liste des études épidémiologiques analysées

Titre	Auteur
Nonfatal Sports and Recreation Heat Illness Treated in Hospital Emergency Departments --- United States, 2001--2009	Gilchrist J., Haileyesus T., Murphy M.W., Yard E.E.
Exertional Heat Illness and Hyponatremia in Hikers	Howard D Backer, Ellen Shopes, Sherrie L Collins, Howard Barkan
Age- and Sex-Based Differences in Exertional Heat Stroke Incidence in a 7-Mile Road Race	Belval, L. N. Giersch, G. E. W. Adams, W. M. Hosokawa, Y. Jardine, J. F. Katch, R. K. Stearns, R. L. Casa, D. J
Nontraumatic Exertional Fatalities in Football Players, Part 1	Barry P. Boden, Ken M. Fine, Ilan Breit, PA-C Wendee Lentz, Scott A. Anderson
Nontraumatic Exertional Fatalities in Football Players, Part 2: Excess in Conditioning Kills	Barry P. Boden, Ken M. Fine, Tiahna A. Spencer, Ilan Breit, PA-C, and Scott A. Anderson
Injury Incidence and Predictors on a Multiday Recreational Bicycle Tour: The Register's Annual Great Bike Ride Across Iowa, 2004 to 2008	Paul S. Boeke, Hans R. HouseMark A. Graber
Exertional Heat Stroke at the Boston Marathon: Demographics and the Environment	Rebecca G Breslow, Jamie E Collins, Chris Troyanos, Mylan C Cohen, Pierre d'Hemecourt, K. Sophia Dyer, Aaron Baggish
Risk factors for exercise-associated hyponatremia in non-elite marathon runners	Chorley, J. Cianca, J. Divine, J.
Exertional Heat Illness in American Football Players: When Is the Risk Greatest?	Earl R. Cooper, Michael S. Ferrara, Douglas J. Casa; John W. Powell, Steven P. Broglio; Jacob E. Resch, Ronald W. Courson
Exertional heat illness and environmental conditions during a single football season in the southeast	Earl R. Cooper; Michael S. Ferrara; Steven P. Broglio
Environmental conditions and the occurrence of exertional heat illnesses and exertional heat stroke at the Falmouth Road Race	Julie K. DeMartini; Douglas J. Casa, Luke N. Belval, Arthur Crago, Rob J. Davis, John J. Jardine, Rebecca L. Stearns

Heat-related injuries resulting in hospitalisation in Australian sport	Timothy Robert Driscoll, Raymond Cripps , John R. Brotherhood
Epidemiology of illnesses encountered during a marathon race – An EMS perspective	Yusra Fatima, Amaan Ahmed, Sohail Abdullah, Imran Shareef
The descriptive epidemiology of sports/leisure-related heat illness hospitalisations in New South Wales, Australia	Caroline F. Fincha, Soufiane Boufous
Exertional heat fatalities in Australian sport and recreation	Lauren Fortington, Prasanna Gamage, Anna Cartwright, Lyndal Bugeja
Influence of environmental and ground conditions on injury risk in rugby league	Tim Gabbett, Amirali Minbashian, Caroline Finch
Epidemiology of exertional heat illnesses in organised sports: A systematic review	Prasanna J. Gamage, Lauren V. Fortington, Caroline F. Finch
Risk factors for collapse of runners: A report on the 1988 Toronto Marathon	Gerstein, S. M.
Illness at a Para Athletics Track and Field World Championships under Hot and Humid Ambient Conditions	Grobler, L. Derman, W. Racinais, S. Ngai, A. S. H. van de Vliet, P.
Fatal Exertional Heat Stroke and American Football Players: The Need for Regional Heat-Safety Guidelines	Andrew J. Grundstein, Yuri Hosokawa, Douglas J. Casa,
A retrospective analysis of American football hyperthermia deaths in the United States	Andrew J. Grundstein & Craig Ramseyer & Fang Zhao & Jordan L. Pesses & Pete Akers & Aneela Qureshi & Laura Becker & John A. Knox & Myron Petro
Heat Stress and Injury Prevention Practices During Summer High School Football Training in South Texas	Christopher M Hearon, Alberto Ruiz, Zachary J Taylor
The effects of climatic and environmental factors on heat-related illnesses: A systematic review from 2000 to 2020	Hamidreza Heidaria , Abolfazl Mohammadbeigib, Salman Khazaieic , Ahmad Soltanzadeha , Azadeh Asgariand , Abedin Saghafipour

Apparent temperature and heat-related illnesses during international athletic championships: A prospective cohort study	Karsten Hollander, Milan Klöwer, Andy Richardson, Laurent Navarro, Sébastien Racinais, Volker Scheer, Andrew Murray, Pedro Branco, Toomas Timpka, Astrid Junge, Pascal Edouard
Epidemiology of sudden death in organized school sports in Japan	Yuri Hosokawa, Yuki Murata , Rebecca L. Stearns , Miwako Suzuki-Yamanaka , Kristen L. Kucera et Douglas J. Casa
Epidemiology of Exertional Heat Illness Among U.S. High School Athletes	Zachary Y. Kerr, Douglas J. Casa, Stephen W. Marshall, R. Dawn Comstock
Exertional Heat-Stroke Preparedness in High School Football by Region and State Mandate Presence	Zachary Y. Kerr; Samantha E. Scarneo-Miller; Susan W. Yeargin; Andrew J. Grundstein, Douglas J. Casa; Riana R. Pryor; Johna K. Register-Mihalik
The Epidemiology and Management of Exertional Heat Illnesses in High School Sports During the 2012/2013–2016/2017 Academic Years	Kerr, Z. Y. Yeargin, S. W. Hosokawa, Y. Hirschhorn, R. M. Pierpoint, L. A. Casa, D. J.
Association Between Early Stage-Related Factors and Mortality in Patients with Exertional Heat Stroke: A Retrospective Study of 214 Cases	Shuyuan Liu, Ling Xing Qian Wang, Tianyu Xin, Handing Mao, Ye Tao, Jinbao Zhao, Xin Li, Cong Li, Qinghua Li, Yan Dou, Yixin Li, Wei Zhang, Bo Ning, Qing Song
Sports related heat injury in Victoria, Australia: An analysis of 11 years of hospital admission and emergency department data	Stephen McMahon, Prasanna Gamage, Lauren V. Fortington
Regional differences in exertional heat illness rates among Georgia USA high school football players	Shaina Poore & Andrew Grundstein & Earl Cooper & Jerry Shannon
Epidemiology and risk factors for heat illness: 11 years of Heat Stress Monitoring Programme data from the FIVB Beach Volleyball World Tour	Sebastien Racinais , Marine Alhammoud , Nada Nasir, Roald Bahr
Health status, heat preparation strategies and medical events among elite cyclists who competed in the heat at the 2016 UCI Road World Cycling Championships in Qatar	Sebastien Racinais , David Nichols, Gavin Travers , Sebastien Moussay, Taoufik Belfekih, Abdulaziz Farooq , Yorck Olaf Schumacher, Julien D Périard

Determining a "do not start" temperature for a marathon on the basis of adverse outcomes	William O Roberts
Alterations in core temperature during World Rugby Sevens Series tournaments in temperate and warm environments	Taylor, L. Thornton, H. R. Lumley, N. Stevens, C. J.
Is Physiological Equivalent Temperature (PET) a superior screening tool for heat stress risk than Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) index? Eight years of data from the Gothenburg half marathon	Sofia Thorsson, David Rayner, Gunnar Palm, Fredrik Lindberg, Eric Carlstrom, Mats Borjesson, Finn Nilson, Amir Khorram-Manesh, Bjorn Holmer
Impacts of ambient temperature and seasonal changes on sports injuries in Madrid, Spain: a time-series regression analysis	Aurelio Tobías ,Martí Casals, Marc Saez,Masamitsu Kamada, Yoonhee Kim
Exertional Heat Illnesses and Environmental Conditions During High School Football Practices	Brady L. Tripp, Lindsey E. Eberman, Michael Seth Smith
Factors Affecting Incidence Rate of Exertional Heat Illnesses: Analysis of 6 Years of High School Football Practices in North Central Florida	Brady L. Tripp, Zachary K. Winkelmann, Lindsey E. Eberman, and Michael Seth Smith
Exertional heat illness risk factors and physiological responses of youth football players	Susan W. Yeargin, John J. Dickinson , Dawn M. Emerson, Jessica Koller, Toni M. Torres-McGehee, Zachary Y. Kerr
Epidemiology of Exertional Heat Illnesses in National Collegiate Athletic Association Athletes During the 2009-2010 Through 2014-2015 Academic Years	Susan W. Yeargin, Thomas P. Dompier, Douglas J. Casa, Rebecca M. Hirschhorn, Zachary Y. Kerr
Epidemiology of Exertional Heat Illnesses in Youth, High School, and College Football	Susan W Yeargin, Zachary Y Kerr, Douglas J Casa, Aristarque Djoko, Ross Hayden, John T Parsons, Thomas P Dompier

*Faculté de Pharmacie,
Université Grenoble Alpes*



Serment de Galien



« En présence des Maîtres de la Faculté, des Conseillers de l'Ordre des Pharmaciens et de mes condisciples, je jure :

D'honorer ceux qui m'ont instruit(e) dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert(e) d'opprobre et méprisé(e) de mes confrères si j'y manque ».

8 – Résumé

L'activité physique est un facteur indispensable au maintien d'une bonne santé chez tout individu. De nos jours, c'est un déterminant de santé largement sous-estimé par la population générale. Dans un contexte de changement climatique et d'augmentation des fréquences d'événements extrêmes comme les canicules, pratiquer une activité physique en toute sécurité s'annonce être un enjeu dans la décennie à venir. Ceci pour des niveaux de pratiques allant du loisir aux Jeux olympiques, en passant par le milieu scolaire. Les réseaux de surveillance syndromique des autorités sanitaires ont déjà observé une augmentation des hyperthermies lors de périodes de fortes chaleurs, en particulier chez les jeunes. Très peu de recommandations ou règlements officiels existent à ce sujet et sont très peu connus dans le milieu sportif.

Cette étude débute par une revue des connaissances scientifiques disponibles sur le sujet. Il s'agira ensuite de décrire les données sanitaires et météorologiques pertinentes. Celles-ci sont issues du réseau de surveillance SurSaUD® des passages aux urgences et de Météo France qui mène une réflexion sur tout un panel d'indices de confort thermique. Les indicateurs d'exposition sont issus de 33 stations réparties dans les différents climats de France et calculés sur la période 1^{er} juin – 15 septembre entre 2015 et 2019 pour correspondre aux dernières données appropriées de passages aux urgences. La diversité d'activités sportives en France implique de dresser une typologie des pratiques afin d'orienter les futures méthodes de surveillance, de prévention et d'intervention.

Sur les 42 études épidémiologiques sélectionnées, la plupart sont réalisées aux États-Unis. Les indices météorologiques étudiés sont principalement la température et le WBGT. Il est décrit des impacts sanitaires sur la mortalité, les passages aux urgences et sur l'incidence de

pathologies comme les crampes, syncopes, épuisements, hyperthermies et hyponatrémies dues à l'exercice. Plusieurs types de surveillance sont mis en place : réseau longitudinal des autorités sanitaires, systèmes spécifiques aux événements sportifs ou la surveillance et remontée de données issues du cadre scolaire. Très peu d'informations sont disponibles sur les conditions de pratiques ou sur la pratique autonome. En France, nous identifions quatre indicateurs d'intérêt : la température, le WBGT, le *Heat Index* et l'UTCI. Ils sont corrélés avec les niveaux de vigilance et l'état de canicule. Chacun d'eux permet de caractériser un excès de risque de recours aux soins d'urgence pour plusieurs causes relatives à la chaleur : hyperthermie, déshydratation, hyponatrémie, malaises et fièvres isolées . Une typologie des sports a pu être dressée spécifiant les facteurs de risques liés à différentes pratiques lors de fortes chaleurs. Des entretiens avec diverses fédérations de sport ont permis de mieux comprendre la perception et gestion du risque chaleur dans des milieux sportifs encadrés.

On retient des connaissances scientifiques concentrées aux États-Unis, utilisant majoritairement le WBGT pour étudier la pratique du football américain. Les impacts sont graves et inhérents aux types de pratiques et de populations tout comme les leviers de préventions. Les paramètres d'hydratation et d'acclimatation paraissent être les plus importants à contrôler afin de diminuer le risque. La température semble être l'indicateur d'exposition le plus pertinent, mais il serait pertinent de développer une mesure permettant de quantifier précisément la charge thermique individuelle. Il est important de sécuriser et de promouvoir la pratique d'activité physique tout en s'adaptant aux conditions climatiques futures.