



HAL
open science

Conception d'un modèle de prédiction de la température corporelle à l'aide d'un algorithme d'intelligence artificielle

Arthur Malet

► To cite this version:

Arthur Malet. Conception d'un modèle de prédiction de la température corporelle à l'aide d'un algorithme d'intelligence artificielle. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02399939

HAL Id: dumas-02399939

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02399939>

Submitted on 9 Dec 2019

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

**Conception d'un modèle de prédiction de la température corporelle à
l'aide d'un algorithme d'intelligence artificielle**

T H È S E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES ET PARAMÉDICALES

DE MARSEILLE

Le 25 Octobre 2019

Par Monsieur Arthur MALET

Né le 21 août 1990 à Clermont-Ferrand (63)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. d' ANESTHÉSIE-RÉANIMATION

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur PAPAZIAN Laurent

Président

Monsieur le Professeur VELLY Lionel

Directeur

Monsieur le Professeur GAINNIER Marc

Assesseur

Madame le Docteur (MCU-PH) GUIDON Catherine

Assesseur



Faculté des sciences
médicales et paramédicales

Aix-Marseille Université

**Conception d'un modèle de prédiction de la température corporelle à
l'aide d'un algorithme d'intelligence artificielle**

T H È S E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES ET PARAMÉDICALES

DE MARSEILLE

Le 25 Octobre 2019

Par Monsieur Arthur MALET

Né le 21 août 1990 à Clermont-Ferrand (63)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. d' ANESTHÉSIE-RÉANIMATION

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur PAPAZIAN Laurent

Président

Monsieur le Professeur VELLY Lionel

Directeur

Monsieur le Professeur GAINNIER Marc

Assesseur

Madame le Docteur (MCU-PH) GUIDON Catherine

Assesseur

AIX-MARSEILLE UNIVERSITE

Président : Yvon BERLAND

FACULTE DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES

Administrateur provisoire: Georges LEONETTI

Affaires Générales : Patrick DESSI
Professions Paramédicales : Philippe BERBIS

Assesseurs :

- aux Etudes : Jean-Michel VITON
- à la Recherche : Jean-Louis MEGE
- aux Prospectives Hospitalo-Universitaires : Frédéric COLLART
- aux Enseignements Hospitaliers : Patrick VILLANI
- à l'Unité Mixte de Formation Continue en Santé : Fabrice BARLESI
- pour le Secteur Nord : Stéphane BERDAH
- aux centres hospitaliers non universitaires : Jean-Noël ARGENSON

Chargés de mission :

- 1^{er} cycle : Jean-Marc DURAND et Marc BARTHET
- 2^{ème} cycle : Marie-Aleth RICHARD
- 3^{ème} cycle DES/DESC : Pierre-Edouard FOURNIER
- Licences-Masters-Doctorat : Pascal ADALIAN
- DU-DIU : Véronique VITTON
- Stages Hospitaliers : Franck THUNY
- Sciences Humaines et Sociales : Pierre LE COZ
- Préparation à l'ECN : Aurélie DAUMAS
- Démographie Médicale et Filiarisation : Roland SAMBUC
- Relations Internationales : Philippe PAROLA
- Etudiants : Arthur ESQUER

Chef des services généraux : Déborah ROCCHICCIOLI

Chefs de service :

- Communication : Laetitia DELOUIS
- Examens : Caroline MOUTTET
- Intérieur : Joëlle FAVREGA
- Maintenance : Philippe KOCK
- Scolarité : Christine GAUTHIER

DOYENS HONORAIRES

M. Yvon BERLAND
M. André ALI CHERIF
M. Jean-François PELLISSIER

PROFESSEURS HONORAIRES

MM	AGOSTINI Serge	MM	FAVRE Roger
	ALDIGHIERI René		FIECHI Marius
	ALESSANDRINI Pierre		FARNARIER Georges
	ALLIEZ Bernard		FIGARELLA Jacques
	AQUARON Robert		FONTES Michel
	ARGEME Maxime		FRANCOIS Georges
	ASSADOURIAN Robert		FUENTES Pierre
	AUFFRAY Jean-Pierre		GABRIEL Bernard
	AUTILLO-TOUATI Amapola		GALINIER Louis
	AZORIN Jean-Michel		GALLAIS Hervé
	BAILLE Yves		GAMERRE Marc
	BARDOT Jacques		GARCIN Michel
	BARDOT André		GARNIER Jean-Marc
	BERARD Pierre		GAUTHIER André
	BERGOIN Maurice		GERARD Raymond
	BERNARD Dominique		GEROLAMI-SANTANDREA André
	BERNARD Jean-Louis		GIUDICELLI Roger
	BERNARD Pierre-Marie		GIUDICELLI Sébastien
	BERTRAND Edmond		GOUDARD Alain
	BISSET Jean-Pierre		GOUIN François
	BLANC Bernard		GRILLO Jean-Marie
	BLANC Jean-Louis		GRISOLI François
	BOLLINI Gérard		GROULIER Pierre
	BONGRAND Pierre		HADIDA/SAYAG Jacqueline
	BONNEAU Henri		HASSOUN Jacques
	BONNOIT Jean		HEIM Marc
	BORY Michel		HOUEL Jean
	BOTTA Alain		HUGUET Jean-François
	BOURGEADE Augustin		JAQUET Philippe
	BOUVENOT Gilles		JAMMES Yves
	BOUYALA Jean-Marie		JOUVE Paulette
	BREMOND Georges		JUHAN Claude
	BRICOT René		JUIN Pierre
	BRUNET Christian		KAPHAN Gérard
	BUREAU Henri		KASBARIAN Michel
	CAMBOULIVES Jean		KLEISBAUER Jean-Pierre
	CANNONI Maurice		LACHARD Jean
	CARTOUZOU Guy		LAFFARGUE Pierre
	CAU Pierre		LAUGIER René
	CHABOT Jean-Michel		LE TREUT Yves
	CHAMLIAN Albert		LEVY Samuel
	CHARREL Michel		LOUCHET Edmond
	CHAUVEL Patrick		LOUIS René
	CHOUX Maurice		LUCIANI Jean-Marie
	CIANFARANI François		MAGALON Guy
	CLEMENT Robert		MAGNAN Jacques
	COMBALBERT André		MALLAN- MANCINI Josette
	CONTE-DEVOLX Bernard		MALMEJAC Claude
	CORRIOL Jacques		MARANINCHI Dominique
	COULANGE Christian		MARTIN Claude
	DALMAS Henri		MATTEI Jean François
	DE MICO Philippe		MERCIER Claude
	DESSEIN Alain		METGE Paul
	DELARQUE Alain		MICHOTEY Georges
	DEVIN Robert		MILLET Yves
	DEVRED Philippe		MIRANDA François
	DJIANE Pierre		MONFORT Gérard
	DONNET Vincent		MONGES André
	DUCASSOU Jacques		MONGIN Maurice
	DUFOUR Michel		MONTIES Jean-Raoul
	DUMON Henri		NAZARIAN Serge
	ENJALBERT Alain		NICOLI René

MM 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
ROUX Michel
RUFO Marcel
SAHEL José
SALAMON Georges
SALDUCCI Jacques
SAN MARCO Jean-Louis
SANKALE Marc
SARACCO Jacques
SASTRE Bernard
SCHIANO Alain
SCOTTO Jean-Claude
SEBAHOUN Gérard
SERMENT Gérard
SERRATRICE Georges
SOULAYROL René
STAHL André
TAMALET Jacques
TARANGER-CHARPIN Colette
THOMASSIN Jean-Marc
UNAL Daniel
VAGUE Philippe
VAGUE/JUHAN Irène
VANUXEM Paul
VERVLOET Daniel
VIALETTES Bernard
WEILLER Pierre-Jean

PROFESSEURS 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 Sir T. MARRIE (Canada)
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 EMERITE

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	RUF0 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

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

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AGOSTINI FERRANDES Aubert	CHINOT Olivier	GRIMAUD Jean-Charles
ALBANESE Jacques	CHOSSEGROS Cyrille	GROB Jean-Jacques
ALIMI Yves	<i>CLAVERIE Jean-Michel Surnombre</i>	GUEDJ Eric
AMABILE Philippe	COLLART Frédéric	GUIEU Régis
AMBROSI Pierre	COSTELLO Régis	GUIS Sandrine
ANDRE Nicolas	COURBIERE Blandine	GUYE Maxime
ARGENSON Jean-Noël	COWEN Didier	GUYOT Laurent
ASTOUL Philippe	CRAVELLO Ludovic	GUYS Jean-Michel
ATTARIAN Shahram	CUISSET Thomas	HABIB Gilbert
AUDOUIN Bertrand	CURVALE Georges	HARDWIGSEN Jean
AUQUIER Pascal	DA FONSECA David	HARLE Jean-Robert
AVIERINOS Jean-François	DAHAN-ALCARAZ Laetitia	<i>HOFFART Louis Disponibilité</i>
AZULAY Jean-Philippe	DANIEL Laurent	HOUVENAEGHEL Gilles
BAILLY Daniel	DARMON Patrice	JACQUIER Alexis
BARLESI Fabrice	D'ERCOLE Claude	JOURDE-CHICHE Noémie
BARLIER-SETTI Anne	D'JOURNO Xavier	JOUVE Jean-Luc
BARTHET Marc	DEHARO Jean-Claude	KAPLANSKI Gilles
BARTOLI Christophe	DELAPORTE Emmanuel	KARSENTY Gilles
BARTOLI Jean-Michel	DELPERO Jean-Robert	KERBAUL François
BARTOLI Michel	DENIS Danièle	KRAHN Martin
BARTOLOMEI Fabrice	DISDIER Patrick	LAFFORGUE Pierre
BASTIDE Cyrille	DODDOLI Christophe	LAGIER Jean-Christophe
BENSOUSSAN Laurent	DRANCOURT Michel	LAMBAUDIE Eric
BERBIS Philippe	DUBUS Jean-Christophe	LANCON Christophe
BERDAH Stéphane	DUFFAUD Florence	LA SCOLA Bernard
<i>BERLAND Yvon Surnombre</i>	DUFOUR Henry	LAUNAY Franck
BERNARD Jean-Paul	DURAND Jean-Marc	LAVIEILLE Jean-Pierre
BEROUD Christophe	DUSSOL Bertrand	LE CORROLLER Thomas
BERTUCCI François	EUSEBIO Alexandre	LECHEVALLIER Eric
BLAISE Didier	FAKHRY Nicolas	LEGRE Régis
BLIN Olivier	<i>FAUGERE Gérard Surnombre</i>	LEHUCHER-MICHEL Marie-Pascale
BLONDEL Benjamin	FELICIAN Olivier	LEONE Marc
BONIN/GUILLAUME Sylvie	FENOLLAR Florence	LEONETTI Georges
BONELLO Laurent	FIGARELLA/BRANGER Dominique	LEPIDI Hubert
BONNET Jean-Louis	FLECHER Xavier	LEVY Nicolas
<i>BOTTA/FRIDLUND Danielle Surnom</i>	FOURNIER Pierre-Edouard	MACE Loïc
BOUBLI Léon	<i>FRANCES Yves Surnombre</i>	MAGNAN Pierre-Edouard
BOUFI Mourad	FRANCESCHI Frédéric	<i>MATONTI Frédéric Disponibilité</i>
BOYER Laurent	FUENTES Stéphane	MEGE Jean-Louis
BREGEON Fabienne	GABERT Jean	MERROT Thierry
BRETELLE Florence	GABORIT Bénédicte	METZLER/GUILLEMAIN Catherine
BROUQUI Philippe	GAINNIER Marc	MEYER/DUTOUR Anne
BRUDER Nicolas	GARCIA Stéphane	MICCALEF/ROLL Joëlle
BRUE Thierry	GARIBOLDI Vlad	MICHEL Fabrice
BRUNET Philippe	GAUDART Jean	MICHEL Gérard
BURTEY Stéphane	GAUDY-MARQUESTE Caroline	MICHEL Justin
CARCOPINO-TUSOLI Xavier	GENTILE Stéphanie	MICHELET Pierre
CASANOVA Dominique	GERBEAUX Patrick	MILH Mathieu
CASTINETTI Frédéric	GEROLAMI/SANTANDREA René	MOAL Valérie
CECCALDI Mathieu	GILBERT/ALESSI Marie-Christine	MONCLA Anne
CHAGNAUD Christophe	GIORGI Roch	MORANGE Pierre-Emmanuel
CHAMBOST Hervé	GIOVANNI Antoine	MOULIN Guy
CHAMPSAUR Pierre	GIRARD Nadine	MOUTARDIER Vincent
CHANEZ Pascal	GIRAUD/CHABROL Brigitte	<i>MUNDLER Olivier Surnombre</i>
CHARAFFE-JAUFFRET Emmanuelle	GONCALVES Anthony	NAUDIN Jean
CHARREL Rémi	GORINCOUR Guillaume	NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier
<i>CHARPIN Denis Surnombre</i>	GRANEL/REY Brigitte	NICOLLAS Richard
CHAUMOITRE Kathia	GRANVAL Philippe	OLIVE Daniel
CHIARONI Jacques	GREILLIER Laurent	OUAFIK L'Houcine

PAGANELLI Franck	ROCHE Pierre-Hugues	THOMAS Pascal
PANUEL Michel	ROCH Antoine	THUNY Franck
PAPAZIAN Laurent	ROCHWERGER Richard	TREBUCHON-DA FONSECA Agnès
PAROLA Philippe	ROLL Patrice	TRIGLIA Jean-Michel
<i>PARRATTE Sébastien Disponibilité</i>	ROSSI Dominique	TROPIANO Patrick
PELISSIER-ALICOT Anne-Laure	ROSSI Pascal	TSIMARATOS Michel
PELLETIER Jean	ROUDIER Jean	TURRINI Olivier
PERRIN Jeanne	SALAS Sébastien	VALERO René
PETIT Philippe	<i>SAMBUC Roland Surnombre</i>	VAROQUAUX Arthur Damien
PHAM Thao	SARLES Jacques	VELLY Lionel
PIERCECCHI/MARTI Marie-Dominique	SARLES/PHILIP Nicole	VEY Norbert
PIQUET Philippe	SARLON-BARTOLI Gabrielle	VIDAL Vincent
PIRRO Nicolas	SCAVARDA Didier	VIENS Patrice
POINSO François	SCHLEINITZ Nicolas	VILLANI Patrick
RACCAH Denis	SEBAG Frédéric	VITON Jean-Michel
RANQUE Stéphane	SEITZ Jean-François	VITTON Véronique
RAOULT Didier	SIELEZNEFF Igor	VIEHWEGER Heide Elke
REGIS Jean	SIMON Nicolas	VIVIER Eric
REYNAUD/GAUBERT Martine	STEIN Andréas	XERRI Luc
REYNAUD Rachel	TAIEB David	
RICHARD/LALLEMAND Marie-Aleth	THIRION Xavier	

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

PRAG

TANTI-HARDOUIN Nicolas

PROFESSEUR ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE A MI-TEMPS

ADNOT Sébastien
 FILIPPI Simon

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIEN HOSPITALIER

ACHARD Vincent (<i>disponibilité</i>)	EBBO Mikaël	NGUYEN PHONG Karine
AHERFI Sarah	FABRE Alexandre	NINOVE Laetitia
ANGELAKIS Emmanouil (<i>dispo oct 2018</i>)	FAURE Alice	NOUGAIREDE Antoine
ATLAN Catherine (<i>disponibilité</i>)	FOLETTI Jean- Marc	OLLIVIER Matthieu
BARTHELEMY Pierre	FOUILLOUX Virginie	OVAERT Caroline
BEGE Thierry	FROMNOT Julien	PAULMYER/LACROIX Odile
BELIARD Sophie	GASTALDI Marguerite	PESENTI Sébastien
BERBIS Julie	GELSI/BOYER Véronique	RESSEGUIER Noémie
BERGE-LEFRANC Jean-Louis	GIUSIANO Bernard	REY Marc
BERTRAND Baptiste	GIUSIANO COURCAMBECK Sophie	ROBERT Philippe
BEYER-BERJOT Laura	GONZALEZ Jean-Michel	SABATIER Renaud
BIRNBAUM David	GOURIET Frédérique	SARI-MINODIER Irène
BONINI Francesca	GRAILLON Thomas	SAVEANU Alexandru
BOUCRAUT Joseph	GRISOLI Dominique	SECQ Véronique
BOULAMERY Audrey	GUERIN Carole	SUCHON Pierre
BOULLU/CIOCCA Sandrine	GUENOUN MEYSSIGNAC Daphné	TABOURET Emeline
BUFFAT Christophe	GUIDON Catherine	TOGA Caroline
CAMILLERI Serge	HAUTIER/KRAHN Aurélie	TOGA Isabelle
CARRON Romain	HRAIECH Sami	TOMASINI Pascale
CASSAGNE Carole	KASPI-PEZZOLI Elise	TOSELLO Barthélémy
CHAUDET Hervé	L'OLLIVIER Coralie	TROUSSE Delphine
CHRETIEN Anne-Sophie	LABIT-BOUVIER Corinne	TUCHTAN-TORRENTS Lucile
COZE Carole	LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina	VELY Frédéric
CUNY Thomas	LAGIER Aude (<i>disponibilité</i>)	VION-DURY Jean
DADOUN Frédéric (<i>disponibilité</i>)	LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude	ZATTARA/CANNONI Hélène
DALES Jean-Philippe	LEVY/MOZZICONACCI Annie	
DAUMAS Aurélie	LOOSVELD Marie	
DEGEORGES/VITTE Joëlle	MANCINI Julien	
DELLIAUX Stéphane	MARY Charles	
DESPLAT/JEGO Sophie	MASCAUX Céline	
DEVILLIER Raynier	MAUES DE PAULA André	
DUBOURG Grégory	MILLION Matthieu	
DUFOUR Jean-Charles	MOTTOLA GHIGO Giovanna	

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

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

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic
GENTILE Gaëtan

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS

BARGIER Jacques
BONNET Pierre-André
CALVET-MONTREDON Céline
GUIDA Pierre
JANCZEWSKI Aurélie

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS

MATHIEU Marion
REVIS Joana

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)
MAUES DE PAULA André (MCU-PH)
SECQ Véronique (MCU-PH)

**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)

GUIDON Catherine (MCU-PH)

ANGLAIS 11

BRANDENBURGER Chantal (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)
GUYE Maxime (PU-PH)
MUNDLER Olivier (PU-PH) Surnombre
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**

CLAVERIE Jean-Michel (PU-PH) Surnombre
GAUDART Jean (PU-PH)
GIORGI Roch (PU-PH)

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

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

ANTHROPOLOGIE 20

ADALIAN Pascal (PR)

DEGIOANNI/SALLE Anna (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)

AHERFI Sarah (MCU-PH)
ANGELAKIS Emmanouil (MCU-PH) disponibilité octobre 2018
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)
FROMNOT Julien (MCU-PH)
MOTTOLA GHIGO Giovanna (MCU-PH)
SAVEANU Alexandru (MCU-PH)

BIOLOGIE CELLULAIRE 4403

ROLL Patrice (PU-PH)

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

CARDIOLOGIE 5102

AVIERINOS Jean-François (PU-PH)
BONELLO Laurent (PU PH)
BONNET Jean-Louis (PU-PH)
CUISSSET 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 DIGESTIVE 5202

BERDAH Stéphane (PU-PH)
HARDWIGSEN Jean (PU-PH)
SIELEZNEFF Igor (PU-PH)

BEYER-BERJOT Laura (MCU-PH)

CHIRURGIE GENERALE 5302

DELPERO Jean-Robert (PU-PH)
MOUTARDIER Vincent (PU-PH)
SEBAG Frédéric (PU-PH)
TURRINI Olivier (PU-PH)

BEGE Thierry (MCU-PH)
BIRNBAUM David (MCU-PH)

CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE 5002

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

OLLIVIER Matthieu (MCU-PH)

CANCEROLOGIE ; RADIOTHERAPIE 4702

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)
 SALAS Sébastien (PU-PH)
 VIENS Patrice (PU-PH)

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

CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIOVASCULAIRE 5103

COLLART Frédéric (PU-PH)
 D'JOURNO Xavier (PU-PH)
 DODDOLI Christophe (PU-PH)
 GARIBOLDI Vlad (PU-PH)
 MACE Loïc (PU-PH)
 THOMAS Pascal (PU-PH)

FOUILLOUX Virginie (MCU-PH)
 GRISOLI Dominique (MCU-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)

ACHARD Vincent (MCU-PH) disponibilité
 PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE 5003

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

DUSI

COLSON Sébastien (MCF)

ENDOCRINOLOGIE ,DIABETE ET MALADIES METABOLIQUES ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5404

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

EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE ET PREVENTION 4601

AUQUIER Pascal (PU-PH)
 BOYER Laurent (PU-PH)
 GENTILE Stéphanie (PU-PH)
SAMBUC Roland (PU-PH) Surnombre
 THIRION Xavier (PU-PH)

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

MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte (MCF)(06ème section)
 TANTI-HARDOUIN Nicolas (PRAG)

CHIRURGIE INFANTILE 5402

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

CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE ET STOMATOLOGIE 5503

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

FOLETTI Jean-Marc (MCU-PH)

CHIRURGIE PLASTIQUE, RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE ; BRÛOLOGIE 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)
 BERNARD Jean-Paul (PU-PH)
BOTTA-FRIDLUND Danielle (PU-PH) Surnombre
 DAHAN-ALCARAZ Laetitia (PU-PH)
 GEROLAMI-SANTANDREA René (PU-PH)
 GRANDVAL Philippe (PU-PH)
 GRIMAUD Jean-Charles (PU-PH)
 SEITZ Jean-François (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)
 MONCLA Anne (PU-PH)
 SARLES/PHILIP Nicole (PU-PH)

NGYUEN Karine (MCU-PH)
 TOGA Caroline (MCU-PH)
 ZATTARA/CANNONI Héléne (MCU-PH)

GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5403

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

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)

BOUCAULT/GARROUSTE Françoise (MCF) 65ème section)

MALADIES INFECTIEUSES ; MALADIES TROPICALES 4503

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

MILLION Matthieu (MCU-PH)

MEDECINE D'URGENCE 4805

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

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

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

EBBO Mikael (MCU-PH)

GENTILE Gaëtan (MCF Méd. Gén. Temps plein)

ADNOT Sébastien (PR associé Méd. Gén. à mi-temps)
 FILIPPI Simon (PR associé Méd. Gén. à mi-temps)

BARGIER Jacques (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)
 BONNET Pierre-André (MCF associé Méd. Gén à mi-temps)
 CALVET-MONTREDON Céline (MCF associé Méd. Gén. à temps plein)
 GUIDA Pierre (MCF associé Méd. Gén. à mi-temps)
 JANCZEWSKI Aurélie (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

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)

IMMUNOLOGIE ; 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/BENHAIM 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)

BERGE-LEFRANC Jean-Louis (MCU-PH)
 SARI/MINODIER Irène (MCU-PH)

NEPHROLOGIE 5203

BERLAND Yvon (PU-PH) Surnombre
 BRUNET Philippe (PU-PH)
 BURTEY Stéphanne (PU-PH)
 DUSSOL Bertrand (PU-PH)
 JOURDE CHICHE Noémie (PU PH)
 MOAL Valérie (PU-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)

OPHTALMOLOGIE 5502

DENIS Danièle (PU-PH)
 HOFFART Louis (PU-PH) *Disponibilité*
 MATONTI Frédéric (PU-PH) *Disponibilité*

PEDEPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE 4904

DA FONSECA David (PU-PH)
 POINSO François (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)
 DEVEZE Arnaud (MCU-PH) *Disponibilité*
 REVIS Joana (MAST) (Orthophonie) (7ème Section)

**PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE -
PHARMACOLOGIE CLINIQUE; ADDICTOLOGIE 4803**

BLIN Olivier (PU-PH)
 FAUGERE Gérard (PU-PH) *Surnombre*
 MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH)
 SIMON Nicolas (PU-PH)
 BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE 4502

RANQUE Stéphane (PU-PH)
 CASSAGNE Carole (MCU-PH)
 L'OLLIVIER Coralie (MCU-PH)
 MARY Charles (MCU-PH)
 TOGA Isabelle (MCU-PH)

PHILOSOPHIE 17

LE COZ Pierre (PR) (17ème section)
 MATHIEU Marion (MAST)

PEDIATRIE 5401

ANDRE Nicolas (PU-PH)
 CHAMBOST Hervé (PU-PH)
 DUBUS Jean-Christophe (PU-PH)
 GIRAUD/CHABROL Brigitte (PU-PH)
 MICHEL Gérard (PU-PH)
 MILH Mathieu (PU-PH)
 REYNAUD Rachel (PU-PH)
 SARLES Jacques (PU-PH)
 TSIMARATOS Michel (PU-PH)
 COZE Carole (MCU-PH)
 FABRE Alexandre (MCU-PH)
 OVAERT Caroline (MCU-PH)
 TOSELLO Barthélémy (MCU-PH)

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)

BARTHELEMY Pierre (MCU-PH)
 BONINI Francesca (MCU-PH)
 BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH)
 DADOUN Frédéric (MCU-PH) (*disponibilité*)
 DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)
 REY Marc (MCU-PH)

PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE 4903

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

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

PSYCHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PCYCHOLOGIE SOCIALE 16

AGHABABIAN Valérie (PR)

PNEUMOLOGIE; ADDICTOLOGIE 5101**RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE 4302**

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

ASTOUL Philippe (PU-PH)
 BARLESI Fabrice (PU-PH)
 CHANEZ Pascal (PU-PH)
 CHARPIN Denis (PU-PH) *Surnombre*
 GREILLIER Laurent (PU PH)
 REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

MASCAUX Céline (MCU-PH)
 TOMASINI Pascale (MCU-PH)

REANIMATION MEDICALE ; MEDECINE URGENCE 4802

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

THERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE 4804

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

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

RHUMATOLOGIE 5001

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

UROLOGIE 5204

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

A Monsieur le Professeur Laurent Papazian,

Vous me faites l'honneur de présider ce jury de thèse aujourd'hui. Merci infiniment de l'intérêt que vous avez porté à mon travail. Je n'ai malheureusement pas eu la chance de passer dans votre service mais vos enseignements théoriques m'ont guidé dans mes pratiques en réanimation. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

Monsieur le Professeur Marc Gainnier,

Merci de me faire l'honneur de juger mon travail, et de m'avoir accordé votre confiance lors de mon passage dans votre service. Votre humanité et votre bienveillance m'ont permis d'aborder ces 6 mois seniorisés avec sérénité. Je tenais à vous témoigner mon plus profond respect.

Monsieur le Professeur Lionel Velly,

Pour ton aide, ta disponibilité et ton écoute attentive au cours de ce travail, mais aussi durant le reste de mon internat. Merci de m'avoir aidé à trouver la motivation nécessaire à l'aboutissement de ce projet. Merci aussi pour ta pédagogie, et la confiance que tu m'as accordé ces dernières années. C'est un honneur de travailler à tes côtés.

Madame le Docteur Catherine Guidon,

Merci de me faire l'honneur de siéger dans ce jury et de juger mon travail. Votre rigueur est pour moi un exemple que j'ai tâché d'appliquer, avec plus ou moins de succès, au quotidien...

Veillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance et l'assurance de mon profond respect.

Remerciements personnels

A ma famille, absolument merveilleuse. Je mesure chaque jour la chance que nous avons d'être aussi soudés. J'ignore pourquoi nous sommes si pudiques lorsqu'il s'agit d'exprimer nos sentiments. Alors j'en profite pour le faire à l'écrit, car c'est toujours plus facile : Je vous aime très fort.

A ma mère, pour la force et le courage dont tu as fait preuve pendant tant d'années pour supporter les trois, pas toujours très brillants, garçons que nous étions. Nous n'avons jamais manqué de rien, et surtout pas d'amour. Merci aussi pour ta relecture attentive et l'extermination des fautes qui traînaient dans cette thèse !

A mon père, pour les innombrables activités auxquelles tu nous as initié, avec plus ou moins de succès (un jour peut-être, nous adorerons la planche à voile...). Merci d'avoir toujours cru en moi (après le bac bien sûr), et de m'avoir soutenu dans cette aventure que tu sais si longue et parfois laborieuse.

Vous êtes des parents merveilleux. Des centaines de pages ne suffiraient évidemment pas.
Merci pour tout.

A Léo, car tu es un peu le grand frère que je n'ai pas eu. Le grand frère qui impressionne un peu et qu'on admire, mais à qui on ne dit rien par fierté. Et puis après tout, c'est moi le grand frère, alors raison de plus pour ne rien dire. Les premiers mots de cette page te sont tout particulièrement adressés. J'admire la persévérance dont tu fais preuve dans la voie que tu as choisie, tous ces millions, que dis-je, ces milliards me feraient perdre 1000 fois mes moyens. **A Laurie**, la seule personne à pouvoir être à la fois de Cannes et de Paris, tout en restant supportable ! Je suis persuadé que tu seras un jour à la tête de LVMH !

A Oscar, car pour vivre, tu fais vivre notre bêtise dans tes courts métrages. Tu as eu l'immense courage de te lancer dans cette voie difficile qu'est le monde du cinéma d'animation, et de l'assumer avec brio. Ton imagination est sans limites et j'ignore parfois comment tu arrives à transformer ces idées absurdes en quelque chose de très cohérent.

Les parents avaient finalement eu du flair en te prénommant ainsi (et il faut dire que Marguerite c'est pas joli joli...). Je croise les doigts pour que tu ailles jusque au bout de l'aventure incroyable que tu es en train de vivre avec MegaComputer. Et puis après tout, même si n'êtes finalement pas nominés, peu importe : l'Oscar, tu l'as déjà eu 10 fois à nos yeux. **Caroline**, merci de supporter ce phénomène au quotidien. Il paraît que l'amour rend aveugle, tes mains semblent l'être aussi, les chauffeurs de taxi londoniens un peu moins, dommage pour nous !

A Léoscar, mon frère préféré. Cette alchimie qui opère seulement lors de nos rencontres à trois est absolument indescriptible. J'ignore ce que je ferais sans vous, et sans ces moments que nous avons à chaque fois. Très étonnement, lors de ces rencontres, nos intelligences surdéveloppées se multiplient, et nous pourrions probablement devenir les maîtres du monde s'il ne venait pas s'ajouter un facteur (-1) à l'équation.

La vie a fait que nous vivons maintenant loin les uns des autres, et c'est finalement peut-être une chance, car à en juger par la diminution progressive de notre QI avec les années, nos chances de survie dans les 10 prochaines années auraient probablement beaucoup diminuées.

Aux cousins et cousines, plus ou moins éloignés par la distance : Camille, Alice, Clara et Arnaud.

A mes grands-parents.

Aux amis, par ordre alphabétique (*masculin...*)

A **Amaury**, pour tous ces moments hilarants, volontaires ou non, que tu nous as fait vivre. Ta plus grande réussite aura certainement été l'organisation d'un EVG dans une station de ski, une semaine après sa fermeture. Merci d'avoir partagé avec moi cette philosophie selon laquelle on peut toujours y arriver, même sans aucune organisation. A **Marine**,

A **Hedi**, mi Habi, si la nature m'avait fait autrement, c'est évidemment sur toi que j'aurais jeté mon dévolu. Mais pourquoi parler au conditionnel ? Ne soyons pas vieux jeu, voyons, nous sommes en 2019, et nous avons tous les droits. **Marie**, sache que je suis vraiment navré d'avoir mis au grand jour ton petit secret... Ne te fais pas de soucis pour ce soir, personne ne t'en tiendra rigueur !

A **Julien**, notre chandelier, le phare dans la tempête que tu es heureux d'apercevoir quand ta soirée devient brumeuse. Je t'imaginai fuir vers les établissements privés pour t'en mettre plein les poches, finalement il n'en sera rien. Ta capacité à convaincre les autres à réaliser les choses les plus improbables sans jamais te mouiller aurait pourtant dû nous mettre la puce à l'oreille : PU-PH tu seras. **Marie**, j'admire ta capacité à exprimer le mécontentement par le sourire. Je ne me souviens pas t'avoir déjà vu de mauvaise humeur. C'est fou quand j'y pense.

A **P-E**, le bien nommé, seul et unique chirurgien au monde à avoir côtoyé son « homonyme d'initiales » proposant des offres d'emploi. Rien que pour ça je te respecterai jusqu'à la fin des temps ! **Fanchon**, tu es la seule personne que je connaisse qui soit capable d'associer un t-shirt hyper moderne, un pantalon fait en tissu de rideau de grand-mère, une paire de chaussures cloutées, et que le résultat soit carrément génial. Si un jour l'endocrino t'agace, ta reconversion est toute tracée !

A **Nicolas**, parce qu'il y a bientôt 10 ans, je me réveillais quasi-nu, frigorifié dans une tente, allongé aux côtés d'un inconnu : « Salut, moi c'est Nico, tu veux un pull ? ». Sans toi, et ces interminables sous colles, mon avenir aurait été bien différent ! Je suis triste car j'aurais aimé jouer de la pédale (= faire du vélo...) à nouveau avec toi, mais visiblement tu préfères faire ça avec **Maud**. Après tout tu as raison, elle est marrante, paraît-il meilleure que toi en sport, super catho-scout, et en plus... C'est une fille, je peux pas lutter.

A **Samuel et Marion**, pour la bonne humeur incroyable dont vous faites preuve à chacune de nos retrouvailles !

A **Simon**, mon petit surnommeur ! Car si aujourd'hui je suis pour toi *Dirty Arthur*, il n'en a pas toujours été ainsi, et je portais alors le surnom d'un ustensile bien aimé des chirurgiens viscéraux, qui nous permettait, à la manière des « cops » Starsky et Hutch, de faire régner l'ordre à la Fac de Nîmes. Je compte les jours avant ton arrivée prochaine, bien qu'éphémère, à Marseille, et rien que pour ça, je te remercie infiniment **Chloé** !

A **Vincent**, notre Garou à nous. Ta voix n'a d'égal que ton incroyable capacité à propager les informations secrètes : Tu es un peu comme un agent du KGB qui aurait raté le cours de résistance à la torture. **Alexandra**, merci d'avoir organisé le rapatriement sanitaire de notre agent pas très secret.

A **Yohan**, car depuis la deuxième année, tu es pour moi quelqu'un d'exceptionnel. Tu es aussi l'homme que je connais qui enjolie le plus les histoires quand tu les racontes. Finalement, ta reconversion te colle bien à la peau : Au vu de ton tempérament, il est clair que tu ne pouvais être « sage-homme », et que le titre « d'arracheur de dents », et les mensonges qui vont avec, était plus approprié. Ta motivation est sans failles, et je ne me fais aucun souci pour ta réussite professionnelle : Tu finiras par l'avoir ta Ferrari ! Mais en attendant, tu roules en 208 3 portes, édition Star-Wars, alors mets un peu la clim' ! **Annick**, si la motivation de Yohan est sans failles, alors que dire de la tienne ! Je suis en train

d'approcher la société française de cardiologie pour essayer d'y intégrer ces fameuses « journées-off » dont tu entends parfois parler ! J'ai hâte que vous veniez visiter Marseille, disons un 19 juin ou un 19 septembre, je vous laisse choisir l'année !

Aux habitants de la planète Mars,

A **Thomas**, pour ce début d'internat mémorable.

A **Ambroise**, le Nimoirseillais, et à ces sessions en planche, avec ou sans roulettes.

A **Castelli** : *n. m.* Du provençal « *Castello* », « Petit château » : Tu es le dernier rempart contre la morosité de ce monde. L'avenir appartient à ceux qui vont en boîte en chaussettes, tu l'as bien compris, et c'est tout ce qui compte à mes yeux.

A **Jeremy**, pour ce partage de galère dans la dernière ligne droite !

A **Mehdi**, car, si pour tout le monde tu es celui qu'il ne faut pas chercher à 14 heures, tu seras pour moi celui avec qui nous partagerons un bureau mehddical. J'ai vraiment hâte que la mezzanine et la friteuse soient installées. Bwwlrhaizeofhieruhroofgjgpp.

A toute l'**équipe niçoise de lutte contre les douleurs neuropathiques**, merci pour les connaissances que vous m'avez apportées.

A toute l'équipe de la « tanière », AKA équipe de neurochirurgie :

- A **Thibaut**, parce qu'on a une passion commune pour les parents du premier degré,
- Au **Dr Cot**, pour l'intérêt qu'on porte aux dispositifs semi invasifs,
- Au **Dr Scott**, qui j'espère ne présentera pas de crise ce soir,
- A **Tim**, pour tes suggestions plus ou moins bonnes en matière de musique moderne,
- A **JB**, pour ton rire extrêmement communicatif,
- A **Gaëlle**, pour la touche féminine que tu apportes au Timone « Boys »
- A **Pierre**, pour le beau sourire que j'ai récupéré grâce à ton réseau de futur président,

Merci pour ces 6 derniers mois et votre bonne humeur sans faille. J'ai hâte d'enfin partager cette bonne humeur en tant que « collègue » un peu, mais surtout ami.

A **tous les co-internes** qui ont croisé ma route et avec qui nous avons partagé des moments inoubliables,

A toute l'équipe de la **réanimation polyvalente de la Timone**,

A **toutes les personnes** qui ont un jour pris un peu de leur temps pour tenter de m'apprendre quelque chose, en particulier **Louis et Tarik** pour votre aide au début de mon internat.

Au **grand manitou de Linux**, pour les heures passées à taper des lignes incompréhensibles dans un terminal. Merci pour ton aide intellectuelle et matérielle. Malgré tes efforts, je n'arriverai pas à apprécier cet OS !

A tous les autres que j'oublie par manque de temps mais qui ne m'en tiendront pas rigueur !

A Maéva,

Merci pour tout.

Pour tout ce que tu es, et tout ce que tu fais pour moi au quotidien. Pour ton écoute, ta tendresse, et ta patience avec moi.

Merci de m'avoir redonné gout à tout ce que j'avais délaissé. De m'avoir donné envie d'en découvrir encore plus, et de m'accompagner dans toutes ces découvertes.

Merci d'avoir secoué ma vie quand j'en ai eu besoin, et de m'avoir supporté et soutenu jusqu'à la fin de cette rédaction.

J'admire plus que tout l'énergie débordante dont tu fais preuve au quotidien, et ta volonté incessante de me la transmettre. Tu as rendu ces dernières années merveilleuses, j'ai hâte de vivre les suivantes à tes cotés.

Table des matières

RÉSUMÉ	2
1. INTRODUCTION	3
2. MATERIELS ET METHODES	6
2.1. Conception de l'étude et recueil des données	6
2.2. Préparation des données	6
2.3. Choix des variables	8
2.4. Choix du modèle	8
2.5. Analyse statistique	12
3. RÉSULTATS	13
3.1. Population d'étude	13
3.2. Variations de la température en soins critiques	14
3.4. Création de l'algorithme	18
3.5. Résultat sur la cohorte d'évaluation des différents algorithmes	18
3.5.1. Prédiction d'une valeur numérique de température à un instant (t)	18
3.5.2. Prédiction dichotomique du risque de fièvre	22
3.5.3. Prédiction dichotomique du risque d'hypothermie	24
4. DISCUSSION	26
5. CONCLUSION	31
6. RÉFÉRENCES	32

RÉSUMÉ

Introduction : La température centrale est un facteur déterminant du pronostic des patients neurolésés. Pourtant, cette valeur reste sous utilisée car souvent limitée à une interprétation par les cliniciens à un instant (t) ou de façon rétrospective. Parallèlement, les applications des algorithmes d'intelligence artificielles (IA) se multiplient, y compris dans le domaine médical. L'objectif de ce travail était de concevoir un algorithme d'IA qui soit capable, d'une part, de prédire la valeur de température du patient à une et deux heures, et d'autre part, de prédire la survenue d'une fièvre ou d'une hypothermie dans les heures à venir.

Matériel et Méthodes : Nous avons réalisé après accord du CPP, une étude observationnelle multicentrique au sein de la réanimation polyvalente de l'Hôpital de la Timone et de l'Hôpital Nord, portant sur les données de surveillance enregistrées entre janvier 2011 et janvier 2019. Les patients inclus étaient hospitalisés pendant au moins 24 heures et devaient disposer d'un monitoring invasif de la pression artérielle, de la fréquence cardiaque et de la température. Les méthodes de prédiction évaluées étaient les réseaux de neurones, les méthodes de Gradient Boosting et de Random Forest, les machines à vecteur de support, et les régressions linéaires.

Résultats : Sur la période d'étude, les données de 5 146 patients ont été incluses. Nous avons utilisé une cohorte d'apprentissage (n=1 237), une cohorte de validation (n=825) et testé les algorithmes sur une cohorte d'évaluation (n=3 084). Concernant la prédiction d'une valeur de température à une et deux heures, les réseaux de neurones étaient les plus performants, avec une précision de 89,8% et 53,0% respectivement. Pour la prédiction d'une fièvre, les aires sous la courbe ROC (ROC_{AUC}) étaient de 0,992 (IC95% 0,991 - 0,993) à une heure, 0,977 (IC95% 0,976 - 0,978) à deux heures et 0,931 (IC95% 0,930 - 0,932) à quatre heures. Concernant la prédiction d'une hypothermie, les ROC_{AUC} étaient de 0,987 (IC95% 0,985 - 0,989) à une heure, de 0,971 (IC95% 0,969 - 0,973) à deux heures et de 0,936 (IC95% 0,934 - 0,938) à quatre heures.

Conclusion : Notre travail est le premier à évaluer l'apport de l'IA en soins critiques dans le domaine de la température corporelle et sur un aussi grand nombre de patients. Grâce à notre algorithme, il est dorénavant possible de prédire avec une grande précision la valeur de température que le patient présentera dans l'heure qui suit. De plus, la détection des épisodes de fièvre ou d'hypothermie est fiable jusqu'à plusieurs heures avant leur survenue.

1. INTRODUCTION

La température centrale semble être un des facteurs déterminants du pronostic des patients de réanimation, en particulier des patients neurolésés. Ainsi, l'élévation de la température centrale chez ces patients est un facteur indépendant d'augmentation de la durée de séjour en réanimation, de la morbidité, et du risque de mauvais pronostic neurologique à long terme.^{1,2}

Physiologiquement, la température centrale varie ainsi au cours de la journée, autour d'une valeur de moyenne 37°C, avec une amplitude de $\pm 0,5^\circ\text{C}$.³ Ces variations se font selon un cycle lié au nyctémère, et chez le sujet sain, les valeurs les plus basses sont observées vers de 05 heures, et les valeurs les plus hautes vers 17 heures.⁴

Chez les patients neurolésés, les épisodes de fièvre sont fréquents : 70% des traumatisés crâniens présenteront un épisode au cours de leur séjour,⁵ de même que plus de 50% des patients admis pour une hémorragie sous arachnoïdienne.⁶

Expérimentalement, les variations de la température centrale même minimales contribuent à aggraver les lésions cérébrales déjà existantes.^{7,8} En clinique, dans la population spécifique des neurolésés, il est rapporté une aggravation significative du pronostic pour une élévation d' 1°C de température centrale.¹

Ainsi, la mortalité des patients présentant un infarctus cérébral semble augmenter au-delà de 38°C .⁹ Il en est de même pour les patients victimes d'un traumatisme crânien (températures seuils $>38^\circ\text{C}$ et $<36,5^\circ\text{C}$)¹⁰ et les patients admis pour un arrêt cardiaque récupéré (température seuil $>37^\circ\text{C}$). Chez ces derniers, chaque degré supplémentaire au-dessus de 37°C , multiplie par plus de 2 le risque de pronostic neurologique défavorable à 6 mois.¹¹

Ainsi, les recommandations formalisées d'expert de 2016 recommandent de pratiquer un contrôle ciblé de la température chez : les patients comateux après arrêt cardiaque récupéré, les patients traumatisés crâniens graves, les patients à la phase aiguë d'un AVC ischémique grave et les patients comateux avec hématome intra parenchymateux spontané ou après une hémorragie sous arachnoïdienne.¹²

Cependant, les moyens de monitoring, même s'ils permettent d'obtenir des mesures fiables de la température, se limitent à un affichage sous forme d'une simple valeur numérique à un instant (t), les valeurs passées étant peu intégrées à la réflexion médicale. Actuellement, aucun

moyen permettant de prédire l'apparition d'une fièvre ou d'une hypothermie n'a été développé et intégré dans les moyens de monitoring.

Pourtant, l'informatisation et le stockage des données ont considérablement augmenté ces dernières années. Ces données, du fait de leur volume, dépassent les capacités intellectuelles humaines et sont à l'origine du concept de Big Data et des méthodes qui en découlent.

La quantité et la complexité de ces données les rendent cependant inaccessible aux analyses statistiques classiques, et nécessite l'utilisation de méthodes d'apprentissage automatique (*Machine Learning*). Ces méthodes, ont longtemps été réservées aux supercalculateurs. Le domaine de la santé est lui aussi touché par cette explosion du volume de données et en particulier le secteur des soins critiques.¹³ En effet, les données anciennement collectées sur papier sont maintenant récupérées et stockées numériquement, les rendant accessibles à ces méthodes d'analyse.¹⁴ Actuellement, l'amélioration constante de la puissance de calcul des processeurs facilite la démocratisation de ces méthodes d'apprentissage, les rendant accessibles, avec un simple ordinateur, au lit du malade.

On distingue trois grands sous types de méthode d'apprentissage automatique : l'apprentissage supervisé, non supervisé, et par renforcement.

Dans l'apprentissage non supervisé, l'algorithme fonctionne de manière autonome : on lui fournit seulement un jeu de données, au sein duquel l'algorithme va chercher à définir des sous-groupes homogènes, qui partageront entre eux des caractéristiques communes. Ce type d'algorithme peut par exemple permettre de définir des sous-phénotypes de patients en choc septique.¹⁵

L'apprentissage par renforcement a pour objectif d'apprendre, à partir d'expériences successives, la meilleure stratégie à adopter pour répondre à un problème donné. Le développeur se contente de fixer des règles de récompenses positives ou négatives, et l'algorithme est ensuite entraîné afin d'obtenir un taux de récompenses positives le plus grand possible. Ce type de modèle peut permettre de déterminer une stratégie thérapeutique optimale. Par exemple, dans la prise en charge d'une hypotension artérielle, un tel modèle pourrait permettre le choix entre une expansion volémique et la mise en place d'amines.¹⁶

Enfin, l'apprentissage supervisé connaît un intérêt majeur dans le secteur de la santé. Par exemple, le développement d'un réseau de neurones portant sur les données cliniques et paracliniques de 16 années d'une unité de réanimation allemande permet de prédire la survenue

de complications majeures en postopératoire de chirurgie cardiaque de manière plus précise que les scores de risques habituels.¹⁷ Ce type de réseau est capable de faire un diagnostic de sepsis, sur la base de données cliniques et biologiques, avant que le diagnostic ne soit posé par un clinicien.¹⁸ Dans un autre domaine, l'utilisation d'algorithmes de forêts d'arbres décisionnels (*Random Forest*) permet de définir les patients à risque de détresse respiratoire nécessitant au moins 48h d'intubation ou entraînant le décès avec une aire sous la courbe de 0,90.¹⁹ Concernant l'apport de l'intelligence artificielle pour l'aide à la décision thérapeutique, un travail récent sur la prise en charge du sepsis retrouvait, après entraînement d'un algorithme basé sur les forêts d'arbres décisionnels, un taux de mortalité diminué chez les patients chez qui le clinicien avait pris la même décision que l'algorithme, par rapport à ceux où la décision avait divergé.¹⁶

L'objectif de ce travail était (1) de décrire les variations de température observées en réanimation et (2) de concevoir un modèle d'intelligence artificielle (IA) qui soit capable, de prédire la température centrale d'un patient en fonction de ses variations passées, ainsi que celles d'autres paramètres cliniques, et la survenue d'une fièvre ou d'une hypothermie dans les heures qui suivent.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Conception de l'étude et recueil des données

Nous avons réalisé une étude observationnelle multicentrique au sein des réanimations polyvalentes de l'Hôpital de la Timone et de l'Hôpital Nord du Centre Hospitalo-Universitaire de Marseille. Tous les patients majeurs enregistrés dans la base de données de ces services et admis en réanimation entre novembre 2011 et janvier 2019 ont été analysés, quel que soit leur motif d'hospitalisation. Les patients ont été inclus lorsqu'ils disposaient d'un monitoring continu de la température centrale, de la fréquence cardiaque et d'un monitoring invasif de la pression artérielle. Seuls les séjours supérieurs à une durée en soins critiques d'au moins 24h ont été retenus. Dans cette unité, l'ensemble des données de monitoring était recueilli toutes les 5 secondes de manière automatique et enregistré au format HL7 dans la base de données du service. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique local (2015/17) et par le comité local de l'informatique et des libertés (RGDP – 2019/117). Le recueil du consentement des patients à l'utilisation de ces données n'était pas nécessaire.²⁰

2.2. Préparation des données

Afin de s'affranchir des artéfacts potentiels (déconnexions, purge du cathéter artériel ou cathéter positionnel, etc...), les données étudiées étaient initialement filtrées en prenant la valeur médiane des différents paramètres sur un intervalle de 30 minutes. Les valeurs de température en dessous de 30°C étaient considérées comme erronées et n'étaient pas incluses dans l'analyse. Les valeurs de température centrale enregistrées avaient une précision au dixième de degrés près. Afin d'obtenir des données continues, les courbes étaient lissées grâce à un filtre de Savitzky-Golay, qui permettait d'obtenir cet effet sans écrêtage des pics (Figure 1). Les valeurs ainsi extrapolées à quatre décimales étaient plus proches de la réalité. Les données de tous les patients inclus ont été ainsi prétraitées, puis concaténées afin d'obtenir les jeux de données pour les algorithmes d'IA.

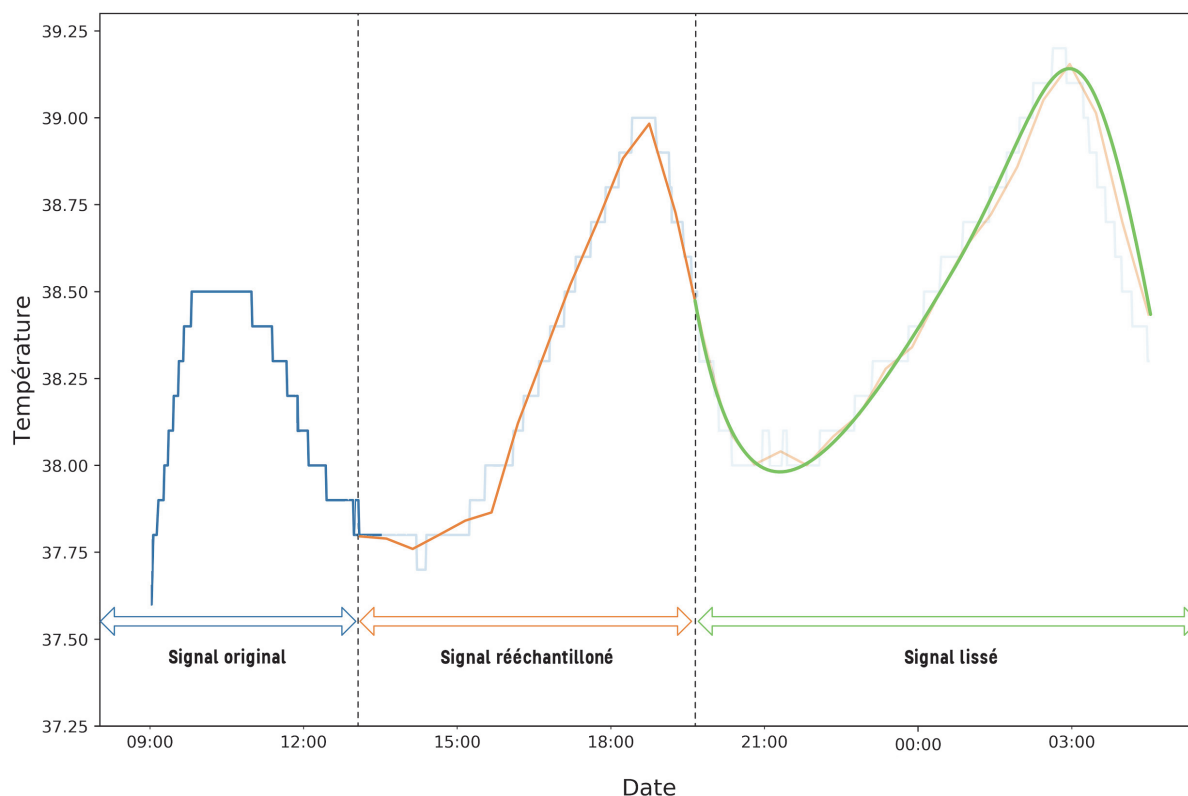


Figure 1 : Processus de traitement du signal. Le signal, initialement échantillonné toutes les 5 secondes, était d'abord moyenné sur un intervalle de 30 minutes, avant d'être lissé à l'aide d'un filtre de Savitzky-Golay.

Sur l'ensemble de la cohorte, nous avons spécifiquement recherché l'influence des variations circadiennes sur les variations de la température centrale. Pour cela l'information de l'heure a été conservée dans le jeu de données fourni aux algorithmes d'IA.

Afin d'entraîner les algorithmes de prédiction de la température, la cohorte des patient admis à l'hôpital de la Timone a été divisée par randomisation en une cohorte d'entraînement, correspondant à 60% de la cohorte totale, et en une cohorte de validation, correspondant aux 40% restants. La cohorte d'entraînement permettait la mise au point des algorithmes et l'ajustement des paramètres sur la cohorte de validation. La cohorte de l'hôpital Nord constituait une cohorte d'évaluation afin de s'affranchir du biais de sur-apprentissage.

Dans ce même but, les données fournies dans le cadre de la prédiction dichotomique d'une fièvre dans les heures qui suivent, excluaient les valeurs de température à l'instant (t) supérieure à 38,3°C. En effet, pour les patients déjà fébriles, l'algorithme réaliserait alors plus une constatation qu'une prédiction, ce qui augmenterait de manière artificielle la précision du modèle. Lorsqu'il s'agissait de la prédiction du risque d'hypothermie, les données comprenant

une valeur de température à l'instant (t) inférieure à 36°C étaient exclues. La fièvre était définie suivant la définition du Centers for Disease Control and Prevention (CDC) par une valeur de température centrale supérieure à 38,3°C, et l'hypothermie par une température inférieure à 36,0°C.²¹

2.3. Choix des variables

Les différents paramètres cliniques étudiés n'avaient cependant pas la même inertie, et il ne semblait pas pertinent de fournir des données trop anciennes aux algorithmes. En ce sens, les coefficients de Pearson pour chaque variable ont été calculés, afin de déterminer la présence ou non d'une relation linéaire entre les variables testées et la température. Les différentes possibilités d'association des variables entre elles ont été ensuite testées, et ce, pour chaque algorithme, afin d'obtenir après entraînement de l'algorithme la plus grande précision possible. Le seuil maximal des valeurs précédentes fournies à l'algorithme a été arbitrairement fixé à 6 heures pour la prédiction d'une valeur numérique à (t+1h) et (t+2h), et à 12 heures pour la prédiction dichotomique du risque de fièvre ou d'hypothermie dans les heures à venir.

2.4. Choix du modèle

Les modèles d'IA d'apprentissage supervisé étaient les plus adaptés pour répondre à notre problématique. Nous avons ainsi évalué les performances des algorithmes suivants :

- Les méthodes de régression (RL)
- Les modèles ensemblistes : Random Forest (RF) et Gradient Boosting Machines (GBM)
- Les machines à vecteur de support, ou séparateurs à vaste marge (SVM)
- Les réseaux de neurones (NN pour *Neural Network*)

Les modèles linéaires sont des modèles statistiques dans lesquels on cherche à exprimer une variable y par une ou d'autres variables explicatives x , selon une relation linéaire, qui, sous sa forme la plus simple, peut s'exprimer par : $y = \beta_0x + \beta_1 + \varepsilon$ (où ε est le terme d'erreur).

Les modèles ensemblistes sont des modèles qui combinent plusieurs modèles, dits « faibles », c'est-à-dire faisant à peine mieux qu'une prédiction aléatoire, mais qui, lorsqu'ils sont combinés, permettent d'obtenir un modèle global plus performant. On en distingue deux grands types :

Les RF correspondent à une combinaison de multiples arbres décisionnels. Pour chaque arbre, la prise de décision au niveau de chaque nœud se fait en fonction d'une variable qui est choisie de manière aléatoire. La prédiction faite par le modèle correspond à une moyenne de tous les résultats donnés par l'ensemble des arbres décisionnels qui composent la forêt.

Les modèles de GBM fonctionnent sur le même principe, mais contrairement aux RF, où tous les arbres de l'ensemble sont générés en même temps et de manière aléatoire, les arbres sont générés les uns après les autres, en fonction des performances de l'arbre précédent. Chaque nouvel arbre est conçu afin d'améliorer les performances du précédent, calculés selon une fonction de perte, qui doit être la plus faible possible.

Les SVM, sont des algorithmes de classification et de régression qui reposent sur la notion de marge maximale (Figure 2). Cette marge est définie comme la distance entre la frontière de séparation et les échantillons les plus proches. Ces échantillons sont appelés vecteurs supports. L'algorithme cherche alors à maximiser la marge, et donc à déterminer une frontière la plus éloignée possible des points à classer.

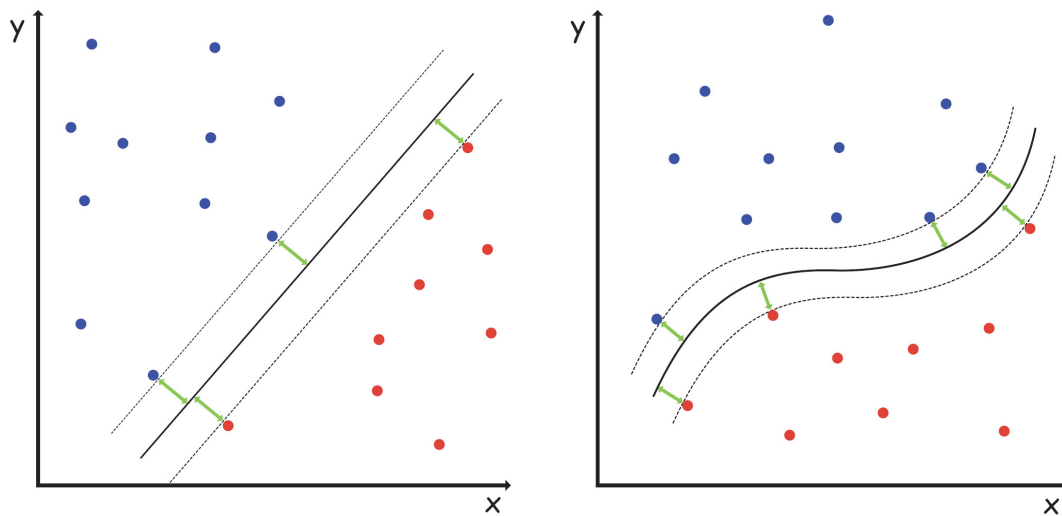


Figure 2: Exemple de fonctionnement des machines à vecteur de support (SVM), selon un mode linéaire (A) et non linéaire (B). *Les points bleus et rouges représentent deux populations à différencier. Les flèches vertes représentent les marges, qui sont maximisées par l'algorithme afin de trouver la frontière de séparation la plus adaptée.*

Les NN quant à eux, tiennent leur nom de leur architecture, similaire à celle des neurones humains. Ils sont constitués d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie, qui sont reliées entre elles par un certain nombre de couches cachées, que l'on peut comparer à de nombreux neurones, reliés entre eux par différentes synapses (Figure 3). Chaque neurone va recevoir des informations, à partir des données d'entrée, ou à partir d'un autre neurone, et va propager ou non, cette information aux autres neurones du réseau. Pour chaque neurone, un poids est attribué aux entrées qu'il reçoit, de la même manière que sont appliqués des coefficients dans une régression linéaire. En fonction de ces entrées et des coefficients qui leur sont appliqués, le neurone va alors s'activer ou non, et propager l'information au neurone suivant, à la manière d'un potentiel d'action. Chaque neurone, pris séparément, constitue donc un modèle statistique à part entière, et leur mise en réseau permet d'obtenir des modèles plus complexes que les modèles classiques comme les régressions linéaires.

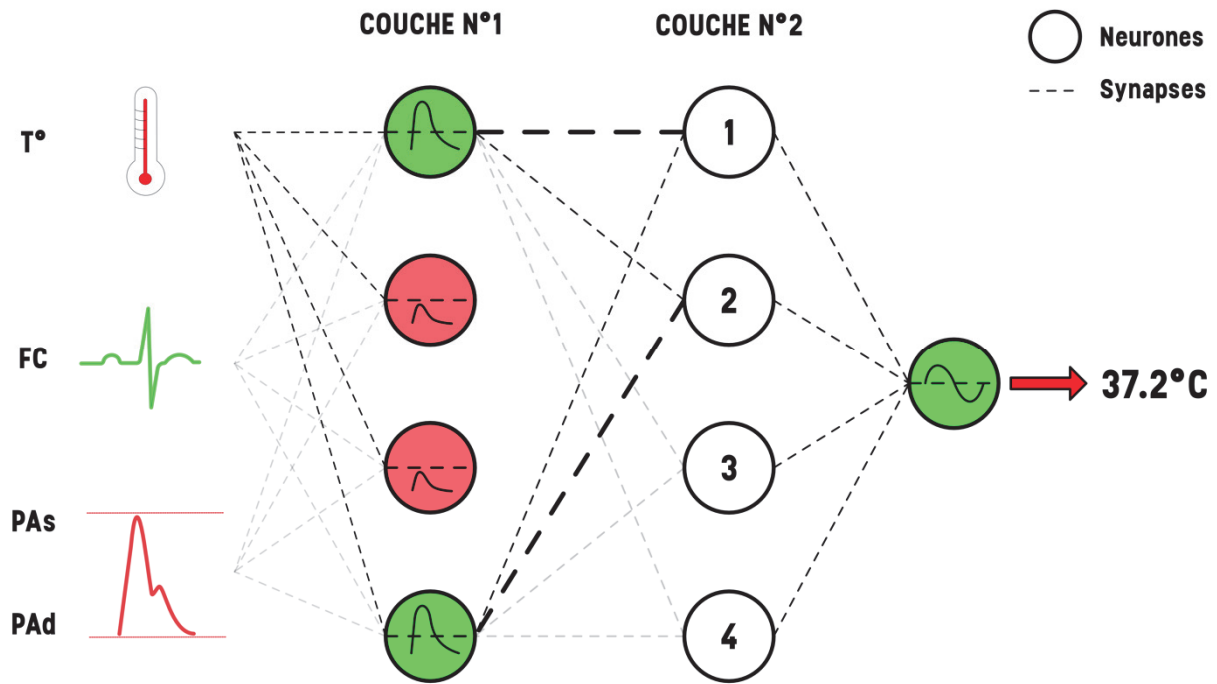


Figure 3 : Schéma explicatif du fonctionnement d'un réseau de neurones contenant deux couches successives de quatre neurones. Chaque neurone de la couche n°1 reçoit l'ensemble des informations d'entrée, à savoir les valeurs présentes et passées des quatre paramètres cliniques. Chaque neurone va ensuite s'activer (Neurones 1 et 4), ou non (Neurones 2 et 3) et propager l'information au reste du réseau. L'activation ou non d'un neurone dépend du franchissement d'un seuil, en fonction des coefficients attribués à chaque variable qu'il reçoit. Cette attribution de coefficient est schématisée par la couche n°2 : le neurone n°1 attribue un poids plus important à l'information qu'il reçoit du haut de la couche précédente, alors que le neurone n°2 attribue, lui, un coefficient plus important à l'information provenant du neurone du bas de la première couche. FC : Fréquence cardiaque, T° : température, PAs : Pression artérielle systolique, PAd : Pression artérielle diastolique.

Le traitement des données ainsi que l'entraînement des algorithmes étaient réalisés à l'aide du logiciel Python (<https://www.python.org>; v3.7), et des bibliothèques Scikit-learn (<http://scikit-learn.org> ; version 0.16.1), Keras (<https://keras.io> ; v2.2.4) et Tensorflow (<https://www.tensorflow.org> ; v1.5.1)

2.5. Analyse statistique

Les moyennes et les écarts-types ont été utilisés pour les distributions normales des variables continues et les médianes et intervalles interquartiles (IQR) pour les variables non continues. La comparaison entre les variables continues a été évaluée au moyen d'un test t à deux échantillons non appariés (normalement distribué) ou d'un test de Mann et Whitney (sans hypothèse de distribution). Les différences entre les variables catégorielles ont été évaluées au moyen du test exact de Fisher. Pour chaque algorithme, la précision des prédictions était évaluée par le calcul de l'erreur quadratique moyenne (*mean squared error* = MSE). Afin d'obtenir un score de précision plus représentatif que le MSE, les valeurs prédites étaient aussi comparées aux valeurs réelles. Un intervalle de $\pm 0,1^\circ$ autour de la valeur réelle était toléré, et le score final était exprimé en pourcentage de valeur correctes prédites dans cet intervalle. La fonction d'efficacité du récepteur (ROC) a été tracée pour déterminer l'aire sous la courbe ROC (ROC_{AUC}) et la valeur limite optimale des échelles de classement qui prédisent le mieux la valeur numérique de la température et la survenue d'une fièvre ou d'une hypothermie. Les ROC_{AUC} de chaque algorithme ont été comparées en utilisant la méthode décrite par DeLong *et coll.* L'ensemble des statistiques ont été réalisées à l'aide de R (<https://www.r-project.org>; v3.6.1). La signification statistique a été supposée à des valeurs *P* égales ou inférieures à 0,05.

3. RÉSULTATS

3.1. Population d'étude

Sur la période d'étude (novembre 2011 à janvier 2019), les données de monitoring de 9 722 patients ont été enregistrées au sein des réanimations de l'Hôpital de la Timone et de l'Hôpital Nord. Parmi ces patients, 5 146 patients ont été retenus pour l'analyse (cf. Flow diagram, Figure 4). Au sein de cette cohorte, la durée médiane de monitoring par patient était de 3 [IQR: 5 -10] jours.

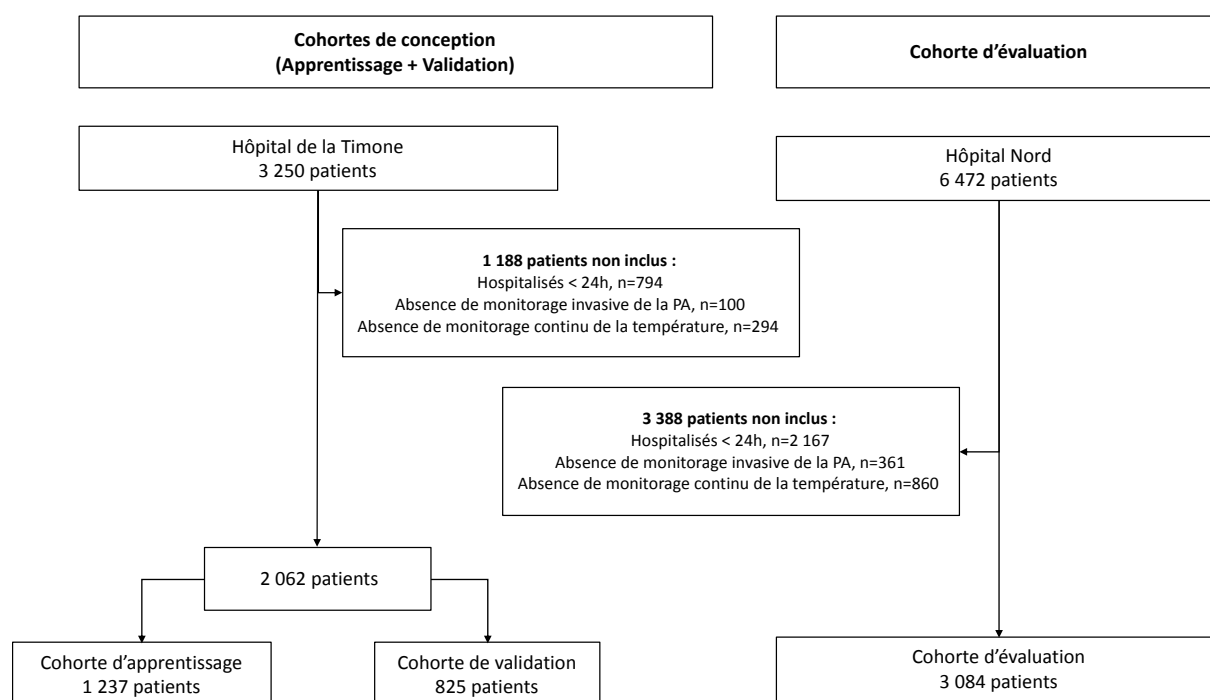


Figure 4: Diagramme CONSORT (Flow diagram) de la cohorte de notre étude.

3.2. Variations de la température en soins critiques

La température médiane au cours du séjour était de 37,4 [IQR : 36,9 - 37,9]°C, avec une variation moyenne de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ dans l'heure et de $\pm 0,2^\circ\text{C}$ dans les 2 heures. Une variation journalière de la température centrale était mise en évidence (Figure 5). L'amplitude moyenne de cette variation journalière était de $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Le nadir était observé en début de journée (9h) et l'acrophase en début de soirée (20h).

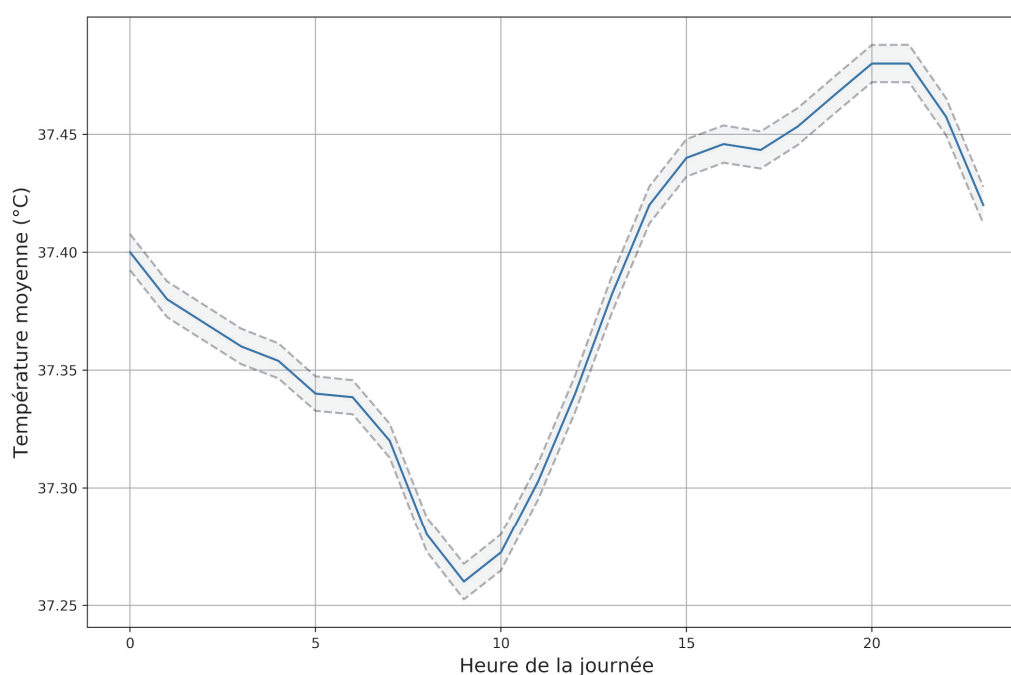


Figure 5 : Nomogramme de la température centrale en fonction de l'heure de la journée sur notre cohorte de 5 146 patients (50 000 mesures par tranche horaire). Le nadir est observé à 9h et l'acrophase à 20h.

Une température supérieure à 38,3°C était observée au moins une fois au cours du séjour chez 58% des patients. La médiane de survenue du premier pic fébrile était de 1 [IQR : 0 - 3] jour d'hospitalisation, avec un temps médian passé au-delà de ce seuil de 12 [IQR : 4 - 34] heures.

3.3. Relation entre la température et les autres paramètres

On observait une augmentation exponentielle de la fréquence cardiaque avec l'augmentation de température (Figure 6). La fréquence cardiaque médiane passait de 82 [IQR : 70 - 96] battements par minutes à 115 [IQR : 100 - 132] battements par minutes entre une température comprise entre 35,0°C et 36,0°C, et une température supérieure à 40°C.

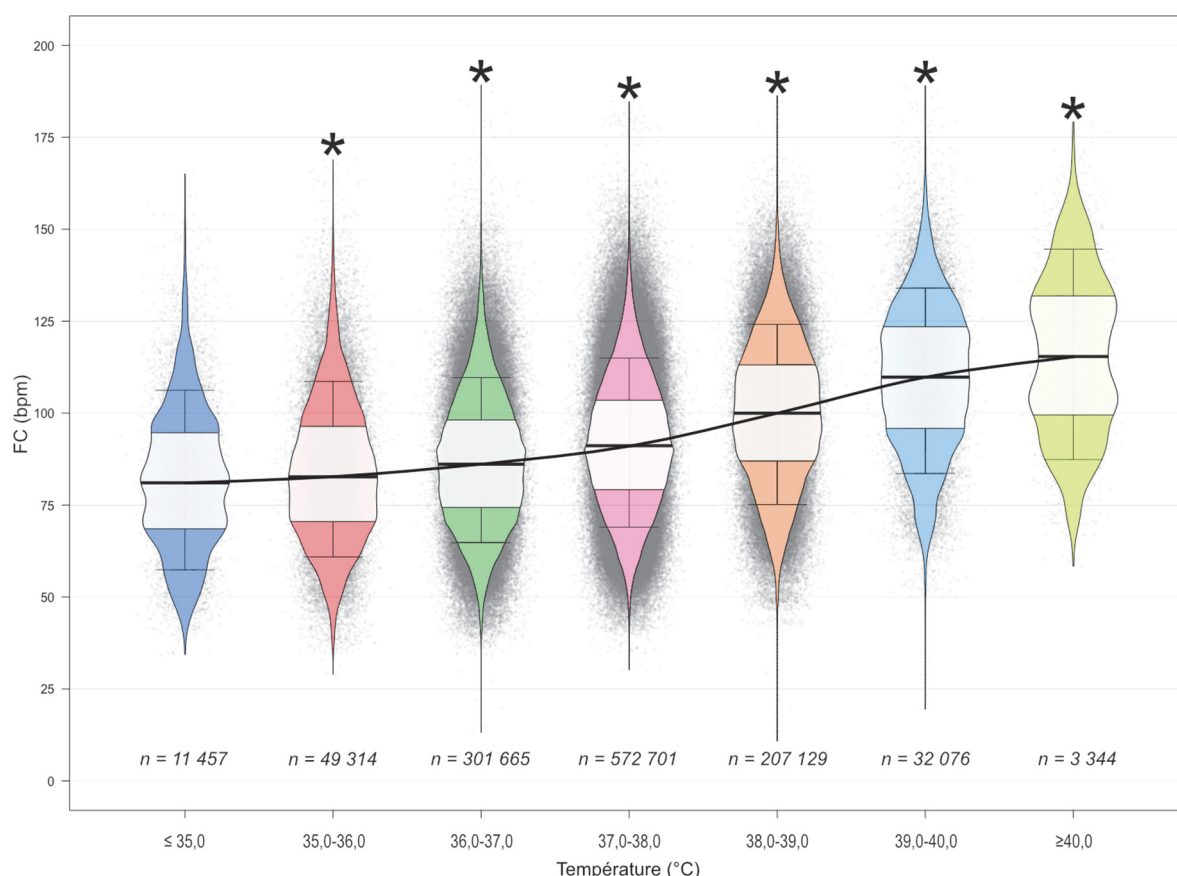


Figure 6 : “Bean plot” de la fréquence cardiaque moyenne en fonction de la température centrale. L'enveloppe autour des diagrammes en boîte représente la distribution des valeurs au sein de l'intervalle. * : $P < 0,05$ versus la plage de température précédente.

La durée médiane de séjour était elle aussi, influencée par la température maximale atteinte par les patients au cours du séjour (Figure 7). Les patients chez qui la température n'avait, au cours du séjour, pas dépassé 38°C ($n = 1\,522$ (29,6%)) avaient une durée médiane de séjour significativement plus courte ($P < 0,005$) que les patients chez qui la température avait dépassé les 39°C ($n = 1\,433$ (27,7%)) soit de respectivement de 3 [IQR 2 - 5] vs. 9 [IQR 5 - 18] jours.

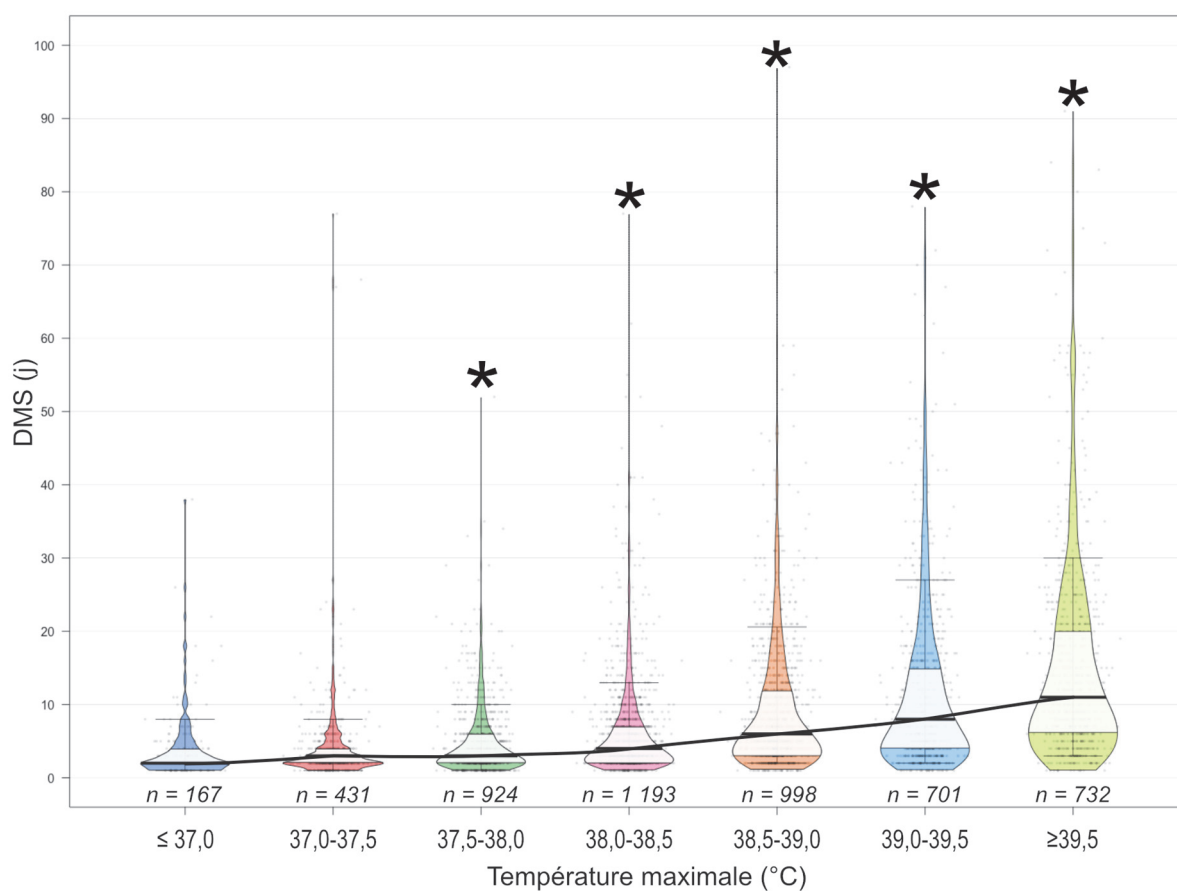
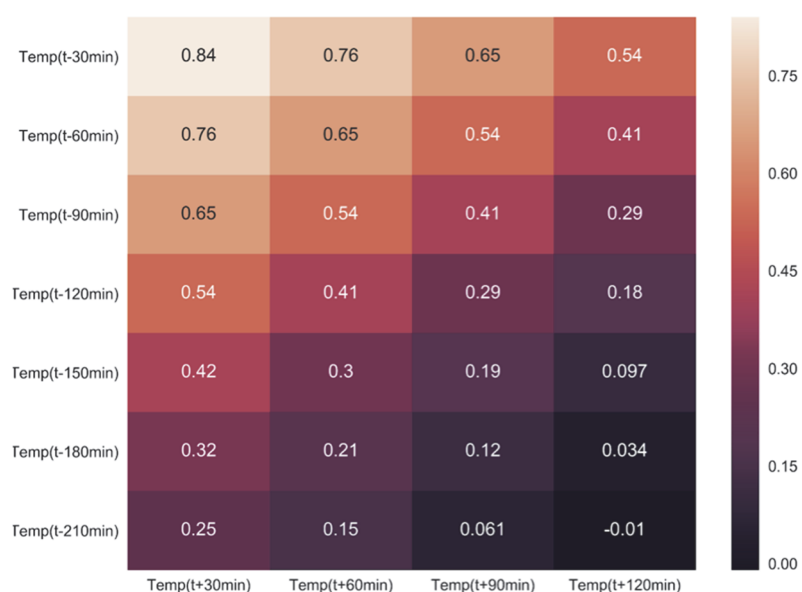


Figure 7 : "Bean plot" de la durée médiane de séjour en fonction de la température maximale au cours du séjour. * $P < 0,05$ versus la plage de température précédente.

(n = nombre de patients, la durée de séjour est écrêtée à 100 jours pour plus de lisibilité)

Concernant les corrélations entre les différentes variables, les valeurs passées de la température étaient évidemment celles qui affichaient la plus grande corrélation avec la valeur de température future (Figure 8A). Pour les autres variables, la fréquence cardiaque était celle qui affichait la meilleure corrélation, en revanche, les valeurs de pression artérielle semblaient être celles qui avaient le moins de corrélation avec la température (Figure 8B).

A



B

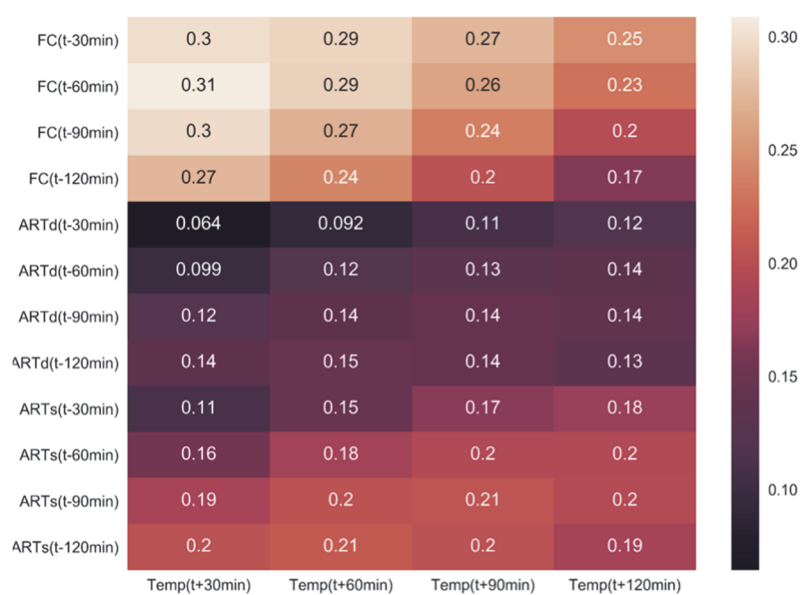


Figure 8 : Table de corrélations entre les variations futures de température et les variations passées de la température (A) et des autres variables (B).

La corrélation est évaluée par les coefficients de Pearson, qui sont affichés dans le tableau.

3.4. Création de l'algorithme

Dans le but d'entraîner les algorithmes et de limiter le sur-apprentissage, la cohorte de patients a été randomisée en (1) une cohorte d'apprentissage (1 237 patients) sur laquelle nous avons entraîné les différents algorithmes et (2) une cohorte de validation (825 patients) permettant leur optimisation. Les deux cohortes étaient comparables en termes de durée médiane de séjour (5 [IQR 3 - 12] vs. 5 [IQR 2 - 12] jours ; $P = 0,34$), de température médiane (37,3 [IQR 37,0 - 37,5] vs. 37,2 [IQR 36,9 - 37,5] °C ; $P = 0,17$), et d'incidence de la fièvre (58% vs. 59% ; $P = 0,48$). L'ensemble des algorithmes ont été entraînés sur 19 années cumulées de données de température, et optimisé sur 13 années cumulées.

3.5. Résultat sur la cohorte d'évaluation des différents algorithmes

Les algorithmes ont ensuite été testés sur une cohorte d'évaluation comprenant 3 084 patients. L'ensemble de ces patients a été admis à l'Hôpital Nord sur la période d'étude et correspondait aux critères d'inclusion (cf. Flow diagram, Figure 4). Dans cette cohorte les patients avaient une durée médiane de séjour de 5 [IQR 2 - 9] jours, une température médiane de 37,4 [IQR 37,0 - 37,8] °C, et l'incidence de la fièvre était de 58%.

3.5.1. Prédiction d'une valeur numérique de température à un instant (t)

Concernant la prédiction d'une valeur numérique de la température centrale à t+1h, la meilleure précision était obtenue en utilisant l'algorithme dérivé d'un réseau de neurones contenant deux couches successives de 64 neurones. La différence entre les algorithmes était faible, de l'ordre de 1%, mais suffisante pour être significatives (Tableau 1). Après apprentissage, l'algorithme prédisait correctement 89,8% des valeurs dans un intervalle de $\pm 0,1$ °C par rapport à la valeur réelle. La différence moyenne entre la valeur prédite et réelle était, en valeur absolue, de 0,04 (IC 95% 0,00-0,20) °C (Figure 9A). Les paramètres ayant la plus forte pondération dans le réseau de neurones étaient les valeurs passées de la température. L'ajout de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle ne permettait qu'un faible gain de précision, de l'ordre de 1% de valeurs supplémentaire prédites dans l'intervalle, mais qui était toutefois significatif.

La meilleure prédiction d'une valeur numérique de température à (t+2h) était elle aussi obtenue en utilisant les réseaux de neurones. Après entraînement de l'algorithme, 53,0% des

valeurs étaient contenues dans l'intervalle de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (Tableau 1). La différence moyenne, en valeur absolue, entre les valeurs réelles et prédites était de 0,13 (IC 95% 0,00 – 0,45) $^{\circ}\text{C}$ (Figure 9B). Là encore, la précision n'était que faiblement améliorée par l'ajout des valeurs de fréquence cardiaque et de pression artérielle, mais la différence était tout de même significative.

La figure 10 donne un exemple d'une courbe de température prédite à 1 heure et à 2 heures par rapport à la température observée.

Tableau 1 : Précisions des différents algorithmes en fonction du délai de prédiction.

La significativité est calculée par rapport au réseau de neurones

qui avait la précision la plus grande. L'évaluation était faite sur 550 000 valeurs.

Méthode d'apprentissage	Pourcentage de valeurs correctement prédites à $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$			
	t+1h00		t+2h00	
	Validation	Évaluation	Validation	Évaluation
Régression linéaire	88,5 *	86,8 *	51,7 *	49,0 *
Random Forest	89,4 *	87,7 *	54,6 *	52,5 *
Gradient Boosting Machine	87,5*	86,8 *	52,8 *	50,1 *
Machine à vecteur de support	88,6 *	84,8 *	49,3 *	47,8 *
Réseaux de neurones	91,6	89,8	56,1	53,0

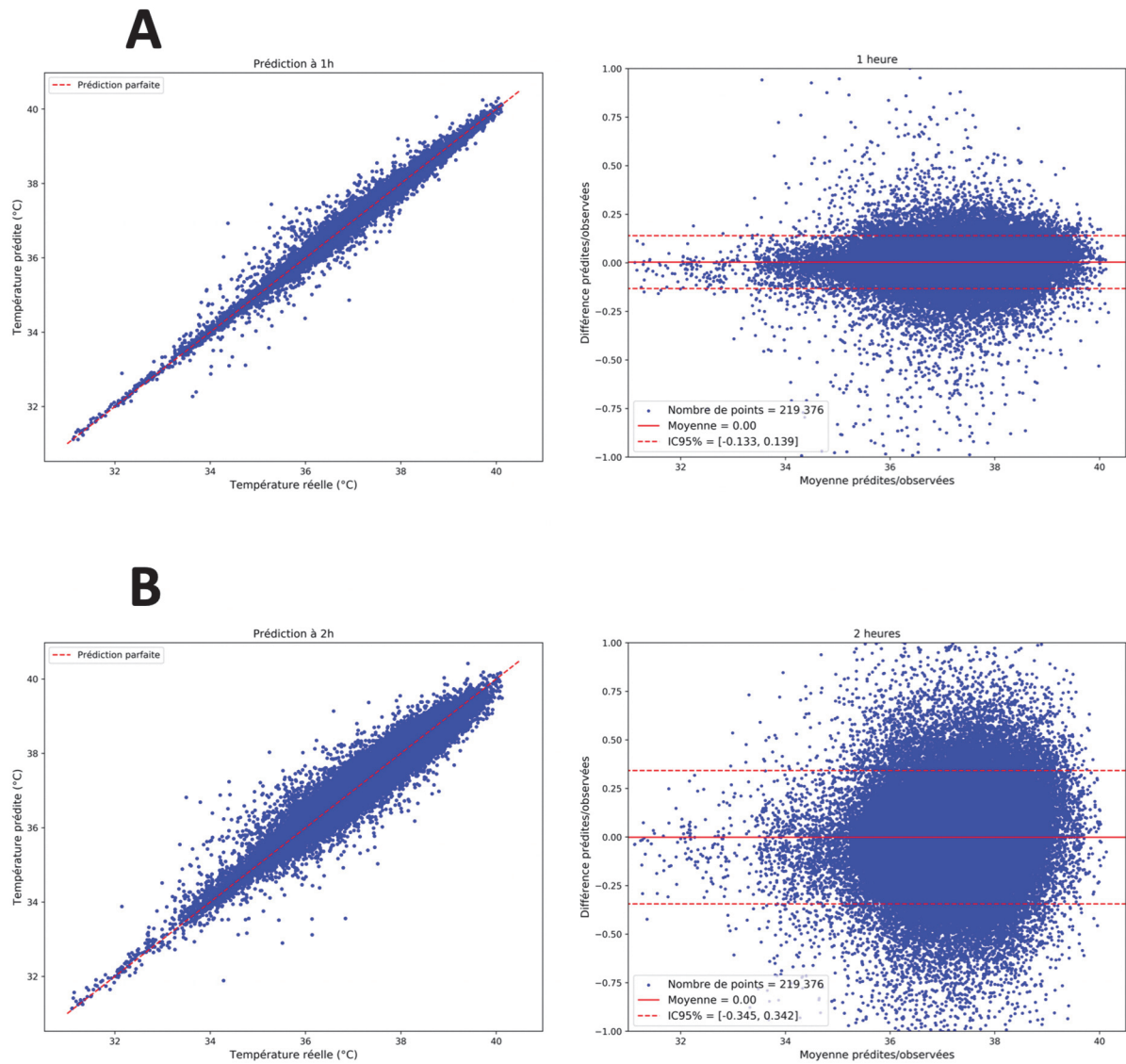


Figure 9 : Comparaison entre les valeurs réelles et prédites, et graphiques de Blant et Altman concernant la prédiction d'une valeur numérique à 1 heure (A) et 2 heures (B)

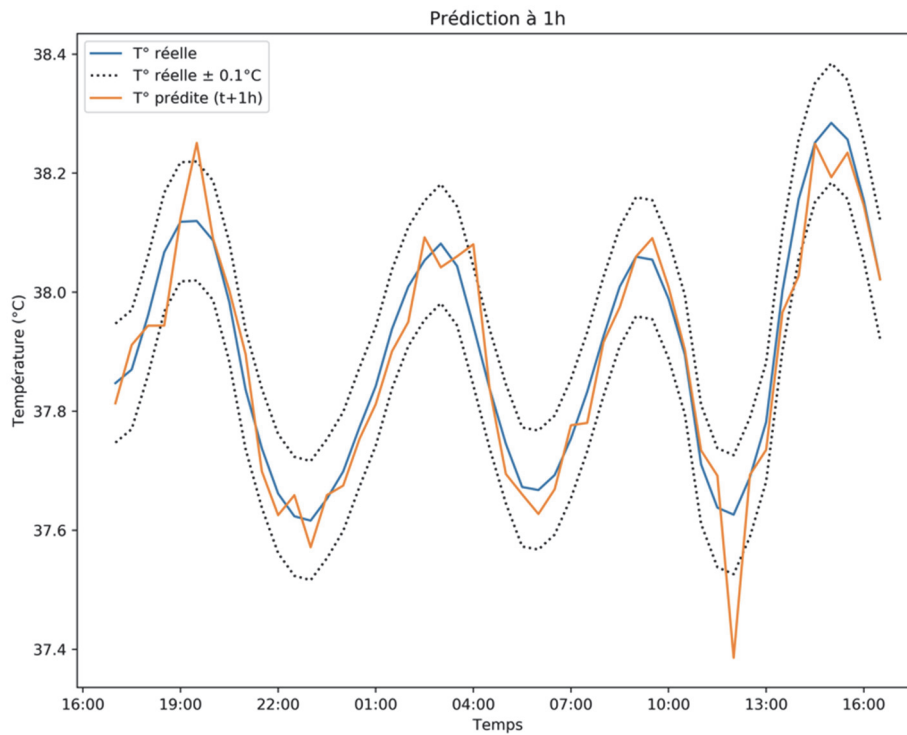
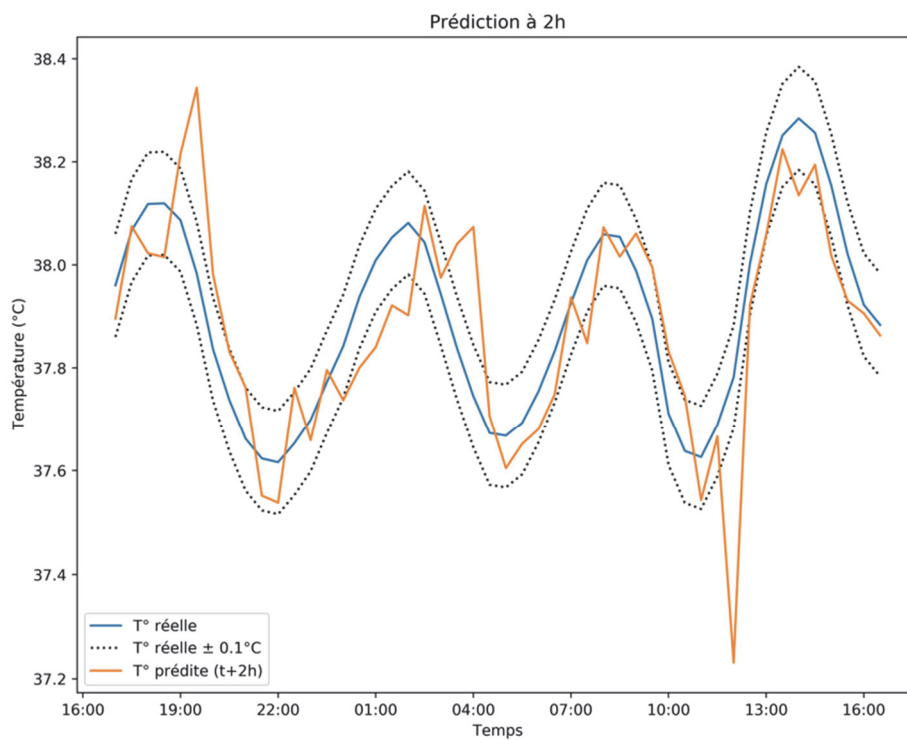
A**B**

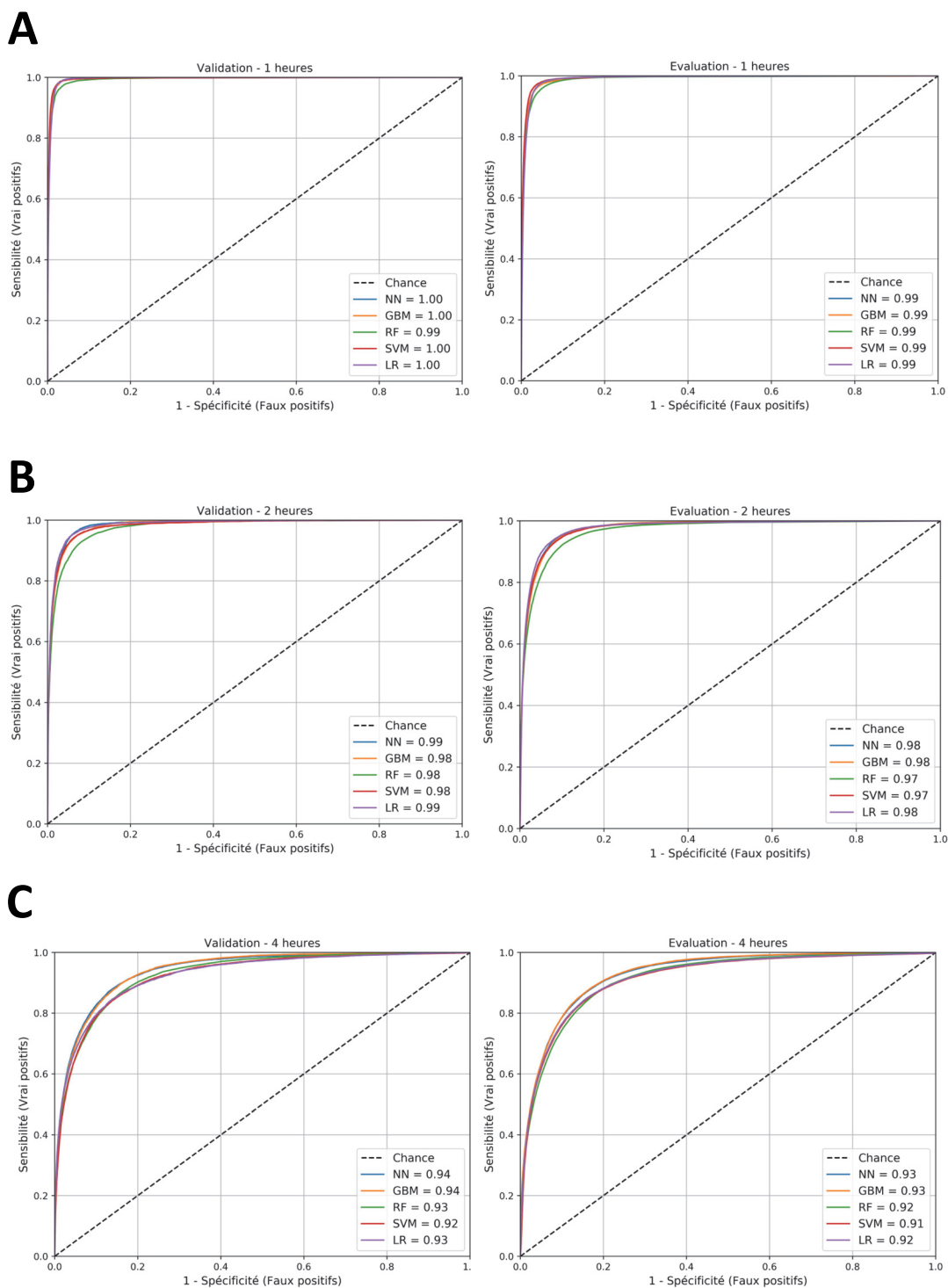
Figure 10 : Exemple d'une courbe de température prédite (orange) 1 heure (A) et 2 heures (B) avant sa survenue, et la température corporelle observée (bleu).

3.5.2. Prédiction dichotomique du risque de fièvre

Le réseau de neurones s'est avéré être, sur la cohorte de validation de l'algorithme, la méthode la plus performante pour prédire de façon dichotomique la survenue dans l'heure qui suit d'une fièvre. La ROC_{AUC} était de 0,996 (IC95% 0,995 – 0,997). La différence avec les autres algorithmes était significative, excepté pour les SVM ($P = 0,056$). En testant l'algorithme sur la cohorte d'évaluation, la ROC_{AUC} était de 0,992 (IC95% 0,991 - 0,993). La sensibilité et la spécificité obtenues étaient de respectivement 98% et 95%.

Concernant les prédictions du risque de fièvre à plus long terme, le réseau de neurone était systématiquement le plus performant sur la cohorte de validation (Figure 11). Les aires sous la courbe concernant la prédiction dans les deux, et quatre prochaines heures étaient respectivement de 0,985 (IC95% 0,984 – 0,996) et 0,942 (IC95% 0,939 - 0,944). La différence avec les autres algorithmes était significative, excepté pour la régression logistique à deux heures ($P = 0,59$) et les GBM à quatre heures ($P = 0,81$).

En revanche, après application de l'algorithme à la cohorte d'évaluation, la régression logistique et les GBM étaient les plus performants pour la prédiction de fièvre à 2 et 4 heures respectivement. Ainsi, les ROC_{AUC} étaient de 0,977 (IC95% 0,976 - 0,978) à 2 heures, et de 0,931 (IC95% 0,930 - 0,932) à 4 heures. Avec ces algorithmes, les sensibilités et spécificités obtenues étaient de respectivement de 94% et 92% pour la prédiction à 2 heures, et de 88% et 83% à 4 heures (Figure 11).



(NN: Neural Network, GBM: Gradient Boosting Machines, RF: Random Forest, SVM: Support Vector Machines, LR: Logistic regression)

Figure 11 : Courbes ROC concernant la précision du risque de fièvre dans les 1 heure (A), 2 heures (B) et 4 heures (C) suivantes. A gauche, testées sur les données de validation, et à droite sur les données de validations

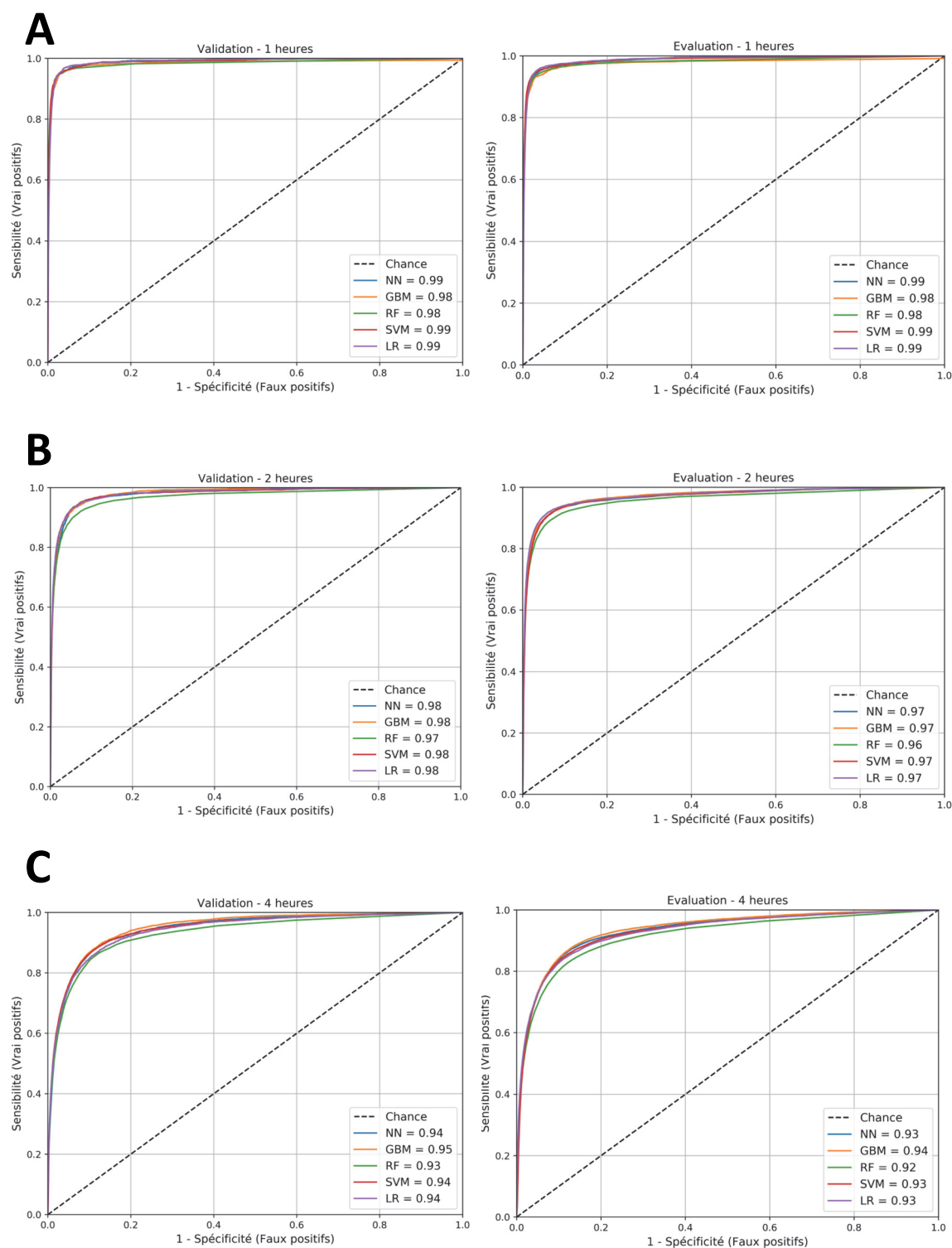
3.5.3. Prédiction dichotomique du risque d'hypothermie

Sur la cohorte de validation, le réseau de neurones était l'algorithme le plus performant pour prédire le risque d'hypothermie dans l'heure suivante (Figure 12). L'aire sous la courbe ROC était de 0,990 (IC95% 0,987 - 0,992). La différence avec les autres algorithmes était statistiquement significative avec les modèles ensemblistes, mais pas avec les régressions logistiques ($P = 0,53$) ni les SVM ($P = 0,63$).

Appliqué à la cohorte d'évaluation, le réseau de neurones permettait d'obtenir une ROC_{AUC} de 0,987 (IC95% 0,985 - 0,989). La différence était significative avec les autres modèles à l'exception des RL. Sur cette cohorte, et avec cet algorithme, la sensibilité et la spécificité obtenues étaient respectivement de 95% et 96%.

La meilleure prédiction à deux heures était obtenue, sur la cohorte de validation, avec l'algorithme dérivé des GBM. La ROC_{AUC} était de 0,982 (IC95% 0,980 - 0,984). La différence avec les autres algorithmes était significative à l'exception des RL ($P = 0,13$) et les SVM ($P = 0,63$). En appliquant les algorithmes à la cohorte d'évaluation, le meilleur résultat était obtenu par les RL avec une ROC_{AUC} de 0,971 (IC95% 0,969 - 0,973). La différence était significative avec les autres algorithmes à l'exception des GBM ($P = 0,25$). La sensibilité et spécificité obtenues étaient dans ce cas de respectivement 92% et 94%.

La meilleure prédiction à 4 heures était également réalisée par les GBM, avec une ROC_{AUC} à 0,949 (IC95% 0,946 - 0,952) sur la cohorte de validation. Sur la cohorte d'évaluation, la ROC_{AUC} obtenue était de 0,936 (IC95% 0,934 - 0,938). Dans les deux cas, la différence était significative avec les autres algorithmes. Sur la cohorte d'évaluation, la sensibilité et la spécificité obtenues étaient toutes les deux de 87% (Figure 12).



(NN: Neural Network, GBM: Gradient Boosting Machines, RF: Random Forest, SVM: Support Vector Machines, LR: Logistic regression)

Figure 12 : Courbes ROC concernant la précision du risque d'hypothermie dans les 1 heure (A), 2 heures (B) et 4 heures (C) suivantes. A gauche, testées sur les données de validation, et à droite sur les données d'évaluation.

4. DISCUSSION

L'objectif de l'étude était, d'une part, de prédire une valeur numérique de température à une heure et à deux heures, chez les patients hospitalisés en réanimation. Grâce à l'utilisation d'un réseau de neurones analysant les valeurs présentes et passées de la température, la fréquence cardiaque, et la pression artérielle, nous avons obtenu un algorithme dont la précision à une heure, à $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, était de 89,8%. La précision à plus long terme était moins bonne, avec 53% de valeurs prédites dans l'intervalle de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ à deux heures. Concernant la prédiction du risque de survenue d'une fièvre ou d'une hypothermie, les réseaux de neurones obtenaient une excellente aire sous la courbe une heure en avance. Les prédictions à 2 et 4 heures étaient aussi fiables en utilisant les régressions logistiques et les GBM pour la prédiction d'une fièvre. La prédiction du risque d'hypothermie à 2 et 4 heures était lui aussi très fiable en utilisant les GBM.

L'incidence de la fièvre dans notre cohorte de 5 146 patients, était de 58%. Cette incidence était supérieure à celle habituellement rapportée dans la littérature qui avoisine plutôt les 40%.^{22,23} Cela peut partiellement s'expliquer par la proportion importante de patients neurolésés. Dans cette population spécifique l'incidence de la fièvre peut aller jusqu'à 70% des patients.¹ Une autre explication peut venir du fait que, la définition de la fièvre dans la littérature diffère selon les auteurs, avec des valeurs allant de $37,5^{\circ}\text{C}$ à $39,0^{\circ}\text{C}$.²³ Nous avons utilisé comme définition de la fièvre celle du CDC avec un seuil défini pour une température supérieure à $38,3^{\circ}\text{C}$.²¹ Le temps passé au-dessus de cette valeur peut sembler important alors que nous avons dans nos unités un large recours au contrôle ciblé de la température avec des méthodes asservies.

La prévision de la survenue d'une fièvre ou d'une hypothermie dans les heures à venir a plusieurs intérêts. Cette prédiction permettrait, d'une part, de définir des patients « à risque » de température « extrêmes ». En effet, dans nos unités de réanimation où le nombre de patient est important, il est difficile d'être attentif à toutes les courbes de températures, et à la tendance ascendante ou descendante de celles-ci. Grâce à un algorithme d'IA, l'identification des patients à risque de développer une fièvre ou d'hypothermie pourrait être automatisée. Le modèle nécessite maintenant d'être testé de manière prospective, afin d'évaluer sa précision sur des données cliniques analysées en temps réel. Il est tout à fait imaginable d'afficher sur un logiciel métier, une valeur numérique prévisionnelle à 1 ou 2 heure(s) ainsi que la probabilité de survenue d'une fièvre ou d'une hypothermie. Si la précision s'avérait équivalente lors de l'étude prospective, il serait intéressant d'évaluer le retentissement de l'utilisation d'un tel algorithme

sur l'incidence des épisodes fébriles ou d'hypothermie chez les patients neurolésés. Ces outils permettraient d'anticiper la survenue de la fièvre qui représente un des principaux facteurs d'agression cérébrale secondaire d'origine systémique (ACSOS) chez ces patients. Ils pourraient ainsi bénéficier en préemptif de la mise en place de traitements antipyrétiques qu'ils soient mécaniques ou médicamenteux. L'impact de ces mesures dont la mise en place serait dictée par l'algorithme devra être évalué sur le devenir neurologique de ces patients.

S'il est admis que l'incidence des épisodes fébriles chez les patients neurolésés est associée à un plus mauvais pronostic neurologique et à une mortalité accrue, l'impact des thérapeutiques antipyrétiques semble plus difficile à mettre en évidence.

Dans le cadre des accidents vasculaires cérébraux, l'administration systématique de Paracétamol à dose élevée (6g/24h), évaluée contre placebo, ne semble pas améliorer le pronostic neurologique ou la mortalité, et cela malgré une diminution significative de la température centrale dans le groupe Paracétamol.^{24,25} De même, le contrôle ciblé de la température chez les patients traumatisés crâniens grave n'a pas permis de mettre en évidence d'amélioration du devenir neurologique.²⁶ Plusieurs séries de cas cliniques retrouvent cependant une corrélation entre les variations de température et celles de pression intracrânienne.²⁷⁻²⁹ Dans le même sens, Puccio *et coll.*³⁰ retrouvaient des valeurs de pression intracrânienne plus basses chez les patients ayant bénéficié d'un contrôle ciblé entre 36,0°C et 36,5°C, à la phase aiguë d'un traumatisme crânien.

De plus, dans la population générale admise en soins critiques, l'effet des traitements antipyrétiques reste débattu. Lors de la prise en charge des patients septiques, l'utilisation des thérapeutiques antipyrétiques ne semble pas modifier la durée de séjour³¹ ou la mortalité.^{32,33} Certains auteurs ont d'ailleurs retrouvé une augmentation de la mortalité chez un groupe de patients septiques traités par Paracétamol pour les températures centrales supérieures à 38,5°C et par refroidissement externe pour les températures supérieures à 40°C.³⁴

Les applications des méthodes d'IA aux prédictions de séries temporelles sont multiples, en particulier en ce qui concerne les patients des unités de réanimation. En effet, si la température est une variable à grande inertie, avec des variations s'étendant sur plusieurs heures et rendant fiables les prédictions à plus ou moins long terme, ces prédictions pourraient s'appliquer à d'autres paramètres, et notamment à la fréquence cardiaque et à la pression artérielle, pour la

détection, à plus court terme, des épisodes de tachycardie ou d'hypotension. Concernant la pression artérielle, certains travaux ont déjà testé leur application en réanimation et au bloc opératoire. Par exemple, Rocha *et coll.* s'intéressaient à la prédiction d'un épisode hypotensif dans l'heure suivante en utilisant les réseaux de neurones, et les valeurs passées de pression artérielle moyenne. Les auteurs obtenaient une sensibilité de 82% pour une spécificité de 78%.³⁵ Plus récemment, et en utilisant uniquement la forme de l'onde de pouls, à partir de laquelle était déduite plus de 3 000 paramètres pour un unique cycle cardiaque, Hatib *et coll.* ont réussi à prédire la survenue d'une hypotension dans les 15 minutes suivantes avec une sensibilité de 87% pour une spécificité de 88%.³⁶

Ces méthodes de prédictions semblent prometteuses et bien plus performantes que les méthodes classiques utilisées en clinique. Un autre domaine d'application est celui de la pronostication en réanimation.³⁷⁻³⁹ Par exemple, l'équipe de Pirracchio *et coll.* a pu mettre au point un algorithme permettant d'obtenir, en fournissant les mêmes valeurs que celles utilisées dans les scores pronostiques classiques (SOFA et SAPS II) et en combinant différentes méthodes d'IA, de meilleurs résultats que ces scores. Ainsi, ils obtenaient une ROC_{AUC} de 0,85 [95% CI 0,84–0,85] contre 0,71 (95% CI 0,70–0,72) et 0,78 (95% CI 0,77–0,78) pour respectivement les scores de SOFA et du SAPS-II.⁴⁰ L'apport de ces méthodes en tant qu'aide à la décision thérapeutique semble aussi pouvoir modifier nos prises de décisions au lit du patient. Concernant la prise en charge des patients septiques, Komorowski *et coll.* ont mis au point un modèle permettant d'évaluer la nécessité d'amines ou d'expansion volémique.¹⁶ En évaluant leur algorithme de manière rétrospective sur les patients d'une base de données indépendante, ils retrouvaient une mortalité diminuée chez les patients qui avaient effectivement reçu la thérapeutique suggérée par l'algorithme. Leur travail mettait aussi en évidence une augmentation de la mortalité chez les patients ayant reçu des doses différentes d'amines que celles suggérées par l'algorithme, et ce pour des doses supérieures et inférieures, semblant confirmer qu'il existe une dose optimale d'amines à adapter de manière individuelle à un instant (t) de la prise en charge d'un patient.

Le principal écueil de ces méthodes reste qu'il faut, suivant les algorithmes utilisés, accepter une certaine opacité dans leur fonctionnement. En effet, il n'est pas possible d'analyser le raisonnement qui a conduit un réseau de neurones à donner telle ou telle réponse, ou d'explorer les différents arbres d'une méthode ensembliste, car le plus souvent trop nombreux. Pourtant ces méthodes sont celles qui procurent les meilleurs résultats, mais malgré toute la précision

qu'elles semblent avoir, elles soulèvent de nombreuses questions d'ordre éthique quand il s'agit de les appliquer au lit du patient. La transparence de ces méthodes et la possibilité de comprendre la manière dont fonctionnent les algorithmes représentent un des enjeux majeurs des années à venir, et pourra certainement garantir une meilleure acceptation ainsi qu'une meilleure intégration de ces nouveaux outils dans nos prises de décisions quotidiennes.

Il doit être mentionné que notre étude comporte plusieurs limites méthodologiques. La principale limite réside dans l'absence de toute information sur les thérapeutiques entreprises chez les patients fébriles. Ces données n'étant pas encore informatisées, leur intégration dans le modèle de prédiction n'était pas possible. Il est probable que l'intégration de ces données à partir d'un logiciel métier permettrait d'améliorer encore la précision de l'algorithme d'IA. En effet, les valeurs erronées surviennent principalement lors des périodes d'infléchissement rapide de la courbe de température. En donnant à l'algorithme cette donnée supplémentaire, il pourrait anticiper les variations de température dues aux thérapeutiques antipyrétiques, ou à celles liées à un réchauffement externe du patient, et ainsi améliorer la précision des prédictions.

Il en est de même sur les données cliniques des patients. L'effet du poids et de la taille semblent, à la fois en réanimation et au bloc opératoire, influencer les variations de température, des patients.^{41,42} De même l'âge, la dénutrition et l'existence de comorbidités semblent également influencer les capacités de régulation thermique des patients.⁴² Ces données n'étaient cependant pas fournies à notre algorithme. Là encore, il est possible que leur ajout via un logiciel métier permette d'améliorer la précision du modèle.

En entraînant l'algorithme sur une cohorte de patients tout venant sans définir de sous-groupes (neurolésés, post-opérés, choc septiques...), on constitue un modèle, certes applicable pour tous, mais certainement moins précis qu'un modèle plus ciblé sur une population de patients. En effet, il existe probablement plusieurs modèles de variation de la température. Le niveau de gravité initiale des patients semble par exemple influencer l'amplitude de variation de la température. Les patients les plus graves présentent une diminution de la complexité de la courbe de température.^{43,44} Il existe probablement des modes de variation différents selon l'origine infectieuse, neurologique, ou inflammatoire de la fièvre. En particulier, il existe des modes de variation orientant vers certaines étiologies infectieuses (fièvre typhoïde, paludisme, etc....).⁴⁵ On gagnerait ainsi probablement en précision en générant différents modèles, qui seraient ensuite appliqués aux patients correspondants. A l'inverse, la mise en évidence de différents modes de

variation de la température, et leur détection chez les patients pourrait permettre d'apporter une aide étiologique aux fièvres en réanimation. On différencie habituellement les étiologies en s'appuyant sur le contexte clinique et l'expérience du clinicien, et même si certains facteurs sont reconnus comme étant en faveur d'une étiologie centrale,^{46,47} il existe probablement une place pour les méthodes d'intelligence artificielle, dans la mesure où ces algorithmes sont capables de détecter des patterns et d'établir des corrélations entre les variables, qui ne peuvent être détectés et analysés par les cliniciens. Par exemple, Papaioannou *et coll.*⁴⁸ ont utilisé la variabilité de la température pour différencier les patients septiques et ceux présentant un SIRS non infectieux. Cependant, l'absence d'informatisation des données de prise en charge des patients de notre réanimation ne nous a pas permis, pour le moment, d'obtenir un nombre de données suffisant et exploitable pour répondre à cette problématique. On peut imaginer une détection automatique d'une variation spécifique de la fièvre comme dans les fièvres canalaires ce qui orienterait vers un siège d'infection (infections des voies biliaires, sigmoïdite, infections urinaires, etc.).

La précision pourrait aussi être grandement améliorée grâce à une autocorrection, qui serait individualisée, et réajustée de manière permanente au fil des prédictions. Dans notre étude, la prédiction d'une valeur numérique à t+2h produisait un signal très bruité, oscillant autour d'une valeur moyenne qui, elle, était proche de la valeur réelle. L'utilisation de méthodes de lissage du signal et de réduction du bruit, comme par exemple un filtre de Kalman ou un filtre passe bas, pourrait permettre, après optimisation, une amélioration des scores de prédiction.

La diminution importante de la précision à deux heures, peut aussi s'expliquer par le choix des algorithmes testés. En effet, ces algorithmes ne sont pas spécifiquement dédiés à la prédiction des séries temporelles. Les méthodes utilisant les moyennes glissantes (ARMA, ARIMA, SARIMA...) devraient, théoriquement, être plus performantes pour les prédictions de valeurs numériques et mériteraient d'être testées et adaptées à ce modèle.

De par son design rétrospectif, l'analyse des courbes, et leur prétraitement sont aussi plus aisés. En effet, les valeurs étant lissées grâce à une fenêtre glissante, certaines valeurs étaient modifiées en fonction des valeurs futures, ce qui pourrait poser un problème pour l'application prospective de cet algorithme. De plus, dans nos prédictions, les valeurs de températures données et prédites ont une précision de 3 décimales (du fait du lissage), ce qui n'est pas le cas en pratique clinique (précision au dixième), et peut, là encore, rendre difficile l'application de l'algorithme en temps réel.

5. CONCLUSION

La température centrale est un facteur déterminant du pronostic des patients neurolésés. Ses variations sont soumises à un rythme circadien, et la durée de séjour augmente en fonction de la température maximale atteinte au cours du séjour.

En utilisant un réseau de neurones, la prédiction d'une valeur de température est possible mais aussi très fiable jusqu'à une heure en avance. De la même manière, la prédiction d'un risque de survenue d'une fièvre ou d'une hypothermie est elle aussi fiable en utilisant un réseau de neurone, ou un algorithme de basé sur des *Gradient Boosting Machines*. Avec l'utilisation de ces algorithmes, la prédiction du risque était fiable jusque dans les 4 heures suivantes.

L'implémentation de tels algorithmes dans un logiciel métier pourrait permettre d'améliorer la prise en charge de ces épisodes en soins critiques, dans l'idée d'en diminuer au maximum l'incidence.

Si ces nouvelles méthodes d'aide au diagnostic et à la décision thérapeutique viennent à être utilisées dans les années à venir, elles pourraient grandement changer nos pratiques. En effet, elles pourraient permettre l'arrivée des concepts de médecine prédictive au lit du patient de réanimation, et certaines thérapeutiques pourraient être débutées avant même la survenue des évènements détectés. Il est cependant nécessaire d'améliorer l'interprétabilité et l'explicabilité de ces algorithmes afin de garantir leur acceptation et leur utilisation par le corps médical.

6. RÉFÉRENCES

1. Reith J, Jørgensen HS, Pedersen PM, et al. Body temperature in acute stroke: relation to stroke severity, infarct size, mortality, and outcome. *The Lancet*. 1996;347(8999):422-425. doi:10.1016/S0140-6736(96)90008-2
2. Fernandez A, Schmidt JM, Claassen J, et al. Fever after subarachnoid hemorrhage: Risk factors and impact on outcome. *Neurology*. 2007;68(13):1013-1019. doi:10.1212/01.wnl.0000258543.45879.f5
3. Mackowiak PA. Concepts of Fever. *Arch Intern Med*. 1998;158(17):1870-1881. doi:10.1001/archinte.158.17.1870
4. Refinetti R, Menaker M. The circadian rhythm of body temperature. *Physiol Behav*. 1992;51(3):613-637. doi:10.1016/0031-9384(92)90188-8
5. Stocchetti N, Rossi S, Zanier E, Colombo A, Beretta L, Citerio G. Pyrexia in head-injured patients admitted to intensive care. *Intensive Care Med*. 2002;28(11):1555-1562. doi:10.1007/s00134-002-1513-1
6. Todd MM, Hindman BJ, Clarke WR, et al. Perioperative fever and outcome in surgical patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Neurosurgery*. 2009;64(5):897-908. doi:10.1227/01.NEU.0000341903.11527.2F
7. Dietrich WD, Hailey M. I Delayed Posttraumatic Brain Hyperthermia Worsens IV Outcome after Fluid Percussion Brain Injury: A Light and Electron Microscopic Study in Rats. :9.
8. Clifton GL, Jiang JY, Lyeth BG, Jenkins LW, Hamm RJ, Hayes RL. Marked Protection by Moderate Hypothermia after Experimental Traumatic Brain Injury. *J Cereb Blood Flow Metab*. 1991;11(1):114-121. doi:10.1038/jcbfm.1991.13
9. Azzimondi G, Bassein L, Nonino F, et al. Fever in acute stroke worsens prognosis. A prospective study. *Stroke*. 1995;26(11):2040-2043.
10. Sacho RH, Vail A, Rainey T, King AT, Childs C. The Effect of Spontaneous Alterations in Brain Temperature on Outcome: A Prospective Observational Cohort Study in Patients with Severe Traumatic Brain Injury. *J Neurotrauma*. 2010;27(12):2157-2164. doi:10.1089/neu.2010.1384
11. Zeiner A, Holzer M, Sterz F, et al. Hyperthermia After Cardiac Arrest Is Associated With an Unfavorable Neurologic Outcome. *Arch Intern Med*. 2001;161(16):2007-2012. doi:10.1001/archinte.161.16.2007
12. Apkon M, Singhaviranon P. Impact of an electronic information system on physician workflow and data collection in the intensive care unit. *Intensive Care Med*. 2001;27(1):122-130. doi:10.1007/s001340000777
13. Nemati S, Holder A, Razmi F, Stanley MD, Clifford GD, Buchman TG. An Interpretable Machine Learning Model for Accurate Prediction of Sepsis in the ICU: *Crit Care Med*. 2018;46(4):547-553. doi:10.1097/CCM.0000000000002936
14. Gårdlund B, Dmitrieva NO, Pieper CF, Finfer S, Marshall JC, Taylor Thompson B. Six subphenotypes in septic shock: Latent class analysis of the PROWESS Shock study. *J Crit Care*. 2018;47:70-79. doi:10.1016/j.jcrc.2018.06.012

15. Komorowski M, Celi LA, Badawi O, Gordon AC, Faisal AA. The Artificial Intelligence Clinician learns optimal treatment strategies for sepsis in intensive care. *Nat Med*. 2018;24(11):1716-1720. doi:10.1038/s41591-018-0213-5
16. Meyer A, Zverinski D, Pfahringer B, et al. Machine learning for real-time prediction of complications in critical care: a retrospective study. *Lancet Respir Med*. 2018;6(12):905-914. doi:10.1016/S2213-2600(18)30300-X
17. Dziadzko MA, Novotny PJ, Sloan J, et al. Multicenter derivation and validation of an early warning score for acute respiratory failure or death in the hospital. *Crit Care*. 2018;22(1):286. doi:10.1186/s13054-018-2194-7
18. Toulouse E, Masseguin C, Lafont B, et al. French legal approach to clinical research. *Anaesth Crit Care Pain Med*. 2018;37(6):607-614. doi:10.1016/j.accpm.2018.10.013
19. Laupland KB, Shahpori R, Kirkpatrick AW, Ross T, Gregson DB, Stelfox HT. Occurrence and outcome of fever in critically ill adults*: *Crit Care Med*. 2008;36(5):1531-1535. doi:10.1097/CCM.0b013e318170efd3
20. Egi M, Morita K. Fever in non-neurological critically ill patients: A systematic review of observational studies. *J Crit Care*. 2012;27(5):428-433. doi:10.1016/j.jcrc.2011.11.016
21. den Hertog HM, van der Worp HB, van Gemert HMA, et al. The Paracetamol (Acetaminophen) In Stroke (PAIS) trial: a multicentre, randomised, placebo-controlled, phase III trial. *Lancet Neurol*. 2009;8(5):434-440. doi:10.1016/S1474-4422(09)70051-1
22. de Ridder IR, den Hertog HM, van Gemert HMA, et al. PAIS 2 (Paracetamol [Acetaminophen] in Stroke 2): Results of a Randomized, Double-Blind Placebo-Controlled Clinical Trial. *Stroke*. 2017;48(4):977-982. doi:10.1161/STROKEAHA.116.015957
23. Launey Y, Nessler N, Le Cousin A, et al. Effect of a fever control protocol-based strategy on ventilator-associated pneumonia in severely brain-injured patients. *Crit Care*. 2014;18(6):689. doi:10.1186/s13054-014-0689-4
24. Rossi S, Zanier ER, Mauri I, Columbo A, Stocchetti N. Brain temperature, body core temperature, and intracranial pressure in acute cerebral damage. :7.
25. Stretti F, Gotti M, Pifferi S, Brandi G, Annoni F, Stocchetti N. Body temperature affects cerebral hemodynamics in acutely brain injured patients: an observational transcranial color-coded duplex sonography study. *Crit Care*. 2014;18(5):552. doi:10.1186/s13054-014-0552-7
26. Tokutomi T, Morimoto K, Miyagi T, Yamaguchi S, Ishikawa K, Shigemori M. Optimal temperature for the management of severe traumatic brain injury: effect of hypothermia on intracranial pressure, systemic and intracranial hemodynamics, and metabolism:11.
27. Puccio AM, Fischer MR, Jankowitz BT, Yonas H, Darby JM, Okonkwo DO. Induced Normothermia Attenuates Intracranial Hypertension and Reduces Fever Burden after Severe Traumatic Brain Injury. *Neurocrit Care*. 2009;11(1):82-87. doi:10.1007/s12028-009-9213-0
28. Kleimeyer JP, Harris AHS, Sanford J, Maloney WJ, Kadry B, Bishop JA. Incidence and Risk Factors for Postoperative Hypothermia After Orthopaedic Surgery: *J Am Acad Orthop Surg*. 2018;26(24):e497-e503. doi:10.5435/JAAOS-D-16-00742

29. Kongsayreepong S, Chaibundit C, Chadpaibool J, et al. Predictor of Core Hypothermia and the Surgical Intensive Care Unit: *Anesth Analg*. March 2003:826-833. doi:10.1213/01.ANE.0000048822.27698.28
30. Peres Bota D, Lopes Ferreira F, Mlot C, Vincent JL. Body temperature alterations in the critically ill. *Intensive Care Med*. 2004;30(5):811-816. doi:10.1007/s00134-004-2166-z
31. Varela M, Churruca J, Gonzalez A, Martin A, Ode J, Galdos P. Temperature Curve Complexity Predicts Survival in Critically Ill Patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006;174(3):290-298. doi:10.1164/rccm.200601-058OC
32. Kirkness CJ, Burr RL, Thompson HJ, Mitchell PH. Temperature Rhythm in Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Neurocrit Care*. 2008;8(3):380-390. doi:10.1007/s12028-007-9034-y
33. Ogoina D. Fever, fever patterns and diseases called 'fever' – A review. *J Infect Public Health*. 2011;4(3):108-124. doi:10.1016/j.jiph.2011.05.002
34. Hocker SE, Tian L, Li G, Steckelberg JM, Mandrekar JN, Rabinstein AA. Indicators of Central Fever in the Neurologic Intensive Care Unit. *JAMA Neurol*. October 2013. doi:10.1001/jamaneurol.2013.4354
35. Rabinstein AA, Sandhu K. Non-infectious fever in the neurological intensive care unit: incidence, causes and predictors. *J Neurol Neurosurg Amp Psychiatry*. 2007;78(11):1278-1280. doi:10.1136/jnnp.2006.112730
36. Papaioannou VE, Chouvarda IG, Maglaveras NK, Pneumatikos IA. Temperature variability analysis using wavelets and multiscale entropy in patients with systemic inflammatory response syndrome, sepsis and septic shock. *Crit Care*. 2012;16(2):R51. doi:10.1186/cc11255
37. Rocha T, Paredes S, de Carvalho P, Henriques J. Prediction of acute hypotensive episodes by means of neural network multi-models. *Comput Biol Med*. 2011;41(10):881-890. doi:10.1016/j.combiomed.2011.07.006
38. Hatib F, Jian Z, Buddi S, et al. Machine-learning Algorithm to Predict Hypotension Based on High-fidelity Arterial Pressure Waveform Analysis: *Anesthesiology*. 2018;129(4):663-674. doi:10.1097/ALN.0000000000002300
39. Dybowski R, Weller P, Chang R, Gant V. Prediction of outcome in critically ill patients using artificial neural network synthesised by genetic algorithm. *Lancet Lond Engl*. 1996;347(9009):1146-1150. doi:10.1016/s0140-6736(96)90609-1
40. Clermont G, Angus DC, DiRusso SM, Griffin M, Linde-Zwirble WT. Predicting hospital mortality for patients in the intensive care unit: A comparison of artificial neural networks with logistic regression models: *Crit Care Med*. 2001;29(2):291-296. doi:10.1097/0003246-200102000-00012
41. Kim S, Kim W, Park RW. A Comparison of Intensive Care Unit Mortality Prediction Models through the Use of Data Mining Techniques. *Healthc Inform Res*. 2011;17(4):232. doi:10.4258/hir.2011.17.4.232
42. Pirracchio R, Petersen ML, Carone M, Rigon MR, Chevret S, van der Laan MJ. Mortality prediction in intensive care units with the Super ICU Learner Algorithm (SICULA): a population-based study. *Lancet Respir Med*. 2015;3(1):42-52. doi:10.1016/S2213-2600(14)70239-5

SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis(e) 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.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. **Reçu(e) 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 déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque.

RÉSUMÉ

Introduction : La température centrale est un facteur déterminant du pronostic des patients neurolésés. Pourtant, cette valeur reste sous utilisée car souvent limitée à une interprétation par les cliniciens à un instant (t) ou de façon rétrospective. Parallèlement, les applications des algorithmes d'intelligence artificielles (IA) se multiplient, y compris dans le domaine médical. L'objectif de ce travail était de concevoir un algorithme d'IA qui soit capable, d'une part, de prédire la valeur de température du patient à une et deux heures, et d'autre part, de prédire la survenue d'une fièvre ou d'une hypothermie dans les heures à venir.

Matériel et Méthodes : Nous avons réalisé après accord du CPP, une étude observationnelle multicentrique au sein de la réanimation polyvalente de l'Hôpital de la Timone et de l'Hôpital Nord, portant sur les données de surveillance enregistrées entre janvier 2011 et janvier 2019. Les patients inclus étaient hospitalisés pendant au moins 24 heures et devaient disposer d'un monitoring invasif de la pression artérielle, de la fréquence cardiaque et de la température. Les méthodes de prédiction évaluées étaient les réseaux de neurones, les méthodes de Gradient Boosting et de Random Forest, les machines à vecteur de support, et les régressions linéaires.

Résultats : Sur la période d'étude, les données de 5 146 patients ont été incluses. Nous avons utilisé une cohorte d'apprentissage (n=1 237), une cohorte de validation (n=825) et testé les algorithmes sur une cohorte d'évaluation (n=3 084). Concernant la prédiction d'une valeur de température à une et deux heures, les réseaux de neurones étaient les plus performants, avec une précision de 89,8% et 53,0% respectivement. Pour la prédiction d'une fièvre, les aires sous la courbe ROC (ROC_{AUC}) étaient de 0,992 (IC95% 0,991 - 0,993) à une heure, 0,977 (IC95% 0,976 - 0,978) à deux heures et 0,931 (IC95% 0,930 - 0,932) à quatre heures. Concernant la prédiction d'une hypothermie, les ROC_{AUC} étaient de 0,987 (IC95% 0,985 - 0,989) à une heure, de 0,971 (IC95% 0,969 - 0,973) à deux heures et de 0,936 (IC95% 0,934 - 0,938) à quatre heures.

Conclusion : Notre travail est le premier à évaluer l'apport de l'IA en soins critiques dans le domaine de la température corporelle et sur un aussi grand nombre de patients. Grâce à notre algorithme, il est dorénavant possible de prédire avec une grande précision la valeur de température que le patient présentera dans l'heure qui suit. De plus, la détection des épisodes de fièvre ou d'hypothermie est fiable jusqu'à plusieurs heures avant leur survenue.

Mots-clés : Intelligence artificielle, température centrale, fièvre, hypothermie, neurolésés, réseau de neurone.