HAL
open science

Modèle psycho-cognitif du coup de chaleur d'exercice : description et évaluation préliminaire par une étude cas-témoins dans la population militaire française

Camille Mellier

To cite this version:

Camille Mellier. Modèle psycho-cognitif du coup de chaleur d'exercice : description et évaluation préliminaire par une étude cas-témoins dans la population militaire française. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03403441

HAL Id: dumas-03403441

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03403441

Submitted on 26 Oct 2021

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.

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix*Marseille Université

Modèle psycho-cognitif du coup de chaleur d'exercice : description et évaluation préliminaire par une étude cas-témoins dans la population militaire française

T H E S E A R T I C L E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES

DE MARSEILLE

Le 8 Octobre 2021

Par Madame Camille MELLIER

Née le 24 juin 1994 à Cherbourg-En-Cotentin (50)

Élève de l'Ecole du Val-de-Grâce – Paris

Ancien élève de l'Ecole de Santé des Armées – Lyon-Bron

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de MÉDECINE GÉNÉRALE

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur AIGLE Luc	**Président**
Monsieur le Professeur Associé SAGUI Emmanuel	**Assesseur**
Monsieur le Docteur JOUVION Arnaud-Xavier	**Assesseur**
Monsieur le Docteur BERENGUER Michel	**Assesseur**
Monsieur le Docteur VERDONK Charles	**Co-directeur**
Monsieur le Docteur TARDO-DINO Pierre-Emmanuel	**Co-Directeur**

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix*Marseille Université

Modèle psycho-cognitif du coup de chaleur d'exercice : description et évaluation préliminaire par une étude cas-témoins dans la population militaire française

T H E S E A R T I C L E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES

DE MARSEILLE

Le 8 Octobre 2021

Par Madame Camille MELLIER

Née le 24 juin 1994 à Cherbourg-En-Cotentin (50)

Élève de l'Ecole du Val-de-Grâce – Paris

Ancien élève de l'Ecole de Santé des Armées – Lyon-Bron

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de MÉDECINE GÉNÉRALE

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur AIGLE Luc	**Président**
Monsieur le Professeur Associé SAGUI Emmanuel	**Assesseur**
Monsieur le Docteur JOUVION Arnaud-Xavier	**Assesseur**
Monsieur le Docteur BERENGUER Michel	**Assesseur**
Monsieur le Docteur VERDONK Charles	**Co-directeur**
Monsieur le Docteur TARDO-DINO Pierre-Emmanuel	**Co-Directeur**

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix-Marseille Université

FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES & PARAMÉDICALES

Doyen	**:**	**Pr. Georges LEONETTI**
Vice-Doyen aux affaires générales	:	Pr. Patrick DESSI
Vice-Doyen aux professions paramédicales	:	Pr. Philippe BERBIS
Conseiller	:	Pr. Patrick VILLANI

Assesseurs :

➢ aux études	:	Pr. Kathia CHAUMOITRE
➢ à la recherche	:	Pr. Jean-Louis MEGE
➢ à l'unité mixte de formation continue en santé	:	Pr. Justin MICHEL
➢ pour le secteur NORD	:	Pr. Stéphane BERDAH
➢ Groupements Hospitaliers de territoire	:	Pr. Jean-Noël ARGENSON
➢ aux masters	:	Pr. Pascal ADALIAN

Chargés de mission :

➢ sciences humaines et sociales	:	Pr. Pierre LE COZ
➢ relations internationales	:	Pr. Stéphane RANQUE
➢ DU/DIU	:	Pr. Véronique VITTON
➢ DPC, disciplines médicales & biologiques	:	Pr. Frédéric CASTINETTI
➢ DPC, disciplines chirurgicales	:	Dr. Thomas GRAILLON

ÉCOLE DE MEDECINE

Directeur	**:**	**Pr. Jean-Michel VITON**

Chargés de mission

▪ PACES – Post-PACES	:	Pr. Régis GUIEU
▪ DFGSM	:	Pr. Anne-Laure PELISSIER
▪ DFASM	:	Pr. Marie-Aleth RICHARD
▪ DFASM	:	Pr. Marc BARTHET
▪ Préparation aux ECN	:	Dr Aurélie DAUMAS
▪ DES spécialités	:	Pr. Pierre-Edouard FOURNIER
▪ DES stages hospitaliers	:	Pr. Benjamin BLONDEL
▪ DES MG	:	Pr. Christophe BARTOLI
▪ Démographie médicale	:	Dr. Noémie RESSEGUIER
▪ Etudiant	:	Elise DOMINJON

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix-Marseille Université

ÉCOLE DE MEDECINE DENTAIRE

Directeur : **Pr. Bruno FOTI**

ÉCOLE DE DE MAIEUTIQUE

Directrice : **Madame Carole ZAKARIAN**

Chargés de mission

- 1er cycle : Madame Estelle BOISSIER
- 2ème cycle : Madame Cécile NINA

ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION

Directeur : **Monsieur Philippe SAUVAGEON**

Chargés de mission

- Masso- kinésithérapie 1er cycle : Madame Béatrice CAORS
- Masso-kinésithérapie 2ème cycle : Madame Joannie HENRY
- Mutualisation des enseignements : Madame Géraldine DEPRES

ÉCOLE DES SCIENCES INFIRMIERES

Directeur : **Monsieur Sébastien COLSON**

Chargés de mission

- Chargée de mission : Madame Sandrine MAYEN RODRIGUES
- Chargé de mission : Monsieur Christophe ROMAN

PROFESSEURS HONORAIRES

MM AGOSTINI Serge
ALDIGHIERI René
ALESSANDRINI Pierre
ALLIEZ Bernard
AQUARON Robert
ARGEME Maxime
ASSADOURIAN Robert
AUFFRAY Jean-Pierre
AUTILLO-TOUATI Amapola
AZORIN Jean-Michel
BAILLE Yves
BARDOT Jacques
BARDOT André
BERARD Pierre
BERGOIN Maurice
BERLAND Yvon
BERNARD Dominique
BERNARD Jean-Louis
BERNARD Jean-Paul
BERNARD Pierre-Marie
BERTRAND Edmond
BISSET Jean-Pierre
BLANC Bernard
BLANC Jean-Louis
BOLLINI Gérard
BONGRAND Pierre
BONNEAU Henri
BONNOIT Jean
BORY Michel
BOTTA Alain
BOTTA-FRIDLUND Danielle
BOURGEADE Augustin
BOUVENOT Gilles
BOUYALA Jean-Marie
BREMOND Georges
BRICOT René
BRUNET Christian
BUREAU Henri
CAMBOULIVES Jean
CANNONI Maurice
CARTOUZOU Guy
CAU Pierre
CHABOT Jean-Michel
CHAMLIAN Albert
CHARPIN Denis
CHARREL Michel

MM DEVRED Philippe
DJIANE Pierre
DONNET Vincent
DUCASSOU Jacques
DUFOUR Michel
DUMON Henri
ENJALBERT Alain
FAUGERE Gérard
FAVRE Roger
FIECHI Marius
FARNARIER Georges
FIGARELLA Jacques
FONTES Michel
FRANCES Yves
FRANCOIS Georges
FUENTES Pierre
GABRIEL Bernard
GALINIER Louis
GALLAIS Hervé
GAMERRE Marc
GARCIN Michel
GARNIER Jean-Marc
GAUTHIER André
GERARD Raymond
GEROLAMI-SANTANDREA André
GIUDICELLI Sébastien
GOUDARD Alain
GOUIN François
GRILLO Jean-Marie
GRIMAUD Jean-Charles
GRISOLI François
GROULIER Pierre
HADIDA/SAYAG Jacqueline
HASSOUN Jacques
HEIM Marc
HOUEL Jean
HUGUET Jean-François
JAQUET Philippe
JAMMES Yves
JOUVE Paulette
JUHAN Claude
JUIN Pierre
KAPHAN Gérard
KASBARIAN Michel
KLEISBAUER Jean-Pierre
LACHARD Jean

CHAUVEL Patrick
CHOUX Maurice
CIANFARANI François
CLAVERIE Jean-Michel
CLEMENT Robert
COMBALBERT André
CONTE-DEVOLX Bernard
CORRIOL Jacques
COULANGE Christian
CURVALE Georges
DALMAS Henri
DE MICO Philippe
DELPERO Jean-Robert
DESSEIN Alain
DELARQUE Alain
DEVIN Robert

MM MICHOTEY Georges
MIRANDA François
MONFORT Gérard
MONGES André
MONGIN Maurice
MUNDLER Olivier
NAZARIAN Serge
NICOLI René
NOIRCLERC Michel
OLMER Michel
OREHEK Jean
PAPY Jean-Jacques
PAULIN Raymond
PELOUX Yves
PENAUD Antony
PENE Pierre
PIANA Lucien
PICAUD Robert
PIGNOL Fernand
POGGI Louis
POITOUT Dominique
PONCET Michel
POUGET Jean
PRIVAT Yvan
QUILICHINI Francis
RANQUE Jacques
RANQUE Philippe
RICHAUD Christian
RIDINGS Bernard
ROCHAT Hervé
ROHNER Jean-Jacques
ROUX Hubert

LAFFARGUE Pierre
LAUGIER René
LE TREUT Yves
LEVY Samuel
LOUCHET Edmond
LOUIS René
LUCIANI Jean-Marie
MAGALON Guy
MAGNAN Jacques
MALLAN- MANCINI Josette
MALMEJAC Claude
MARANINCHI Dominique
MARTIN Claude
MATTEI Jean François
MERCIER Claude
METGE Paul

VANUXEM Paul
VERVLOET Daniel
VIALETTES Bernard
WEILLER Pierre-Jean

ROUX Michel
RUFO Marcel
SAHEL José
SALAMON Georges
SALDUCCI Jacques
SAMBUC Roland
SAN MARCO Jean-Louis
SANKALE Marc
SARACCO Jacques
SARLES Jacques
SARLES - PHILIP Nicole
SASTRE Bernard
SCHIANO Alain
SCOTTO Jean-Claude
SEBAHOUN Gérard
SEITZ Jean-François
SERMENT Gérard
SOULAYROL René
STAHL André
TAMALET Jacques
TARANGER-CHARPIN Colette
THIRION Xavier
THOMASSIN Jean-Marc
UNAL Daniel
VAGUE Philippe
VAGUE/JUHAN Irène

EMERITAT

2008		
M. le Professeur	LEVY Samuel	31/08/2011
Mme le Professeur	JUHAN-VAGUE Irène	31/08/2011
M. le Professeur	PONCET Michel	31/08/2011
M. le Professeur	KASBARIAN Michel	31/08/2011
M. le Professeur	ROBERTOUX Pierre	31/08/2011
2009		
M. le Professeur	DJIANE Pierre	31/08/2011
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2012
2010		
M. le Professeur	MAGNAN Jacques	31/12/2014
2011		
M. le Professeur	DI MARINO Vincent	31/08/2015
M. le Professeur	MARTIN Pierre	31/08/2015
M. le Professeur	METRAS Dominique	31/08/2015
2012		
M. le Professeur	AUBANIAC Jean-Manuel	31/08/2015
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2015
M. le Professeur	CAMBOULIVES Jean	31/08/2015
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2015
M. le Professeur	MATTEI Jean-François	31/08/2015
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2015
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2015
2013		
M. le Professeur	BRANCHEREAU Alain	31/08/2016
M. le Professeur	CARAYON Pierre	31/08/2016
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2016
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2016
M. le Professeur	HENRY Jean-François	31/08/2016
M. le Professeur	LE GUICHAOUA Marie-Roberte	31/08/2016
M. le Professeur	RUFO Marcel	31/08/2016
M. le Professeur	SEBAHOUN Gérard	31/08/2016
2014		
M. le Professeur	FUENTES Pierre	31/08/2017
M. le Professeur	GAMERRE Marc	31/08/2017
M. le Professeur	MAGALON Guy	31/08/2017
M. le Professeur	PERAGUT Jean-Claude	31/08/2017
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2017
2015		
M. le Professeur	COULANGE Christian	31/08/2018
M. le Professeur	COURAND François	31/08/2018
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2016
M. le Professeur	MATTEI Jean-François	31/08/2016
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2016
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2016

EMERITAT

2016

M. le Professeur	BONGRAND Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2017
M. le Professeur	BRUNET Christian	31/08/2019
M. le Professeur	CAU Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2017
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2017
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2019
M. le Professeur	JAMMES Yves	31/08/2019
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2019
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2017
M. le Professeur	POITOUT Dominique	31/08/2019
M. le Professeur	SEBAHOUN Gérard	31/08/2017
M. le Professeur	VIALETTES Bernard	31/08/2019

2017

M. le Professeur	ALESSANDRINI Pierre	31/08/2020
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2018
M. le Professeur	CHAUVEL Patrick	31/08/2020
M. le Professeur	COZZONE Pierre	31/08/2018
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2018
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2018
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2018
M. le Professeur	SEBBAHOUN Gérard	31/08/2018

2018

M. le Professeur	MARANINCHI Dominique	31/08/2021
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2019
M. le Professeur	COZZONE Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2019
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2019
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2019
M. le Professeur	RIDINGS Bernard	31/08/2021

2019

M. le Professeur	BERLAND Yvon	31/08/2022
M. le Professeur	CHARPIN Denis	31/08/2022
M. le Professeur	CLAVERIE Jean-Michel	31/08/2022
M. le Professeur	FRANCES Yves	31/08/2022
M. le Professeur	CAU Pierre	31/08/2020
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2020
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2020
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2020
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2020
M. le Professeur	MAGALON Guy	31/08/2020
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2020
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2020
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2020

2020

M. le Professeur	DELPERO Jean-Robert	31/08/2023
M. le Professeur	GRIMAUD Jean-Charles	31/08/2023
M. le Professeur	SAMBUC Roland	31/08/2023
M. le Professeur	SEITZ Jean-François	31/08/2023
M. le Professeur	BERLAND Yvon	31/08/2022
M. le Professeur	CHARPIN Denis	31/08/2022
M. le Professeur	CLAVERIE Jean-Michel	31/08/2022
M. le Professeur	FRANCES Yves	31/08/2022
M. le Professeur	BONGRAND Pierre	31/08/2021
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2021
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2021
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2021

EMERITAT

M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2021

Honoris causa

1967	
MM. les Professeurs	DADI (Italie)
	CID DOS SANTOS (Portugal)
1974	
MM. les Professeurs	MAC ILWAIN (Grande-Bretagne)
	T.A. LAMBO (Suisse)
1975	
MM. les Professeurs	O. SWENSON (U.S.A.)
	Lord J.WALTON of DETCHANT (Grande-Bretagne)
1976	
MM. les Professeurs	P. FRANCHIMONT (Belgique)
	Z.J. BOWERS (U.S.A.)
1977	
MM. les Professeurs	C. GAJDUSEK-Prix Nobel (U.S.A.)
	C.GIBBS (U.S.A.)
	J. DACIE (Grande-Bretagne)
1978	
M. le Président	F. HOUPHOUET-BOIGNY (Côte d'Ivoire)
1980	
MM. les Professeurs	A. MARGULIS (U.S.A.)
	R.D. ADAMS (U.S.A.)
1981	
MM. les Professeurs	H. RAPPAPORT (U.S.A.)
	M. SCHOU (Danemark)
	M. AMENT (U.S.A.)
	Sir A. HUXLEY (Grande-Bretagne)
	S. REFSUM (Norvège)
1982	
M. le Professeur	W.H. HENDREN (U.S.A.)
1985	
MM. les Professeurs	S. MASSRY (U.S.A.)
	KLINSMANN (R.D.A.)
1986	
MM. les Professeurs	E. MIHICH (U.S.A.)
	T. MUNSAT (U.S.A.)
	LIANA BOLIS (Suisse)
	L.P. ROWLAND (U.S.A.)

1987

M. le Professeur P.J. DYCK (U.S.A.)

1988

MM. les Professeurs R. BERGUER (U.S.A.)
W.K. ENGEL (U.S.A.)
V. ASKANAS (U.S.A.)
J. WEHSTER KIRKLIN (U.S.A.)
A. DAVIGNON (Canada)
A. BETTARELLO (Brésil)

1989

M. le Professeur P. MUSTACCHI (U.S.A.)

1990

MM. les Professeurs J.G. MC LEOD (Australie)
J. PORTER (U.S.A.)

1991

MM. les Professeurs J. Edward MC DADE (U.S.A.)
W. BURGDORFER (U.S.A.)

1992

MM. les Professeurs H.G. SCHWARZACHER (Autriche)
D. CARSON (U.S.A.)
T. YAMAMURO (Japon)

1994

MM. les Professeurs G. KARPATI (Canada)
W.J. KOLFF (U.S.A.)

1995

MM. les Professeurs D. WALKER (U.S.A.)
M. MULLER (Suisse)
V. BONOMINI (Italie)

1997

MM. les Professeurs C. DINARELLO (U.S.A.)
D. STULBERG (U.S.A.)
A. MEIKLE DAVISON (Grande-Bretagne)
P.I. BRANEMARK (Suède)

1998

MM. les Professeurs O. JARDETSKY (U.S.A.)

1999

MM. les Professeurs J. BOTELLA LLUSIA (Espagne)

	D. COLLEN (Belgique)
	S. DIMAURO (U. S. A.)
2000	
MM. les Professeurs	D. SPIEGEL (U. S. A.)
	C. R. CONTI (U.S.A.)
2001	
MM. les Professeurs	P-B. BENNET (U. S. A.)
	G. HUGUES (Grande Bretagne)
	J-J. O'CONNOR (Grande Bretagne)
2002	
MM. les Professeurs	M. ABEDI (Canada)
	K. DAI (Chine)
2003	
M. le Professeur	T. MARRIE (Canada)
Sir	G.K. RADDA (Grande Bretagne)
2004	
M. le Professeur	M. DAKE (U.S.A.)
2005	
M. le Professeur	L. CAVALLI-SFORZA (U.S.A.)
2006	
M. le Professeur	A. R. CASTANEDA (U.S.A.)
2007	
M. le Professeur	S. KAUFMANN (Allemagne)

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AGOSTINI FERRANDES Aubert
ALBANESE Jacques
ALIMI Yves
AMABILE Philippe
AMBROSI Pierre
ANDRE Nicolas
ARGENSON Jean-Noël
ASTOUL Philippe
ATTARIAN Shahram
AUDOUIN Bertrand
AUQUIER Pascal
AVIERINOS Jean-François
AZULAY Jean-Philippe
BAILLY Daniel
BARLESI Fabrice
BARLIER-SETTI Anne
BARLOGIS Vincent
BARTHET Marc
BARTOLI Christophe
BARTOLI Jean-Michel
BARTOLI Michel
BARTOLOMEI Fabrice
BASTIDE Cyrille
BENSOUSSAN Laurent
BERBIS Philippe
BERBIS Julie
BERDAH Stéphane
BEROUD Christophe
BERTUCCI François
BLAISE Didier
BLIN Olivier
BLONDEL Benjamin
BONIN/GUILLAUME Sylvie
BONELLO Laurent
BONNET Jean-Louis
BOUBLI Léon Surnombre
BOUFI Mourad
BOYER Laurent
BREGEON Fabienne
BRETELLE Florence
BROUQUI Philippe
BRUDER Nicolas
BRUE Thierry
BRUNET Philippe
BURTEY Stéphane
CARCOPINO-TUSOLI Xavier
CASANOVA Dominique
CASTINETTI Frédéric
CECCALDI Mathieu
CHAGNAUD Christophe
CHAMBOST Hervé
CHAMPSAUR Pierre
CHANEZ Pascal
CHARAFFE-JAUFFRET Emmanuelle
CHARREL Rémi
CHAUMOITRE Kathia
CHIARONI Jacques
CHINOT Olivier
CHOSSEGROS Cyrille
COLLART Frédéric
COSTELLO Régis
COURBIERE Blandine
COWEN Didier
CRAVELLO Ludovic
CUISSET Thomas
DA FONSECA David
DAHAN-ALCARAZ Laetitia
DANIEL Laurent
DARMON Patrice
DAVID Thierry
D'ERCOLE Claude
D'JOURNO Xavier
DEHARO Jean-Claude
DELAPORTE Emmanuel
DENIS Danièle
DISDIER Patrick
DODDOLI Christophe
DRANCOURT Michel
DUBUS Jean-Christophe
DUFFAUD Florence
DUFOUR Henry
DURAND Jean-Marc
DUSSOL Bertrand
EBBO Mikaël
EUSEBIO Alexandre
FABRE Alexandre
FAKHRY Nicolas
FELICIAN Olvier
FENOLLAR Florence
FIGARELLA/BRANGER Dominique
FLECHER Xavier
FOUILLOUX Virginie
FOURNIER Pierre-Edouard
FRANCESCHI Frédéric
FUENTES Stéphane
GABERT Jean
GABORIT Bénédicte
GAINNIER Marc
GARCIA Stéphane
GARIBOLDI Vlad
GAUDART Jean
GAUDY-MARQUESTE Caroline
GENTILE Stéphanie
GERBEAUX Patrick
GEROLAMI/SANTANDREA René
GILBERT/ALESSI Marie-Christine
GIORGI Roch
GIOVANNI Antoine
GIRARD Nadine
GIRAUD/CHABROL Brigitte
GONCALVES Anthony
GRANEL/REY Brigitte
GRANVAL Philippe
GREILLIER Laurent
GROB Jean-Jacques
GUEDJ Eric

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

PAGANELLI Franck
PANUEL Michel Surnombre
PAPAZIAN Laurent
PAROLA Philippe
PARRATTE Sébastien Disponibilité
PELISSIER-ALICOT Anne-Laure
PELLETIER Jean
PERRIN Jeanne
PETIT Philippe
PHAM Thao
PIERCECCHI/MARTI Marie-Dominiqu
PIQUET Philippe
PIRRO Nicolas
POINSO François
RACCAH Denis
RANQUE Stéphane
RAOULT Didier Surnombre
REGIS Jean
REYNAUD/GAUBERT Martine
REYNAUD Rachel
RICHARD/LALLEMAND Marie-Aleth
RICHIERI Raphaëlle
ROCHE Pierre-Hugues
ROCH Antoine
ROCHWERGER Richard
ROLL Patrice
ROSSI Dominique
ROSSI Pascal
ROUDIER Jean
SALAS Sébastien
SARLON-BARTOLI Gabrielle
SCAVARDA Didier
SCHLEINITZ Nicolas
SEBAG Frédéric
SIELEZNEFF Igor
SIMON Nicolas
STEIN Andréas
TAIEB David
THOMAS Pascal
THUNY Franck
TREBUCHON-DA FONSECA Agnès
TRIGLIA Jean-Michel
TROPIANO Patrick
TSIMARATOS Michel

PROFESSEUR DES UNIVERSITES

ADALIAN Pascal
AGHABABIAN Valérie
BELIN Pascal
CHABANNON Christian
CHABRIERE Eric
FERON François
LE COZ Pierre
LEVASSEUR Anthony
RANJEVA Jean-Philippe
SOBOL Hagay

PROFESSEUR CERTIFIE

BRANDENBURGER Chantal retraite mars 2021
FRAISSE-MANGIALOMINI Jeanne

PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE à MI

REVIS Joana

PROFESSEUR DES UNIVERSITES MEDECINE GEN

GENTILE Gaëtan

PROFESSEUR ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE

GUIDA Pierre

GUIEU Régis
GUIS Sandrine
GUYE Maxime
GUYOT Laurent
GUYS Jean-Michel Surnombre
HABIB Gilbert
HARDWIGSEN Jean
HARLE Jean-Robert
HOUVENAEGHEL Gilles
JACQUIER Alexis
JOURDE-CHICHE Noémie
JOUVE Jean-Luc
KAPLANSKI Gilles
KARSENTY Gilles
KERBAUL François détachement
KRAHN Martin
LAFFORGUE Pierre
LAGIER Jean-Christophe
LAMBAUDIE Eric
LANCON Christophe
LA SCOLA Bernard
LAUNAY Franck
LAVIEILLE Jean-Pierre
LE CORROLLER Thomas
LECHEVALLIER Eric
LEGRE Régis
LEHUCHER-MICHEL Marie-Pascale
LEONE Marc
LEONETTI Georges
LEPIDI Hubert
LEVY Nicolas
MACE Loïc
MAGNAN Pierre-Edouard
MANCINI Julien
MEGE Jean-Louis
MERROT Thierry
METZLER/GUILLEMAIN Catherine
MEYER/DUTOUR Anne
MICCALEF/ROLL Joëlle
MICHEL Fabrice
MICHEL Gérard
MICHEL Justin
MICHELET Pierre
MILH Mathieu
MILLION Matthieu
MOAL Valérie
MORANGE Pierre-Emmanuel
MOULIN Guy
MOUTARDIER Vincent
NAUDIN Jean
NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier
NICOLLAS Richard
NGUYEN Karine
OLIVE Daniel
OLLIVIER Matthieu
OUAFIK L'Houcine
OVAERT-REGGIO Caroline
PADOVANI Laetitia

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

TURRINI Olivier
VALERO René
VAROQUAUX Arthur Damien
VELLY Lionel
VEY Norbert
VIDAL Vincent
VIENS Patrice
VILLANI Patrick
VITON Jean-Michel
VITTON Véronique
VIEHWEGER Heide Elke détachement
VIVIER Eric
XERRI Luc

AHERFI Sarah
ANGELAKIS Emmanouil (disponibilité)
ATLAN Catherine (disponibilité)
BEGE Thierry
BELIARD Sophie
BENYAMINE Audrey
BERTRAND Baptiste
BEYER-BERJOT Laura
BIRNBAUM David
BONINI Francesca
BOUCRAUT Joseph
BOULAMERY Audrey
BOULLU/CIOCCA Sandrine
BOUSSEN Salah Michel
BUFFAT Christophe
CAMILLERI Serge
CARRON Romain
CASSAGNE Carole
CERMOLACCE Michel
CHAUDET Hervé
CHRETIEN Anne-Sophie
COZE Carole
CUNY Thomas
DADOUN Frédéric (disponibilité)
DALES Jean-Philippe
DARIEL Anne
DAUMAS Aurélie
DEGEORGES/VITTE Joëlle
DELLIAUX Stéphane
DESPLAT/JEGO Sophie
DEVILLIER Raynier
DUBOURG Grégory
DUCONSEIL Pauline
DUFOUR Jean-Charles
ELDIN Carole
FAURE Alice
FOLETTI Jean- Marc
FRANKEL Diane
FROMONOT Julien
GASTALDI Marguerite
GELSI/BOYER Véronique
GIUSIANO Bernard
GIUSIANO COURCAMBECK Sophie
GONZALEZ Jean-Michel
GOURIET Frédérique
GRAILLON Thomas
GUERIN Carole
GUENOUN MEYSSIGNAC Daphné
GUIDON Catherine
GUIVARCH Jokthan
HAUTIER/KRAHN Aurélie
HRAIECH Sami
KASPI-PEZZOLI Elise
L'OLLIVIER Coralie
LABIT-BOUVIER Corinne
LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina
LAGARDE Stanislas
LAGIER Aude (disponibilité)
LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude
LEVY/MOZZICONACCI Annie
LOOSVELD Marie
MAAROUF Adil
MACAGNO Nicolas
MAUES DE PAULA André
MEGE Diane
MOTTOLA GHIGO Giovanna
NINOVE Laetitia
NOUGAIREDE Antoine
PAULMYER/LACROIX Odile
PESENTI Sébastien
RADULESCO Thomas
RESSEGUIER Noémie
ROBERT Philippe
ROBERT Thomas
ROMANET Pauline
SABATIER Renaud
SARI-MINODIER Irène
SAVEANU Alexandru
SECQ Véronique (disponibilité)
STELLMANN Jan-Patrick
SUCHON Pierre
TABOURET Emeline
TOGA Caroline
TOGA Isabelle
TOMASINI Pascale
TOSELLO Barthélémy
TROUSSE Delphine
TUCHTAN-TORRENTS Lucile
VELY Frédéric
VION-DURY Jean
ZATTARA/CANNONI Hélène

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

ABU ZAINEH Mohammad
BARBACARU/PERLES T. A.
BERLAND Caroline
BOYER Sylvie
COLSON Sébastien
DEGIOANNI/SALLE Anna
DESNUES Benoît
MARANINCHI Marie
MERHEJ/CHAUVEAU Vicky
MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte
POGGI Marjorie
POUGET Benoît
RUEL Jérôme
THOLLON Lionel
THIRION Sylvie
VERNA Emeline

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS

BARGIER Jacques
CALVET-MONTREDON Céline
FORTE Jenny
JANCZEWSKI Aurélie
NUSSLI Nicolas
ROUSSEAU-DURAND Raphaëlle

THERY Didier

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS

BOURRIQUEN Maryline

EVANS-VIALLAT Catherine

LAZZAROTTO Sébastien

LUCAS Guillaume

MATHIEU Marion

MAYENS-RODRIGUES Sandrine

MELLINAS Marie

ROMAN Christophe

TRINQUET Laure

ESSEURS DES UNIVERSITES et MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITA
PROFESSEURS ASSOCIES, MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES mono-appartenants

ANATOMIE *4201*

CHAMPSAUR Pierre (PU-PH)
LE CORROLLER Thomas (PU-PH)
PIRRO Nicolas (PU-PH)

GUENOUN-MEYSSIGNAC Daphné (MCU-PH)
LAGIER Aude (MCU-PH) disponibilité

THOLLON Lionel (MCF) (60ème section)

ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES *4203*

CHARAFE/JAUFFRET Emmanuelle (PU-PH)
DANIEL Laurent (PU-PH)
FIGARELLA/BRANGER Dominique (PU-PH)
GARCIA Stéphane (PU-PH)
XERRI Luc (PU-PH)

DALES Jean-Philippe (MCU-PH)
GIUSIANO COURCAMBECK Sophie (MCU PH)
LABIT/BOUVIER Corinne (MCU-PH)
MACAGNO Nicolas (MCU-PH)
MAUES DE PAULA André (MCU-PH)
SECQ Véronique (MCU-PH) disponibilité

ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION CHIRURGICALE ; MEDECINE URGENCE *4801*

ALBANESE Jacques (PU-PH)
BRUDER Nicolas (PU-PH)
LEONE Marc (PU-PH)
MICHEL Fabrice (PU-PH)
VELLY Lionel (PU-PH)

BOUSSEN Salah Michel (MCU-PH)
GUIDON Catherine (MCU-PH)

ANGLAIS *11*

BRANDENBURGER Chantal (PRCE) retraite mars 2021
FRAISSE-MANGIALOMINI Jeanne (PRCE)

BIOLOGIE ET MEDECINE DU DEVELOPPEMENT ET DE LA REPRODUCTION ; GYNECOLOGIE MEDICALE *5405*

METZLER/GUILLEMAIN Catherine (PU-PH)
PERRIN Jeanne (PU-PH)

BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE *4301*

GUEDJ Eric (PU-PH)

ANTHROPOLOGIE *20*

ADALIAN Pascal (PR)

DEGIOANNI/SALLE Anna (MCF)
POUGET Benoît (MCF)
VERNA Emeline (MCF)

BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE ; HYGIENE HOSPITALIERE *4501*

CHARREL Rémi (PU PH)
DRANCOURT Michel (PU-PH)
FENOLLAR Florence (PU-PH)
FOURNIER Pierre-Edouard (PU-PH)
NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier (PU-PH)
LA SCOLA Bernard (PU-PH)
RAOULT Didier (PU-PH) Surnombre

AHERFI Sarah (MCU-PH)
ANGELAKIS Emmanouil (MCU-PH) disponibilité
DUBOURG Grégory (MCU-PH)
GOURIET Frédérique (MCU-PH)
NOUGAIREDE Antoine (MCU-PH)
NINOVE Laetitia (MCU-PH)

CHABRIERE Eric (PR) (64ème section)

LEVASSEUR Anthony (PR) (64ème section)
DESNUES Benoit (MCF) (65ème section)
MERHEJ/CHAUVEAU Vicky (MCF) (87ème section)

BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE *4401*

BARLIER/SETTI Anne (PU-PH)
GABERT Jean (PU-PH)
GUIEU Régis (PU-PH)
OUAFIK L'Houcine (PU-PH)

BUFFAT Christophe (MCU-PH)
FROMONOT Julien (MCU-PH)
MOTTOLA GHIGO Giovanna (MCU-PH)
ROMANET Pauline (MCU-PH)
SAVEANU Alexandru (MCU-PH)

BIOLOGIE CELLULAIRE *4403*

ROLL Patrice (PU-PH)

FRANKEL Diane (MCU-PH)
GASTALDI Marguerite (MCU-PH)
KASPI-PEZZOLI Elise (MCU-PH)
LEVY-MOZZICONNACCI Annie (MCU-PH)

CARDIOLOGIE *5102*

AVIERINOS Jean-François (PU-PH)

GUYE Maxime (PU-PH)
TAIEB David (PU-PH)

BELIN Pascal (PR) (69ème section)
RANJEVA Jean-Philippe (PR) (69ème section)

CAMMILLERI Serge (MCU-PH)
VION-DURY Jean (MCU-PH)

BARBACARU/PERLES Téodora Adriana (MCF) (69ème section)

BIOSTATISTIQUES, INFORMATIQUE MEDICALE ET TECHNOLOGIES DE COMMUNICATION *4604*

GAUDART Jean (PU-PH)
GIORGI Roch (PU-PH)
MANCINI Julien (PU-PH)

CHAUDET Hervé (MCU-PH)
DUFOUR Jean-Charles (MCU-PH)
GIUSIANO Bernard (MCU-PH)

ABU ZAINEH Mohammad (MCF) (5ème section)
BOYER Sylvie (MCF) (5ème section)

CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE *5002*

ARGENSON Jean-Noël (PU-PH)
BLONDEL Benjamin (PU-PH)
FLECHER Xavier (PU PH)
OLLIVIER Matthieu (PU-PH)
PARRATTE Sébastien (PU-PH) Disponibilité
ROCHWERGER Richard (PU-PH)
TROPIANO Patrick (PU-PH)

ROLOGIE ; RADIOTHERAPIE *4702CANCEROLOGIE ; RADIOTHERAP*

BERTUCCI François (PU-PH)
CHINOT Olivier (PU-PH)
COWEN Didier (PU-PH)
DUFFAUD Florence (PU-PH)
GONCALVES Anthony PU-PH)
HOUVENAEGHEL Gilles (PU-PH)
LAMBAUDIE Eric (PU-PH)
PADOVANI Laetitia (PH-PH)
SALAS Sébastien (PU-PH)
VIENS Patrice (PU-PH)

SABATIER Renaud (MCU-PH)
TABOURET Emeline (MCU-PH)

BONELLO Laurent (PU PH)
BONNET Jean-Louis (PU-PH)
CUISSET Thomas (PU-PH)
DEHARO Jean-Claude (PU-PH)
FRANCESCHI Frédéric (PU-PH)
HABIB Gilbert (PU-PH)
PAGANELLI Franck (PU-PH)
THUNY Franck (PU-PH)

CHIRURGIE VISCERALE ET DIGESTIVE *5202*

BERDAH Stéphane (PU-PH)
HARDWIGSEN Jean (PU-PH)
MOUTARDIER Vincent (PU-PH)
SEBAG Frédéric (PU-PH)
SIELEZNEFF Igor (PU-PH)
TURRINI Olivier (PU-PH)

BEGE Thierry (MCU-PH)
BEYER-BERJOT Laura (MCU-PH)
BIRNBAUM David (MCU-PH)
DUCONSEIL Pauline (MCU-PH)
GUERIN Carole (MCU PH)
MEGE Diane (MCU-PH)

CHIRURGIE INFANTILE *5402CHIRURGIE INFANTILE 5402*

GUYS Jean-Michel (PU-PH) Surnombre
JOUVE Jean-Luc (PU-PH)
LAUNAY Franck (PU-PH)
MERROT Thierry (PU-PH)
VIEHWEGER Heide Elke (PU-PH) détachement
DARIEL Anne (MCU-PH)
FAURE Alice (MCU PH)
PESENTI Sébastien (MCU-PH)

FACIALE ET STOMATOLOGIE *5503CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE E*

CHOSSEGROS Cyrille (PU-PH)
GUYOT Laurent (PU-PH)

FOLETTI Jean-Marc (MCU-PH)

CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIOVASCULAIRE *5103*

COLLART Frédéric (PU-PH)
D'JOURNO Xavier (PU-PH)
DODDOLI Christophe (PU-PH)
FOUILLOUX Virginie (PU-PH)
GARIBOLDI Vlad (PU-PH)
MACE Loïc (PU-PH)
THOMAS Pascal (PU-PH)
TROUSSE Delphine (MCU-PH)

CHIRURGIE VASCULAIRE ; MEDECINE VASCULAIRE *5104*

ALIMI Yves (PU-PH)
AMABILE Philippe (PU-PH)
BARTOLI Michel (PU-PH)
BOUFI Mourad (PU-PH)
MAGNAN Pierre-Edouard (PU-PH)
PIQUET Philippe (PU-PH)
SARLON-BARTOLI Gabrielle (PU PH)

HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE *4202*

LEPIDI Hubert (PU-PH)

PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE *5003*

BERBIS Philippe (PU-PH)
DELAPORTE Emmanuel (PU-PH)
GAUDY/MARQUESTE Caroline (PU-PH)
GROB Jean-Jacques (PU-PH)
RICHARD/LALLEMAND Marie-Aleth (PU-PH)

DUSI

COLSON Sébastien (MCF)

BOURRIQUEN Maryline (MAST)
EVANS-VIALLAT Catherine (MAST)
LUCAS Guillaume (MAST)
MAYEN-RODRIGUES Sandrine (MAST)
MELLINAS Marie (MAST)
ROMAN Christophe (MAST)
TRINQUET Laure (MAST)

ENDOCRINOLOGIE ,DIABETE ET MALADIES METABOLIQUES ; GYNECOLOGIE MEDICALE *5404*

BRUE Thierry (PU-PH)
CASTINETTI Frédéric (PU-PH)
CUNY Thomas (MCU PH)

CHIRURGIE PLASTIQUE, RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE ; BRÛLOLOGIE *5004*

CASANOVA Dominique (PU-PH)
LEGRE Régis (PU-PH)

BERTRAND Baptiste (MCU-PH)
HAUTIER/KRAHN Aurélie (MCU-PH)

GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE *5201*

BARTHET Marc (PU-PH)
DAHAN-ALCARAZ Laetitia (PU-PH)
GEROLAMI-SANTANDREA René (PU-PH)
GRANDVAL Philippe (PU-PH)
VITTON Véronique (PU-PH)

GONZALEZ Jean-Michel (MCU-PH)

GENETIQUE *4704*

BEROUD Christophe (PU-PH)
KRAHN Martin (PU-PH)
LEVY Nicolas (PU-PH)
NGYUEN Karine (PU-PH)

TOGA Caroline (MCU-PH)
ZATTARA/CANNONI Hélène (MCU-PH)

GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE *5403*

AGOSTINI Aubert (PU-PH)
BOUBLI Léon (PU-PH) Surnombre
BRETELLE Florence (PU-PH)
CARCOPINO-TUSOLI Xavier (PU-PH)
COURBIERE Blandine (PU-PH)
CRAVELLO Ludovic (PU-PH)
D'ERCOLE Claude (PU-PH)

PIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE ET PREVENTION *460*

AUQUIER Pascal (PU-PH)
BERBIS Julie (PU-PH)
BOYER Laurent (PU-PH)
GENTILE Stéphanie (PU-PH)

LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude (MCU-PH)
RESSEGUIER Noémie (MCU-PH)

MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte (MCF)(06ème section)

IMMUNOLOGIE *4703*

KAPLANSKI Gilles (PU-PH)
MEGE Jean-Louis (PU-PH)
OLIVE Daniel (PU-PH)
VIVIER Eric (PU-PH)

FERON François (PR) (69ème section)

BOUCRAUT Joseph (MCU-PH)
CHRETIEN Anne-Sophie (MCU PH)
DEGEORGES/VITTE Joëlle (MCU-PH)
DESPLAT/JEGO Sophie (MCU-PH)
ROBERT Philippe (MCU-PH)
VELY Frédéric (MCU-PH)

MALADIES INFECTIEUSES ; MALADIES TROPICALES *4503*

BROUQUI Philippe (PU-PH)
LAGIER Jean-Christophe (PU-PH)
MILLION Matthieu (PU-PH)
PAROLA Philippe (PU-PH)
STEIN Andréas (PU-PH)

ELDIN Carole (MCU-PH)

MEDECINE D'URGENCE *4805*

KERBAUL François (PU-PH) détachement
MICHELET Pierre (PU-PH)

MEDECINE INTERNE ; GERIATRIE ET BIOLOGIE DU VIEILLISSEMENT ; ADDICTOLOGIE *5301*

BONIN/GUILLAUME Sylvie (PU-PH)
DISDIER Patrick (PU-PH)
DURAND Jean-Marc (PU-PH)
EBBO Mikael (PU-PH)
GRANEL/REY Brigitte (PU-PH)
HARLE Jean-Robert (PU-PH)
ROSSI Pascal (PU-PH)
SCHLEINITZ Nicolas (PU-PH)

BENYAMINE Audrey (MCU-PH)

HEMATOLOGIE ; TRANSFUSION *4701*

BLAISE Didier (PU-PH)
COSTELLO Régis (PU-PH)
CHIARONI Jacques (PU-PH)
GILBERT/ALESSI Marie-Christine (PU-PH)
MORANGE Pierre-Emmanuel (PU-PH)
VEY Norbert (PU-PH)

DEVILLIER Raynier (MCU PH)
GELSI/BOYER Véronique (MCU-PH)
LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina (MCU-PH)
LOOSVELD Marie (MCU-PH)
SUCHON Pierre (MCU-PH)

POGGI Marjorie (MCF) (64ème section)

MEDECINE LEGALE ET DROIT DE LA SANTE *4603*

BARTOLI Christophe (PU-PH)
LEONETTI Georges (PU-PH)
PELISSIER-ALICOT Anne-Laure (PU-PH)
PIERCECCHI-MARTI Marie-Dominique (PU-PH)

TUCHTAN-TORRENTS Lucile (MCU-PH)

BERLAND Caroline (MCF) (1ère section)

MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION *4905*

BENSOUSSAN Laurent (PU-PH)
VITON Jean-Michel (PU-PH)

MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL *4602*

LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-PH)

SARI/MINODIER Irène (MCU-PH)

MEDECINE GENERALE *5303*

GENTILE Gaëtan (PR Méd. Gén. Temps plein)

CASANOVA Ludovic (MCF Méd. Gén. Temps plein)

GUIDA Pierre (PR associé Méd. Gén. à mi-temps) retraite au 25/09/2(

BARGIER Jacques (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)
CALVET-MONTREDON Céline (MCF associé Méd. Gén. à temps plein)
FORTE Jenny (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)
JANCZEWSKI Aurélie (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)
NUSSLI Nicolas (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)
ROUSSEAU-DURAND Raphaëlle (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)
THERY Didier (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps) (nomination au 1/

NUTRITION *4404*

DARMON Patrice (PU-PH)
RACCAH Denis (PU-PH)
VALERO René (PU-PH)

ATLAN Catherine (MCU-PH) disponibilité
BELIARD Sophie (MCU-PH)

MARANINCHI Marie (MCF) (66ème section)

ONCOLOGIE 65 (BIOLOGIE CELLULAIRE)

CHABANNON Christian (PR) (66ème section)
SOBOL Hagay (PR) (65ème section)

OPHTALMOLOGIE *5502*

DAVID Thierry (PU-PH)
DENIS Danièle (PU-PH)

OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE *5501*

DESSI Patrick (PU-PH)
FAKHRY Nicolas (PU-PH)
GIOVANNI Antoine (PU-PH)
LAVIEILLE Jean-Pierre (PU-PH)
MICHEL Justin (PU-PH)
NICOLLAS Richard (PU-PH)
TRIGLIA Jean-Michel (PU-PH)

RADULESCO Thomas (MCU-PH)

REVIS Joana (PAST) (Orthophonie) (7ème Section)

PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE *4502*

NEPHROLOGIE *5203*

BRUNET Philippe (PU-PH)
BURTEY Stépahne (PU-PH)
DUSSOL Bertrand (PU-PH)
JOURDE CHICHE Noémie (PU PH)
MOAL Valérie (PU-PH)

ROBERT Thomas (MCU-PH)

NEUROCHIRURGIE *4902*

DUFOUR Henry (PU-PH)
FUENTES Stéphane (PU-PH)
REGIS Jean (PU-PH)
ROCHE Pierre-Hugues (PU-PH)
SCAVARDA Didier (PU-PH)

CARRON Romain (MCU PH)
GRAILLON Thomas (MCU PH)

NEUROLOGIE *4901*

ATTARIAN Sharham (PU PH)
AUDOIN Bertrand (PU-PH)
AZULAY Jean-Philippe (PU-PH)
CECCALDI Mathieu (PU-PH)
EUSEBIO Alexandre (PU-PH)
FELICIAN Olivier (PU-PH)
PELLETIER Jean (PU-PH)

MAAROUF Adil (MCU-PH)

PEDOPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE *4904*

DA FONSECA David (PU-PH)
POINSO François (PU-PH)

GUIVARCH Jokthan (MCU-PH)

PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE - PHARMACOLOGIE CLINIQUE; ADDICTOLOGIE *4803*

BLIN Olivier (PU-PH)
MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH)
SIMON Nicolas (PU-PH)

BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

PHILOSPHIE *17*

RANQUE Stéphane (PU-PH)

CASSAGNE Carole (MCU-PH)
L'OLLIVIER Coralie (MCU-PH)
TOGA Isabelle (MCU-PH)

PEDIATRIE *5401*

ANDRE Nicolas (PU-PH)
BARLOGIS Vincent (PU-PH)
CHAMBOST Hervé (PU-PH)
DUBUS Jean-Christophe (PU-PH)
FABRE Alexandre (PU-PH)
GIRAUD/CHABROL Brigitte (PU-PH)
MICHEL Gérard (PU-PH)
MILH Mathieu (PU-PH)
OVAERT-REGGIO Caroline (PU-PH)
REYNAUD Rachel (PU-PH)
TSIMARATOS Michel (PU-PH)

TOSELLO Barthélémy (MCU-PH)

PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE *4903*

BAILLY Daniel (PU-PH)
LANCON Christophe (PU-PH)
NAUDIN Jean (PU-PH)
RICHIERI Raphaëlle (PU-PH)

CERMOLACCE Michel (MCU-PH)

'CHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PCYCHOLOGIE SOCIALE 16

AGHABABIAN Valérie (PR)

LAZZAROTTO Sébastien (MAST)

RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE *4302*

BARTOLI Jean-Michel (PU-PH)
CHAGNAUD Christophe (PU-PH)
CHAUMOITRE Kathia (PU-PH)
GIRARD Nadine (PU-PH)
JACQUIER Alexis (PU-PH)
MOULIN Guy (PU-PH)
PANUEL Michel (PU-PH) surnombre
PETIT Philippe (PU-PH)
VAROQUAUX Arthur Damien (PU-PH)
VIDAL Vincent (PU-PH)

STELLMANN Jan-Patrick (MCU-PH)

LE COZ Pierre (PR) (17ème section)

MATHIEU Marion (MAST)

PHYSIOLOGIE *4402*

BARTOLOMEI Fabrice (PU-PH)
BREGEON Fabienne (PU-PH)
GABORIT Bénédicte (PU-PH)
MEYER/DUTOUR Anne (PU-PH)
TREBUCHON/DA FONSECA Agnès (PU-PH)

BONINI Francesca (MCU-PH)
BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH)
DADOUN Frédéric (MCU-PH) (disponibilité)
DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)
LAGARDE Stanislas (MCU-PH)

RUEL Jérôme (MCF) (69ème section)
THIRION Sylvie (MCF) (66ème section)

PNEUMOLOGIE; ADDICTOLOGIE *5101*

ASTOUL Philippe (PU-PH)
BARLESI Fabrice (PU-PH)
CHANEZ Pascal (PU-PH)

GREILLIER Laurent (PU PH)
REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)
TOMASINI Pascale (MCU-PH)

RHUMATOLOGIE *5001*

GUIS Sandrine (PU-PH)
LAFFORGUE Pierre (PU-PH)
PHAM Thao (PU-PH)
ROUDIER Jean (PU-PH)

'HERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE *480*

AMBROSI Pierre (PU-PH)
VILLANI Patrick (PU-PH)

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

REANIMATION MEDICALE ; MEDECINE URGENCE *4802*

GAINNIER Marc (PU-PH)
GERBEAUX Patrick (PU-PH)
PAPAZIAN Laurent (PU-PH)
ROCH Antoine (PU-PH)

HRAIECH Sami (MCU-PH)

UROLOGIE *5204*

BASTIDE Cyrille (PU-PH)
KARSENTY Gilles (PU-PH)
LECHEVALLIER Eric (PU-PH)
ROSSI Dominique (PU-PH)

REMERCIEMENTS

MINISTÈRE DES ARMÉES
Liberté
Égalité
Fraternité

Service de santé des armées

ÉCOLE DU VAL DE GRACE – Paris

A Monsieur le médecin général Guillaume PELÉE de SAINT MAURICE

Directeur de l'École du Val-de-Grâce

Professeur agrégé de l'Ecole du Val-de-Grâce

Chevalier de la Légion d'Honneur

Chevalier dans l'Ordre National du Mérite

Chevalier dans l'Ordre des Palmes Académiques

*****

A Monsieur le médecin chef des services Jean-François GALLET

Directeur-adjoint de l'École du Val-de-Grâce

Chevalier de l'Ordre National de la Légion d'Honneur

Chevalier de l'Ordre National du Mérite

Chevalier de l'Ordre du Mérite maritime

HÔPITAL D'INSTRUCTION DES ARMÉES SAINTE ANNE

Monsieur le Médecin Général Inspecteur Yves AUROY

Médecin chef de l'Hôpital d'Instruction des Armées Sainte Anne

Professeur Agrégé du Val de Grâce

Officier de la Légion d'Honneur

Officier de l'Ordre National du Mérite

Médaille de la Défense Nationale – OR

*****

Monsieur le Médecin Chef des Services de classe normale Mehdi OULDAHMED

Médecin chef adjoint de l'Hôpital d'Instruction des Armées Sainte Anne

Professeur Agrégé du Val de Grâce

Chevalier de la Légion d'Honneur

Chevalier de l'Ordre National du Mérite

Chevalier de l'Ordre des palmes académiques

*****

Monsieur le Médecin Chef des Services Hors classe Philippe REY

Coordinateur pédagogique de l'Hôpital d'Instruction des Armées Sainte Anne

Professeur Agrégé du Val de Grâce

Chef du service de pathologie digestive

Chevalier de la Légion d'Honneur

Officier de l'Ordre National du Mérite

Chevalier de l'Ordre des palmes académiques

ÉCOLE DU SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES DE LYON-BRON

******

À la Promotion Médecin Général Inspecteur Raoul CHAVIALLE

A NOTRE PRESIDENT DE JURY

Monsieur le Médecin Chef Luc AIGLE

Directeur des études des Ecoles Militaires de Santé de Lyon Bron

Professeur agrégé du Val de Grâce

Monsieur le Médecin Chef, vous nous octroyez le privilège de siéger à la présidence de ce jury de thèse,

Nous vous remercions de l'intérêt que vous portez à ce travail ainsi que de votre disponibilité.

Veuillez recevoir l'expression de notre respectueux dévouement.

A NOS ASSESSURS

Monsieur le Médecin Chef Emmanuel Sagui

Ancien adjoint au chef de service de Neurologie – HIA Laveran
Professeur agrégé du Val de Grâce

Vous nous faites l'honneur d'analyser et d'évaluer notre travail.
Veuillez recevoir l'expression de notre profond respect.

*****

Monsieur le Médecin Chef Arnaud-Xavier Jouvion

Adjoint au chef de service de Médecine Physique et Réadaptation – HIA Laveran

Vous nous accordez l'honneur d'évaluer notre travail.
Soyez assuré de l'expression de notre entière considération.

*****

Monsieur le Docteur Michel Berenguer

Psychiatre des Hôpitaux

Vous avez accepté avec enthousiasme de siéger et d'évaluer notre travail.
Veuillez recevoir l'expression de notre respectueuse considération.

A NOS DIRECTEURS DE THESE

Monsieur le Médecin Principal Pierre-Emmanuel Tardo-Dino

Praticien certifié en recherche

Institut de Recherche Biomédicale des Armées

Département environnements opérationnels

Physiologie intégrée en conditions extrêmes

Le temps des chercheurs n'est pas le même que celui des thésards et pourtant nous y voilà. Ce travail n'aurait été possible sans ta patience, ton expérience et tes nombreux conseils m'ayant poussée à tenter de faire plus que bien.

Je te remercie pour ton accompagnement confraternel.

*****

Monsieur le Médecin Principal Charles Verdonk

Praticien certifié en Neurosciences et sciences cognitives

Institut de Recherche Biomédicale des Armées

Département Neurosciences et sciences cognitives

Unité de Neurophysiologie du stress

A tes reformulations et tes longues explications à la néophyte des sciences cognitives que j'étais, à tes conseils et pertinentes remarques. Ton endurance et ton indulgence face à mes questions m'ont permis de produire un travail de qualité.

Je te remercie pour ton optimisme et ta bienveillance.

Papa et Maman, votre soutien indéfectible depuis le début est à la base de ce que je suis et de ce que j'essaye de devenir. Vous nous avez tant aimé avec Simon. Vous nous avez confié ce qu'il y a de plus précieux : le sens du devoir, l'envie de donner et de se dépasser à chaque instant. Vous êtes des exemples pour moi. Merci. Je vous aime !

Thomas, ta patience et ta sérénité sont notre force. Je t'aime.

Simon, tu es mon frère, mon meilleur ami. Je ne te sais jamais bien loin. Merci pour ta bienveillance, m'avoir fait découvrir les Merveilleux, avoir toujours une idée pour les cadeaux d'anniversaire des parents, … Je vous embrasse toi, Adriana et Gaïa, ce que tu as fait de plus beau.

Toute **ma famille**, mes grands-mères, mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines et la nouvelle génération. Vos combats sont ma fierté et mon inspiration. Vous êtes ce bloc sans lequel je ne pourrai avancer et même si ce n'est que deux fois par an, vous voir est un vrai ressourcement. A Papi Laine qui m'a vu commencer mes études et qui, je l'espère, est fier de moi, là où il est maintenant.

Les loutres Toulonnaises qui ont à la fois adouci et affolé mon internat :

- Pour notre amitié et les acaventures : **Acanthe**
- Pour votre regard « so civil », les footings et le zéro déchet : **Manon** et **Clara**
- Pour nos interminables conversations, ton écoute et les bières place de la Liberté : **Morgane**

Pour notre colocation lyonnaise, les épreuves traversées ensemble et notre solide amitié : **Pauline**, ma filleule.

Ma famille Lyon Sud : Gwen, Charlène, Laurie, Yasmin, Emma, Marie, Thomas, Elsa, Nicolas et ceux qui arrivent !

Bénédicte : ma Marraine, mon mentor, tu sais toute l'admiration que j'ai pour toi. Merci pour ton regard bienveillant et l'exemple que tu es.

Pour notre externat endiablé : **Anouk**, **Elise**, **Elsa**, l'équipe du Bal et tant d'autres !

Pour les soirées à la Kolok, l'engagement scout et les nuits dehors : **Gauthier**, **Marine**, **Anne-So**, **Piou**, **Lucile**, **Clara**, le maitre lycanthrope.

Pour m'avoir enseigné le soin au-delà de la médecine : **Hélène**, **Nicole**, **Delphine**, **Elisabeth**, **Isabelle**, **Peggy**.

Pour votre réassurance : **MC Malgoyre**

Pour votre confiance : **MC Joubert**.

Pour m'avoir enseigné le métier de médecin militaire et m'avoir fait grimper le Ventoux : **MP Souplet**

Pour ma première expérience de médecine d'unité, la découverte d'un univers différent et ô combien intéressant : **l'équipe de la 154ème antenne médicale d'Aubagne**.

Pour votre sens de l'intégration, de l'engagement et le pot Chuck Norris **: les lieutenants du 1er Régiment Etranger et le Capitaine Leloup.**

Pour m'avoir fait encore plus aimer l'armée de Terre mais m'avoir supportée et enseigné quand même : **MP Vellieux et l'équipe médicale du PHA Dixmude**.

Les équipes médicales et paramédicales de Sainte Anne auprès de qui j'ai eu l'honneur d'apprendre mon métier parmi lesquelles l'équipe des urgences, de pneumologie (la neuro aussi un peu), d'oncologie et de gastro. Une mention particulière pour **Ludivine**, **Candide**, **Vanessa**, **Gaëlle**, **Hélène** et **Marion**.

Les équipes de Sainte Musse (**Quentin**, **Marion**, **Audrey**, **Clémence**, **Justine**, **Houda** et **Létizia**) qui, bien que civiles, m'ont fait confiance et tant appris.

Sommaire

INTRODUCTION 2

POPULATION ET METHODE 11

RESULTATS 15

DISCUSSION 20

CONCLUSION 26

ANNEXES 26

RÉFÉRENCES 35

ARTICLE EN ANGLAIS TEL QUE SOUMIS A LA PUBLICATION DANS LE BRITISH JOURNAL OF SPORTS MEDICINE 39

Introduction

Le coup de chaleur d'exercice (CCE) associe une température centrale supérieure à 40°C à des symptômes de défaillances neurologiques pendant ou juste après un effort physique intense (1). Le CCE est la forme la plus grave des pathologies liées à la chaleur qui comprend aussi la déshydratation et l'épuisement à la chaleur (2). En urgence, la prise en charge vise à réduire l'hyperthermie aussi vite que possible notamment grâce à l'immersion en eau froide, méthode de refroidissement de référence (3). Le pronostic est lié à l'efficacité de ce refroidissement (4). Le taux d'incidence en population générale est difficile à établir en raison de la confusion avec les diagnostics différentiels (épuisement à la chaleur, intolérance à l'effort) et le manque de mesure immédiate de la température corporelle. Dans l'armée française, le CCE est soumis à la surveillance épidémiologique du CESPA (Centre d'Epidémiologie et de Santé Publique des Armées) depuis 1989 qui relève un taux d'incidence compris entre 18 et 36 cas pour 100 000 militaires soit environ 100 cas par an. Dans cette population militaire, le profil type est un jeune homme de 26 ans issu de l'armée de Terre avec un bon niveau physique (3000m au Cooper) (5). Bien que le CCE soit une pathologie rare, le public concerné (jeune, sain et sportif) et ses conséquences potentiellement fatales en font un sujet d'intérêt dont la prévention est un enjeu important notamment dans les armées. A ce titre, bien que l'apparition d'un CCE soit difficilement prédictible, des facteurs de risque sont identifiés tels qu'une température ambiante élevée, un fort taux d'humidité relative et le port d'une tenue empêchant l'évaporation de la sueur (6). De nombreux facteurs comme l'alcool, une infection ou le manque de sommeil sont aussi connus pour favoriser le dépassement des capacités de thermorégulation (5–9).

Au repos, la température corporelle est régulée et maintenue stable autour de 37°C (homéothermie) pour un fonctionnement optimal. L'hypothalamus reçoit les afférences des thermorécepteurs centraux et périphériques qui permettent d'intégrer les températures centrale et cutanée. Il assure la thermorégulation, c'est-à-dire l'équilibre de la balance thermique entre production (thermogenèse) et élimination de

la chaleur (thermolyse) (Figure 1). La thermogenèse se décompose en deux grandes parties : la production de chaleur liée au métabolisme de base (40W/m²/h) et celle liée à l'activité musculaire (jusqu'à 785W/m²/h durant une marche commando) (10). La thermolyse repose sur la vasodilatation cutanée et l'évaporation de la sueur (11). La régulation est également comportementale avec adaptation de l'allure au niveau de stockage de la chaleur (12). L'accumulation de chaleur apparaît quand les pertes sont inférieures au gain, par exemple en cas d'exercice physique ou d'exposition à la chaleur. Pourtant la physiopathologie du CCE se traduisant par une hyperthermie centrale incontrôlée reste équivoque. Dans un contexte de déséquilibre de la balance circulatoire, d'hypoperfusion tissulaire et de cytotoxicité, l'hyperthermie non contrôlée induit une cascade inflammatoire avec une tempête de cytokines, une dysfonction endothéliale et une défaillance multi-viscérale (1). Une encéphalopathie y est associée avec dérégulation de la dopamine et de la libération de la sérotonine (1,4,13–16). Un dérèglement de la libération du calcium peut être en cause pour quelques personnes porteuses de mutation sur le récepteur de la ryanodine (RyR1), déjà mise en évidence dans les cas familiaux d'hyperthermie maligne per anesthésique. Toutefois cette mutation reste rare et la réalisation de biopsie musculaire pour étayer cette hypothèse a été arrêtée (7,17). Les modèles physiopathologiques actuels ainsi que les facteurs de risque connus ne suffisent pas pour prédire et expliquer la survenue du CCE. En effet, il apparaît chez des militaires ayant déjà réalisé le même type d'épreuve physique auparavant sans développer la pathologie (5,6). De plus, 25% des CCE entre 2005 et 2011 ont eu lieu alors que la température extérieure n'excédait pas les 17°C (6). Ainsi malgré des conditions de stress thermique compensable et des capacités thermorégulatrices a priori non altérées, il existe des cas d'hyperthermie non contrôlée.

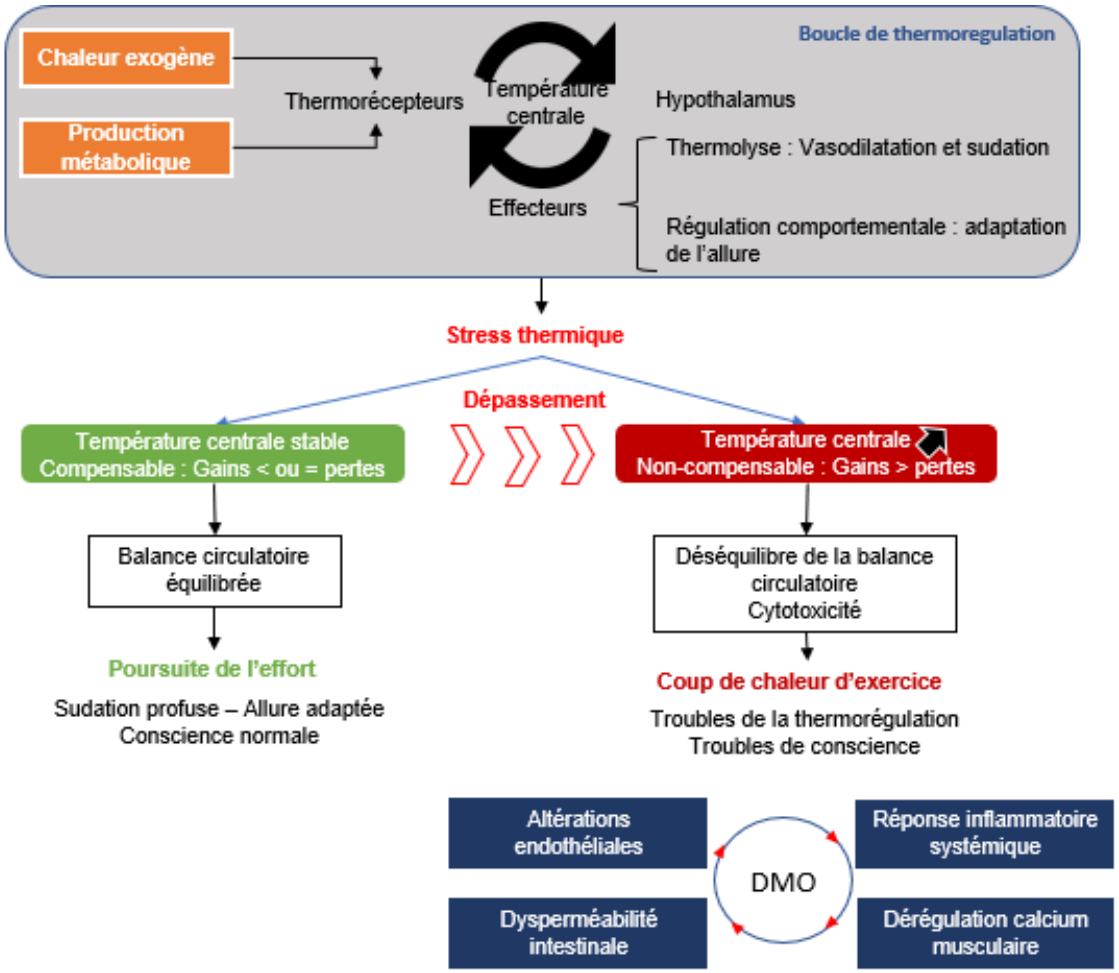


Figure 1 – A gauche : Thermorégulation physiologique. En réponse à une exposition à la chaleur exogène (ambiance) ou endogène (exercice physique), l'organisme met en jeu une boucle de régulation. Des thermorécepteurs informent les centres thermorégulateurs (hypothalamus) qui vont coordonner la réponse des effecteurs. Ainsi, la dissipation de la chaleur se fait grâce à la vasodilatation généralisée sous-cutanée et à l'évaporation de la sueur. La diminution du stress thermique peut également provenir d'une régulation comportementale incluant l'adaptation de l'allure (diminution de la production métabolique) et la recherche d'abri et l'adaptation de la tenue vestimentaire (diminution de la charge thermique externe). **A droite : Physiopathologie du coup de chaleur d'exercice.** La survenue du coup de chaleur d'exercice procède du passage d'un état de compensation de la charge thermique à une phase de stress thermique non compensable (gains supérieurs aux pertes thermiques) survenant lorsque le débit cardiaque ne permet plus de pourvoir aux besoins de la thermorégulation. Cette hyperthermie non contrôlée entraîne des

effets cytotoxiques et une réponse inflammatoire systémique pouvant conduire à une défaillance multi-organes. Dans ce contexte de déséquilibre de la balance circulatoire, les mécanismes physiopathologiques reposeraient sur des troubles de la perméabilité intestinale avec relargage de molécules activatrices du système inflammatoire et immunitaire. Des altérations endothéliales seraient également responsables d'une coagulopathie. L'effet cytotoxique direct de l'augmentation de température pourrait également induire des altérations cérébrales notamment hypothalamiques. Dans un certain cas, des mutations du récepteur à la ryanodine RyR 1 (un récepteur musculaire impliqué dans la libération du calcium intracellulaire lors de la contraction) pourrait favoriser la survenue de cette décompensation de la thermorégulation à l'exercice, par les troubles du couplage excitation contraction qu'elles induisent.

DMO: défaillance multi-organes

Dans l'armée française, l'activité causale s'inscrit dans un contexte avec un enjeu particulier (carrière ou objectif personnel). Des observations antérieures soulèvent la question du profil motivationnel (18). La compétition est depuis longtemps considérée comme un élément positif permettant d'améliorer les performances et d'amener les athlètes à se dépasser (19). Dans une étude de Corbett, des sujets ont effectué deux fois le même parcours cycliste dans les mêmes conditions climatiques : une première fois en solitaire et une deuxième fois contre un adversaire. Alors que la performance en solitaire avait été jugée maximale, les participants ont été plus rapides dans le contexte motivé de compétition contre un adversaire. De façon intéressante Corbett a également étudié l'effet de la motivation sur la tension thermo physiologique et a mis en évidence que la sur motivation induite par la compétition entraînait une augmentation du coût thermo physiologique (température centrale plus élevée) qui peut ne pas être perçu consciemment par les sujets et les conduire à prendre des risques (20). Ces résultats suggèrent que la surestimation des bénéfices, résultant de la volonté de gagner, peut contribuer à la perturbation du compromis coût-bénéfice qui caractérise l'activité physique ajustée. L'équilibre entre coûts et bénéfices est un des déterminants principaux du comportement et ses altérations sont au cœur de nombreuses maladies neuropsychiatriques (dépression, Parkinson etc.) (21,22). Ce

travail a pour but d'introduire un modèle qui caractérise le CCE par l'altération de la balance coût-bénéfice associée à l'exercice physique prolongé. Plus précisément nous faisons l'hypothèse que le CCE pourrait être la conséquence de la surestimation des bénéfices et/ou de la sous-évaluation des coûts associés à l'effort physique.

Notre première hypothèse est que l'excès de motivation entrainerait une surestimation des bénéfices associés à l'effort physique (par exemple le succès ou la satisfaction personnelle). L'excès de motivation a déjà été évoqué comme potentiel facteur de risque pour le CCE mais n'a jamais fait l'objet d'étude empirique (5,18,23). Selon les théories classiques, les individus initient et persistent dans leurs comportements tant qu'ils croient que ces comportements satisfont leurs besoins de base. Ces besoins peuvent être hiérarchiquement ordonnés comme dans la théorie de la motivation selon Maslow (24) ou les besoins peuvent être classés selon leur nature (physiologique ou psychologique, inné ou acquis, etc.). Dans le domaine de la psychologie, le terme « besoins » renvoie aux nutriments psychologiques essentiels à la croissance psychologique, à l'intégrité et au bien-être. Dans la théorie de l'auto-détermination de la motivation (Self-Determination Theory en anglais), trois besoins psychologiques – de compétence, de relation sociale et d'autonomie – sont considérés comme essentiels pour comprendre les comportements motivés (25,26). La SDT distingue la motivation intrinsèque de la motivation extrinsèque. La première se définit comme la volonté de s'engager dans une activité pour le plaisir inhérent à cette activité et la satisfaction qu'elle procure alors que la motivation extrinsèque correspond à l'engagement dans une activité en vue d'obtenir des bénéfices secondaires ou d'éviter une punition. De plus, la SDT conceptualise différents types de motivation extrinsèque comme mesuré avec le Questionnaire de Motivation Générale (voir section 2.2 de la partie Population et Méthodes pour une description détaillée). Dans notre modèle (Figure 2), nous considérons la motivation comme un trait stable enraciné dans la personnalité de chaque individu (27). Cela réfère à une orientation motivationnelle globale au niveau de la personnalité et doit être distingué de la motivation situationnelle qui qualifie la motivation par rapport à une situation donnée à un moment précis selon le modèle hiérarchique de la SDT (28). Ce travail étudie le trait motivation comme un potentiel facteur psycho cognitif expliquant la dynamique temporelle de l'attribution de

l'effort, plus précisément le maintien de l'activité physique malgré un coût physiologique excessif, caractéristique du CCE.

Secondement, nous faisons l'hypothèse qu'un faible niveau de sensibilité aux changements corporels qui se produisent durant l'activité physique empêche les individus d'auto-réguler leur effort physique dans des conditions sûres. La conscience corporelle est une notion psycho-cognitive récente qui se réfère à la capacité de l'individu à se sentir concerné par les informations en provenance de son corps et à percevoir les changements, même de faible intensité, de cette information (29). D'un point de vue neuronal, les signaux corporels fournissent en continu au cerveau une carte de l'état physiologique du corps instant après instant dont l'intégration, dans les régions cérébrales d'ordre supérieur, notamment l'insula, aboutit à l'émergence de la conscience intéroceptive du corps (intéroception) (30,31). Selon Nybo et al., la fatigue induite par l'exercice à la chaleur est plus d'origine centrale que musculaire. La perception de la difficulté de l'effort en contexte chaud est corrélée à la température corporelle et à des modifications de l'activité cérébrale avec une altération de cette perception en cas d'hyperthermie. Les mécanismes sous-tendant les effets de l'hyperthermie sur le cerveau demeurent inconnus. La régulation de l'activité physique à la chaleur semble être en lien avec l'altération de la perception de l'effort et aborde la question de l'altération de la capacité à évaluer le rapport coûts/bénéfices chez les individus qui ne parviennent pas à gérer le stress thermique (32).

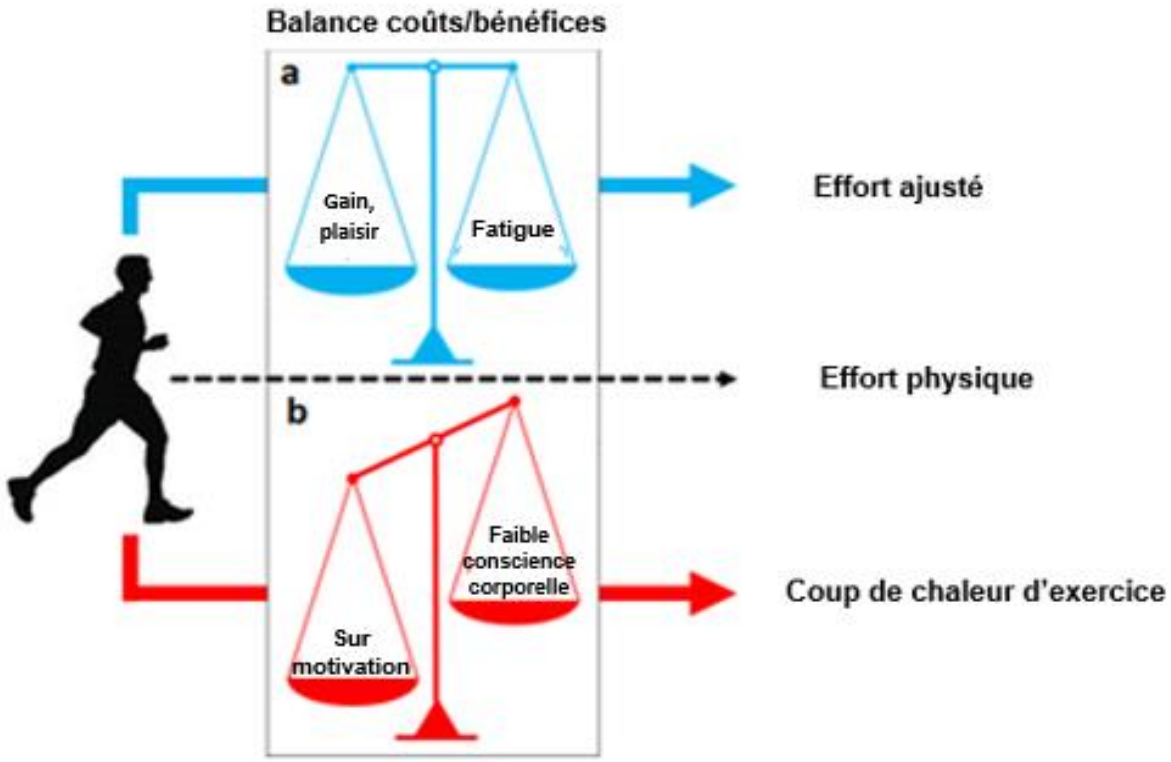


Figure 2 – Illustration du modèle psycho-cognitif proposé pour le coup de chaleur d'exercice. **(a)** L'activité physique dans des conditions de sécurité repose sur un équilibre entre les coûts et les bénéfices de l'effort physique. **(b)** Nous proposons que le coup de chaleur d'exercice se caractérise par une altération de la balance coûst/bénéfices. Plus précisément, la surestimation des bénéfices associés à l'effort physique, comme conséquence d'une sur motivation pour le succès, et/ou la mésestimation des coûts de l'effort résultant d'un faible niveau de conscience corporelle, perturbe la balance coûts/bénéfices et amène les individus à maintenir leur effort physique jusqu'au coup de chaleur d'exercice.

Dans une étude sur les mécanismes neuro-computationnels de la balance coûts/bénéfice dans une tâche motivationnelle, Meyniel et al (2013) ont mis en lumière que l'insula exprimait un signal d'accumulation du coût entrainant l'arrêt de l'effort une fois un certain seuil atteint. D'après leurs résultats, la motivation peut avoir un impact sur les processus neuronaux qui sous-tendent l'allocation de l'effort, en particulier en

repoussant ce seuil et en permettant au corps de travailler plus près de l'épuisement (33). Prises ensemble, ces découvertes suggèrent fortement que les mécanismes cognitifs impliqués dans la conscience corporelle intéroceptive et l'allocation de l'effort pourraient se chevaucher.

Dans la perspective d'une potentielle application clinique du modèle présenté (si validé), apporter un nouvel éclairage sur les facteurs psycho-cognitifs jouant sur le risque de CCE pourrait finalement conduire à de nouvelles interventions préventives. Par exemple, si des individus à haut risque de CCE présentent un faible niveau de conscience corporelle, un programme visant à améliorer cette conscience intéroceptive constituerait un bon candidat pour une stratégie de prévention et in fine réduire le risque de CCE. En parallèle des découvertes de la science clinique, la science contemplative récente suggère que la conscience corporelle est fondamentale pour l'adaptation comportementale et est intimement liée à l'autorégulation et à l'homéostasie (34). Les pratiques contemplatives, comme la méditation mindfulness, repose sur l'entrainement de l'esprit à prêter activement attention à l'expérience corporelle, premièrement la respiration, et délibérément rediriger l'attention dessus à chaque distraction. (35). Il a été suggéré qu'une meilleure conscience corporelle est un mécanisme cognitif par lequel la pleine conscience contribue à une meilleure santé (36,37). En effet, il semble logique que plus un individu est conscient de ce qu'il se passe dans son corps, plus son comportement sera adapté et cohérent avec ses valeurs. Par exemple, durant un effort physique intense, un individu peut prendre conscience des sensations corporelles liées à cette activité (par exemple l'hyperthermie, la tachycardie ou la tachypnée) ; en prêtant attention à celles-ci, il peut déterminer avec plus de précision les effets cumulatifs de l'activité physique. Si le résultat global est négatif, la valeur de l'activité (ici la valeur des bénéfices associés à l'effort physique) est mise à jour, entrainant une diminution de l'engagement dans l'activité. Comme étape préliminaire pour de futures recherches sur l'impact potentiel d'un programme de prévention basé sur la mindfulness (comme par exemple le programme de réduction du stress basé sur la mindfulness (38)) pour réduire le risque de CCE, le trait mindfulness des individus, avec ou sans antécédent de CCE, a été évalué.

Pour résumer, notre modèle psycho-cognitif du CCE suggère que la surestimation des bénéfices associés à l'effort physique, conséquence d'un excès de motivation, et/ou la sous-estimation des coûts résultant d'un faible niveau de conscience corporelle pourrait amener les individus à ignorer les signaux d'alarme envoyés par le corps (hyperthermie, tachycardie, tachypnée etc.) en amont du CCE empêchant ainsi toute tentative d'autorégulation de l'effort physique (Figure 2). Nous avons confronté nos hypothèses à des données psychométriques, incluant le trait de motivation générale, la conscience corporelle et le trait mindfulness, issues d'une cohorte de sujets avec ou sans antécédent de CCE. Selon notre hypothèse, les sujets avec un antécédent de CCE (sujets) présentent un trait motivation, une conscience corporelle et un trait mindfulness différents des sujets sains (témoins). Plus précisément, notre modèle prédit que les cas ont un trait motivation plus développé mais un niveau de conscience corporelle plus faible et un trait mindfulness moins développé que les témoins.

Population et méthode

1. Population :

a. Cas :

Les cas sont des militaires volontaires, âgés de 18 à 45 ans, ayant présenté un coup de chaleur d'exercice (CCE) diagnostiqué par leur médecin d'unité et ayant été déclarés, en conséquence, inaptes aux opérations extérieures. Ces militaires sont expertisés dans le service de Médecine Physique et de Réadaptation de l'HIA Laveran à Marseille durant une hospitalisation de 4 jours en vue de récupérer leur aptitude. Cette hospitalisation est rythmée par une épreuve d'effort afin de connaître les capacités aérobies du sujet, des prélèvements biologiques, le remplissage des questionnaires (exploités dans notre étude) et la réalisation d'une marche-course en moins de 60 minutes sur le camp de Carpiagne. Le succès à cette dernière épreuve permet de recouvrer l'aptitude aux opérations extérieures. Dans notre étude, les questionnaires exploités ont été remplis par les cas expertisés entre 2014 et 2020.

b. Témoins :

La population témoin de cette étude est constituée de militaires, volontaires, n'ayant jamais présenté d'épisode neurologique au cours ou au décours immédiat d'une épreuve physique intense. Les témoins ont été recrutés parmi le détachement Sentinelle positionné sur la base militaire de Brétigny-sur-Orge (91), où se trouve également localisé l'Institut de Recherche Biomédicale des Armées. Leur participation à notre étude s'est limitée au remplissage des questionnaires identiques à ceux des cas.

2. Auto-questionnaires psycho-cognitifs :

a. Conscience corporelle intéroceptive :

Le questionnaire MAIA mesure, en 32 items, 8 facettes de la conscience corporelle : (1) *Noticing :* percevoir les sensations corporelles inconfortables, confortables et neutres ; (2) *Not-distracting :* avoir tendance à ne pas se laisser distraire par les sensations douloureuses ou d'inconfort ; (3) *Not-worrying :* ne pas ressentir de peur ou d'inquiétude face à des sensations douloureuses ou d'inconfort ; (4) *Attention regulation :* capacité à porter son attention de manière soutenue sur les sensations corporelles ; (5) *Emotional awareness :* percevoir le lien entre les sensations corporelles et les états émotionnels ; (6) *Self-regulation :* capacité à maîtriser son stress psychologique en portant attention aux sensations corporelles ; (7) *Body listening :* rechercher activement la perception des sensations corporelles ; and (8) *Trusting :* considérer son corps comme une source d'information sûre et digne de confiance. Chaque item est côté de 0 (jamais) à 5 (toujours). Pour chaque sous-échelle, le score est obtenu en moyennant les réponses aux items correspondant à chaque sous-échelle (les items 5, 6, 7, 8 et 9 sont inversés) (39,40). Dans ce travail, le questionnaire MAIA présente un niveau acceptable de consistance interne chez les cas (alpha de Cronbach = 0.90) et chez les témoins (alpha de Cronbach = 0.89).

b. Motivation générale :

En 28 items, le Questionnaire de Motivation Générale évalue trois types de motivations intrinsèques (IM) : (1) *IM à la connaissance :* plaisir d'apprendre, d'explorer ou de comprendre quelque chose de nouveau, (2) *à l'accomplissement :* plaisir de réaliser une tâche, de créer de nouvelles choses et (3) *à la stimulation :* plaisir d'avoir une conversation stimulante, de ressentir du plaisir cognitif ; trois types de motivations extrinsèques : (4) *identifiée :* réaliser une activité car cette activité correspond à nos valeurs, (5) *introjectée :* faire une activité parce qu'elle est supposée bonne pour soi et (6) *régulation externe :* entreprendre une activité pour recevoir une récompense ou éviter une punition ; et (7) *amotivation :* absence de motivation

intrinsèque ou extrinsèque. Chaque réponse est cotée de 1 (pas du tout) à 7 (totalement). Pour chacun des 7 types de motivation, évalués grâce à 4 questions, le score final est obtenu en moyennant le score obtenu aux questions appartenant à chaque type de motivation (41,42). Dans ce travail, le Questionnaire de Motivation Générale démontre des niveaux acceptables de consistance interne pour les cas (alpha de Cronbach = 0.88) et les témoins (alpha de Cronbach = 0.93).

c. Trait mindfulness :

Le questionnaire Freiburg Mindfulness Index, composé de 14 items, mesure le trait dispositionnel mindfulness en évaluant l'aspect « présence » (être conscient des expériences au moment présent) et l'aspect « acceptation sans jugement » (comprendre que les choses ne sont pas forcément telles que l'on voudrait). Ce questionnaire est sémantiquement indépendant du contexte méditatif et est applicable à tout type de population notamment à celles qui n'ont jamais pratiqué la méditation mindfulness. Chaque réponse est cotée de 1 (rarement) à 4 (quasiment toujours). Le score global de mindfulness est obtenu en additionnant le score obtenu à chaque question excepté la 13ème dont le score est inversé (43,44). Dans cette étude, le questionnaire présente des niveaux acceptables de consistance interne chez les cas (alpha de Cronbach = 0.80) et les témoins (alpha de Cronbach = 0.77).

Les questionnaires sont disponibles en intégralité en annexe 3.

3. Analyses statistiques :

L'analyse des données a été effectuée avec JASP (version 0.11.1, https://jasp-stats.org/). Nous avons utilisé à la fois les tests statistiques standards et leurs équivalents bayésiens afin d'améliorer la précision et guider l'interprétation de la significativité (p values), selon la vraisemblance de l'hypothèse alternative par rapport à l'hypothèse nulle. En effet, un inconvénient du test par rapport à l'hypothèse nulle est que si la p-value est non significative (par exemple s'il n'y a pas de différence significative entre les cas et les témoins sur le questionnaire de motivation générale), elle ne peut pas être interprétée comme en faveur de l'hypothèse nulle (45,46). Pour limiter cette possibilité et confirmer que les éventuels résultats non-significatifs obtenus

sont en faveur de l'hypothèse nulle ou non, nous avons calculé le facteur Bayes (BF) : plus précisément, nous avons calculé l'échelle logarithmique du BF (noté log(BF_{10})) dont l'interprétation est plus facile. Ainsi une valeur négative est en faveur de l'hypothèse nulle alors qu'une valeur positive plaide pour l'hypothèse alternative (voir l'annexe 1 pour une interprétation de l'échelle log (BF_{10})) (47). Les analyses statistiques ont été réalisées grâce au test non paramétrique Mann-Whitney car les données des cas et des témoins ne respectaient pas une distribution normale. Si une différence significative était observée, nous avons calculé la taille de l'effet (pour évaluer l'ampleur de la différence) en utilisant une mesure adaptée aux analyses non paramétriques : intervalle de confiance à 95% du coefficient de corrélation point bi-sérial (rpbs) (48). Pour les analyses Bayesiennes, nous avons utilisé les paramètres par défaut du logiciel JASP qui supposent une taille d'effet moyenne sur une distribution de Cauchy de 0,707 pour les tests de comparaison de moyenne pour échantillons indépendants.

Résultats

1. Caractéristiques de la population :

Le tableau 1 résume les caractéristiques de base en termes de démographie (âge et genre) et de biométrie (poids, taille et indice de masse corporelle (IMC)) des cas et des témoins. Les deux populations ne diffèrent pas pour l'âge ($\log(BF_{10}) = -1.37$, suggérant un argument fort pour l'hypothèse nulle), pour le genre ($\log(BF_{10}) = -2.03$, suggérant un argument extrêmement fort pour l'hypothèse nulle), pour le poids ($\log(BF_{10}) = -1.50$, suggérant un argument très fort pour l'hypothèse nulle), pour la taille ($\log(BF_{10}) = -1.43$, suggérant un argument fort pour l'hypothèse nulle) et pour l'IMC ($\log(BF_{10}) = -1.44$, suggérant un argument fort en faveur de l'hypothèse nulle).

Tableau 1 – Résumé des données démographiques (âge et genre) et biométriques (poids, taille et IMC) pour les cas et les témoins.

	Cas (n=51)	**Témoins** (n=43)	P-value	$\log(BF_{10})$
Age (années), M (DS)	27.80 (6.38)	27.30 (6.48)	0.65	-1.37
Sexe masculin, n (%)	48 (94)	40 (93)	0.83	-2.03
Poids (kg), M (DS)	76.94 (8.41)	77.28 (9.33)	0.89	-1.50
Taille (cm), M (DS)	176.24 (7.80)	177.02 (5.17)	0.67	-1.43
Indice de masse corporelle ($kg.cm^{-2}$), M (DS)	24.79 (2.45)	24.65 (2.76)	0.57	-1.44

Test non-paramétrique de Mann-Whitney (données continues) et test du χ^2 (données catégorielles); M : moyenne; DS : déviation standard; kg: kilogrammes; cm: centimètres;

2. Conscience corporelle :

Cinq dimensions de la conscience corporelle intéroceptive sont significativement moins développées chez les cas que chez les témoins : *Body listening* (Mann-Whitney (U) = 717, $p \leq 0.01$, coefficient de corrélation point bi-sérial (rpbs) = [0.12 - 0.54] IC 95%), *Attention regulation* (U = 730, $p \leq 0.01$, rpbs = [0.11 - 0.53] IC 95%), *Emotional awareness* (U = 767, $p \leq 0.05$, rpbs = [0.07 - 0.50] IC 95%), *Self-regulation* (U = 780, $p \leq 0.05$, rpbs = [0.06 - 0.49] IC 95%), et *Noticing* (U = 839, $p \leq 0.05$, rpbs = [0.003 - 0.44] IC 95%). Par ailleurs, les cas et les témoins ne présentent pas de différence sur les trois dimensions que sont : *Not-worrying* ($\log(BF_{10}) = -1.36$, suggérant un argument fort en faveur de l'hypothèse nulle), *Trusting* ($\log(BF_{10}) = -0.39$, suggérant un argument modéré pour l'hypothèse nulle), and *Not-distracting* ($\log(BF_{10}) = -0.20$, suggérant un argument anecdotique en faveur de l'hypothèse nulle). La figure 3 résume les différences en termes de conscience corporelle intéroceptive entre les cas et les témoins. Les statistiques descriptives de chaque sous-dimensions du questionnaire MAIA pour les cas et les témoins sont rapportés dans le tableau 2 de l'annexe 2.

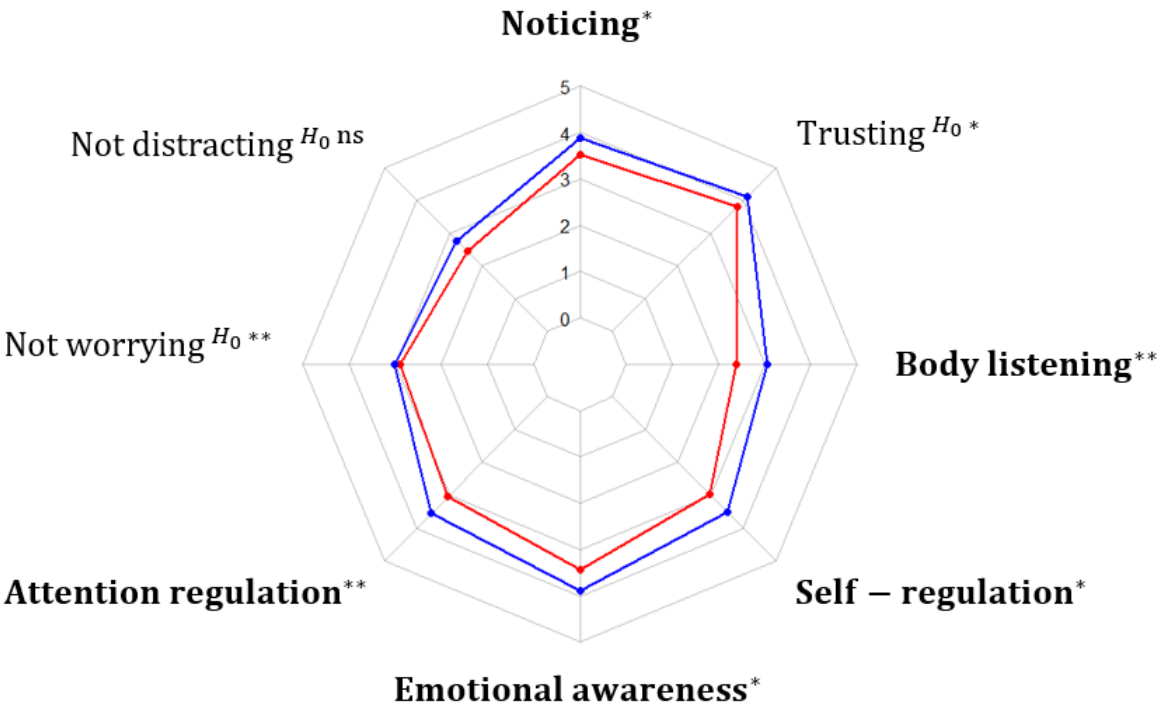


Figure 3 – Comparaison graphique des cas (en rouge) et des témoins (en bleu) sur les huit sous-dimensions du questionnaire MAIA évaluant le niveau de conscience

corporelle. Les différences significatives sont en gras. *Interprétation : * p≤0.05, ** p≤0.01; H_0ns: argument anecdotique en faveur de l'hypothèse nulle, H_0*: argument modéré en faveur de l'hypothèse nulle, H_0**: argument fort en faveur de l'hypothèse nulle.*

3. Motivation générale :

Les cas et les témoins ne diffèrent pas pour six des sept types de motivation : *IM à l'accomplissement* (log(BF_{10}) = -1.50, suggérant un argument fort en faveur de l'hypothèse nulle), *régulation introjectée* (log(BF_{10}) = -1.53, suggérant un argument très fort en faveur de l'hypothèse nulle), *régulation identifiée* (log(BF_{10}) = -1.53, suggérant un argument très fort en faveur de l'hypothèse nulle), *IM à la stimulation* (log(BF_{10}) = -1.51, suggérant un argument très fort en faveur de l'hypothèse nulle), *IM à la connaissance* (log(BF_{10}) = -1.21, un argument très fort en faveur de l'hypothèse nulle), et la *régulation externe* (log(BF_{10}) = -0.90, suggérant un argument modéré en faveur de l'hypothèse nulle). Seule l'*amotivation* est significativement plus basse chez les cas que chez les témoins (U = 729, p ≤ 0.01, rpbs = [0.11 - 0.53] IC 95%). La figure 4 résume les similarités entre les cas et les témoins en termes de motivation. Les statistiques descriptives selon les types de motivation sont disponibles dans le tableau 3 de l'annexe 2.

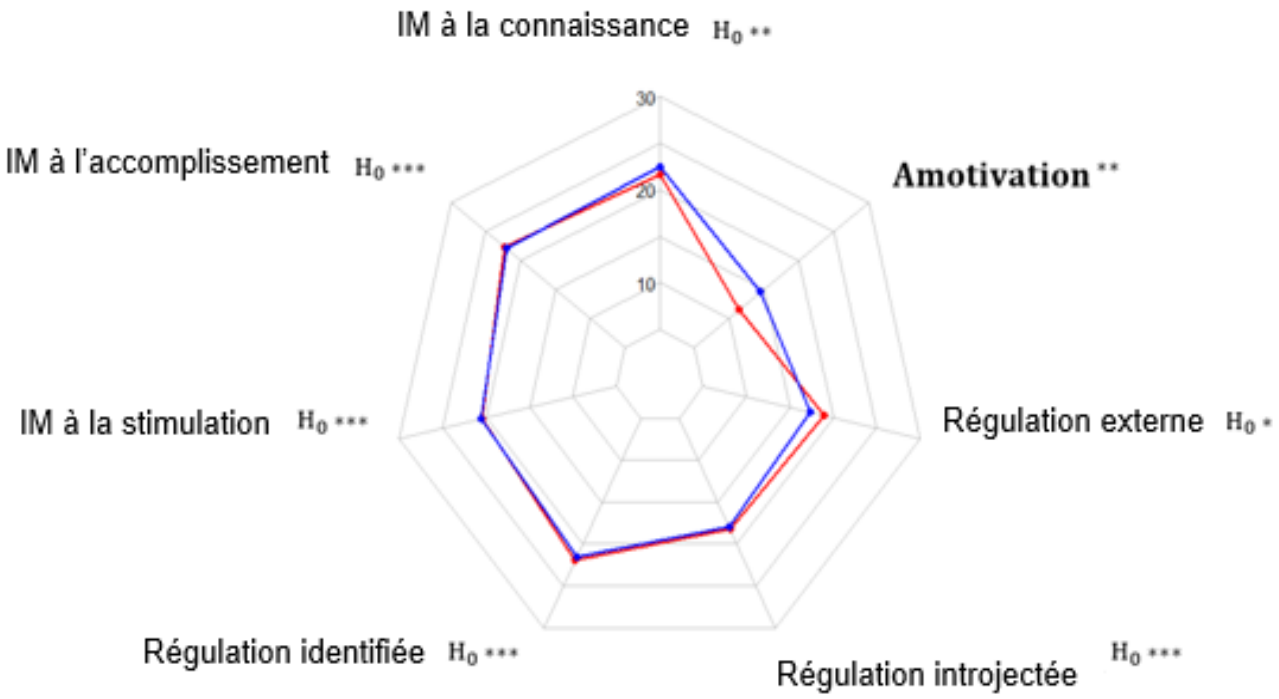


Figure 4 – Comparaison graphique des cas (en rouge) et des témoins (en bleu) sur les sept types de motivation évalués par le Questionnaire de Motivation Générale. La seule différence significative est en gras. *Interprétation : ** : p≤0.01; H_0*: argument modéré en faveur de l'hypothèse nulle, H0**: argument fort en faveur de l'hypothèse nulle*, *H0***: argument très fort en faveur de l'hypothèse nulle.*

4. Trait mindfulness :

Les cas ont des scores moindres dans les deux dimensions de la mindfulness évaluées par le FMI par rapport aux témoins : *Présence* (U = 761, p ≤ 0.05, rpbs = [0.08 - 0.50] IC 95%,), et *Acceptation* (U = 730, p ≤ 0.01, rpbs = [0.11 - 0.52] IC 95%,) (Figure 5). Les statistiques descriptives du trait mindfulness chez les cas et les témoins sont disponibles dans le tableau 4 de l'annexe 2.

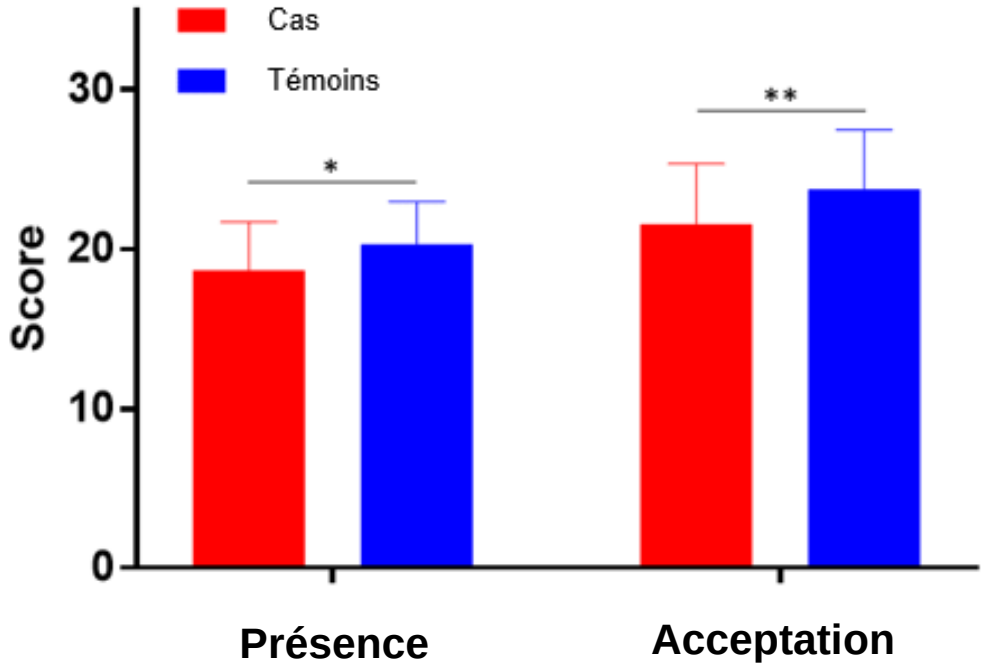


Figure 5 – Les résultats pour les deux dimensions mindfulness, Acceptation et Présence, évaluées par le FMI présentent des différences significatives entre cas et témoins. *Grille d'interprétation : * : p≤0.05, ** : p≤0.01.*

Discussion

1. Synthèse des résultats :

Notre modèle englobe deux cadres psycho-cognitifs, la théorie de l'autodétermination dans le domaine de la motivation et le processus d'intéroception.

La première observation majeure est que les cas ont un niveau de conscience corporelle intéroceptive significativement inférieur aux témoins sur les dimensions *Noticing, Body listening, Attention regulation, Self-regulation* et *Emotionnal awareness*. De faibles scores dans les dimensions *Body listening*, *Attention regulation* et *Self-regulation* signifient que les individus avec un antécédent de CCE peuvent rencontrer des difficultés à activement et durablement prêter attention à leur corps pour avoir un aperçu continu de leur état physiologique interne. Dans le contexte de l'effort physique, l'incapacité à détecter les signaux corporels de fatigue pourrait empêcher les individus d'auto-réguler leur effort augmentant ainsi le risque de CCE. Le défaut ans la dimension *Noticing* suggère que les individus avec un antécédent de CCE, bien qu'ils soient en partie capables de ressentir les signaux d'alarme envoyés par leur corps, ne réussissent pas à distinguer les sensations corporelles négatives, comme les signaux avant-coureurs du CCE (hyperthermie, tachycardie, tachypnée), des sensations corporelles qui caractérisent l'effort physique dans des conditions de sécurité. La dimension *Emotionnal awareness*, à savoir la difficulté à attribuer des sensations physiques spécifiques aux émotions, est moins développer chez les personnes avec un antécédent de CCE ce qui indique qu'elles peuvent être moins réactives aux stimuli négatifs de leurs environnements interne (corps) et externe (monde). Nos découvertes pourraient ouvrir de nouvelles voies pour développer des stratégies de prévention du CCE. En effet, des programmes s'efforçant à améliorer le niveau de conscience corporelle pourraient potentiellement atténuer le risque de CCE, en sensibilisant les individus à leurs sensations corporelles qui in fine pourrait conduire à la mise en œuvre de stratégies d'auto-régulation efficaces lors de l'effort physique.

La deuxième observation majeure de notre travail est que les cas présentent un trait mindfulness moins développé que les témoins, tel qu'évalué par le FMI. Comme

mentionné dans l'introduction, la pratique de la mindfulness, qui doit être distinguée du trait mindfulness bien que le dernier puisse être développé grâce à la première, implique l'attention aux sensations corporelles et est théorisée pour améliorer la conscience corporelle. Les résultats suggèrent qu'un programme basé sur la mindfulness, qui entrainerait les individus à accéder délibérément et de manière continue à leurs sensations corporelles, pourrait potentiellement être un bon candidat dans une stratégie de prévention du CCE ; Pour autant, seules les études qui manipuleront expérimentalement la pleine conscience fourniront les preuves, le cas échéant, que la formation à la pleine conscience peut réduire le risque de CCE. Nous sommes conscients que la mise en œuvre de telles études pour évaluer l'impact des programmes de prévention sur le risque de CCE représente un grand défi étant donné le faible taux d'incidence du CCE.

La dernière observation de cette étude est que les sujets avec un antécédent de CCE ne diffèrent pas des sujets sains sur le trait motivation comme mesuré par le questionnaire de motivation générale. Les tests statistiques bayésiens permettent de quantifier les preuves soutenant l'absence de différence entre les cas et les témoins plutôt que de simplement déclarer que l'absence de différence (c'est-à-dire l'hypothèse nulle) ne peut être rejetée d'un point de vue statistique. Ce résultat, bien qu'il soit limité à l'auto-évaluation de la motivation générale, fournit des arguments contre l'une des hypothèses de notre modèle théorique, à savoir que le CCE pourrait être la conséquence d'une sur motivation à la réussite. Il ne peut pas être affirmé que le manque de relation entre le trait motivation et l'antécédent de CCE est pertinent pour notre modèle psycho-cognitif ou s'il est lié à la spécificité des auto-questionnaires, ici celui de motivation générale.

2. Limites du modèle et validation expérimentale ultérieure possible :

Pour plus de simplicité, notre travail ne s'est basé que sur le trait motivation qui renvoie à l'orientation motivationnelle globale des individus au niveau de la personnalité. Selon le modèle hiérarchique proposé par Vallerand, la motivation auto-déterminée existe à différents niveaux de généralité (28). Le niveau de généralité le plus bas correspond à la motivation situationnelle, c'est-à-dire la motivation éprouvée

par un individu envers une activité donnée à un moment précis. Dans ce travail, nous n'avons pas mesuré la motivation situationnelle car les données psychométriques ont été récoltées en-dehors de tout contexte d'activité physique. Nos données montrent que la motivation globale (le trait motivation) ne permet pas de différencier les sujets avec un antécédent de CCE de ceux n'ayant pas d'antécédent de CCE. Cette absence de différence suggère que limiter l'évaluation du facteur motivation à son dernier niveau de généralité (c'est-à-dire le niveau de personnalité) pourrait ne pas être informatif sur le risque de CCE. De prochaines études pourront s'appuyer sur ce résultat et étudier la motivation situationnelle comme potentiel facteur influençant le risque de CCE. Un niveau normal de motivation générale combiné à une forte motivation situationnelle pourrait résulter en un trait haut niveau de motivation auto-déterminée. En d'autres termes, les facteurs motivationnels à différents niveaux de généralité pourraient avoir un effet cumulatif sur le comportement des individus et leur engagement dans l'effort physique. Pour tester cette hypothèse, les paramètres expérimentaux devront inclure la mesure à la fois du trait motivation et à la fois de la motivation situationnelle, ou la manipulation expérimentale de la motivation situationnelle du participant en utilisant le paradigme de la motivation incitative (49). Classiquement, la mesure de la motivation situationnelle repose sur des instruments d'auto-évaluation comme l'échelle de motivation situationnelle (50,51). Pourtant les instruments d'auto-évaluation sont souvent critiqués car ils peuvent être vulnérables aux limites de l'introspection et aux biais de désirabilité sociale et sont potentiellement limités par la réticence ou l'incapacité de l'individu à déclarer son véritable état psycho-cognitif (52). Nous soutenons que même si les instruments d'automesure fournissent des informations utiles et sont particulièrement pratiques dans le domaine de la recherche, ils ne doivent pas être utilisés de manière isolée dans les prochains travaux sur le CCE. Il est intéressant de noter que certains travaux combinent l'approche comportementale et les modèles neurocomputationnels de la motivation et ouvrent de nouvelles perspectives prometteuses pour résoudre ce problème de biais. Par exemple, dans la tâche de motivation incitative développée par *Pessiglione et al* (2007), les mesures comportementales (ici le pic de force avec laquelle le patient serre une poignée) peuvent être modélisés comme des fonctions qui se rapprochent des solutions d'un modèle de contrôle moteur optimal (qui maximise le compromis coût/bénéfice) au niveau individuel (49). Une telle approche neurocomputationelle a l'avantage de fournir des mesures liées à la motivation (ici la récompense attendue)

qui ne sont pas contaminées par les différences individuelles dans d'autres composantes psycho-cognitive (par exemple saute d'humeur, pensées émotionnelles, etc.). Ainsi nous encourageons les futures recherches s'intéressant à la motivation dans le CCE à utiliser cette approche neurocomputationelle qui a un grand potentiel pour améliorer la mise en relation des différences (comportementales et de processus neuronaux) entre les sujets avec et sans antécédent de CCE.

Concernant l'autre composante principale de notre modèle se référant à la conscience corporelle intéroceptive, elle a été formalisée comme un processus psycho-cognitif multiforme qui peut être interrogé avec des méthodes complémentaires (53,54) notamment des instruments d'automesures et des mesures objectives (par exemple les tests comportementaux ou les biomarqueurs). Les mesures objectives de la conscience corporelle intéroceptive s'intéresse principalement à l'intéroception cardiaque, c'est-à-dire les processus de détection, de stockage et de représentation d'informations sur l'état du système cardio-vasculaire (53). Ceux-ci sont majoritairement réalisés dans des conditions de repos physiologique, sans manipulation cardiovasculaire significative induite par l'expérience, ce qui soulève quelques questions sur leur potentielle pertinence pour modéliser la dysfonction intéroceptive dans le contexte de CCE. En effet l'effort physique est caractérisé par des perturbations fortes et continues du système cardiovasculaire (augmentation de la fréquence cardiaque ou de la tension artérielle par exemple). De manière intéressante, la manipulation pharmacologique de l'activation du système cardio-vasculaire (via l'administration d'isoprotérénol qui régule le système nerveux sympathique) fournit un cadre expérimental attractif, il présente l'avantage de permettre la manipulation en simple aveugle (pour le participant) du niveau d'activation du système cardio-vasculaire (y compris la condition placebo) qui permet de mesurer le biais de réponse (55). A côté des tests expérimentaux qui fournissent un éclairage indirect sur le traitement du signal intéroceptif, les bases neurales de l'intéroception cardiaque peuvent être explorées en sondant l'activité cérébrale en réponse aux signaux cardiaques. Le Potentiel Evoqué Cardiaque (PEC), qui renvoie aux changements évoqués dans l'activité cérébrale (mesurés en magnétoencéphalographie, électroencéphalographie ou via des enregistrements

intracrâniens) qui se produit après un battement de cœur, a été proposé comme un marqueur neurophysiologique de la fonction ou de la dysfonction intéroceptive (56).

Pour résumer, les prochaines études sont encouragées à poursuivre le développement et la validation du modèle psycho-cognitif du CCE en utilisant l'approche neurocomputationnelle de la motivation avec le paradigme de la motivation incitative (49) et la mesure objective de la conscience corporelle intéroceptive (par exemple les tâches de perception du rythme cardiaque ou l'analyse du potentiel évoqué cardiaque) basé sur le paradigme impliquant la manipulation pharmacologique de l'excitation cardiaque (55).

3. Mécanismes neurologiques :

Le présent modèle a été décrit et définit au niveau psycho-cognitif. Bien que cette approche fournisse des informations utiles et un cadre simple et reproductible, un effort important dans le futur sera de l'étoffer au niveau neuronal. Le système sous-tendant l'évaluation de la balance coûts/bénéfices pour la répartition de l'effort durant l'exercice physique pourrait être soumis au contrôle de l'insula postérieure. Cette zone contiendrait une représentation dynamique de l'état interne du corps (30,57). L'activité de la partie postérieure de l'insula a également été mise en évidence comme reflétant la motivation à maintenir un effort physique sur une longue période (58). L'insula postérieure pourrait donc jouer un rôle critique dans le processus de décision de maintenir l'effort physique malgré des coûts physiologiques excessifs caractérisant le CCE. Meyniel et al (2013) ont montré que la motivation repousse les limites entre lesquelles la preuve de coût fluctue, à savoir que la motivation retarde la décision d'arrêter l'effort physique et ralentit également l'accumulation de preuves de coût (58). Nos résultats mettent en lumière un facteur psycho-cognitif alternatif, influençant l'accumulation des preuves de coûts, en montrant que la population à risque de CCE est caractérisée par un faible niveau de conscience corporelle intéroceptive. En effet, d'un point de vue neurocomputationnel, une faible sensibilité aux signaux intéroceptifs pourrait résulter en une accumulation plus lente des preuves de coûts durant l'effort physique et ainsi contribuer à retarder l'atteinte du seuil de décision et l'arrêt de

l'activité physique. De futures recherches pourront tester cette hypothèse en explorant la relation entre la conscience corporelle intéroceptive (mesurée avec des instruments d'automesures, des mesures comportementales ou neurophysiologiques) et les paramètres de la pente d'accumulation des coûts du modèle computationnel (voir l'article de Meyniel (58) pour une description détaillée du modèle d'accumulation et de ses paramètres).

4. Application médico-militaire :

Une application possible et intéressante de ces résultats est l'identification des sujets à risque de coup de chaleur d'exercice lors des visites médicales d'aptitude en réitérant notamment le questionnaire évaluant le niveau de conscience corporelle intéroceptive (MAIA) et celui évaluant la mindfulness (FMI), utilisés dans cette étude. L'intégration de ces questionnaires dans la réévaluation périodique de l'aptitude des militaires nécessite un processus national au niveau du Service de Santé des Armées et implique de définir des résultats seuils à partir desquels les militaires sont déclarés à risque de CCE. A ce jour, il est difficile d'établir un résultat seuil discriminant. A ce titre, il serait utile de maximiser l'utilisation de ce questionnaire afin d'établir des scores plus précis dans les populations avec et sans antécédent de CCE. Cette identification permettra de sensibiliser les cadres et les moniteurs d'Education Physique Militaire et Sportive lors des épreuves sportives annuelles.

Par ailleurs, le trait mindfulness est significativement moins développé chez les cas que chez les témoins, or l'entrainement à la mindfulness est connu pour améliorer le niveau de conscience corporelle. Ainsi un programme d'entrainement à la mindfulness chez les individus avec une conscience corporelle intéroceptive peu développée pourrait constituer une stratégie de prévention du CCE.

Conclusion

Dans ce travail, nous avons proposé un modèle psycho-cognitif du CCE qui pourrait contribuer au développement de nouvelles approches afin d'identifier les potentiels facteurs de risque du CCE. En testant de manière empirique notre modèle théorique à l'aide de données psychométriques, nous avons montré que le CCE est associé à une perturbation de la conscience corporelle intéroceptive autodéclarée. Ces résultats suggèrent que les individus à risque de CCE se caractérisent par une incapacité à évaluer le coût de l'effort, qui peut finalement contribuer à sous-estimer l'état de stress induit par un exercice prolongé. De plus, nous apportons un argument basé sur la mesure de la motivation générale allant à l'encontre de notre modèle théorique selon lequel la sur motivation peut augmenter le risque de CCE. Il doit être rappelé que ce travail étudie le construit psycho-cognitif de la motivation en se concentrant sur son plus haut niveau de généralité, c'est-à-dire au niveau de la personnalité, selon le modèle hiérarchique de la motivation. Nus encourageons les futures études à s'intéresser à l'influence des autres niveaux de généralités, notamment la motivation situationnelle qui pourrait jouer un rôle critique dans les mécanismes d'apparition du CCE. Le bénéfice potentiel des programmes de prévention pour réduire le risque de CCE doit être testé à l'aide d'étude interventionnelle. Toutefois nos résultats fournissent des preuves préliminaires sur le fait que les programmes basés sur la mindfulness pourraient être de bons candidats pour la prévention du CCE. A ce jour, le CCE est pensé comme la conséquence de la décompensation de facteurs différents, aussi bien physiologiques que psychologiques, en fonction de chaque individu. Ce travail contribue à l'effort de compréhension du CCE. La validation d'un modèle psycho-cognitif du CCE pourrait aider les scientifiques et les cliniciens à affiner la stratification du risque et prédire la susceptibilité individuelle au CCE à l'aide de mesures psycho-cognitives. Enfin cette validation pourrait contribuer à identifier des contre-mesures innovantes et de nouvelles voies physiopathologiques dans le domaine du CCE.

Annexes

Annexe 1 :

Interprétation de l'échelle log (BF_{10}) :

Log (BF_{10})	**Interprétation**	**Symbole**
>2	Argument extrêmement fort pour H_1	H_1^{****}
[1,48 ; 2]	Argument très fort pour H_1	H_1^{***}
[1 ; 1,48]	Argument fort pour H_1	H_1^{**}
[0,48 ; 1]	Argument modéré pour H_1	H_1^{*}
[0 ; 0,48]	Argument anecdotique pour H_1	ns
0	Absence d'argument	ns
[-0,48 ; 0]	Argument anecdotique pour H_0	ns
[-1 ; -0,48]	Argument modéré pour H_0	H_0^{*}
[-1,48 ; -1]	Argument fort pour H_0	H_0^{**}
[-2 ; -1,48]	Argument très fort pour H_0	H_0^{***}
< -2	Argument extrêmement fort pour H_0	H_0^{****}

Log(BF_{10}) : échelle logarithmique du facteur Bayes BF_{10} ; H_1 : hypothèse alternative ; ns : non significatif ; H_0 : hypothèse nulle

Annexe 2 :

Tableau 2 – Statistiques descriptives du Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness évaluant la conscience corporelle chez les cas et les témoins

	Cas (n=51)		**Témoins** (n=43)	
	M	DS	M	DS
Noticing	3.52	0.87	3.88	0.72
Not-distracting	2.46	0.89	2.77	0.90
Not-worrying	2.91	0.89	3.02	0.93
Attention regulation	3.05	0.89	3.55	0.76
Emotional awareness	3.44	0.95	3.88	0.81
Self-regulation	2.97	1.15	3.50	0.98
Body listening	2.37	1.10	3.05	1.10
Trusting	3.80	0.89	4.11	0.96
Score total	24.53	4.81	27.76	4.52

M : moyenne ; DS : déviation standard

Tableau 3 – Statistiques descriptives du Questionnaire de Motivation Générale chez les cas et les témoins.

	Cas (n=51)		**Témoins** (n=43)	
	M	DS	M	DS
IM à la connaissance	21.61	4.51	22.54	3.89
IM à l'accomplissement	22.25	4.15	22.07	4.73
IM à la stimulation	20.47	4.70	20.56	5.04
Régulation identifiée	21.92	3.74	21.58	3.87
Régulation introjectée	18.18	5.10	17.93	5.54
Régulation externe	18.96	5.23	17.33	5.96
Amotivation	11.43	4.08	14.51	5.59

M : moyenne ; DS : déviation standard ; IM : motivation intrinsèque

Tableau 4 – Statistiques descriptives du Freiburg Mindfulness Inventory évaluant le trait mindfulness chez les cas et les témoins

	Cas (n=51)		**Témoins** (n=43)	
	M	DS	M	DS
Présence	18.69	3.02	20.30	2.67
Acceptation	21.57	3.79	23.77	3.70
Score total	40.25	6.18	44.07	5.34

M : moyenne ; DS : déviation standard

Annexe 3 :

Questionnaire 1 – Multidimensionnal Assessment of Interoceptive Awareness évaluant la conscience corporelle

Consigne : Vous trouverez ci-dessous une liste de propositions. Merci de bien vouloir indiquer la fréquence à laquelle chacune de ces propositions s'applique à vous, de façon générale, dans votre vie de tous les jours.

Fréquence de la proposition : 0 = jamais → 5 = toujours

Lorsque je suis tendu(e), je perçois où la tension se situe dans mon corps.	0	1	2	3	4	5
Lorsque je me sens mal dans mon corps, je le remarque.	0	1	2	3	4	5
J'identifie/je remarque à quel endroit de mon corps je me sens confortable.	0	1	2	3	4	5
Je perçois les changements dans ma respiration, par exemple lorsqu'elle ralentit ou accélère.	0	1	2	3	4	5
Je ne perçois pas (j'ignore) les tensions physiques ou l'inconfort jusqu'à ce qu'ils deviennent sévères.	0	1	2	3	4	5
Je me détache des sensations d'inconfort.	0	1	2	3	4	5
Lorsque je ressens de la douleur ou de l'inconfort, j'essaie de les surmonter.	0	1	2	3	4	5
Lorsque je ressens une douleur physique, cela me stresse.	0	1	2	3	4	5
Je commence à me soucier que quelque chose n'aille pas dès que je ressens le moindre inconfort.	0	1	2	3	4	5
Je peux recevoir une sensation corporelle déplaisante sans m'en inquiéter.	0	1	2	3	4	5
Je peux prêter attention à ma respiration sans être distrait(e) par les choses qui arrivent autour de moi.	0	1	2	3	4	5
Je peux rester conscient(e) de mes sensations corporelles intérieures même lorsqu'il se passe beaucoup de choses autour de moi.	0	1	2	3	4	5
Lorsque je suis en conversation avec quelqu'un, je peux porter attention à ma posture.	0	1	2	3	4	5
Je peux rediriger mon attention sur mon corps si je suis distrait(e).	0	1	2	3	4	5
Je peux détourner mon attention de mes pensées pour la tourner vers mon corps (vers mes sensations corporelles).	0	1	2	3	4	5
Je peux conserver la conscience de l'ensemble de mon corps même lorsqu'une partie de moi-même éprouve de la douleur ou de l'inconfort.	0	1	2	3	4	5

Je suis capable de focaliser mes pensées de façon consciente sur mon corps dans son entier.	0	1	2	3	4	5
Je perçois comment mon corps change lorsque je suis en colère.	0	1	2	3	4	5
Lorsque quelque chose ne va pas dans ma vie, je peux le ressentir dans mon corps.	0	1	2	3	4	5
Je remarque que mes sensations corporelles changent après une expérience apaisante.	0	1	2	3	4	5
Je perçois que ma respiration devient dégagée et aisée lorsque je me sens confortable.	0	1	2	3	4	5
Je perçois comment mon corps change lorsque je me sens heureux(se)/joyeux(se).	0	1	2	3	4	5
Lorsque je me sens débordé(e), je peux trouver un endroit calme à l'intérieur de moi.	0	1	2	3	4	5
Lorsque je prends conscience de mon corps, je ressens une sensation de calme.	0	1	2	3	4	5
Je peux utiliser ma respiration pour réduire la tension.	0	1	2	3	4	5
Lorsque je suis pris(e) dans mes pensées, je peux calmer mon esprit en me concentrant sur mon corps/ma respiration.	0	1	2	3	4	5
Je suis à l'écoute de mon corps concernant mon état émotionnel.	0	1	2	3	4	5
Lorsque je suis stressé(e), je prends le temps d'explorer comment mon corps se sent.	0	1	2	3	4	5
J'écoute mon corps afin de m'informer sur ce que je dois faire.	0	1	2	3	4	5
Je suis chez moi dans mon corps.	0	1	2	3	4	5
Je sens que mon corps est un endroit sûr.	0	1	2	3	4	5
Je fais confiance à mes sensations corporelles.	0	1	2	3	4	5

Questionnaire 2 - Questionnaire de Motivation Générale

Consigne : Indiquer dans quelle mesure chacun des énoncés suivants correspond aux raisons pour lesquelles vous faites différentes choses en général.

Echelle :

Ne correspond pas du tout	Correspond très peu	Correspond peu	Correspond moyennement	Correspond assez	Correspond beaucoup	Correspond exactement
1	2	3	4	5	6	7

En général, je fais des choses …

… pour ressentir des émotions que j’aime	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je ne veux pas décevoir certaines personnes	1	2	3	4	5	6	7
… pour m’aider à devenir ce que je veux être plus tard	1	2	3	4	5	6	7
… parce que j’aime faire des découvertes intéressantes	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je m’en voudrais de ne pas les faire	1	2	3	4	5	6	7
… parce que j’éprouve du plaisir à me sentir de plus en plus habile	1	2	3	4	5	6	7
… bien que je ne voie pas ce que cela me donne	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je vis une sensation de bien-être lorsque je les fais	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je veux être mieux considéré(e) par certaines personnes	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je les choisies comme moyen pour réaliser mes projets	1	2	3	4	5	6	7
… pour le plaisir d’acquérir des connaissances	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je me sentirai coupable de ne pas les faire	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je ressens du plaisir à maîtriser ce que je fais	1	2	3	4	5	6	7
… bien que cela ne fasse pas de différence que je les fasse ou non	1	2	3	4	5	6	7
… parce que j’éprouve des sensations plaisantes en les faisant	1	2	3	4	5	6	7
… pour montrer aux autres ce que je vaux	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je les choisis pour obtenir ce que je désire	1	2	3	4	5	6	7
… parce que j’y trouve de nouveaux éléments intéressants à apprendre	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je m’oblige à les faire	1	2	3	4	5	6	7
… parce que j’éprouve de la satisfaction à essayer d’exceller dans ce que je fais	1	2	3	4	5	6	7
… même si je n’ai pas de bonnes raisons de les faire	1	2	3	4	5	6	7
… pour les sentiments agréables que je ressens	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je souhaite obtenir du prestige	1	2	3	4	5	6	7

… parce que je choisis de m'investir dans ce qui est important pour moi	1	2	3	4	5	6	7
… parce que j'ai du plaisir en apprenant sur différents faits intéressants	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je me sentirais mal de ne pas le faire	1	2	3	4	5	6	7
… parce que je ressens du plaisir à me surpasser	1	2	3	4	5	6	7
… même si je ne crois pas que ça en vaille la peine	1	2	3	4	5	6	7

Questionnaire 3 – Freiburg Mindfulness Inventory

Consigne : Le but de ce test est de décrire comment vous vous situez face aux situations décrites ci-dessous. Cela concerne votre façon d'être en général. Répondez de votre mieux à chaque déclaration. Répondez aussi franchement et spontanément que possible. Il n'y a pas de réponse juste ou fausse, bonne ou mauvaise. Ce qui est important est votre expérience personnelle.

	Presque jamais	**Occasionnellement**	**Assez souvent**	**Presque toujours**
Je suis réceptif(ve) à ce que je vis dans le moment présent	1	2	3	4
Je ressens mon corps dans les actes de la vie quotidienne (manger, cuisiner, parler, faire le ménage, …)	1	2	3	4
Lorsque je réalise que je m'égare dans mes pensées, je reviens naturellement à ce que je suis en train de vivre dans le moment présent	1	2	3	4
Je suis capable d'apprécier à sa juste valeur la personne que je suis	1	2	3	4
Je prête attention à ce qui me fait agir dans mon quotidien	1	2	3	4
Je regarde mes erreurs et difficultés sans les juger	1	2	3	4
Je suis pleinement en lien avec ce que je vis dans le moment présent	1	2	3	4
J'accepte les expériences désagréables	1	2	3	4

Je prends soin de moi-même lorsque les choses vont mal	1	2	3	4
Je suis à l'écoute de mes sentiments sans me laisser déborder par eux	1	2	3	4
Dans les moments difficiles, je sais marquer une pause avant de réagir	1	2	3	4
Je vis des moments de calme et de paix intérieurs même lorsque les choses sont mouvementées et stressantes	1	2	3	4
Je suis impatient(e) avec moi-même et envers les autres	1	2	3	4
Je sais sourire lorsque je me rends compte à quel point je peux parfois me rendre la vie difficile	1	2	3	4

Références

1. Epstein Y, Yanovich R. Heatstroke. N Engl J Med. 20 juin 2019;380(25):2449-59.

2. Leon LR, Bouchama A. Heat Stroke. Compr Physiol. 5 avr 2015;5:611-47.

3. Hosokawa Y, Racinais S, Akama T, Zideman D, Budgett R, Casa DJ, et al. Prehospital management of exertional heat stroke at sports competitions: International Olympic Committee Adverse Weather Impact Expert Working Group for the Olympic Games Tokyo 2020. Br J Sports Med [Internet]. 22 avr 2021

4. Casa DJ, Armstrong LE, Kenny GP, O'Connor FG, Huggins RA. Exertional Heat Stroke: New Concepts Regarding Cause and Care. Curr Sports Med Rep. juin 2012;11(3):115-23.

5. Durond-Martineaud, Verret, Haus-Cheymol, Bedubourg, Mayet, Dia, et al. Coups de chaleur d'exercice dans les armées Résultats de la surveillance épidémiologique Années 2005-2011. 2012.

6. Abriat A, Brosset C, Brégigeon M, Sagui E. Report of 182 Cases of Exertional Heatstroke in the French Armed Forces. Mil Med. 1 mars 2014;179:309-14.

7. Sagui E, Cotte J, Trousselard M, Cornet D, Lavenir B, Thefenne L. Le coup de chaleur d'exercice revisité. Quoi de neuf ? Médecine Armées. 2015;43(5):1-8.

8. Gardner JW, Kark JA, Karnei K, Sanborn JS, Gastaldo E, Burr P, et al. Risk factors predicting exertional heat illness in male Marine Corps recruits. Med Sci Sports Exerc. août 1996;28(8):939-44.

9. Epstein Y, Moran DS, Shapiro Y, Sohar E, Shemer J. Exertional heat stroke: a case series. Med Sci Sports Exerc. févr 1999;31(2):224-8.

10. Carpentier J-P, Saby R. Coup de chaleur du sportif. Urgence Prat. 2007;(80):5-11.

11. Hifumi T, Kondo Y, Shimizu K, Miyake Y. Heat stroke. J Intensive Care. 22 mai 2018;6(1):30.

12. Dennis SC, Noakes TD. Advantages of a smaller bodymass in humans when distance-running in warm, humid conditions. Eur J Appl Physiol. févr 1999;79(3):280-4.

13. Rahmoune C, Bouchama A. Le coup de chaleur. Réanimation. mai 2004;13(3):190-6.

14. Al Mahri S, Bouchama A. Heatstroke. Handb Clin Neurol. 2018;157:531-45.

15. Bourdon, Koulmann, Canini, Banzet, Bigard. Le coup de chaleur d'exercice. 2012.

16. Canini, Sagui E, Zagnoli. Système nerveux, stress et coup de chaleur. Médecine Armées. 2012;40(3):225-9.

17. MacLennan DH, Duff C, Zorzato F, Fujii J, Phillips M, Korneluk RG, et al. Ryanodine receptor gene is a candidate for predisposition to malignant hyperthermia. Nature. 8 févr 1990;343(6258):559-61.

18. Shibolet, Lancaster, Danon. Heat Stroke : A Review. Aviat Space Environnemental Med. 1976;47(3):280-301.

19. Teixeira PJ, Carraça EV, Markland D, Silva MN, Ryan RM. Exercise, physical activity, and self-determination theory: A systematic review. Int J Behav Nutr Phys Act [Internet]. 22 juin 2012;9(78).

20. Corbett J, White DK, Barwood MJ, Wagstaff CRD, Tipton MJ, McMorris T, et al. The Effect of Head-to-Head Competition on Behavioural Thermoregulation, Thermophysiological Strain and Performance During Exercise in the Heat | SpringerLink. Sports Med. 17 nov 2017;48:1269-79.

21. Chaudhuri KR, Schapira AHV. Non-motor symptoms of Parkinson's disease: dopaminergic pathophysiology and treatment. Lancet Neurol. mai 2009;8(5):464-74.

22. Albert PR, Benkelfat C. The neurobiology of depression—revisiting the serotonin hypothesis. II. Genetic, epigenetic and clinical studies. Philos Trans R Soc B Biol Sci. 5 avr 2013;368(1615):20120535.

23. Rav-Acha M, Hadad E, Epstein Y, Heled Y, Moran DS. Fatal exertional heat stroke: a case series. Am J Med Sci. août 2004;328(2):84-7.

24. Maslow AH. A theory of human motivation. Psychol Rev. 1943;50(4):370-96.

25. Deci EL, Ryan RM. Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health. Can Psychol. 2008;49(3):182-5.

26. Ryan RM, Wiliams G, Patrick H, Deci E. Self-Determination Theory and Physical Activity: The Dynamics of Motivation in Development and Wellness. Hell J Psychol. 2009;6:107-24.

27. Scheffer D, Heckhausen H. Trait Theories of Motivation. In: Heckhausen J, Heckhausen H, éditeurs. Motivation and Action. Cham: Springer International Publishing; 2018. p. 67-112.

28. Vallerand RJ. A hierarchical model of intrinsic and extrinsic motivation for sport and physical activity. In: Intrinsic motivation and self-determination in exercise and sport. Champaign, IL, US: Human Kinetics; 2007. p. 255-279,356-363.

29. Mehling WE, Gopisetty V, Daubenmier J, Price CJ, Hecht FM, Stewart A. Body Awareness: Construct and Self-Report Measures. PLOS ONE. 19 mai 2009;4(5):e5614.

30. Craig AD. How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. Nat Rev Neurosci. août 2002;3(8):655-66.

31. Berntson GG, Khalsa SS. Neural Circuits of Interoception. Trends Neurosci. janv 2021;44(1):17-28.

32. Nybo L, Nielsen B. Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia. J Appl Physiol Bethesda Md 1985. nov 2001;91(5):2017-23.

33. Meyniel F, Safra L, Pessiglione M. How the Brain Decides When to Work and When to Rest: Dissociation of Implicit-Reactive from Explicit-Predictive Computational Processes. PLoS Comput Biol [Internet]. 17 avr 2014 [;10(4).

34. Farb N, Daubenmier J, Price CJ, Gard T, Kerr C, Dunn BD, et al. Interoception, contemplative practice, and health. Front Psychol. 9 juin 2015;6:763.

35. Lutz A, Jha AP, Dunne JD, Saron CD. Investigating the phenomenological matrix of mindfulness-related practices from a neurocognitive perspective. Am Psychol. oct 2015;70(7):632-58.

36. Hölzel BK, Carmody J, Vangel M, Congleton C, Yerramsetti SM, Gard T, et al. Mindfulness practice leads to increases in regional brain gray matter density. Psychiatry Res. 30 janv 2011;191(1):36-43.

37. Treves IN, Tello LY, Davidson RJ, Goldberg SB. The relationship between mindfulness and objective measures of body awareness: A meta-analysis. Sci Rep. 22 nov 2019;9(1):17386.

38. Kabat-Zinn J. Mindfulness-based stress reduction (MBSR). Constr Hum Sci. 2003;8(2):73-107.

39. Mehling WE, Price C, Daubenmier JJ, Acree M, Bartmess E, Stewart A. The Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA). PLOS ONE. 1 nov 2012;7(11):e48230.

40. Willem C, Gandolphe M-C, Nandrino J-L, Grynberg D. French translation and validation of the Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA-FR). Can J Behav Sci Rev Can Sci Comport. 2021;No Pagination Specified-No Pagination Specified.

41. Vallerand RJ, Blais MR, Briere NM, Luc E, Pelletier G. Construction et validation de l'echelle de motivation en education (EME). Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement. 1989.

42. Vallerand R, Pelletier L, Blais M, Brière N, Senécal C, Vallieres E. The Academic Motivation Scale: A Measure of Intrinsic, Extrinsic, and Amotivation in Education. Educ Psychol Meas. 1 déc 1992;52:1003-1003.

43. Trousselard M, Steiler D, Raphel C, Cian C, Duymedjian R, Claverie D, et al. Validation of a French version of the Freiburg Mindfulness Inventory - short version: relationships between mindfulness and stress in an adult population. Biopsychosoc Med. 12 août 2010;4(1):8.

44. Walach H, Buchheld N, Buttenmüller V, Kleinknecht N, Schmidt S. Measuring mindfulness—the Freiburg Mindfulness Inventory (FMI). Personal Individ Differ. juin 2006;40(8):1543-55.

45. Rouder JN, Speckman PL, Sun D, Morey RD, Iverson G. Bayesian t tests for accepting and rejecting the null hypothesis. Psychon Bull Rev. 1 avr 2009;16(2):225-37.

46. Wagenmakers E-J, Marsman M, Jamil T, Ly A, Verhagen J, Love J, et al. Bayesian inference for psychology. Part I: Theoretical advantages and practical ramifications. Psychon Bull Rev. 1 févr 2018;25(1):35-57.

47. Jeffreys H. The Theory of Probability. OUP Oxford; 1998. 474 p.

48. Glass GV. Note on Rank Biserial Correlation. Educ Psychol Meas. 1 oct 1966;26(3):623-31.

49. Bouc RL, Pessiglione M. La motivation dans tous ses K - Approche computationnelle des pathologies neuropsychiatriques. médecine/sciences. 1 mars 2018;34(3):238-46.

50. Guay F, Vallerand RJ, Blanchard C. On the Assessment of Situational Intrinsic and Extrinsic Motivation: The Situational Motivation Scale (SIMS). Motiv Emot. 1 sept 2000;24(3):175-213.

51. Clancy RB, Herring MP, Campbell MJ. Motivation Measures in Sport: A Critical Review and Bibliometric Analysis. Front Psychol [Internet]. 2017 [cité 2 août 2021];0. Disponible sur: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2017.00348/full

52. Baumeister RF, Vohs KD. Self-Regulation, Ego Depletion, and Motivation. Soc Personal Psychol Compass. 2007;1(1):115-28.

53. Khalsa SS, Lapidus RC. Can interoception improve the pragmatic search for biomarkers in psychiatry? Front Psychiatry. 2016;7.

54. Garfinkel SN, Seth AK, Barrett AB, Suzuki K, Critchley HD. Knowing your own heart: Distinguishing interoceptive accuracy from interoceptive awareness. Biol Psychol. 1 janv 2015;104:65-74.

55. Khalsa SS, Rudrauf D, Sandesara C, Olshansky B, Tranel D. Bolus isoproterenol infusions provide a reliable method for assessing interoceptive awareness. Int J Psychophysiol Off J Int Organ Psychophysiol. avr 2009;72(1):34-45.

56. Coll M-P, Hobson H, Bird G, Murphy J. Systematic review and meta-analysis of the relationship between the heartbeat-evoked potential and interoception. Neurosci Biobehav Rev. mars 2021;122:190-200.

57. Hassanpour MS, Simmons WK, Feinstein JS, Luo Q, Lapidus RC, Bodurka J, et al. The Insular Cortex Dynamically Maps Changes in Cardiorespiratory Interoception. Neuropsychopharmacol Off Publ Am Coll Neuropsychopharmacol. janv 2018;43(2):426-34.

58. Meyniel F, Sergent C, Rigoux L, Daunizeau J, Pessiglione M. Neurocomputational account of how the human brain decides when to have a break. Proc Natl Acad Sci U S A. 12 févr 2013;110(7):2641-6.

Article en anglais tel que soumis à la publication dans le British Journal of Sports Medicine

Introduction

Exertional heatstroke (EHS) is the most serious condition in the spectrum of heat illnesses that can occur during sport competition or physical effort under environmental stress. It is characterized clinically by hyperthermia (core body temperature > 40°C) and neurological symptoms (e.g., disorientation, confusion, altered consciousness) that are directly related to strenuous physical activity. EHS is a medical emergency, and its prognosis critically depends on rapid and effective cooling, otherwise leading to death.[1 2] Although the incidence of EHS remains relatively low in sport competitions,[1 3] it might become a major health concern in the future because of escalating environmental temperatures and planning of future sport events during the summer. Previous research has revealed a large number of risk factors for EHS, including environmental stress (high temperature, high humidity, etc.) and individual specific factors (alcohol consumption, sleep deprivation, etc.),[1 4 5] which have contributed to the development of preventive strategies to reduce the risk of EHS in sport competitions.[6 7]

From a physiological perspective, EHS corresponds to a non-compensable heat stress where heat loss does not balance heat gain during a prolonged physical activity (see *Supplementary information* for a graphical overview of the suspected physiological mechanisms of EHS).[1 8] Despite substantial progress in understanding the pathophysiology of EHS, current physiological models do not enable scientists and clinicians to entirely explain (and predict) the onset of EHS. For instance, according to epidemiologic data from the French Army, more than 25% of EHS cases occur without any environmental stress, among experienced soldiers.[4]

Several studies have shown that psycho-cognitive factors can influence the injury risk during sport competitions.[9] Interestingly, overmotivation has been suggested as a potential risk factor for EHS on the basis of investigation of patients' entourage from a very small cohort of fatal cases.[10] Recently, Corbett *et al* (2017) have investigated the effect of motivation on thermophysiological strain, and they highlighted that competition-induced overmotivation leads to increased thermophysiological cost that may not be perceived (consciously) by the participant.[11] This finding suggests that overvaluation of benefits, resulting from the willingness to win, might contribute to the disruption of cost-benefit trade-off that characterizes adjusted physical activity. The balance between costs and benefits is thought to be one of the main determinants of behavior, and its alteration is at the heart of several neuropsychiatric diseases (e.g., Parkinson's disease, depression).[12 13]

The present work aims to introduce a model that characterizes EHS by the alteration of cost-benefit trade-off associated with prolonged physical activity. Specifically, we propose that EHS could be the consequence of *overvaluation* of benefits and/or *undervaluation* of costs associated with physical effort.

Our first assumption is that overmotivation might cause people to overvalue benefits that are associated with success of physical effort (e.g., winning, personal satisfaction, etc.). Overmotivation has previously been suggested as a potential risk factor for EHS,[1 10] but it has never been tested empirically. Classical theories of motivation assume that people (initiate and) persist at behaviors to the extent that they believe the behaviors will satisfy their basic needs. These needs may be hierarchically ordered as is the case in Maslow's theory of motivation,[14] or needs may be classified as a function of their nature (physiological or psychological, innate or learned, etc.). In the field of psychology, needs specify innate psychological nutriments that are

essential for ongoing psychological growth, integrity and well-being. Specifically, in the self-determination theory of motivation (SDT), three psychological needs—for competence, relatedness, and autonomy—are considered essential for understanding motivated behavior.[15 16] SDT distinguishes *intrinsic* and *extrinsic* types of motivation regulating one's behavior. Briefly, *intrinsic* motivation is defined as doing an activity because of its inherent satisfactions, e.g. for the associated enjoyment or for the exercise of skills. By contrast, *extrinsic* motivation refers to doing an activity for obtaining some outcome separable from the activity *per se*, e.g. for the gain of social reward or to avoid disapproval. Of note, SDT conceptualizes qualitatively different types of extrinsic motivation as measured with the Global Motivation Scale (see section 2.2 of the Method for detailed description). In our model (Figure 1), we consider motivation as a psycho-cognitive factor attributed to stable traits that are rooted in the individual personality.[17] This refers to a global motivational orientation at the personality level and should be distinguished from situational motivation, which specifies motivation toward a given activity at a specific point in time, according to the hierarchical model of self-determined motivation.[18] The present work investigates the trait motivation as a potential psycho-cognitive factor accounting for the temporal dynamic of effort allocation, specifically maintenance of physical activity despite excessive physiological costs characterizing EHS.

Our second assumption is that low sensitivity to bodily (thermophysiological) changes that occur during physical activity might prevent individuals from self-regulating their physical effort in safety conditions. Body awareness is a recently proposed psycho-cognitive construct that refers to the individual ability to feel engaged by information coming from the body and noticing subtle changes.[19] From a neural perspective, bodily signals continuously provide the brain with a moment by moment

mapping of the body's physiological state, whose integration at higher-order brain regions, notably the insula, results in the emergence of interoceptive body awareness (interoception).[20] [21] Interestingly, in a study investigating neurocomputational mechanisms of cost-benefit trade-off in a motivation ("physical" force) task, Meyniel *et al* (2013) highlighted the insula as expressing a cost evidence accumulation signal that triggers decision to stop effort. They also found that motivation may impact neural processes underpinning effort allocation, specifically by pushing back limits and allowing the body to work closer from exhaustion.[22]

Regarding potential long term clinical applications of the present model (if validated), shedding new light on psycho-cognitive factors that alter the risk of EHS could ultimately lead to novel evidence-based preventive interventions. For example, if individuals at high risk for EHS are characterized with low body awareness, it could be argued that a program striving to enhance (interoceptive) body awareness could be a good candidate as a prevention strategy to reduce the risk of EHS. Paralleling the findings of clinical science, recent contemplative science suggests that body awareness is fundamental for adaptive behaviour and is intimately connected to self-regulation and homeostasis.[23] Contemplative practice, such as mindfulness meditation, relies on training the mind to pay sustained attention to the body experience, primarily the breath, and deliberately returning attention to it whenever distracted.[24] It has been suggested that enhanced body awareness is a core cognitive mechanism through which mindfulness contributes to improved health.[25] [26] Indeed, it can be argued that the more fully an individual is apprised of what is occurring within one's body, the more adaptive and value consistent the individual's behaviour is likely to be. For example, during a strenuous physical effort, one can bring awareness to body sensations resulting from that activity (e.g., hyperthermia, tachycardia, shortness

of breath); by paying attention to these, one can more accurately ascertain the embodied cumulative effects of the activity. If the overall results are negative, the reward value of this activity (*i.e.* the value of benefits associated with physical effort) is updated, leading to a decrease in commitment to this activity. As a preliminary step for future research that would investigate potential impact of preventive mindfulness-based programs (e.g., mindfulness-based stress reduction[27]) to reduce the risk of EHS, we characterized individuals with or without history of EHS with respect to their personality trait of mindfulness.

To summarize, our psycho-cognitive model of EHS suggests that *overvaluation of benefits* associated with physical activity, as a consequence of overmotivation, and/or *undervaluation of costs* resulting from low body awareness, may lead people to ignore body warning signs of EHS (hyperthermia, tachycardia, tachypnea, etc.), thus preventing any attempt to self-regulate physical effort accordingly (Figure 1). We confronted our hypotheses to psychometric data including self-reported trait motivation, interoceptive body awareness, and trait mindfulness, in a cohort of subjects with or without a history of exertional heatstroke. Our hypotheses predict that subjects with a history of EHS (cases) show a trait motivation, an interoceptive body awareness, and a trait mindfulness that differ from healthy subjects (controls). In particular, our model predicts that cases are characterized with higher trait motivation, but with lower interoceptive body awareness sensibility and lower trait mindfulness compared to controls.

Methods

1. Participants

We recruited 51 patients with a history of EHS (cases) from the French Military Teaching Hospital Laveran (Marseille, France), between 2014 and 2020. Cases are service personnel of the French Army who have had a EHS during either training or operation, and whose diagnosis and treatment has been provided by medical teams from the French Military Health Service. Cases completed the self-report questionnaires when they were visited at the hospital for the assessment of their operational readiness, which occurred on average 616 ± 602 days after the onset of the EHS. There was no exclusion criterion for cases. Controls (n=43) were drawn from various units of the French Army, as part of their mandate in the national territory (Bretigny -sur-Orge, France), from March 9, 2021 to May 12, 2021. Controls have been on duty for 2 years at least and have experienced similar EHS risk situations as cases like overseas missions in hot areas and having practiced several 8-km timed race (with boots and combat jacket). All controls reported no history of EHS, no medication, and no history of psychiatric or somatic disorders. Controls completed the self-report questionnaires in a dedicated experimental session that was planned during their spare time.

2. Psycho-cognitive self-reported measures

2.1. Interoceptive body awareness

The 32-item Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA) questionnaire measures eight facets of body awareness: (1) *Noticing*: awareness of uncomfortable, comfortable, and neutral body sensations; (2) *Not-distracting*: tendency not to be distracted by oneself from sensations of pain or discomfort; (3) *Not-worrying*: tendency not to worry with sensations of pain or discomfort; (4) *Attention regulation*: ability to sustain and control attention to body sensation; (5) *Emotional Awareness*: awareness of the connection between body sensations and emotional states; (6) *Self-regulation*: ability to regulate psychological distress by attention to body sensations, (7) *Body listening*: actively listens to the body for insight, and (8) *Trusting*: experiences one own's body as safe and trustworthy. The questionnaire is scored using a six-point scale, with responses ranging from 0 (never) to 5 (always). For each of the eight subscales, the score was counted by averaging the scores of items belonging to each subscale (items 5, 6, 7, 8 and 9 were reversed).[28 29] In the present work, the MAIA questionnaire demonstrated acceptable levels of internal consistency in Cases (Cronbach alpha = 0.90) and in Controls (Cronbach alpha = 0.89).

2.2. Self-determined motivation

The 28-item Global Motivational Scale (GMS) assesses three types of intrinsic motivation (IM): (1) *IM to knowledge* : pleasure while learning, exploring or trying to understand something new, (2) *IM to accomplishment* : pleasure to accomplish or create something, and (3) *IM to stimulation* : pleasure to have a stimulating discussion or intense feelings of cognitive pleasure; three types of extrinsic motivation (4) *identified regulation* : doing something because it matches ones values, (5) *introjected regulation* : doing something because it is supposed to be good for oneself, and (6) *external regulation* : doing something in order to have a reward or to avoid punishment

; and (7) *amotivation* : lack of extrinsic or intrinsic motivation. The questionnaire is scored using a seven-point scale with responses ranging from 1 (not at all) to 7 (totally). For each of the seven subscales assessed by 4 items, the score was counted by averaging the scores of items belonging to each subscale.[30] In the present work, the GMS demonstrated acceptable levels of internal consistency in Cases (Cronbach alpha = 0.88) and in Controls (Cronbach alpha = 0.93).

2.3. Trait mindfulness

The 14-item Freiburg Mindfulness Inventory (FMI) measures dispositional trait mindfulness by indexing facets of Presence (*i.e.* being aware of all experiences in the present moment) and Non-judgmental acceptance (*i.e.* understanding that things are not necessarily how one wishes them to be). This questionnaire is semantically independent from a meditation context and it is applicable to all population groups, in particular to those with no practice of mindfulness meditation. The questionnaire is scored using a four-point scale, with responses ranging from 1 (rarely) to 4 (almost always). A total mindfulness score was computed by adding the rating for all items, except for the 13th item which was reversely scored.[31 32] In the present work, the FMI demonstrated acceptable levels of internal consistency in Cases (Cronbach alpha = 0.80) and in Controls (Cronbach alpha = 0.77).

3. Statistical analyses

Data analyses were performed using JASP (version 0.11.1, https://jasp-stats.org/). We used both standard statistical tests and Bayesian equivalents to extend insight and

guiding interpretation of significance (p values), according to how likely the alternative hypothesis is versus the null. Indeed, a disadvantage of null hypothesis significance testing is that non-significant p values (e.g., when reporting no significant difference between Cases and Controls for self-reported trait motivation) cannot be interpreted as support for the null hypothesis.[33 34] To circumvent this issue and confirm whether the potential non-significant findings reported represent support for the null hypothesis, we calculated the Bayes factor (BF): specifically, we computed the log scale of BF_{10} (noted $\log(BF_{10})$) that can be easily interpreted such that a negative value indicates support for the null hypothesis, whereas a positive value indicates evidence in favour of the alternative hypothesis (see *Supplementary Table 1* for an interpretation scale of $\log(BF_{10})$[35]). Statistical analyses were performed using Mann-Whitney nonparametric tests, as data from Cases and Controls were not normally distributed. If a significant difference was observed, we computed the effect size (to evaluate the magnitude of the difference) using a measure suited to nonparametric analyses: 95% confidence interval of the rank biserial correlation.[36] For the Bayesian analyses, we used the default JASP priors that assume a medium effect size on a Cauchy distribution of 0.707 for independent t-tests.

Results

1. Demographic and biometric characteristics

Table 1 summarizes the basic statistics on demographic (age and gender) and biometric (weight, height, and body mass index) measures in cases and controls. Cases and controls did not differ for age ($\log(BF_{10}) = -1.37$, suggesting strong evidence for the null hypothesis), gender ($\log(BF_{10}) = -2.03$, suggesting extreme evidence for the null hypothesis), weight ($\log(BF_{10}) = -1.50$, suggesting very strong evidence for the null hypothesis), height ($\log(BF_{10}) = -1.43$, suggesting strong evidence for the null hypothesis), and body mass index ($\log(BF_{10}) = -1.44$, suggesting strong evidence for the null hypothesis).

Table 1 - Summary of demographic (age and gender) and biometric (weight, height, and body mass index) data for cases with a history of exertional heatstroke (cases) and controls.

	Cases (n=51)	**Controls** (n=43)	P-value†	$\log(BF_{10})$†
Age (years), M (SD)	27.80 (6.38)	27.30 (6.48)	0.65	-1.37
Male gender, n (%)	48 (94)	40 (93)	0.83	-2.03
Weight (kg), M (SD)	76.94 (8.41)	77.28 (9.33)	0.89	-1.50
Height (cm), M (SD)	176.24 (7.80)	177.02 (5.17)	0.67	-1.43
Body Mass Index ($kg.cm^{-2}$), M (SD)	24.79 (2.45)	24.65 (2.76)	0.57	-1.44

† Mann-Whitney nonparametric tests (continuous data) and χ^2 test (categorical data); M: mean; SD: standard deviation; kg: kilograms; cm: centimeters; log(BF_{10}): log scale of Bayes factor BF10

2. Interoceptive body awareness

Five dimensions of interoceptive body awareness were significantly lower in cases compared to controls: *Body listening* (Mann-Whitney U (U) = 717, $p \leq 0.01$, 95% confidence interval (CI) of rank-biserial correlation (rbs) = [0.12 - 0.54]), *Attention regulation* (U = 730, $p \leq 0.01$, 95% CI of rbs = [0.11 - 0.53]), *Emotional awareness* (U = 767, $p \leq 0.05$, 95% CI of rbs = [0.07 - 0.50]), *Self-regulation* (U = 780, $p \leq 0.05$, 95% CI of rbs = [0.06 - 0.49]), and *Noticing* (U = 839, $p \leq 0.05$, 95% CI rbs = [0.003 - 0.44]). Furthermore, cases and controls did not differ for three dimensions of interoceptive body awareness: *Not-worrying* (log(BF_{10}) = -1.36, suggesting strong evidence for the null hypothesis), *Trusting* (log(BF_{10}) = -0.39, suggesting moderate evidence for the null hypothesis), and *Not-distracting* (log(BF_{10}) = -0.20, suggesting anecdotal evidence for the null hypothesis). Figure 2 summarizes how cases and controls differ in terms of self-reported interoceptive body awareness. Descriptive statistics of self-reported interoceptive body awareness in cases and controls are reported in *Supplementary Table 2*.

3. Self-determined motivation

Cases and controls did not differ for almost all factors of motivation: *IM to accomplishment* (log(BF_{10}) = -1.50, suggesting very strong evidence for the null hypothesis), *Introjected regulation* (log(BF_{10}) = -1.53, suggesting very strong evidence for the null hypothesis), *Identified regulation* (log(BF_{10}) = -1.53, suggesting very strong evidence for the null hypothesis), *IM to stimulation* (log(BF_{10}) = -1.51, suggesting very strong evidence for the null hypothesis), *IM to know* (log(BF_{10}) = -1.21, suggesting strong evidence for the null hypothesis), and *External regulation* (log(BF_{10}) = -0.90, suggesting moderate evidence for the null hypothesis). Only the factor *Amotivation* was significantly lower in cases compared to controls ($U = 729$, $p \leq 0.01$, 95% CI of rbs = [0.11 - 0.53]). Figure 3 summarizes similarities between cases and controls in terms of self-determined motivation. Descriptive statistics of self-determined motivation in cases and controls are reported in *Supplementary Table 3*.

4. Trait Mindfulness

Cases showed lower scores for the two mindfulness dimensions that are assessed with the FMI, relative to controls: *Presence* ($U = 761$, $p \leq 0.05$, 95% CI of rbs = [0.08 - 0.50]), and *Acceptation* ($U = 730$, $p \leq 0.01$, 95% CI of rbs = [0.11 - 0.52]) (Figure 4). Descriptive statistics of trait mindfulness in cases and controls are reported in *Supplementary Table 4*.

Discussion

General discussion

The present paper introduces a testable model about psycho-cognitive factors that might influence the risk of EHS. Our theoretical model subsumes a pair of psycho-cognitive frameworks that includes the self-determination theory of motivation and the construct of interoceptive body awareness (or interoception). The core of our hypothesis is that EHS might be the consequence of the alteration of cost-benefit trade-off associated with prolonged physical activity. Specifically, we propose that EHS might result from the overvaluation of benefits associated with physical effort, as a consequence of overmotivation to succeed, and/or the undervalued costs of effort exertion that result from low interoceptive body awareness, *i.e.* disrupted processing of signals that inform about the internal physiological state of the body (Figure 1). In the present study, we confronted our theoretical model to experimental psychometric data using self-report questionnaires in a cohort of subjects with or without a history of exertional heatstroke (cases and controls, respectively).

The first major observation is that cases self-reported significantly lower interoceptive body awareness compared to controls, including the dimensions of Body listening, Attention regulation, Emotional awareness, Self-regulation, and Noticing, as assessed with the MAIA questionnaire.[28 29] Lower scores on *Body listening*, *Attention regulation*, and *Self-regulation* mean that individuals with a history of EHS may experience difficulties to actively and sustainably listen to their body for continuous insight about their physiological internal state. In the context of physical effort, it could be argued that inability to detect body signs of exhaustion may prevent individuals from

self-regulating their effort accordingly, thus increasing the risk of EHS. The lower *Noticing* suggests that individuals with a history of EHS, even though they may be partially able to sense their body signals, fail to discriminate from negative body sensations, as the body warning signs of EHS (e.g., hyperthermia, tachycardia, tachypnea), to body sensations that characterize physical effort in safety conditions. Lower *Emotional awareness*, namely the difficulty to attribute specific physical sensations to physiological manifestations of emotions,[28 29] indicates that individuals with a history of EHS may be less reactive to negative stimuli in their internal (body) and external (world) environment. Our insights could open new avenues for development of prevention strategies to reduce the risk of EHS. Indeed, it could be argued that programs striving to train the cognitive process of interoceptive body awareness could potentially mitigate the risk of EHS, by bringing individual's awareness to body sensations that could ultimately lead to implementation of effective self-regulation strategies during physical effort.

Interestingly, the second main observation of the present study is that cases showed a less developed trait mindfulness, as assessed with the FMI,[31 32] compared to controls. As mentioned in the introduction, the mindfulness practice, which should be distinguished from trait mindfulness even though the latter can be developed by the former,[37 38] involves attending to bodily sensations (e.g. the body scan) and is theorized to improve body awareness.[25 26] These findings suggest that a mindfulness-based program, which would train individuals to deliberately and continuously access to their bodily sensations, could potentially be a candidate as a prevention strategy to reduce the risk of EHS. Yet, only studies that will experimentally manipulate mindfulness will provide evidence, if any, that mindfulness training may causally reduce the risk of EHS. We are aware that implementation of interventional studies to assess the impact of

preventive programs on the risk of EHS represents a critical challenge for future research in the field, given the incidence of EHS is thought to be extremely low.[1 3]

The last observation of the present study is that subjects with a history of EHS did not differ from healthy subjects in terms of motivational trait (global motivation), as measured with the GMS.[30] Interestingly, Bayesian statistical tests that have been used allow us to quantify evidence supporting the lack of difference between cases and controls, rather than merely declaring that lack of difference (*i.e.* the null hypothesis) cannot be rejected from a statistical point of view.[33 34] This finding, although it is limited to self-report measure of global motivation (see our discussion about limitations in the next section), provides elements of a psychometric argument based on the GMS against one of the assumptions of our theoretical model, namely that EHS could be the consequence of overmotivation to succeed (Figure 1). We do not know yet whether the lack of relation we found between the factor of motivation and the (history of) EHS is relevant for our psycho-cognitive model of EHS or is related to specificity of self-reported trait motivation.

Limits of the theoretical model and its preliminary testing

For simplicity, our psycho-cognitive model of EHS only considers the trait component of motivation that refers to the global motivational orientation of individuals at the personality level. According to the hierarchical model proposed by Vallerand (2007), self-determined motivation can be described at additional levels of generality. The lowest level of generality corresponds to the situational motivation, which pertains to the motivation experienced by an individual toward a given activity at a specific point in time.[18] In our work, we did not measure the situational motivation because

psychometric data were collected outside any context of physical activity. Our data show that self-reported global motivation (trait motivation) does not help differentiate subjects with a history of EHS from healthy subjects. This suggests that limiting assessment of the motivational factor to its last level of generality (*i.e.* the personality level) might not be informative about the risk of EHS. Future studies are encouraged to investigate the situational motivation as a potential alternative factor that could influence the risk of EHS. It could be suggested that normal (or low) global motivation combined with a high situational motivation could ultimately result in a high level of self-determined motivation. In other words, motivational factors from different levels of generality could potentially have a cumulative effect on how individuals are engaged in an activity. To test this hypothesis, experimental settings need to include measurements of both trait motivation and situational motivation, or experimentally manipulate situational motivation of the participant by using incentive motivation paradigm.[39] Classically, measurement of situational motivation relies on self-report instruments, such as the Situational Motivation Scale.[40 41] Yet, self-report instruments are often criticized because they may be vulnerable to limitations of introspection and social-desirability biases, and are potentially limited by individual's unwillingness or inability to report their veridical psycho-cognitive state.[42] We argue that even self-report instruments provide valuable information and are particularly attractive for field research, they should not be considered in isolation in future cognitive research into EHS. Interestingly, some works combining behavioural measures and neurocomputational models of motivation have opened promising opportunities to address the aforementioned issue related to self-report questionnaires. For instance, in the incentive motivation task developed by Pessiglione *et al* (2007), behavioral measures (e.g. the peak of force with which the participant squeezes the power grip)

can be modeled as functions that approximate the solutions of an optimal motor-control model (which maximizes the cost/benefit tradeoff) at the individual level.[39 43] Such a neurocomputational approach has the advantage of providing motivation related measures (e.g. the parameter of expected reward) that are not contaminated by individual differences in other psycho-cognitive components (e.g., emotional thoughts, changes in attention, etc.). Therefore, we encourage future studies investigating motivational underpinnings of EHS to use this neurocomputational approach that has great potential to enhance the process of relating differences (in behaviour and neural processes) between healthy subjects and individuals who are at risk of EHS.

Regarding the other main component of our model that refers to interoceptive body awareness, it has been formalized as a multifaceted psycho-cognitive process that can be interrogated with complementary methods,[44 45] including self-report instruments and objective measurements (e.g., behavioural test or biomarker). Objective measurements of interoceptive body awareness mainly focus on cardiac interoception that refers to the process of sensing, storing and representing information about the state of the cardiovascular system.[45] These measurements are mostly performed under conditions of physiological rest, *i.e.* without any significant experimentally-induced cardiovascular manipulation, which raises questions about their potential relevance to inform interoceptive dysfunction in the context of EHS. Indeed, physical effort is characterized by strong, continuous perturbations that affect the cardiovascular system (e.g. increased heart rate and arterial pressure). Interestingly, the pharmacological manipulation of cardiac arousal (via the administration of isoproterenol that modulates sympathetic nervous system) may provide an attractive experimental framework, because it has the advantage of a maskable manipulation of arousal (including placebo condition) that allows for measurements of responding

bias.[46] Beside behavioural tests that provide an indirect output of interoceptive signal processing, the neural bases of cardiac interoception can be investigated by probing brain activity in response to cardiac signals. The Heartbeat Evoked Potential, which refers to evoked changes in brain activity (measured using magnetoencephalography, electroencephalography, or intracranial neural recordings) that occurs after a heartbeat, has been proposed as a neurophysiological marker of interoceptive function/dysfunction.[47] [48]

To summarize, future studies are encouraged to pursue the development and validation of a psycho-cognitive model for EHS in using neurocomputational approach of motivation with the incentive motivation paradigm,[39] and objective measurements of interoceptive body awareness (e.g., heartbeat perception task[49] or analysis of the heartbeat evoked potential[48]) based on a paradigm involving pharmacological manipulation of cardiac arousal.[46]

Neural mechanisms

Our theoretical model of EHS was framed at an (abstract) psycho-cognitive level of description. Yet, while this approach provides useful intuitions and a simple testable framework, the present work also opens up perspectives for the understanding of the pathophysiology of EHS. By studying a new pathway for uncontrolled hyperthermia at central neurosensory integration level, neurocomputational models and new functional brain exploration techniques could provide arguments to feed a neuroanatomical support for this theoretical model, relying on the effect of temperature increase and on the relationship between motivation and interoception complex neural networks. Thus, an important future endeavour will be to flesh it out at the neural level. We suggest that

the system underlying cost-benefit evaluation for effort allocation during physical activity could be subserved by the posterior insula. Indeed, the posterior insula has been proposed to contain a dynamic representation of the body's internal (physiological) state,[21 50] and its activity has also been highlighted as reflecting motivation one has to exert a physical effort over a long period of time.[22 51] The posterior insula may therefore play a critical role in the decision-making process of maintaining physical effort despite excessive physiological costs that characterizes EHS. Meyniel *et al* (2013) have shown that (over)motivation pushes back the bounds within which cost evidence fluctuates, namely that (over)motivation delays the decision to stop, and also slows accumulation of cost evidence.[22] Interestingly, our psychometric findings shed light on an alternative psycho-cognitive factor influencing accumulation of cost evidence, by showing that EHS is characterized with low self-reported interoceptive body awareness. Indeed, from a neurocomputational perspective, it could be argued that low sensitivity to interoceptive signals could result in a slower accumulation (lower slope) of physiological cost evidence during physical effort, thus contributing to delay achievement of the threshold of decision-making to stop physical activity. Future studies may test this hypothesis by investigating relationship interoceptive body awareness (as assessed with self-report, behavioural or neurophysiological measures) has with parameters related to accumulation slope in the computational model of incentive motivation paradigm (see Meyniel *et al* (2013) for detailed description of the accumulation model and its parameters).

Conclusion

In the present work, we proposed a psycho-cognitive model for EHS that might contribute to developing novel, complementary approaches to identify potential risk factors for EHS. While initiating empirical testing of our theoretical model using psychometric data, we showed that the (history of) EHS is associated with disruption of self-reported interoceptive body awareness. This result suggests that individuals at risk of EHS may be characterized with a deficit in exertional cost assessment, which may ultimately contribute to underestimate the stress status induced by prolonged exercise. Furthermore, we provide a psychometric argument based on the self-report measure of global motivation against our theoretical assumption whereby overmotivation might increase the risk of EHS. It should be recalled that the present study investigated the psycho-cognitive construct of motivation in focusing on its highest level of generality, *i.e.* as a personality trait, according to the hierarchical model of motivation. We encourage future studies to investigate the influence of other levels of generality, including situational motivation that might play a critical role in onset mechanisms of EHS. Potential benefit of preventive programs to reduce the risk of EHS needs to be tested using interventional studies, but our study provides preliminary evidence that mindfulness-based programs (e.g., mindfulness-based stress reduction) could be a good candidate as a prevention strategy to reduce the risk of EHS. EHS is thought to arise from the decompensation of several different factors, and it might involve physiological and psychological factor, depending on each individual. This work is doing its bit for the effort for understanding EHS. Validation of a pycho-cognitive model for EHS could help scientists and clinicians in refining the risk stratification for predicting individual susceptibility to the EHS based on psycho-cognitive measures,

and could contribute to identify innovative countermeasures and pathophysiological pathways in the EHS field.

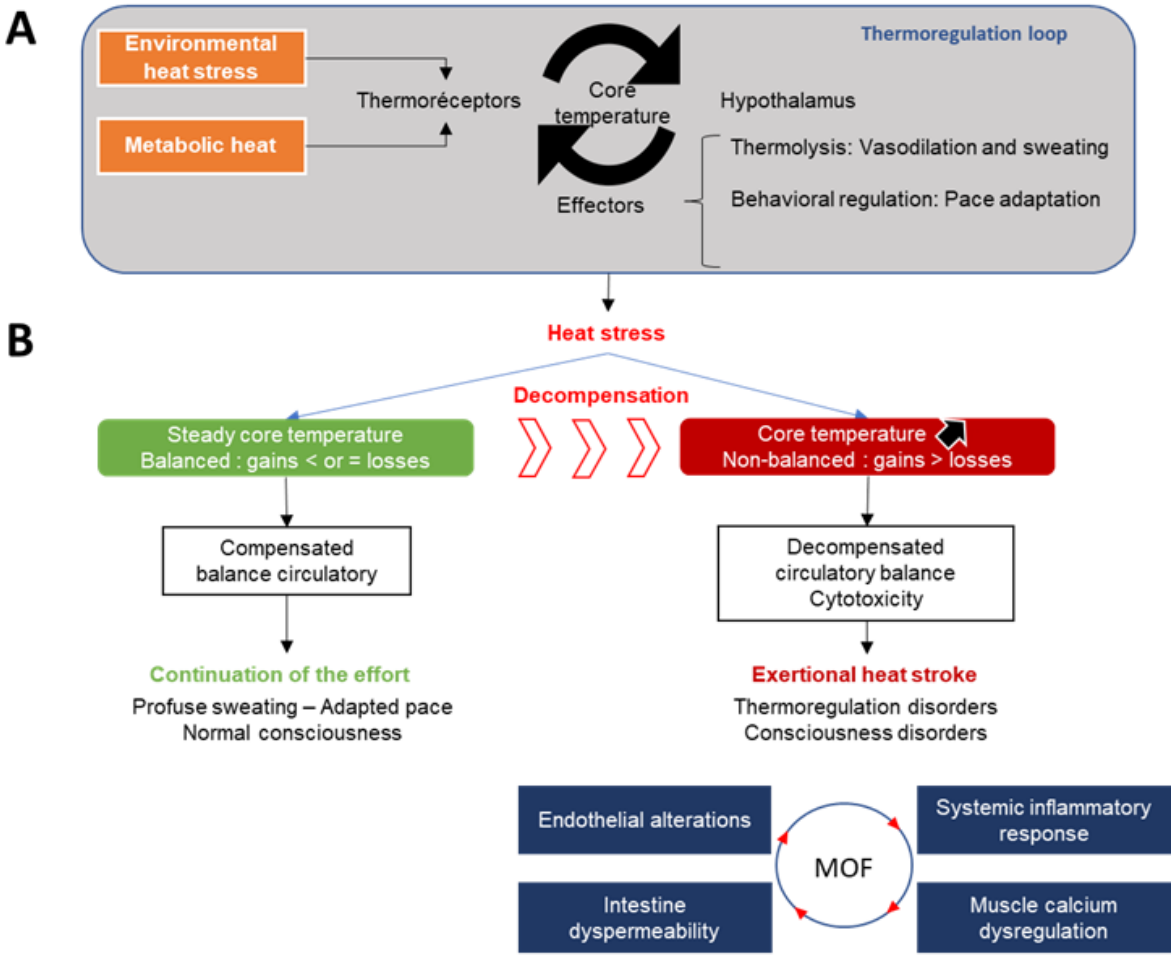
References

1. Epstein Y, Yanovich R. Heatstroke. *N Engl J Med* 2019;380(25):2449-59.
2. Hosokawa Y, Racinais S, Akama T, et al. Prehospital management of exertional heat stroke at sports competitions: International Olympic Committee Adverse Weather Impact Expert Working Group for the Olympic Games Tokyo 2020. *Br J Sports Med* 2021
3. Stearns RL, Hosokawa Y, Adams WM, et al. Repeated exertional heat stroke incidence in a warm-weather road race. *Journal of Athletic Training* 2017;52(6):S106.
4. Abriat A, Brosset C, Brégigeon M, et al. Report of 182 cases of exertional heatstroke in the French Armed Forces. *Mil Med* 2014;179(3):309-14.
5. Gardner JW, Kark JA, Karnei K, et al. Risk factors predicting exertional heat illness in male Marine Corps recruits. *Medicine and science in sports and exercise* 1996;28(8):939-44.
6. Mountjoy M, Moran J, Ahmed H, et al. Athlete health and safety at large sporting events: the development of consensus-driven guidelines. *Br J Sports Med* 2021;55(4):191-97. doi: 10.1136/bjsports-2020-102771
7. Parsons JT, Anderson SA, Casa DJ, et al. Preventing catastrophic injury and death in collegiate athletes: interassociation recommendations endorsed by 13 medical and sports medicine organisations. *Br J Sports Med* 2020;54(4):208-15. doi: 10.1136/bjsports-2019-101090
8. Laitano O, Leon LR, Roberts WO, et al. Controversies in exertional heat stroke diagnosis, prevention, and treatment. *Journal of Applied Physiology* 2019;127(5):1338-48.
9. Ivarsson A, Johnson U, Andersen MB, et al. Psychosocial factors and sport injuries: meta-analyses for prediction and prevention. *Sports medicine* 2017;47(2):353-65.
10. Rav-Acha M, Hadad E, Epstein Y, et al. Fatal exertional heat stroke: a case series. *Am J Med Sci* 2004;328(2):84-7. doi: 10.1097/00000441-200408000-00003
11. Corbett J, White DK, Barwood MJ, et al. The effect of head-to-head competition on behavioural thermoregulation, thermophysiological strain and performance during exercise in the heat. *Sports Medicine* 2017;48(5):1269-79.
12. Albert PR, Benkelfat C. The neurobiology of depression—revisiting the serotonin hypothesis. II. Genetic, epigenetic and clinical studies: The Royal Society, 2013.
13. Chaudhuri KR, Schapira AHV. Non-motor symptoms of Parkinson's disease: dopaminergic pathophysiology and treatment. *The Lancet Neurology* 2009;8(5):464-74.
14. Maslow AH. A theory of human motivation. *Psychological review* 1943;50(4):370.
15. Deci EL, Ryan RM. The" what" and" why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological inquiry* 2000;11(4):227-68.
16. Ryan R, Patrick H. Self-determination theory and physical activity: the dynamics of motivation in development and wellness. *Hellenic journal of psychology* 2009;6:107-24.
17. Scheffer D, Heckhausen H. Trait theories of motivation. Motivation and action: Springer 2018:67-112.
18. Vallerand RJ. A hierarchical model of intrinsic and extrinsic motivation for sport and physical activity. Intrinsic motivation and self-determination in exercise and sport. Champaign, IL, US: Human Kinetics 2007:255-79,356-63.
19. Mehling WE, Gopisetty V, Daubenmier JJ, et al. Body awareness: construct and self-report measures. *PloS one* 2009;4(5) doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005614

20. Berntson GG, Khalsa SS. Neural circuits of interoception. *Trends in Neurosciences* 2021;44(1):17-28.
21. Craig AD. How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nature reviews Neuroscience* 2002;3(8):655-66. doi: https://doi.org/10.1038/nrn894
22. Meyniel F, Sergent C, Rigoux L, et al. Neurocomputational account of how the human brain decides when to have a break. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2013;110(7):2641-46.
23. Farb N, Daubenmier J, Price CJ, et al. Interoception, contemplative practice, and health. *Front Psychol* 2015;6(763) doi: https://doi.org/10.10.3389/fpsyg.2015.00763
24. Lutz A, Jha AP, Dunne JD, et al. Investigating the Phenomenological Matrix of Mindfulness-related Practices from a Neurocognitive Perspective. *The American psychologist* 2015;70(7):632-58. doi: 10.1037/a0039585
25. Hölzel BK, Lazar SW, Gard T, et al. How does Mindfulness meditation work? Proposing mechanisms of action from a conceptual and neural perspective. *Perspect Psychol Sci* 2011;6(6):537-59. doi: https://doi.org/10.1177/1745691611419671
26. Treves IN, Tello LY, Davidson RJ, et al. The relationship between mindfulness and objective measures of body awareness: A meta-analysis. *Sci Rep* 2019;9(1):1-12. doi: https://doi.org/10.1038/s41598-019-53978-6
27. Kabat-Zinn J. Mindfulness-based stress reduction (MBSR). *Constructivism in the Human Sciences* 2003;8(2):73.
28. Mehling WE, Price C, Daubenmier JJ, et al. The Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA). *PLoS One* 2012;7(11):e48230. doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048230
29. Willem C, Gandolphe MC, Nandrino JL, et al. French translation and validation of the Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA-FR). *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement* 2021
30. Vallerand RJ, Pelletier LG, Blais MR, et al. The Academic Motivation Scale: A measure of intrinsic, extrinsic, and amotivation in education. *Educational and psychological measurement* 1992;52(4):1003-17.
31. Trousselard M, Steiler D, Raphel C, et al. Validation of a French version of the Freiburg Mindfulness Inventory - short version: relationships between Mindfulness and stress in an adult population. *BioPsychoSocial Medicine* 2010;4(8):1-11. doi: https://doi.org/10.1186/1751-0759-4-8
32. Walach H, Buchheld N, Buttenmüller V, et al. Measuring mindfulness - the Freiburg Mindfulness Inventory (FMI). *Personality and Individual Differences* 2006;40:1543-55. doi: https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.11.025
33. Rouder JN, Speckman PL, Sun D, et al. Bayesian t tests for accepting and rejecting the null hypothesis. *Psychonomic bulletin & review* 2009;16(2):225-37. doi: https://doi.org/10.3758/PBR.16.2.225
34. Wagenmakers EJ, Marsman M, Jamil T, et al. Bayesian inference for psychology. Part I: Theoretical advantages and practical ramifications. *Psychonomic bulletin & review* 2018;25(1):35-57.
35. Jeffreys H. Theory of probability1961.
36. Glass GV. Note on rank biserial correlation. *Educational and Psychological Measurement* 1966;26(3):623-31.

37. Brown KW, Ryan RM. The benefits of being present: Mindfulness and its role in psychological well-being. *Journal of Personality and Social Psychology* 2003;84(4):822-48. doi: 10.1037/0022-3514.84.4.822
38. Kiken L, Garland E, Bluth K, et al. From a state to a trait: Trajectories of state mindfulness in meditation during intervention predict changes in trait mindfulness. *Personality and Individual differences* 2015;81:41-46.
39. Pessiglione M, Schmidt L, Draganski B, et al. How the brain translates money into force: a neuroimaging study of subliminal motivation. *science* 2007;316(5826):904-06.
40. Clancy RB, Herring MP, Campbell MJ. Motivation Measures in Sport: A Critical Review and Bibliometric Analysis. *Front Psychol* 2017;8(348) doi: 10.3389/fpsyg.2017.00348
41. Guay F, Vallerand RJ, Blanchard C. On the assessment of situational intrinsic and extrinsic motivation: The Situational Motivation Scale (SIMS). *Motivation and emotion* 2000;24(3):175-213.
42. Baumeister RF, Vohs KD, Funder DC. Psychology as the science of self-reports and finger movements: Whatever happened to actual behavior? *Perspect Psychol Sci* 2007;2(4):396-403. doi: https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2007.00051.x
43. Le Bouc R, Rigoux L, Schmidt L, et al. Computational dissection of dopamine motor and motivational functions in humans. *Journal of Neuroscience* 2016;36(25):6623-33.
44. Garfinkel SN, Seth AK, Barrett AB, et al. Knowing your own heart: distinguishing interoceptive accuracy from interoceptive awareness. *Biological Psychology* 2015;104:65-74. doi: https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.11.004
45. Khalsa SS, Lapidus RC. Can Interoception Improve the Pragmatic Search for Biomarkers in Psychiatry? *Front Psychiatry* 2016;7(121) doi: 10.3389/fpsyt.2016.00121
46. Khalsa SS, Rudrauf D, Sandesara C, et al. Bolus isoproterenol infusions provide a reliable method for assessing interoceptive awareness. *Int J Psychophysiol* 2009;72(1):34-45. doi: https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.08.010
47. Coll MP, Hobson H, Bird G, et al. Systematic review and meta-analysis of the relationship between the heartbeat-evoked potential and interoception. *Neurosci Biobehav Rev* 2021 doi: https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.12.012
48. Park HD, Blanke O. Heartbeat-evoked cortical responses: Underlying mechanisms, functional roles, and methodological considerations. *Neuroimage* 2019;197:502-11. doi: https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.04.081 [published Online First: 2019/04/30]
49. Brener J, Ring C. Towards a psychophysics of interoceptive processes: the measurement of heartbeat detection. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 2016;371(1708):20160015.
50. Hassanpour MS, Simmons WK, Feinstein JS, et al. The insular cortex dynamically maps changes in cardiorespiratory interoception. *Neuropsychopharmacology* 2018;43(2):426-34. doi: https://doi.org/10.1038/npp.2017.154
51. Schmit C, Brisswalter J. Executive functioning during prolonged exercise: a fatigue-based neurocognitive perspective. *International Review of Sport and Exercise Psychology* 2020;13(1):21-39.

Supplementary



Supplementary Figure 1 - Pathogenesis of exertional heatstroke: a graphical overview of suspected physiological mechanisms. **(A) Physiological thermoregulation.** Whatever exogene (outdoor) and/or endogene (exercise metabolism), heat exposure draws a regulatory loop. Thermoreceptors inform the thermoregulatory centers (hypothalamus) that will coordinate the response of the effectors. Thus, heat dissipation is obtained by generalized subcutaneous vasodilation and sweat evaporation. The reduction of heat stress can also come from behavioral regulation including the adaptation of the pace (decrease in metabolic production) and the search for shelter and the adaptation of the clothing (decrease of the external heat

load). **(B) Pathophysiology of exertional heat stroke.** The occurrence of exercise heat stroke proceeds from the transition from a compensation of heat load to a non-compensable heat stress phasis (gains greater than heat losses) occurring when the cardiac output no longer allows to provide for thermoregulation needs. This uncontrolled hyperthermia leads to cytotoxic effects and a systemic inflammatory response that can lead to multi-organ failure. In this context of decompensated circulatory balance, the pathophysiological mechanisms would be based on disorders of intestinal permeability with release of activating molecules of the inflammatory and immune system. Endothelial alterations would also be responsible for coagulopathy. The direct cytotoxic effect of the temperature increase could also induce brain alterations, particularly hypothalamic. In a certain case, mutations in the ryanodine receptor RyR 1 (a muscle receptor involved in the release of intracellular calcium during contraction) could promote the occurrence of this decompensation of thermoregulation to exercise, by the disorders of the excitation coupling contraction that they induce.[1 2]

Supplementary Table 1 - A descriptive and approximate classification scheme for the interpretation of the log scale of Bayes factor BF_{10} (adapted from Jeffreys, 1961).[3]

	Log (BF_{10})	Interpretation	Symbol
Growing evidence in favoutr of H_1	> 2	extreme evidence for H_1	H_1^{****}
	[1.48 ; 2]	very strong evidence for H_1	H_1^{***}
	[1 ; 1.48]	strong evidence for H_1	H_1^{**}
	[0.48 ; 1]	moderate evidence for H_1	H_1^{*}
	[0 ; 0.48]	anecdotal evidence for H_1	ns
	0	no evidence	ns
Growing evidence in favoutr of H_0	[-0.48 ; 0]	anecdotal evidence for H_0	ns
	[-1 ; -0.48]	moderate evidence for H_0	H_0^{*}
	[-1.48 ; -1]	strong evidence for H_0	H_0^{**}
	[-2 ; -1.48]	very strong evidence for H_0	H_0^{***}
	< -2	extreme evidence for H_0	H_0^{****}

log(BF_{10}): log scale of Bayes factor BF_{10}; H_1: alternative hypothesis; ns: non-significant; H_0: null hypothesis

Supplementary Table 2 - Descriptive statistics for the Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA) questionnaire in cases with a history of exertional heatstroke and controls.

	Cases (n=51)		**Controls** (n=43)	
	M	SD	M	SD
Scale ***Noticing***	3.52	0.87	3.88	0.72
Scale ***Not-distracting***	2.46	0.89	2.77	0.90
Scale ***Not-worrying***	2.91	0.89	3.02	0.93
Scale ***Attention regulation***	3.05	0.89	3.55	0.76
Scale ***Emotional awareness***	3.44	0.95	3.88	0.81
Scale ***Self-regulation***	2.97	1.15	3.50	0.98
Scale ***Body listening***	2.37	1.10	3.05	1.10
Scale ***Trusting***	3.80	0.89	4.11	0.96
Total score	24.53	4.81	27.76	4.52

M: mean; SD: standard deviation

Supplementary Table 3 - Descriptive statistics for the Global Motivation Scale (GMS) questionnaire in cases with a history of exertional heatstroke and controls.

	Cases (n=51)		**Controls** (n=43)	
	M	SD	M	SD
Scale ***IM to know***	21.61	4.51	22.54	3.89
Scale ***IM to accomplishment***	22.25	4.15	22.07	4.73
Scale ***IM to stimulation***	20.47	4.70	20.56	5.04
Scale ***Identified regulation***	21.92	3.74	21.58	3.87
Scale ***Introjected regulation***	18.18	5.10	17.93	5.54
Scale ***External regulation***	18.96	5.23	17.33	5.96
Scale ***Amotivation***	11.43	4.08	14.51	5.59

M: mean; SD: standard deviation; IM: intrinsic motivation

Supplementary Table 4 - Descriptive statistics for the Freiburg Mindfulness Inventory in cases with a history of exertional heatstroke and controls.

	Cases (n=51)		**Controls** (n=43)	
	M	SD	M	SD
Scale ***Presence***	18.69	3.02	20.30	2.67
Scale ***Acceptation***	21.57	3.79	23.77	3.70
Total score	40.25	6.18	44.07	5.34

M: mean; SD: standard deviation

Supplementary references

1. Epstein Y, Yanovich R. Heatstroke. *N Engl J Med* 2019;380(25):2449-59.
2. Laitano O, Leon LR, Roberts WO, et al. Controversies in exertional heat stroke diagnosis, prevention, and treatment. *Journal of Applied Physiology* 2019;127(5):1338-48.
3. Jeffreys H. Theory of probability1961.

Serment d'Hippocrate

Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque.