



HAL
open science

Évaluation d'un outil de Deep-Learning pour la segmentation automatique du tissu adipeux épicardique en tomодensitométrie thoracique basse dose: étude de faisabilité

Léa Ait-Yahia

► **To cite this version:**

Léa Ait-Yahia. Évaluation d'un outil de Deep-Learning pour la segmentation automatique du tissu adipeux épicardique en tomодensitométrie thoracique basse dose: étude de faisabilité. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03206791

HAL Id: dumas-03206791

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03206791>

Submitted on 23 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**Faculté des sciences
médicales et paramédicales**
Aix-Marseille Université

**Evaluation d'un outil de Deep-Learning pour la segmentation automatique
du tissu adipeux épicardique en tomographie thoracique basse dose :
étude de faisabilité**

T H È S E

Présentée et publiquement soutenue devant

**LA FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES ET PARAMÉDICALES
DE MARSEILLE**

Le 14 Avril 2021

Par Madame Léa AIT-YAHIA

Née le 31 mai 1994 à Marseille 05^{ème} (13)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de RADIOLOGIE ET IMAGERIE MÉDICALE NR

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur JACQUIER Alexis	Président
Monsieur le Professeur GAUBERT Jean-Yves	Assesseur
Madame le Professeur GABORIT Bénédicte	Assesseur
Monsieur le Professeur VIDAL Vincent	Assesseur
Monsieur le Docteur BARTOLI Axel	Directeur



**Faculté des sciences
médicales et paramédicales**
Aix-Marseille Université

**Evaluation d'un outil de Deep-Learning pour la segmentation automatique
du tissu adipeux épicardique en tomодensitométrie thoracique basse dose :
étude de faisabilité**

T H È S E

Présentée et publiquement soutenue devant

**LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES
DE MARSEILLE**

Le 14 Avril 2021

Par Madame Léa AIT-YAHIA

Née le 31 mai 1994 à Marseille 05^{ème} (13)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE NR

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur JACQUIER Alexis	Président
Monsieur le Professeur GAUBERT Jean-Yves	Assesseur
Madame le Professeur GABORIT Bénédicte	Assesseur
Monsieur le Professeur VIDAL Vincent	Assesseur
Monsieur le Docteur BARTOLI Axel	Directeur



FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES & PARAMÉDICALES

Doyen	:	Pr. Georges LEONETTI
Vice-Doyen aux affaires générales	:	Pr. Patrick DESSI
Vice-Doyen aux professions paramédicales	:	Pr. Philippe BERBIS
Conseiller	:	Pr. Patrick VILLANI
Assesseurs :		
➤ aux études	:	Pr. Kathia CHAUMOITRE
➤ à la recherche	:	Pr. Jean-Louis MEGE
➤ à l'unité mixte de formation continue en santé	:	Pr. Justin MICHEL
➤ pour le secteur NORD	:	Pr. Stéphane BERDAH
➤ Groupements Hospitaliers de territoire	:	Pr. Jean-Noël ARGENSON
➤ aux masters	:	Pr. Pascal ADALIAN

Chargés de mission :

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

ÉCOLE DE MEDECINE

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

Chargés de mission

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



ÉCOLE DE DE MAIEUTIQUE

Directrice : **Madame Carole ZAKARIAN**

Chargés de mission

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

ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION

Directeur : **Monsieur Philippe SAUVAGEON**

Chargés de mission

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

ÉCOLE DES SCIENCES INFIRMIERES

Directeur : **Monsieur Sébastien COLSON**

Chargés de mission

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

PROFESSEURS HONORAIRES

MM	AGOSTINI Serge	MM	DEVRED Philippe
	ALDIGHERI René		DJIANE Pierre
	ALESSANDRINI Pierre		DONNET Vincent
	ALLIEZ Bernard		DUCASSOU Jacques
	AQUARON Robert		DUFOUR Michel
	ARGEME Maxime		DUMON Henri
	ASSADOURIAN Robert		ENJALBERT Alain
	AUFFRAY Jean-Pierre		FAUGERE Gérard
	AUTILLO-TOUATI Amapola		FAVRE Roger
	AZORIN Jean-Michel		FIECHI Marius
	BAILLE Yves		FARNARIER Georges
	BARDOT Jacques		FIGARELLA Jacques
	BARDOT André		FONTES Michel
	BERARD Pierre		FRANCES Yves
	BERGOIN Maurice		FRANCOIS Georges
	BERLAND Yvon		FUENTES Pierre
	BERNARD Dominique		GABRIEL Bernard
	BERNARD Jean-Louis		GALINIER Louis
	BERNARD Jean-Paul		GALLAIS Hervé
	BERNARD Pierre-Marie		GAMERRE Marc
	BERTRAND Edmond		GARCIN Michel
	BISSET Jean-Pierre		GARNIER Jean-Marc
	BLANC Bernard		GAUTHIER André
	BLANC Jean-Louis		GERARD Raymond
	BOLLINI Gérard		GEROLAMI-SANTANDREA André
	BONGRAND Pierre		GIUDICELLI Sébastien
	BONNEAU Henri		GOUDARD Alain
	BONNOIT Jean		GOUIN François
	BORY Michel		GRILLO Jean-Marie
	BOTTA Alain		GRIMAUD Jean-Charles
	BOTTA-FRIDLUND Danielle		GRISOLI François
	BOURGEADE Augustin		GROULIER Pierre
	BOUVENOT Gilles		HADIDA/SAYAG Jacqueline
	BOUYALA Jean-Marie		HASSOUN Jacques
	BREMOND Georges		HEIM Marc
	BRICOT René		HOUEL Jean
	BRUNET Christian		HUGUET Jean-François
	BUREAU Henri		JAQUET Philippe
	CAMBOULIVES Jean		JAMMES Yves
	CANNONI Maurice		JOUBE Paulette
	CARTOUZOU Guy		JUHAN Claude
	CAU Pierre		JUIN Pierre
	CHABOT Jean-Michel		KAPHAN Gérard
	CHAMLIAN Albert		KASBARIAN Michel
	CHARPIN Denis		KLEISBAUER Jean-Pierre
	CHARREL Michel		LACHARD Jean

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

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

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

VANUXEM Paul
VERVLOET Daniel
VIALETES Bernard
WEILLER Pierre-Jean

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

EMERITAT

2008

M. le Professeur	LEVY Samuel	31/08/2011
Mme le Professeur	JUHAN-VAGUE Irène	31/08/2011
M. le Professeur	PONCET Michel	31/08/2011
M. le Professeur	KASBARIAN Michel	31/08/2011
M. le Professeur	ROBERTOUX Pierre	31/08/2011

2009

M. le Professeur	DJIANE Pierre	31/08/2011
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2012

2010

M. le Professeur	MAGNAN Jacques	31/12/2014
------------------	----------------	------------

2011

M. le Professeur	DI MARINO Vincent	31/08/2015
M. le Professeur	MARTIN Pierre	31/08/2015
M. le Professeur	METRAS Dominique	31/08/2015

2012

M. le Professeur	AUBANIAC Jean-Manuel	31/08/2015
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2015
M. le Professeur	CAMBOULIVES Jean	31/08/2015
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2015
M. le Professeur	MATTEI Jean-François	31/08/2015
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2015
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2015

2013

M. le Professeur	BRANCHEREAU Alain	31/08/2016
M. le Professeur	CARAYON Pierre	31/08/2016
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2016
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2016
M. le Professeur	HENRY Jean-François	31/08/2016
M. le Professeur	LE GUICHAOUA Marie-Roberte	31/08/2016
M. le Professeur	RUFO Marcel	31/08/2016
M. le Professeur	SEBAHOUN Gérard	31/08/2016

2014

M. le Professeur	FUENTES Pierre	31/08/2017
M. le Professeur	GAMERRE Marc	31/08/2017
M. le Professeur	MAGALON Guy	31/08/2017
M. le Professeur	PERAGUT Jean-Claude	31/08/2017
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2017

2015

M. le Professeur	COULANGE Christian	31/08/2018
M. le Professeur	COURAND François	31/08/2018
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2016
M. le Professeur	MATTEI Jean-François	31/08/2016
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2016
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2016

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	VIALETES 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

2019

M. le Professeur	BERLAND Yvon	31/08/2022
M. le Professeur	CHARPIN Denis	31/08/2022
M. le Professeur	CLAVERIE Jean-Michel	31/08/2022
M. le Professeur	FRANCES Yves	31/08/2022
M. le Professeur	CAU Pierre	31/08/2020
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2020
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2020

M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2020
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2020
M. le Professeur	MAGALON Guy	31/08/2020
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2020
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2020
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2020

2020

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

Honoris causa

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

1987	
M. le Professeur	P.J. DYCK (U.S.A.)
1988	
MM. les Professeurs	R. BERGUER (U.S.A.) W.K. ENGEL (U.S.A.) V. ASKANAS (U.S.A.) J. WEHSTER KIRKLIN (U.S.A.) A. DAVIGNON (Canada) A. BETTARELLO (Brésil)
1989	
M. le Professeur	P. MUSTACCHI (U.S.A.)
1990	
MM. les Professeurs	J.G. MC LEOD (Australie) J. PORTER (U.S.A.)
1991	
MM. les Professeurs	J. Edward MC DADE (U.S.A.) W. BURGDORFER (U.S.A.)
1992	
MM. les Professeurs	H.G. SCHWARZACHER (Autriche) D. CARSON (U.S.A.) T. YAMAMURO (Japon)
1994	
MM. les Professeurs	G. KARPATI (Canada) W.J. KOLFF (U.S.A.)
1995	
MM. les Professeurs	D. WALKER (U.S.A.) M. MULLER (Suisse) V. BONOMINI (Italie)
1997	
MM. les Professeurs	C. DINARELLO (U.S.A.) D. STULBERG (U.S.A.) A. MEIKLE DAVISON (Grande-Bretagne) P.I. BRANEMARK (Suède)
1998	
MM. les Professeurs	O. JARDETSKY (U.S.A.)
1999	
MM. les Professeurs	J. BOTELLA LLUSIA (Espagne)

D. COLLEN (Belgique)
S. DIMAURO (U. S. A.)

2000

MM. les Professeurs

D. SPIEGEL (U. S. A.)
C. R. CONTI (U.S.A.)

2001

MM. les Professeurs

P-B. BENNET (U. S. A.)
G. HUGUES (Grande Bretagne)
J-J. O'CONNOR (Grande Bretagne)

2002

MM. les Professeurs

M. ABEDI (Canada)
K. DAI (Chine)

2003

M. le Professeur
Sir

T. MARRIE (Canada)
G.K. RADDI (Grande Bretagne)

2004

M. le Professeur

M. DAKE (U.S.A.)

2005

M. le Professeur

L. CAVALLI-SFORZA (U.S.A.)

2006

M. le Professeur

A. R. CASTANEDA (U.S.A.)

2007

M. le Professeur

S. KAUFMANN (Allemagne)

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

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

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

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

PROFESSEUR DES UNIVERSITES

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

PROFESSEUR CERTIFIE

BRANDENBURGER Chantal retraite mars 2021
FRAISSE-MANGIALOMINI Jeanne

PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE à MI-TEMPS

REVIS Joana

PROFESSEUR DES UNIVERSITES MEDECINE GENERALE

GENTILE Gaëtan

PROFESSEUR ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE

GUIDA Pierre

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

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

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

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS

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

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS

BOURRIQUEN Maryline

EVANS-VIALLAT Catherine

LAZZAROTTO Sébastien

LUCAS Guillaume

MATHIEU Marion

MAYENS-RODRIGUES Sandrine

MELLINAS Marie

ROMAN Christophe

TRINQUET Laure

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES et MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS
PROFESSEURS ASSOCIES, MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES mono-appartenants**

ANATOMIE 4201

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

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

THOLLON Lionel (MCF) (60ème section)

ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES 4203

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

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

**ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION CHIRURGICALE ;
MEDECINE URGENCE 4801**

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

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

ANTHROPOLOGIE 20

ADALIAN Pascal (PR)
DEGIOANNI/SALLE Anna (MCF)
POUGET Benoît (MCF)
VERNA Emeline (MCF)

BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE ; HYGIENE HOSPITALIERE 4501

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

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

CHABRIERE Eric (PR) (64ème section)

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

BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE 4401

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

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

ANGLAIS 11

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

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

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

BIOLOGIE CELLULAIRE 4403

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

BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE 4301

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

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

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

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

**BIOSTATISTIQUES, INFORMATIQUE MEDICALE
ET TECHNOLOGIES DE COMMUNICATION 4604**

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

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

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

CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE 5002

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

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

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

CARDIOLOGIE 5102

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

CHIRURGIE VISCERALE ET DIGESTIVE 5202

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

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

CHIRURGIE INFANTILE 5402

GUYS Jean-Michel (PU-PH) Surnombre
 JOUVE Jean-Luc (PU-PH)
 LAUNAY Franck (PU-PH)
 MERROT Thierry (PU-PH)
VIEWEWEGER Heide Elke (PU-PH) détachement
 DARIEL Anne (MCU-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 THORACIQUE ET CARDIOVASCULAIRE 5103

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

CHIRURGIE PLASTIQUE,**RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE ; BRÛLOGIE 5004**

CASANOVA Dominique (PU-PH)
 LEGRE Régis (PU-PH)
 BERTRAND Baptiste (MCU-PH)
 HAUTIER/KRAHN Aurélie (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)

GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE 5201

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

HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE 4202

LEPIDI Hubert (PU-PH)
 PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

GONZALEZ Jean-Michel (MCU-PH)

DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE 5003

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

GENETIQUE 4704

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

DUSI

COLSON Sébastien (MCF)

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

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

GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5403

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

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**HEMATOLOGIE ; TRANSFUSION 4701**

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

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)

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

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

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

POGGI Marjorie (MCF) (64ème section)

IMMUNOLOGIE 4703**MEDECINE LEGALE ET DROIT DE LA SANTE 4603**

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

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

FERON François (PR) (69ème section)

TUCHTAN-TORRENTS Lucile (MCU-PH)

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

BERLAND Caroline (MCF) (1ère section)

MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION 4905**MALADIES INFECTIEUSES ; MALADIES TROPICALES 4503**

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

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

MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL 4602

LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-PH)

ELDIN Carole (MCU-PH)

MEDECINE D'URGENCE 4805

SARI/MINODIER Irène (MCU-PH)

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

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

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

BENYAMINE Audrey (MCU-PH)

MEDECINE GENERALE 5303

GENTILE Gaëtan (PR Méd. Gén. Temps plein)

CASANOVA Ludovic (MCF Méd. Gén. Temps plein)

GUIDA Pierre (PR associé Méd. Gén. à mi-temps) retraite au 25/09/2020 (MOAL Valérie (PU-PH)

BARGIER Jacques (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

CALVET-MONTREDON Céline (MCF associé Méd. Gén. à temps plein)

FORTE Jenny (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

JANCZEWSKI Aurélie (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

NUSSLI Nicolas (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

ROUSSEAU-DURAND Raphaëlle (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

THERY Didier (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps) (nomination au 1/11/2020)

NUTRITION 4404

DARMON Patrice (PU-PH)

RACCAH Denis (PU-PH)

VALERO René (PU-PH)

ATLAN Catherine (MCU-PH) disponibilité

BELIARD Sophie (MCU-PH)

MARANINCHI Marie (MCF) (66ème section)

ONCOLOGIE 65 (BIOLOGIE CELLULAIRE)

CHABANNON Christian (PR) (66ème section)

SOBOL Hagay (PR) (65ème section)

OPHTALMOLOGIE 5502

DAVID Thierry (PU-PH)

DENIS Danièle (PU-PH)

OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE 5501

DESSI Patrick (PU-PH)

FAKHRY Nicolas (PU-PH)

GIOVANNI Antoine (PU-PH)

LAVIEILLE Jean-Pierre (PU-PH)

MICHEL Justin (PU-PH)

NICOLLAS Richard (PU-PH)

TRIGLIA Jean-Michel (PU-PH)

RADULESCO Thomas (MCU-PH)

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

NEPHROLOGIE 5203

BRUNET Philippe (PU-PH)

BURTEY Stéphanne (PU-PH)

DUSSOL Bertrand (PU-PH)

JOURDE CHICHE Noémie (PU PH)

ROBERT Thomas (MCU-PH)

NEUROCHIRURGIE 4902

DUFOUR Henry (PU-PH)

FUENTES Stéphane (PU-PH)

REGIS Jean (PU-PH)

ROCHE Pierre-Hugues (PU-PH)

SCAVARDA Didier (PU-PH)

CARRON Romain (MCU PH)

GRAILLON Thomas (MCU PH)

NEUROLOGIE 4901

ATTARIAN Sharham (PU PH)

AUDOIN Bertrand (PU-PH)

AZULAY Jean-Philippe (PU-PH)

CECCALDI Mathieu (PU-PH)

EUSEBIO Alexandre (PU-PH)

FELICIAN Olivier (PU-PH)

PELLETIER Jean (PU-PH)

MAAROUF Adil (MCU-PH)

PEDOPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE 4904

DA FONSECA David (PU-PH)

POINSO François (PU-PH)

GUIVARCH Jokthan (MCU-PH)

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

BLIN Olivier (PU-PH)

MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH)

SIMON Nicolas (PU-PH)

BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE 4502**PHILOSOPHIE 17**

RANQUE Stéphane (PU-PH)

LE COZ Pierre (PR) (17ème section)

CASSAGNE Carole (MCU-PH)

MATHIEU Marion (MAST)

L'OLLIVIER Coralie (MCU-PH)

TOGA Isabelle (MCU-PH)

PEDIATRIE 5401**PHYSIOLOGIE 4402**

ANDRE Nicolas (PU-PH)

BARTOLOMEI Fabrice (PU-PH)

BARLOGIS Vincent (PU-PH)

BREGEON Fabienne (PU-PH)

CHAMBOST Hervé (PU-PH)

GABORIT Bénédicte (PU-PH)

DUBUS Jean-Christophe (PU-PH)

MEYER/DUTOUR Anne (PU-PH)

FABRE Alexandre (PU-PH)

TREBUCHON/DA FONSECA Agnès (PU-PH)

GIRAUD/CHABROL Brigitte (PU-PH)

BONINI Francesca (MCU-PH)

MICHEL Gérard (PU-PH)

BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH)

MILH Mathieu (PU-PH)

DADOUN Frédéric (MCU-PH) (disponibilité)

OVAERT-REGGIO Caroline (PU-PH)

DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)

REYNAUD Rachel (PU-PH)

LAGARDE Stanislas (MCU-PH)

TSIMARATOS Michel (PU-PH)

TOSELLO Barthélémy (MCU-PH)

RUEL Jérôme (MCF) (69ème section)

THIRION Sylvie (MCF) (66ème section)

PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE 4903**PNEUMOLOGIE; ADDICTOLOGIE 5101**

BAILLY Daniel (PU-PH)

ASTOUL Philippe (PU-PH)

LANCON Christophe (PU-PH)

BARLESI Fabrice (PU-PH)

NAUDIN Jean (PU-PH)

CHANEZ Pascal (PU-PH)

RICHERI Raphaëlle (PU-PH)

CERMOLACCE Michel (MCU-PH)

GREILLIER Laurent (PU PH)

REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

PSYCHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PCYCHOLOGIE SOCIALE 16

TOMASINI Pascale (MCU-PH)

AGHABABIAN Valérie (PR)

LAZZAROTTO Sébastien (MAST)

RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE 4302**RHUMATOLOGIE 5001**

BARTOLI Jean-Michel (PU-PH)

GUIS Sandrine (PU-PH)

CHAGNAUD Christophe (PU-PH)

LAFFORGUE Pierre (PU-PH)

CHAUMOITRE Kathia (PU-PH)

PHAM Thao (PU-PH)

GIRARD Nadine (PU-PH)

ROUDIER Jean (PU-PH)

JACQUIER Alexis (PU-PH)

MOULIN Guy (PU-PH)

*PANUEL Michel (PU-PH) surnombre***THERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE 4804**

PETIT Philippe (PU-PH)

AMBROSI Pierre (PU-PH)

VAROQUAUX Arthur Damien (PU-PH)

VILLANI Patrick (PU-PH)

VIDAL Vincent (PU-PH)

STELLMANN Jan-Patrick (MCU-PH)

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

REANIMATION MEDICALE ; MEDECINE URGENCE 4802**UROLOGIE 5204**

GAINNIER Marc (PU-PH)

BASTIDE Cyrille (PU-PH)

GERBEAUX Patrick (PU-PH)

KARSENTY Gilles (PU-PH)

PAPAZIAN Laurent (PU-PH)

LECHEVALLIER Eric (PU-PH)

ROCH Antoine (PU-PH)

ROSSI Dominique (PU-PH)

HRAIECH Sami (MCU-PH)

REMERCIEMENTS

Je suis particulièrement reconnaissante envers tous les patients que j'ai pu rencontrer et tiens à vous remercier pour la confiance que vous m'avez accordée.

Je remercie également toutes les personnes qui m'ont accompagnée au cours de ces longues années d'études et de travail à l'Hôpital.

Je réalise ma chance d'exercer un métier qui me passionne avec des personnes formidables autour de moi, qui m'ont toutes aidées parfois même de manière inconsciente, à franchir les différentes étapes de ce parcours jusqu'à aujourd'hui.

Le jury,

Au Président du jury, Monsieur le Professeur Alexis Jacquier,

Je vous remercie de me faire l'honneur de présider le jury de ma soutenance de thèse ainsi que de m'avoir proposé ce travail sur la graisse épigastrique. Vous m'avez accordée votre confiance et j'espère être à la hauteur de votre exigence. Je vous témoigne ma profonde et respectueuse reconnaissance.

A Monsieur le Professeur Jean-Yves Gaubert,

Je suis extrêmement honorée de votre présence à mon jury de thèse. Merci de votre passion pour la radiologie et tout particulièrement l'imagerie thoracique, que vous réussissez à transmettre à chacun.

A Madame le Professeur Bénédicte Gaborit,

Je vous prie de recevoir mes sincères remerciements pour avoir accepté de juger mon travail. Veuillez croire en l'expression de ma respectueuse considération.

A Monsieur le Professeur Vincent Vidal,

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse. Votre bienveillance, votre savoir, votre efficacité et votre passion pour la recherche et la radiologie sont un exemple pour moi et pour tous.

A mon Directeur de thèse, Monsieur le Docteur Axel Bartoli,

Je te remercie d'avoir accepté de travailler avec moi sur ce projet et d'être mon directeur de thèse, malgré ton stage difficile, tu as toujours su te rendre disponible pour moi. Ta motivation et ta bonne humeur ont rendu ce travail beaucoup plus facile. Tu es déjà un excellent médecin et je te souhaite tout le meilleur pour la suite, tant au travail que dans ta vie personnelle.

A mes Maîtres,

Aux Professeurs Chagnaud, Champsaur, Chaumoître, Le Corroller, Girard, Panuel, Petit et Varroquaux, je vous remercie pour vos services et l'enseignement que vous nous apportez.

A Joris Fournel,

Merci pour toute ton aide et ta grande contribution sur ce travail.

A ma famille,

A Maman,

Ta patience, ton soutien inconditionnel, ton courage, ta gentillesse et surtout ton amour ont contribué à ce que je suis aujourd'hui. Tu m'as toujours accompagné et soutenue durant ces longues années d'études, dans les bons mais surtout dans les pires moments. Tu as consacré ta vie à tes trois enfants et tu peux en être fière.

A Papa,

Merci de m'avoir appris la rigueur dans mon travail, l'envie de bien faire et surtout de m'avoir transmis le goût pour les voyages et la liberté.

A mon frère, Aurélien,

Toi qui a toujours été mon modèle, tu as toujours pris soin de ta petite sœur et grandement contribué à la personne que je suis devenue aujourd'hui.

A ma sœur, Elodie,

Tu es une personne exceptionnelle et une incroyable maman. Nous sommes si différentes mais si proches à la fois... Je serai toujours là pour toi.

A mon neveu, Naïm,

Tu étais à mes côtés dès ma première année de médecine, je suis si fière de la personne que tu es devenu.

A ma belle-sœur, Gabrielle,

Tu es une véritable amie et comme une deuxième sœur pour moi. Je suis si heureuse que tu fasses partie de notre famille. Il me tarde de rencontrer ma petite nièce que j'aime déjà.

A toute la famille Durand,

Merci pour votre soutien infaillible.

A toute la famille De Carvalho, la famille Poisson et Yaya,

Je vous remercie d'être à mes côtés et de me soutenir depuis toutes ces années. Toutes ces randonnées m'auront probablement appris à persévérer malgré les épreuves de la vie...

A Papi et Mamie,

Je sais que vous veillez sur moi et que vous m'accompagnez depuis le début. J'espère que vous êtes fiers de nous.

A mes amis,

A Marc,

Ma Moune, ma sœur, mon bébéow, ma douceur, mon rae rae. Tu as été à mes côtés durant toutes ces longues années d'études et de galère. Merci pour ces moments de décompensation et tous ces fous rires qui m'ont aidé à tenir le coup (Yodeleiiii). J'ai hâte de voyager autour du monde avec toi, enfin la vie qu'on mérite bébé.

A Julie, Ma Djoums,

Mon coup de foudre amical. J'aime tellement tous ces moments passés à tes côtés, même à ne rien faire. Tu es une personne extraordinaire, sincère et attentionnée envers ceux que tu aimes. Tu mérites amplement ton bonheur qui j'espère durera le plus longtemps possible, je t'aime.

A Rodolphe, Mathias et Anissa,

Mes Sangs. A tous ces moments passés ensemble, ces soirées, ces repas améliorés (mais aussi non améliorés), ces voyages, ces heures de jeux de société... Il n'est pas donné à tout le monde d'avoir un groupe d'amis tel que le nôtre, vous êtes comme ma famille. J'ai hâte de vieillir à vos côtés !

A Adé,

Toi qui as été là dès le début, je te remercie pour tes débriefs de soirées qui m'ont motivée plus que jamais en première année. Tu es devenue par la suite une véritable amie, je suis tellement heureuse de t'avoir à mes côtés.

A mes petites Zouz,

Ambre, Alizée, Sophia, Stella et Pauline.

A tous ces moments « filles » qui m'ont tellement aidé pendant mes études. Je crois que je ne me laisserai jamais de ces repas ensemble, qui avouons-le, dérapent toujours. Vous êtes comme des sœurs pour moi. Je vous aime tellement.

A toute la team des Dealers de Chill,

Kévin, Arnaud, Elliott, Jean-Charles, Guillaume, Jean-Florent, Florent, Raphaël, Julien, Yoann le S, Laetitia, merci pour ces soirées et surtout de m'avoir permis de m'évader durant ces périodes difficiles de l'internat.

A Camille,

Merci pour tous ces moments que l'on a partagés durant ces (très) longues années d'étude. Tu es une véritable amie et tu pourras toujours compter sur moi.

A Pierre-Emile,

Une rencontre inattendue durant cette dure période. Merci de ton soutien et de ces moments passés ensemble, ces fous rires, ces balades, et tant d'autres...

A mes co-internes,

A ma promo d'amour des Los Soclos,

A AMC, le meilleur concocteur de rhum arrangé; à Antoine P, pour ta passion pour les randonnées (et un peu moins pour les boussoles) ; à Julien, mon S de la V et compagnon de galère en pédiatrie; à Sivadji, la personne la plus gentille et calme que j'ai jamais rencontrée; à Christelle, ma fidèle acolyte de soirée et chanteuse préférée; à Blandine, pour ta franchise qu'on adore tous; au lieutenant Holay et notre passion démesurée pour la nourriture; à Lolo pour tes connaissances incroyables. Je n'oublie pas Abdelmajid et Timothé qui ont choisi d'autres chemins et qui brilleront dans leurs nouvelles spécialités. Une grosse pensée pour Nathan qui fait presque partie de notre promo aussi.

A mes Zés,

Louis, merci d'avoir le même âge que moi dans ta tête. A tous ces moments passés ensemble et aux futurs... Signe « Peace ».

Mélanie, si tu n'existais pas il faudrait t'inventer, tu es vraiment une personne extraordinaire.

Clément Lejeune ou l'homme qui arrive à dire le plus de fois le mot « mec » à la seconde.

Avoir le Covid n'aura jamais été aussi agréable qu'avec vous... (TOMATES PELEES).

A Rémi,

A nos nombreuses passions communes dont la nourriture (la truffe, les ravioles et les fromages à la soupe), le twerk, le tango, les levers de jambe, Afida et les filtres mais également pour nos aversions partagées (Milann si tu m'entends...).

A Lilia,

Ma soeur, ma tocca, que te dire de plus tu sais déjà tout (merci toutes ces déclarations de payottes en soirées...)... Je te souhaite tout le bonheur possible et inimaginable avec Lolo (le tocco), tu le mérites amplement ! « Et je le sais je te confiance quand tu me souris tu fais pas semblant... ».

A Capu,

A ton brin de folie et tes petits cris. En bommmmbé bébé ! « Trrrrrrr ».

A mes bébés soclis,

Hector, Momo et Moutiezi, tous ces moments passés en stage ensemble étaient vraiment géniaux. Je vous remercie d'avoir révélé en moi cette passion pour les photomontages. Merci aussi à Baptiste et Arnaud les S pour leur humour hors du commun, mais surtout pour enfin rééquilibrer les promos avec de véritables marseillais.

Aux nouvelles recrues, Constance, Romain et Thibault, merci d'être toujours motivés pour tout et surtout de me supporter même quand je mets Chipolata...

A Margaux S et Margaux R,

Dans la même galère since le début avec Stoppi. J'ai adoré tous les moments de stages passés avec vous (particulièrement les pauses cafés avouons-le) mais également toutes ces soirées/apéros. Ne changez rien vous êtes au top, bande de nazes !

A Christopher,

A toutes ces heures où l'on a parlé de voyages et qui m'ont aidé à tenir.

A Firdaouss, Idir, Benoît, Thomas V, Thomas L, Clara, Matthieu, Mathias, Pierre-Yves, Kawtar, Maxime C, Mikael, Maxime D, Morgane, Rayid, Fanny, Clothilde...

A tous ces bons moments partagés en stage ou en garde.

A mes chefs,

A Alex,

Le fradé, le zé, le S de la jug, le Frodon du BMT jadis, merci pour ta personnalité et ton humour hors du commun qui ont rendu ces stages beaucoup plus faciles.

A Julian,

Merci de m'avoir apporté tes (nombreuses) connaissances depuis mes radios en premier semestre jusqu'à aujourd'hui. Merci aussi d'aimer autant Céline, les karaokés, les vocalises, les blind-tests, les soirées, le gras et les shots (celui-là c'est le dernier...).

A Marie,

Je suis tellement heureuse de t'avoir rencontrée. Des heures passées à chanter, danser, parler de Golden Goose ou à s'enrouler dans des rideaux. J'ai tellement hâte de pouvoir enchaîner les marasons avec toi.

A Lisa,

Merci d'avoir été là dès le début et de m'avoir tout expliqué. Merci également pour ton franc-parler et ta franchise que j'adore.

A Guillaume, Pierre-Antoine, Anaïs, Farouk, Paul, Basile, Robin, Rémi, Camille, Alexia, Laure, Clémentine, François A, François P, Melinda, Jérôme, Stéphanie,...

A tous ceux que j'oublie... Merci.

EVALUATION D'UN OUTIL DE DEEP-LEARNING

POUR LA SEGMENTATION AUTOMATIQUE DU TISSU ADIPEUX ÉPICARDIQUE EN TOMODENSITOMETRIE THORACIQUE BASSE DOSE: ETUDE DE FAISABILITE

Table des matières

RESUME	2
I. INTRODUCTION	3
II. MATERIEL ET METHODES	5
a. Déroulement de l'étude	5
b. Population et données.....	5
c. Evaluation des performances	13
d. Analyse statistique.....	14
III. RESULTATS	15
a. Evaluation de la segmentation automatique	17
b. Reproductibilité des segmentations.....	17
IV. DISCUSSION	20
V. CONCLUSION	23
VI. BIBLIOGRAPHIE	24

RESUME

INTRODUCTION:

L'objectif principal de cette étude est de développer et d'évaluer un logiciel d'apprentissage en profondeur permettant une segmentation entièrement automatisée du volume de graisse épigardique en tomographie par ordinateur (TDM) thoracique basse dose.

MATERIEL ET METHODES:

Cette étude rétrospective monocentrique menée d'octobre 2020 à janvier 2021 inclut 115 scanners au total, 95 pour l'étape d'entraînement et de validation et 20 pour l'étape test. Les étapes principales de l'étude étaient la réalisation d'une segmentation manuelle de la graisse épigardique, l'entraînement de l'algorithme sur ces données, le testing puis l'évaluation des résultats techniques et cliniques obtenus. Nous avons également évalué la variabilité intra-observateur, inter-observateur et le temps d'interaction pour réaliser la segmentation (définie comme l'efficacité). Les corrélations entre les segmentations manuelles et automatiques ainsi que la reproductibilité ont ensuite été effectuées. Les graphiques de Bland-Altman ont été calculés pour évaluer les biais et les limites entre segmentations manuelles et automatiques.

RESULTATS:

Le coefficient de Dice de la segmentation automatique de la graisse épigardique (Dice EAT) est de 0,85 ($\pm 0,03$). Le Dice EAT réalisée par l'observateur 1 (O1) est de 0,84 ($\pm 0,04$) et de 0,86 ($\pm 0,04$) pour la segmentation manuelle réalisée par l'observateur 2 (O2). Concernant la comparaison entre les segmentations manuelles réalisées par O1 et la segmentation automatique (Auto) pour le volume de graisse épigardique le biais était de -15,5% ($\pm 20,8$; $p : 0,04$), la marge d'erreur absolue (MAE) était de 17,8 cm³ ($\pm 18,6$) soit une corrélation de 0,904. Pour le volume de graisse épigardique entre O1a et O2 le biais était de -19,9% ($\pm 12,6$; $p : p < 0, 01$), la MAE était de 19,9 cm³ ($\pm 12,6$) soit une corrélation de 0,967.

CONCLUSION:

Un algorithme d'intelligence artificielle par Deep learning a été développé pour une segmentation précise, rapide et reproductible de la graisse épigardique sur des TDM basse dose en fenêtre médiastinale.

I. INTRODUCTION

La graisse épigardique est un tissu adipeux viscéral unique qui entoure le cœur, localisée entre le feuillet viscéral du péricarde et le myocarde (1). Elle est principalement située au niveau des récessus auriculo-ventriculaires et interventriculaires et entoure les vaisseaux coronaires. La complexité fonctionnelle de la graisse épigardique n'est pas encore complètement élucidée chez l'Homme et nous lui retiendrons surtout des fonctions mécaniques, métaboliques, thermogéniques et endocrines (2)(3). En effet, elle présente un rôle de régulation des acides gras, des cytokines pro-inflammatoires, stimule la production de monoxyde d'azote, réduit le stress oxydatif. Elle est également une source de régulation thermique. Une distribution généralisée de graisse épigardique peut jouer un rôle péjoratif dans le développement d'un profil métabolique défavorable. Plusieurs études ont déjà prouvé une association significative entre le volume de la graisse épigardique et les facteurs de risque cardio-vasculaires. Le volume de graisse épigardique est lié à une augmentation du nombre de calcifications coronaires (4), au développement d'infarctus du myocarde (5), de sténoses carotidiennes (6) ou de fibrillation auriculaire (7). Il a été démontré que le volume de graisse épigardique était associé à la présence de plaque coronarienne à haut risque (8)(20).

En ce sens, le volume de la graisse épigardique est désormais considéré comme un biomarqueur du risque cardiovasculaire et une potentielle cible thérapeutique pour les pathologies cardio-vasculaires, bien qu'il ne soit pas encore mesuré en pratique courante (4)(9). Il a été suggéré que la quantification systématique de la graisse épigardique en routine clinique pourrait améliorer l'évaluation des risques chez les patients asymptomatiques ou sans maladie coronarienne antérieure (10). Ainsi, la détection, la segmentation et la quantification de la graisse épigardique est récemment devenu un sujet important en imagerie cardio-vasculaire. Cependant, cette quantification n'est pas encore réalisée en routine de soins cliniques car elle prend trop de temps et nécessite donc des méthodes de segmentation automatique. Cette quantification reste un défi principalement en raison de l'architecture complexe et des limites anatomiques difficiles de la graisse épigardique. L'échocardiographie peut être utilisée pour estimer la graisse épigardique en mesurant l'épaisseur en regard de la paroi libre du ventricule droit mais ne permet pas de réaliser une estimation volumétrique précise. De plus, elle reste un examen opérateur-dépendant et parfois limitée par la faible échogénicité des patients (11). L'imagerie par résonance magnétique (IRM) présente une

bonne résolution spatiale en trois dimensions mais sa reproductibilité, sa durée d'examen, son coût et les limites d'accès restreignent son utilisation en pratique courante. De plus, la ligne péricardique habituellement fine est difficilement détectable en IRM (12)(13)(14). La tomodensitométrie (TDM) thoracique relève d'une meilleure sensibilité et reproductibilité dans la mesure de l'épaisseur et du volume de la graisse épiscopardique avec une meilleure résolution d'images, mais étant limitée par l'exposition aux rayonnements ionisants. Cependant, de par l'amélioration des méthodes d'imagerie, il est désormais possible de réaliser un scanner thoracique avec une dose équivalente à celle d'une radiographie standard, appelé communément TDM basse dose. De nombreuses études ont développé des méthodes de segmentation de la graisse épiscopardique sur des TDM au cours des dernières années, mais la plupart d'entre elles étaient basées sur des mesures semi-automatiques et nécessitaient encore une interaction humaine ou n'étaient pas basés sur des TDM basse dose (15).

Dans le même temps, les techniques d'apprentissage en profondeur (Deep Learning), en particulier les réseaux de neurones convolutifs (CNN), ont montré des résultats prometteurs dans l'automatisation des mesures d'imagerie médicale et de la segmentation. L'intelligence artificielle et les méthodes en Deep Learning en particulier représentent une véritable révolution en imagerie médicale, en réalisant des tâches auparavant trop complexes ou trop longues en aide au diagnostic, à la prédiction ou à la prise de décision. Ces méthodes permettent des segmentations reproductibles et précises, obtenues en quelques secondes en surmontant les variations inter et intra-observateurs. Ces méthodes et architectures pourraient répondre au besoin d'une quantification rapide, robuste, reproductible et entièrement automatique de la graisse épiscopardique en TDM.

L'objectif principal de cette étude était de développer et d'évaluer un logiciel d'apprentissage complet permettant une segmentation entièrement automatisée du volume de graisse épiscopardique en TDM thoracique basse dose. Nous avons ensuite évalué les performances de l'algorithme en comparant des segmentations humaines inter- et intra-observateurs.

II. MATERIEL ET METHODES

a. Déroulement de l'étude

Cette étude rétrospective monocentrique a été menée d'octobre 2020 à janvier 2021. Un logiciel complet basé sur un réseau de neurones convolutifs a été adapté pour permettre la segmentation et la quantification automatique de graisse épiscopardique en TDM thoracique basse dose. Le logiciel complet comprend deux objectifs: la segmentation automatique de la graisse épiscopardique sur les TDM thoraciques basse dose puis l'obtention, à partir de ces segmentations, de paramètres cliniques objectifs. Les étapes principales de l'étude étaient donc: la récupération des données d'imagerie, la réalisation pour chaque examen d'une segmentation manuelle de la graisse épiscopardique dite vérité-terrain (Ground-truth), l'entraînement de l'algorithme sur ces données Ground-truth puis le testing sur une cohorte distincte, et enfin l'évaluation des résultats techniques et cliniques obtenus.

Les auteurs n'ont reçu aucun soutien financier ou matériel d'aucune entreprise industrielle pour la réalisation de cette étude.

b. Population et données

Population

L'ensemble des données utilisées pour cette étude provenaient d'un seul et unique centre (Assistance Publique Hôpitaux de Marseille (APHM)) en conformité avec le règlement européen sur la protection des données (RGPD). Les données TDM incluses étaient l'ensemble des TDM thoraciques basse dose réalisés au sein de l'institution entre mars et mai 2020. La méthode de recherche de ces données d'imagerie étaient réalisée sur le RIS du service d'imagerie en sélectionnant tous les TDM intitulé « Thorax » entre mars et mai 2020, réalisés en l'absence d'injection de produit de contraste iodé et ayant un produit dose longueur (DLP) compris entre 50 et 100 mGy.cm. L'indication initiale de la réalisation de la TDM n'était pas un critère de sélection. Les critères d'exclusion étaient: l'injection de produit de contraste iodé, la présence d'artéfacts majeurs sur le volume cardiaque, patients mineurs, la grossesse, majeurs protégés, patients hospitalisés sans consentement. Les artéfacts majeurs étaient définis par un opérateur entraîné (AJ – 20 ans d'expérience) comme entraînant l'impossibilité de discerner le feuillet péricardique. Le surpoids était défini comme une indice de masse

corporelle (IMC) ente 25 et 29 kg/m², l'obésité comme un IMC \geq 30 kg/m². La présence d'un diabète était considéré comme la connaissance par le patient d'un diabète de type I ou II, nécessitant un traitement médical. La dyslipidémie était défini comme un trouble des concentrations normales des lipides circulants sur un bilan sanguin récent (élévation des triglycérides plasmatiques, élévation des LDL-cholestérol ou baisse du HDL cholestérol). La présence d'une coronaropathie était définie comme la présence d'une atteinte coronaire connue, suivie ou traitée.

Données radiologiques

Tous les patients ont réalisé une TDM basse dose en inspiration sur le même modèle de scanner (Revolution EVO-GE Healthcare, WI, USA) avec les paramètres suivants : taille des détecteurs de collimation: 0.625 mm; champ de vue (FOV) : 500 mm; matrix: 512x512; pitch: 1.375; temps de rotation: 0.35 secondes; 100 - 120 KV; 45 mAs; et épaisseur de coupe: 1.2 mm. La bordure anatomique supérieure était la base du cou et la bordure inférieure correspondait aux glandes surrénales.

Segmentation manuelle

Une segmentation manuelle des images a été entreprise pour l'ensemble des données d'entraînement, de validation et de test par un observateur principal (Observateur 1 (O1a); LAY - 3 ans d'expérience). Pour chaque patient, toutes les images de la fenêtre médiastinale des TDM thoraciques basse dose ont été anonymisées et extraites du système d'archivage et de communication d'images (PACS). Les images ont ensuite été importées au format DICOM sur le logiciel de post-traitement d'images médicales 3D-Slicer (<https://www.slicer.org>; version 4.11.202102026)(16). La segmentation manuelle a été réalisée sur l'ensemble du volume péricardique, en utilisant des méthodes de seuillage, de peinture et d'effacement sur le logiciel 3D-Slicer. Afin d'être le plus reproductible possible, la limite supérieure du péricarde a été définie comme le haut de l'oreillette gauche et la limite inférieure correspondait à la dernière coupe où le ventricule gauche apparaissait. Pour chaque coupe entre les limites, un contour a été dessiné manuellement sur le péricarde afin de définir les tissus mous intra-péricardiques, à l'exclusion de la graisse médiastinale. Cette segmentation de l'ensemble du volume intra-péricardique est notée Peri. Le tissu adipeux épicaudique a ensuite été identifié en utilisant la gamme standard d'atténuation des graisses, de -140 Unités Hounsfield (UH) à -

30 UH. Le volume total de graisse épigardique a ensuite été quantifié à partir du nombre de Voxels de graisse à l'intérieur du contour péricardique. Cette segmentation ainsi obtenue de la graisse épigardique et le volume qui en découle étaient notées EAT pour Epicardial Adipose Tissue. Un exemple de segmentation manuelle sur le logiciel 3D-Slicer est présenté dans la Figure 1.

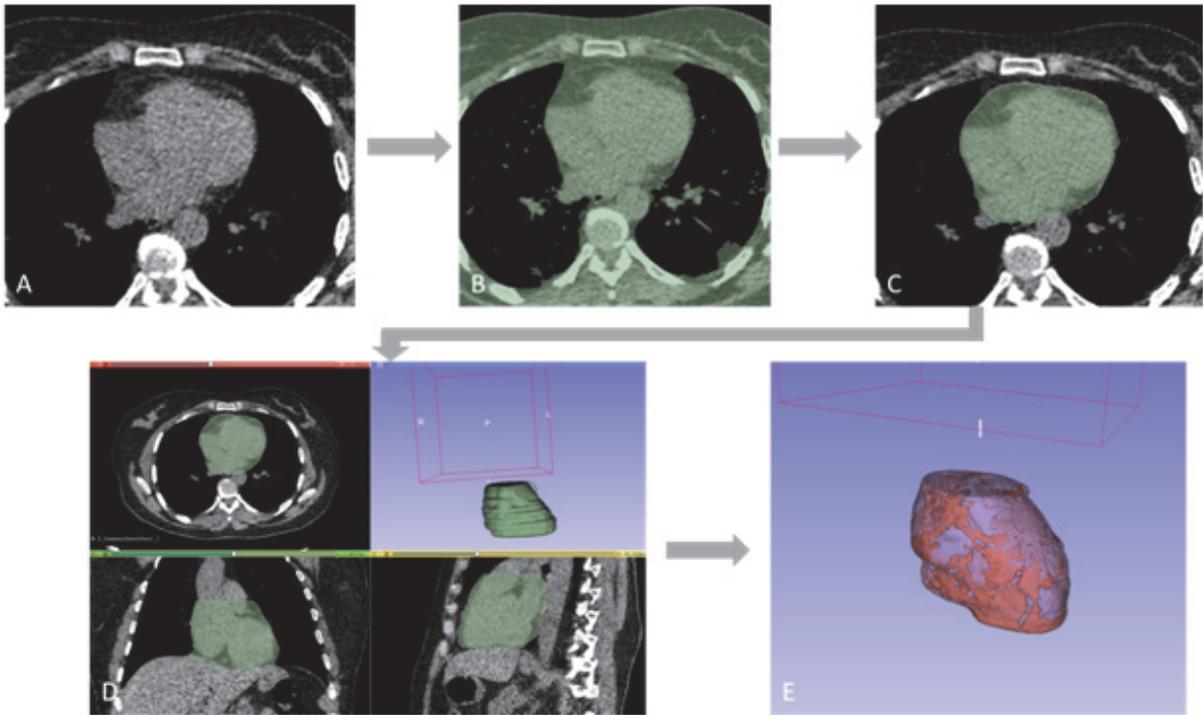


Fig. 1 - Segmentation manuelle de référence: visualisation des différentes étapes réalisées à l'aide du logiciel Slicer 3D.

Note - Importation de l'examen TDM sur la plateforme et choix du fenêtrage adéquat (a); réalisation de la segmentation avec première étape de seuillage permettant de différencier les tissus mous de l'espace aérien pulmonaire (b); segmentation manuelle à l'aide d'une sphère de l'ensemble du volume intra-péricardique sur les valeurs de seuillage (*vert*): obtention du volume Peri (c - d); application d'un filtre de seuillage au sein de ce volume péricardique pour obtenir le volume de graisse épicaudique EAT (*rouge*) (e).

Les segmentations manuelles obtenues ont été vérifiées et validées par un radiologue spécialisé en imagerie cardiaque (A.J). Toutes les segmentations manuelles et les mesures cliniques extraites étaient nommées O1a et représentaient donc la vérité-terrain.

Détection et entraînement du modèle

Alors que Zhang (17) a utilisé une paire de U-Nets combinés séquentiellement : le premier modèle U-Net visait à produire une segmentation initiale de la région à l'intérieur du péricarde, affinée ensuite par une couche de traitement morphologique avant d'être combinée avec l'image d'entrée et envoyée à un deuxième U-Net réalisant la segmentation finale de la graisse épicaudique. Commandeur (10) a proposé une approche CNN multi-tâches où le réseau apprendrait conjointement à segmenter la région à l'intérieur du péricarde et à classer chaque entrée comme appartenant à de la graisse épicaudique, leur permettant de former leur modèle avec toutes les coupes de tomographie indépendamment de la présence de tissu cardiaque. Notre approche est plus conventionnelle car nous avons trouvé plus avantageux de distinguer la tâche de détection de la coupe et la tâche de segmentation en utilisant deux modèles au lieu d'un comme dans l'étude de Commandeur (10). L'ensemble des données a été séparé en trois sous-ensembles : un sous-ensemble d'apprentissage « training subset » (~70%) utilisé pour optimiser le graphe de calcul du modèle ; un sous-ensemble de validation « validation subset » (~10%) utilisé pour évaluer la meilleure configuration, l'état du modèle et le réglage des paramètres ; et un sous-ensemble de tests « testing subset » (~20%) utilisé pour évaluer les performances du modèle. Cette séparation était effectuée au hasard à partir de la banque de données initialement disponible. Le modèle de classification a été obtenu en entraînant un réseau U-Net multi-tâches où la tâche de segmentation servirait de régularisateur pour la tâche de classification. A la fin, un réseau U-Net modifié est formé et entraîné à prédire si la coupe présente de la graisse ou non.

Ce réseau est formé à la fois avec le signal de supervision de la fonction de perte d'entropie croisée pour la tâche de classification et de la fonction de perte de segmentation de la manière suivante :

$$L_{total} = 0.4L_{classification} + L_{segmentation}.$$

Lorsque la formation est terminée, seule la première partie du réseau est conservée en tant que réseau de détection de coupe finale.

Modèle de segmentation

La plupart des réseaux de segmentation médicale ont une structure « codeur-décodeur » où les représentations produites par le codeur sont de faible dimension, imposant l'utilisation d'un décodeur pour récupérer une haute résolution et enfin la prédiction de la segmentation.

Récemment, Wang (18) a proposé un réseau de neurones dit « haute résolution » (HRNet) qui maintient une représentation à haute résolution dans tout le réseau. Ils ont obtenu des résultats de pointe dans des tâches de segmentations d'images « naturelles » (par opposition aux images « médicales »). En considérant qu'il existe une corrélation entre le succès architectural pour la segmentation d'images « naturelles » et la segmentation d'images « médicales », nous avons choisi d'utiliser le HRNet comme réseau de notre segmentation.

Représentation de l'objet

Un autre élément important de la segmentation d'images médicales est lié à la représentation du contexte global et local autour des pixels qui est indispensable pour les segmenter correctement.

Les CCN classiques ne détectent les dépendances contextuelles que de manière homogène et non adaptative et la structure même des dépendances détectées est limitée. Par conséquent, certaines dépendances au niveau de l'image globale ne peuvent pas être détectées avec ces modèles (ce qui est problématique dans les tâches de segmentation d'images médicales où des dépendances anatomiques existent à toutes les échelles).

Les approches pour résoudre ce problème peuvent être séparées en trois catégories :

-Approche contextuelle « multi-échelle » : les contextes à différentes échelles sont agrégés en combinant les cartes de caractéristiques générées avec différents niveaux. L'avantage est que les objets sont détectés à des échelles différentes, l'inconvénient est que les relations globales entre objets sont à nouveau ignorées.

-Approche « Relation aux individus » qui considèrent les relations entre une position donnée et les autres positions individuelles de son contexte.

-Approche « Relation aux objets » où la relation d'une position à son contexte est étudiée à travers une représentation de chaque objet (classe).

Nous avons opté pour la dernière option et ajouté un module OCR à la fin de notre HRNet. Puisque la classe d'un pixel est donnée par l'objet dans lequel il se trouve, la meilleure représentation de son contexte est à l'échelle de l'objet et non à l'échelle du pixel, et les résultats expérimentaux semblent le confirmer.

Les étapes simplifiées du modèle sont représentées dans la Figure 2.

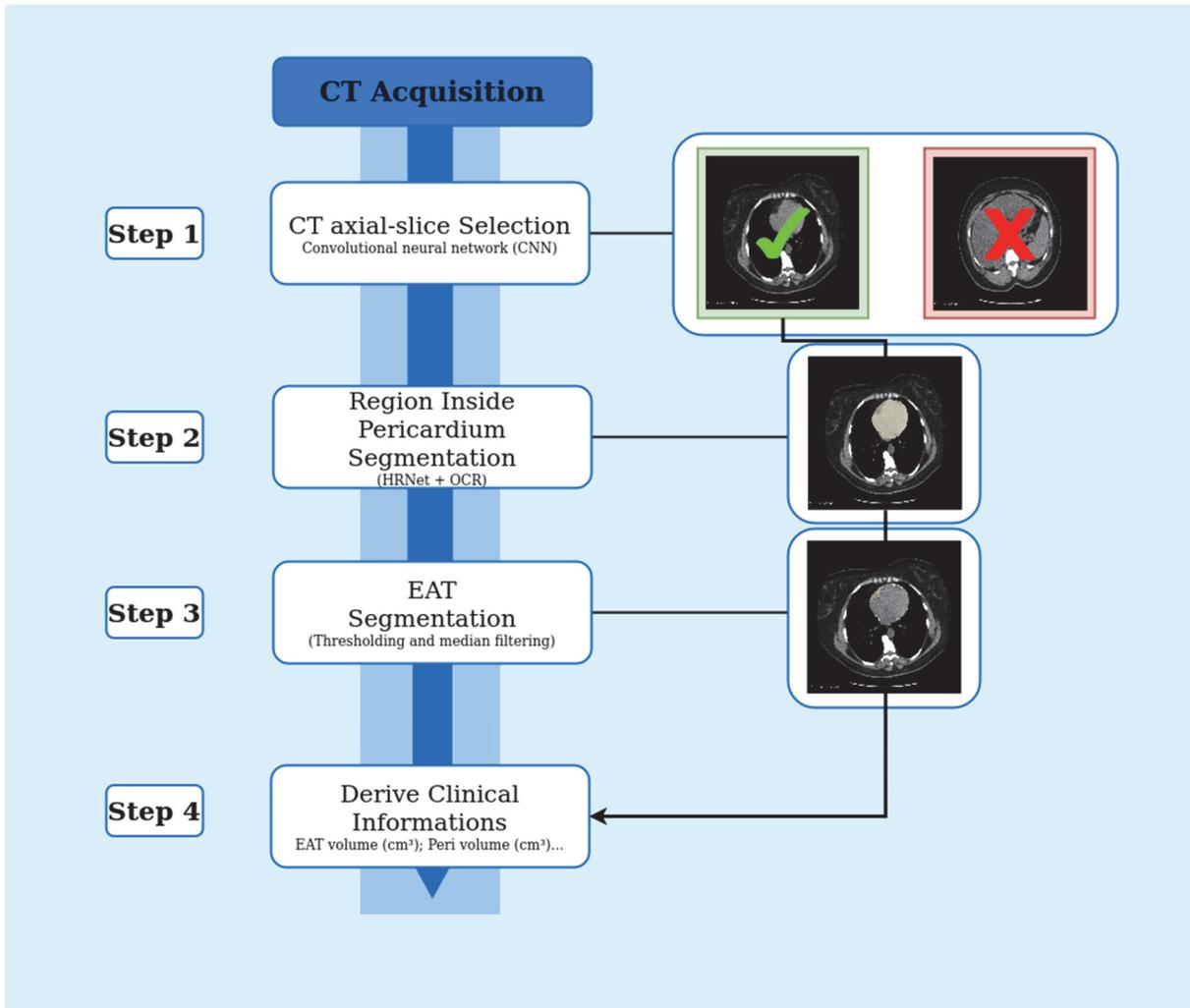


Fig. 2 – Représentation schématique des étapes de l’algorithme de Deep Learning pour la segmentation de la graisse épicardique.

Note- CT: Computed Tomography; EAT: Epicardial Adipose Tissue.

c. Evaluation des performances

Evaluation de la segmentation

Pour évaluer la précision de segmentation de notre modèle, nous avons comparé les segmentations manuelles (O1a) de graisse épocardique EAT et Peri aux segmentations automatiquement obtenues (Auto) pour les métriques techniques et les paramètres cliniques sur l'ensemble des données de test (n= 20).

Pour les paramètres techniques, nous avons évalué les performances du modèle pour la segmentation avec le coefficient de Sørensen-Dice coefficient (Dice) et la fonction de similarité du volume moyen (MVSF). Le coefficient de Dice mesure la région de chevauchement entre les contours prévus et manuels, soit un indicateur statistique qui mesure la similarité de deux échantillons.

Les paramètres cliniques O1a et Auto ont été évalués en terme de volume de graisse épocardique (cm³) et d'extension (%) en utilisant l'erreur moyenne absolue (MAE), le biais et la corrélation. L'extension de l'EAT (EAT Ext) était définie comme le pourcentage du rapport entre le volume d'EAT et le volume Peri.

L'efficacité, définie comme la comparaison du temps d'interaction avec l'utilisateur, a également été évaluée.

Reproductibilité

La reproductibilité de la méthode Auto a été comparée aux performances de segmentation inter et intra-observateurs pour la segmentation Peri et EAT.

L'observateur 1 a effectué une deuxième analyse nommée O1b, deux semaines après les premières segmentations de graisse épocardique, et dans un ordre aléatoire pour minimiser le biais. Un autre observateur indépendant (Observateur 2 (O2) : A.B. – 6 ans d'expérience) a effectué les 20 segmentations manuelles sur le même jeu de données de test qui est appelé O2. Il était en aveugle quant aux caractéristiques des sujets et aux segmentations de O1.

d. Analyse statistique

Les paramètres cliniques manuels et automatiques ont été comparés au moyen d'une régression linéaire afin de déterminer les corrélations.

Les performances de segmentation automatique ont été comparées aux performances de segmentation manuelle en utilisant des tests-t pour les coefficients de Dice. Les comparaisons suivantes ont été effectuées : segmentations manuelles par l'Observateur 1 (O1a) versus celles réalisées par l'Observateur 2 (O2) ; segmentations manuelles réalisées par l'Observateur 1 (O1a) versus la segmentation automatique (Auto) ; segmentations manuelles réalisées initialement par l'Observateur 1 (O1a) puis lors de la deuxième analyse (O1b).

Les graphiques de Bland-Altman ont été calculés pour évaluer les biais et les limites entre les segmentations manuelles et automatiques concernant le volume péricardique (Peri Vol en cm^3), le volume de graisse épicaudique (EAT vol en cm^3) et l'extension (EAT ext en %).

III. RESULTATS

Au total, les TDM basse dose de 115 patients ont été inclus, 95 pour l'étape d'entraînement et de validation, et 20 pour l'étape de test. Les caractéristiques cliniques des patients des différents groupes sont présentées dans le Tableau 1. Les valeurs concernant les volumes Peri et EAT ont été obtenus à partir de la segmentation manuelle de référence (O1a).

	Training dataset (n = 95)	Testing dataset (n = 20)
Genre		
Hommes, n (%)	49 (51.58)	7 (35.00)
Age		
18-44 ans, n (%)	16 (16.80)	4 (20.00)
45-64 ans, n (%)	47 (49.47)	9 (45.00)
>64 ans, n (%)	32 (33.68)	7 (35.00)
Indice de masse corporelle (moyenne ± SD), kg/m²		
	25.7 (± 4.37)	24.3 (± 4.28)
Comorbidités		
Diabète, n (%)	75 (78.94)	14 (70.00)
Maigreur, n (%)	0 (0.00)	0 (0.00)
Surpoids, n (%)	24 (25.26)	7 (35.00)
Obésité, n (%)	18 (18.94)	3 (15.00)
Dyslipidémie, n (%)	28 (29.47)	6 (30.00)
Coronaropathie, n (%)	11 (11.58)	1 (5.00)
Mesures		
Peri (cm ³) (moyenne)	680.40	617.93
Peri/BSA (cm ³ /m ²) (moyenne)	359.78	328.16
EAT (cm ³) (moyenne)	119.17	115.47
EAT/BSA (cm ³ /m ²) (moyenne)	63.05	61.32

Table 1. Caractéristiques cliniques des différents sous-groupes de l'étude.

Note- SD: Standard Deviation ; BSA: Body Surface Area ; Peri: volume péricardique ; EAT: volume de graisse épicaudique.

Un exemple visuel de segmentation manuelle puis de segmentation par le logiciel d'intelligence artificiel est présenté dans la Figure 3.

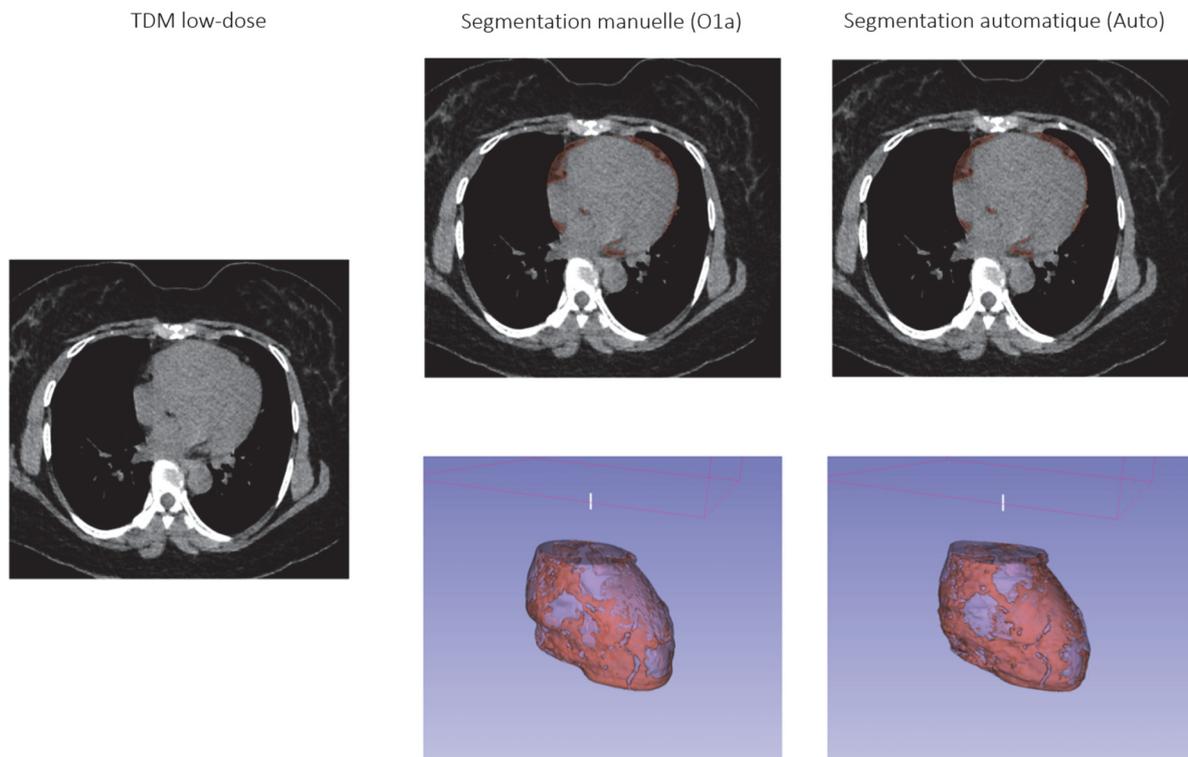


Fig. 3 - Evaluation visuelle subjective des segmentations finales obtenues pour l'EAT.

La DLP moyenne mesurée sur l'ensemble des données TDM disponible était de $64,45 \pm 12.2$ mGy.cm. Le temps moyen d'une segmentation manuelle était mesuré à $17,4 \pm 8$ minutes versus < 1 minutes pour les segmentations automatiques.

a. Evaluation de la segmentation automatique

Les résultats concernant les coefficients de Dice sont présentés dans le Tableau 2.

	Dice Pericardium	Dice EAT
AUTO	0.92 (0.01)	0.85 (0.03)
O2	0.93 (0.02)	0.86 (0.04)
O1b	0.92 (0.02)	0.84 (0.04)

Table 2. Evaluation inter et intra-observateur.

Note- Auto: segmentations automatiques ; O1b: segmentations manuelles réalisées par l'Observateur 1 ; O2: segmentations manuelles réalisées par l'Observateur 2.

Le coefficient de Dice pour la segmentation automatique concernant la segmentation péricardique globale (Dice Peri) était de 0,92 ($\pm 0,01$) et de 0,85 ($\pm 0,03$) pour la segmentation de la graisse épicaudique (Dice EAT). Le Dice de la segmentation manuelle réalisée par l'observateur 1 est de 0,92 ($\pm 0,02$) pour le volume péricardique et de 0,84 ($\pm 0,04$) pour le volume de graisse épicaudique. Le Dice de la segmentation manuelle réalisée par l'observateur 2 est de 0,93 ($\pm 0,02$) pour le volume péricardique et de 0,86 ($\pm 0,04$) pour le volume de graisse épicaudique.

b. Reproductibilité des segmentations

Les résultats concernant les MAE, les biais et les paramètres cliniques entre la segmentation manuelle et automatique ainsi que les comparaisons inter et intra-observateurs sont représentés dans le Tableau 3.

Method	Vol. Peri			Vol. EAT			EAT Ext.		
	bias (cm ³)	MAE (cm ³)	corr	bias (cm ³)	MAE (cm ³)	corr	bias (%)	MAE (%)	corr
O1a vs O2	-42.8 \pm 18.1(p: p < 0.01)	42.8 \pm 18.1	0.993	-19.9 \pm 12.6(p: p < 0.01)	19.9 \pm 12.6	0.967	-1.8 \pm 1.6(p: p < 0.01)	1.8 \pm 1.6	0.966
O1a vs AUTO	-38.5 \pm 36.6(p: 0.02)	43.0 \pm 30.6	0.966	-15.5 \pm 20.8(p: 0.04)	17.8 \pm 18.6	0.904	-1.3 \pm 2.1(p: 0.06)	1.8 \pm 1.6	0.934
O1a vs O1b	-25.5 \pm 36.2(p: 0.04)	34.3 \pm 26.9	0.967	-8.4 \pm 16.3(p: 0.14)	13.1 \pm 12.4	0.935	-0.5 \pm 1.7(p: 0.44)	1.4 \pm 1.0	0.95

Table 3. Evaluation des performances de segmentation de l'algorithme en comparaison aux segmentations de référence.

Note- Vol. Peri: Volume péricardique ; Vol. EAT: volume de graisse épicaudique ; EAT Ext: extension de graisse épicaudique ; MAE: Erreur Moyenne Absolue ; O1a: segmentations manuelles initiales réalisées par l'Observateur 1 ; O1b: segmentations manuelles réalisées par l'Observateur 1 secondairement ; O2: segmentations manuelles réalisées par l'Observateur 2.

Concernant la comparaison entre les segmentations manuelles réalisées par l'observateur 1 (O1a) et l'observateur 2 (O2) pour le volume péricardique le biais était de $-42,8\%$ ($\pm 18,1$; $p : p < 0,01$), l'erreur moyenne absolue (MAE) était de $42,8 \text{ cm}^3$ ($\pm 18,1$) soit une corrélation de $0,993$. Pour le volume de graisse épicaudique entre O1a et O2 le biais était de $-19,9\%$ ($\pm 12,6$; $p : p < 0,01$), la MAE était de $19,9 \text{ cm}^3$ ($\pm 12,6$) soit une corrélation de $0,967$. Pour l'extension (EAT Ext) entre O1a et O2 le biais était de $-1,8\%$ ($\pm 1,6$; $p : p < 0,01$), la MAE était de $1,8\%$ ($\pm 1,6$) soit une corrélation de $0,966$.

Concernant la comparaison entre les segmentations manuelles réalisées par l'observateur 1 (O1a) et les segmentations automatiques (Auto) pour le volume péricardique le biais était de $-38,5\%$ ($\pm 36,6$; $p : 0,02$), la MAE était de 43 cm^3 ($\pm 30,6$) soit une corrélation de $0,966$. Pour le volume de graisse épicaudique entre O1a et Auto le biais était de $-15,5\%$ ($\pm 20,8$; $p : 0,04$), la MAE était de $17,8 \text{ cm}^3$ ($\pm 18,6$) soit une corrélation de $0,904$. Pour l'extension (EAT Ext) entre O1a et Auto le biais était de $-1,3\%$ ($\pm 2,1$; $p : 0,06$), la MAE était de $1,8 \%$ ($\pm 1,6$) soit une corrélation de $0,934$.

Concernant la comparaison entre les segmentations manuelles réalisées par l'observateur 1 initialement (O1a) puis à deux semaines d'écart (O1b) pour le volume péricardique le biais était de $-25,5\%$ ($\pm 36,2$; $p : 0,04$), la MAE était de $34,3 \text{ cm}^3$ ($\pm 26,9$) soit une corrélation de $0,967$. Pour le volume de graisse épicaudique entre O1a et O1b le biais était de $-8,4\%$ ($\pm 16,3$; $p : 0,14$), la MAE était de $13,1 \text{ cm}^3$ ($\pm 12,4$) soit une corrélation de $0,935$. Pour l'extension (EAT Ext) entre O1a et O1b le biais était de $-0,5$ ($\pm 1,7$; $p : 0,44$), la MAE était de $1,4 \%$ ($\pm 1,6$) soit une corrélation de $0,95$.

Les corrélations entre les mesures manuelles et automatiques sont présentées dans la Figure 5.

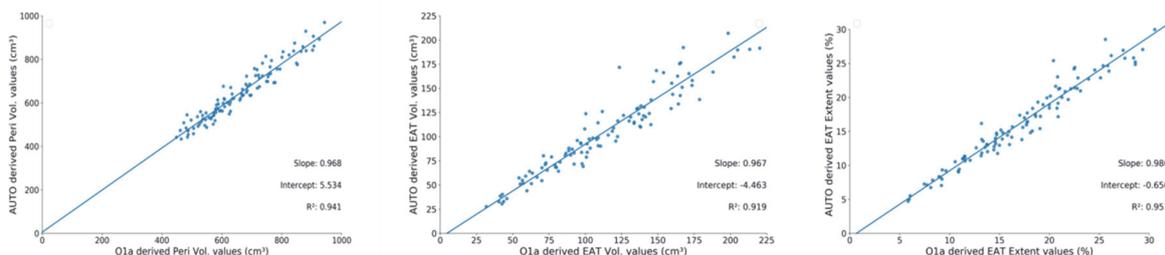


Figure 5-Corrélations entre les segmentations automatiques et manuelles réalisées par l'Observateur 1.

Note-Peri Vol: Volume péricardique ; EAT Vol: volume de graisse épicaudique ; EAT Ext: extension de graisse épicaudique ; O1a: segmentations manuelles initiales réalisées par l'Observateur.

Les graphiques de Bland-Altman sont représentés dans la Figure 6.

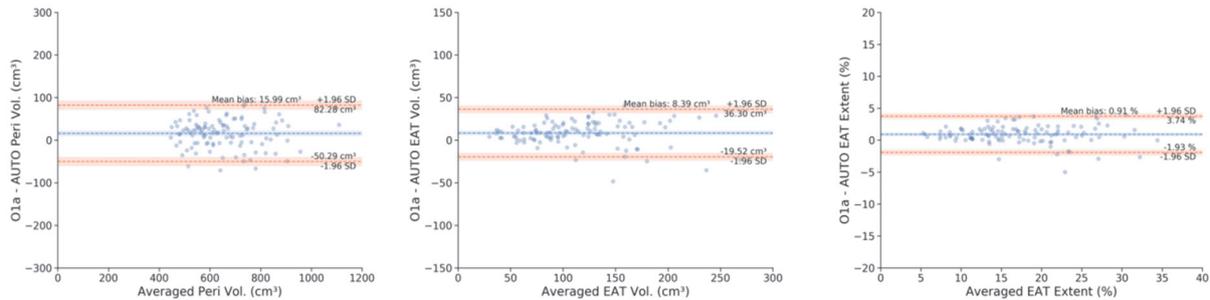


Figure 6- Analyse de Bland-Altman pour les mesures de volume péricardique, volume de graisse épicaudique et de l'extension entre les segmentations automatique et manuelle.

Note-Peri Vol: Volume péricardique ; EAT Vol: volume de graisse épicaudique ; EAT Ext: extension de graisse épicaudique ; O1a: segmentations manuelles initiales réalisées par l'Observateur. Dans chaque graphique de Bland-Altman, l'axe des x indique la moyenne de deux mesures et l'axe des y est la différence entre elles. La ligne pointillée bleue indique la différence moyenne (biais) et les deux lignes pointillées orange indiquent $\pm 1,96$ écart-type par rapport à la moyenne.

IV. DISCUSSION

Un logiciel d'apprentissage en profondeur a été développé pour la segmentation de volume de graisse épicaudique en acquisition TDM basse dose. Dans l'étude réalisée par Commandeur *et al.* (10), qui est une étude multicentrique réalisée sur une large cohorte (n=765) avec plusieurs observateurs, le coefficient de Dice médian était de 0,873 (Ecart Interquartile : 0,842-0,895) concernant la segmentation de la graisse épicaudique. Dans notre étude, le coefficient de Dice de la segmentation automatique est de 0,85 ($\pm 0,03$) ce qui reste similaire à l'étude réalisée par Commandeur *et al.* Nous pouvons expliquer un tel résultat notamment en raison d'un plus faible volume d'entraînement (n=95) mais également par le fait qu'il y avait moins d'observateurs dans notre étude et donc probablement moins de variations inter-observateurs. Il apparaît donc nécessaire de poursuivre l'entraînement de notre modèle sur une base de données plus importante et de multiplier le nombre d'observateurs tout en maintenant un coefficient de Dice similaire aux autres études.

Nous avons sélectionné au hasard une population à partir d'une banque de données tout en limitant les critères d'exclusion afin d'extrapoler au maximum notre algorithme à la population générale. Notamment, nous avons choisi d'entraîner notre modèle sur tous les morphotypes de patients afin d'être le plus représentatif possible. Dans notre étude, le volume de graisse épicaudique de la population d'entraînement et de test ne présentaient pas de différences statistiquement significatives. Cependant il est à noter que nous ne disposions d'aucun patient en situation de maigreur selon les critères d'IMC. Ces patients, pour lesquels la graisse épicaudique est souvent minime peuvent représenter des challenges dans la segmentation et pourraient diminuer les chiffres obtenus en termes de Dice. Il n'existe pas à l'heure actuelle de valeurs de référence standard pour la mesure du volume de graisse épicaudique dans la population générale. De même, la mesure précise du volume de graisse épicaudique et la relation avec l'indice de masse corporelle n'est pas encore bien connue (19). Dans l'étude de Nerlekar (20) par exemple, prospective, le volume de graisse était évalué à environ 108.5 cm³ (76.4 – 140.6). Nos résultats semblent inférieurs en terme de valeur médiane du volume de graisse épicaudique. Cependant, cette étude analysait l'association entre plaque coronaire à risque et volume de graisse épicaudique. Ces patients présentaient tous une histoire chronique ou récente de coronaropathie (versus 11.56 % dans notre cohorte d'entraînement) et un IMC moyen à 29.4 kg/m², ce qui pourrait expliquer des chiffres plus

élevés de volume de graisse comparativement à nos résultats. Dans l'étude de Mahabadi (21), le volume de graisse épicaudique était mesuré à 85.9 cm³ (EI : 61.4-120.9).

La réalisation des segmentations manuelles était soumise aux difficultés inhérentes à l'anatomie du péricarde et de la graisse épicaudique. En effet, de par la variabilité anatomique du péricarde entre les individus il apparaissait parfois difficile de préciser exactement les limites supérieure et inférieure du péricarde. Nous nous sommes fixés comme limites anatomiques le haut de l'oreillette gauche et le bas du ventricule gauche ce qui parfois sur ou sous-estimait la quantité réelle de graisse épicaudique chez ces patients. De plus, comme exposé plus haut chez les patients qui présentaient une faible quantité de graisse épicaudique la limite du péricarde était parfois difficile à visualiser.

Une autre limite dans notre étude était l'absence de scanner chez des patients ayant eu un antécédent de sternotomie, de matériel intra-cardiaque (stent coronaire, défibrillateur automatique implantable, valve cardiaque,...), un antécédent chirurgical cardiaque ou pulmonaire. Bien que cela représente une part modérée de la population générale, nous n'avons pas encore testé notre algorithme dans ces différentes situations. Le logiciel présentait également des difficultés à reconnaître certaines particularités anatomiques (notamment la présence d'atélectasies pulmonaires, de hernie hiatale, etc...) qui modifiait la position du cœur dans médiastin. Il est nécessaire de poursuivre le développement de l'algorithme sur cette population de patients afin d'étendre les performances de l'outil et pouvoir l'utiliser sur l'ensemble de la population adulte.

Toutes les images tomodensitométriques étudiées ont été acquises sur le même scanner dans un centre clinique unique. L'utilisation de différents scanners et la validation externe multicentrique sont en cours afin de valider les performances de l'algorithme présenté.

Nous avons réalisé cette étude sur des TDM thoraciques à faible dose (dose moyenne de 64.45 mGy.cm) ce qui constitue un réel avantage clinique pour les patients car cela permet de bénéficier d'une meilleure sensibilité et reproductibilité dans la mesure de l'épaisseur et du volume de la graisse épicaudique mais également d'avoir une meilleure résolution d'images tout en limitant nettement l'exposition aux rayonnements ionisants des patients.

Nous avons validé notre approche en utilisant des mesures de terrain provenant de plusieurs lecteurs pour tenir compte de la variabilité interobservateur.

Nous avons établi un logiciel d'apprentissage en profondeur pour la segmentation de volume de graisse épigardique en acquisition TDM basse dose. Nous allons par la suite tester notre modèle sur des banques de données plus importantes afin d'évaluer la valeur pronostique dans la vie courante. Notre modèle, bien qu'ayant été formé sur la fenêtre médiastinale, s'est avéré être également efficace sur les fenêtres parenchymateuses. Dans ce sens, notre approche pourrait être intégrée à d'autres logiciels existant déjà afin de réaliser plusieurs analyses automatiques sur le même examen en quelques secondes. Par exemple, au vu du contexte épidémiologique actuel, cela pourrait être appliqué chez les patients atteints d'une infection virale à SARS-COV 2 afin d'établir un lien entre la quantité de graisse épigardique et la sévérité des lésions parenchymateuses pulmonaires. Un logiciel rapide et reproductible qui permettrait de déterminer la quantité de graisse épigardique et donc un potentiel facteur de développer une infection virale à SARS-COV2 grave pourrait être développé.

Le volume de graisse épigardique pourrait être un facteur de risque indépendant de l'âge, du sexe, des antécédents et il apparaît donc essentiel de pouvoir le mesurer dans la pratique clinique courante.

Il serait également intéressant d'établir un lien entre le volume de graisse épigardique et le pronostic cardio-vasculaire des patients, notamment si notre modèle est utilisable rapidement en pratique courante. Chez ces mêmes patients, il serait également utile d'analyser la corrélation entre le volume de graisse épigardique et le dosage de la troponine par exemple.

V. CONCLUSION

Un algorithme d'intelligence artificielle par Deep Learning a été développé pour la segmentation de volume de graisse épicardique sur des TDM basse dose en fenêtre médiastinale. Le logiciel de quantification de volume de graisse automatique propose une segmentation précise, rapide et reproductible et ainsi une mesure des volumes médiastinaux intra-péricardique et de la graisse épicardique. L'obtention automatique du volume de graisse épicardique est une donnée nécessaire dans l'évaluation du risque cardio-vasculaire en pratique clinique afin de devenir une cible thérapeutique dans la prise en charge des maladies cardiovasculaires. Par ailleurs, cette méthode de mesure automatique devrait être analysée chez des patients atteints de SARS-COV2 afin d'étudier le lien entre volume de graisse épicardique et sévérité de l'infection respiratoire.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- 1) Bertaso, Angela Gallina, Daniela Bertol, Bruce Bartholow Duncan, et Murilo Foppa. « Epicardial Fat: Definition, Measurements and Systematic Review of Main Outcomes ». *Arquivos Brasileiros De Cardiologia* 101, n° 1 (juillet 2013): e18-28. <https://doi.org/10.5935/abc.20130138>.
- 2) Wu, Yang, Aijun Zhang, Dale J. Hamilton, et Tuo Deng. « Epicardial Fat in the Maintenance of Cardiovascular Health ». *Methodist DeBakey Cardiovascular Journal* 13, n° 1 (mars 2017): 20-24. <https://doi.org/10.14797/mdcj-13-1-20>.
- 3) Gaborit, Bénédicte, Coralie Sengenès, Patricia Ancel, Alexis Jacquier, et Anne Dutour. « Role of Epicardial Adipose Tissue in Health and Disease: A Matter of Fat? » In *Comprehensive Physiology*, édité par Ronald Terjung, 1051-82. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2017. <https://doi.org/10.1002/cphy.c160034>.
- 4) Packer, Milton. « Epicardial Adipose Tissue May Mediate Deleterious Effects of Obesity and Inflammation on the Myocardium ». *Journal of the American College of Cardiology* 71, n° 20 (22 mai 2018): 2360-72. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.03.509>.
- 5) Russo, Roberta, Biagio Di Iorio, Luca Di Lullo, et Domenico Russo. « Epicardial Adipose Tissue: New Parameter for Cardiovascular Risk Assessment in High Risk Populations ». *Journal of Nephrology* 31, n° 6 (décembre 2018): 847-53. <https://doi.org/10.1007/s40620-018-0491-5>.
- 6) Gorter, Petra M., Anne S. R. van Lindert, Alexander M. de Vos, Matthijs F. L. Meijs, Yolanda van der Graaf, Pieter A. Doevendans, Mathias Prokop, et Frank L. J. Visseren. « Quantification of Epicardial and Peri-Coronary Fat Using Cardiac Computed Tomography; Reproducibility and Relation with Obesity and Metabolic Syndrome in Patients Suspected of Coronary Artery Disease ». *Atherosclerosis* 197, n° 2 (avril 2008): 896-903. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2007.08.016>.
- 7) Yerramasu, Ajay, Damini Dey, Shreenidhi Venuraju, Dhakshinamurthy Vijay Anand, Satvir Atwal, Roger Corder, Daniel S. Berman, et Avijit Lahiri. « Increased Volume of Epicardial Fat Is an Independent Risk Factor for Accelerated Progression of Sub-Clinical Coronary Atherosclerosis ». *Atherosclerosis* 220, n° 1 (janvier 2012): 223-30. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2011.09.041>.
- 8) Dey, Damini, Nathan D. Wong, Balaji Tamarappoo, Ryo Nakazato, Heidi Gransar, Victor Y. Cheng, Amit Ramesh, et al. « Computer-Aided Non-Contrast CT-Based Quantification of Pericardial and Thoracic Fat and Their Associations with Coronary Calcium and Metabolic Syndrome ». *Atherosclerosis* 209, n° 1 (mars 2010): 136-41. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2009.08.032>.
- 9) Commandeur, Frederic, Markus Goeller, Julian Betancur, Sebastien Cadet, Mhairi Doris, Xi Chen, Daniel S. Berman, Piotr J. Slomka, Balaji K. Tamarappoo, et Damini Dey. « Deep Learning for Quantification of Epicardial and Thoracic Adipose Tissue From Non-Contrast CT ». *IEEE Transactions on Medical Imaging* 37, n° 8 (août 2018): 1835-46. <https://doi.org/10.1109/TMI.2018.2804799>.

- 10) Commandeur, Frederic, Markus Goeller, Aryabod Razipour, Sebastien Cadet, Michaela M. Hell, Jacek Kwiecinski, Xi Chen, et al. « Fully Automated CT Quantification of Epicardial Adipose Tissue by Deep Learning: A Multicenter Study ». *Radiology: Artificial Intelligence* 1, n° 6 (1 novembre 2019): e190045. <https://doi.org/10.1148/ryai.2019190045>.
- 11) Monti, Caterina B., Marina Codari, Carlo Nicola De Cecco, Francesco Secchi, Francesco Sardanelli, et Arthur E. Stillman. « Novel Imaging Biomarkers: Epicardial Adipose Tissue Evaluation ». *The British Journal of Radiology* 93, n° 1113 (1 septembre 2020): 20190770. <https://doi.org/10.1259/bjr.20190770>.
- 12) Ding, Xiaowei, Jianing Pang, Zhou Ren, Mariana Diaz-Zamudio, Chenfanfu Jiang, Zhaoyang Fan, Daniel S. Berman, et al. « Automated Pericardial Fat Quantification from Coronary Magnetic Resonance Angiography: Feasibility Study ». *Journal of Medical Imaging* 3, n° 1 (18 février 2016): 014002. <https://doi.org/10.1117/1.JMI.3.1.014002>.
- 13) Cristobal-Huerta, Alexandra, Angel Torrado-Carvajal, Norberto Malpica, Maria Luaces, et Juan Antonio Hernandez-Tamames. « Automated quantification of epicardial adipose tissue in cardiac magnetic resonance imaging ». In *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 7308-11. Milan: IEEE, 2015. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7320079>.
- 14) Teme, Tonye, Bassel Sayegh, Mushabbar Syed, David Wilber, Lara Bakhos, et Mark Rabbat. « Quantification of Epicardial Fat Volume Using Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging ». *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 16, n° S1 (janvier 2014): O112. <https://doi.org/10.1186/1532-429X-16-S1-O112>.
- 15) Militello, Carmelo, Leonardo Rundo, Patrizia Toia, Vincenzo Conti, Giorgio Russo, Clarissa Filorizzo, Erica Maffei, et al. « A Semi-Automatic Approach for Epicardial Adipose Tissue Segmentation and Quantification on Cardiac CT Scans ». *Computers in Biology and Medicine* 114 (novembre 2019): 103424. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2019.103424>.
- 16) Fedorov, Andriy, Reinhard Beichel, Jayashree Kalpathy-Cramer, Julien Finet, Jean-Christophe Fillion-Robin, Sonia Pujol, Christian Bauer, et al. « 3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network ». *Magnetic Resonance Imaging* 30, n° 9 (novembre 2012): 1323-41. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>.
- 17) Zhang, Ziang, Chengdong Wu, Sonya Coleman, et Dermot Kerr. « DENSE-INception U-Net for Medical Image Segmentation ». *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 192 (août 2020): 105395. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105395>.
- 18) Wang, Jingdong, Ke Sun, Tianheng Cheng, Borui Jiang, Chaorui Deng, Yang Zhao, Dong Liu, et al. « Deep High-Resolution Representation Learning for Visual Recognition ». *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2020, 1-1. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2020.2983686>.

- 19) Ansaldo, Anna Maria, Fabrizio Montecucco, Amirhossein Sahebkar, Franco Dallegri, et Federico Carbone. « Epicardial Adipose Tissue and Cardiovascular Diseases ». *International Journal of Cardiology* 278 (mars 2019): 254-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.09.089>.
- 20) Nerlekar, Nitesh, Udit Thakur, Andrew Lin, Ji Quan Samuel Koh, Elizabeth Potter, David Liu, Rahul G. Muthalaly, et al. « The Natural History of Epicardial Adipose Tissue Volume and Attenuation: A Long-Term Prospective Cohort Follow-up Study ». *Scientific Reports* 10, n° 1 (décembre 2020): 7109. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63135-z>.
- 21) Mahabadi, Amir A., Marie H. Berg, Nils Lehmann, Hagen Kälsch, Marcus Bauer, Kaffer Kara, Nico Dragano, et al. « Association of Epicardial Fat With Cardiovascular Risk Factors and Incident Myocardial Infarction in the General Population ». *Journal of the American College of Cardiology* 61, n° 13 (avril 2013): 1388-95. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.11.062>.

SERMENT D'HIPPOCRATE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

RESUME

INTRODUCTION:

L'objectif principal de cette étude est de développer et d'évaluer un logiciel d'apprentissage en profondeur permettant une segmentation entièrement automatisée du volume de graisse épigardique en tomographie densitométrie (TDM) thoracique basse dose.

MATERIEL ET METHODES:

Cette étude rétrospective monocentrique menée d'octobre 2020 à janvier 2021 inclut 115 scanners au total, 95 pour l'étape d'entraînement et de validation et 20 pour l'étape test. Les étapes principales de l'étude étaient la réalisation d'une segmentation manuelle de la graisse épigardique, l'entraînement de l'algorithme sur ces données, le testing puis l'évaluation des résultats techniques et cliniques obtenus. Nous avons également évalué la variabilité intra-observateur, inter-observateur et le temps d'interaction pour réaliser la segmentation (définie comme l'efficacité). Les corrélations entre les segmentations manuelles et automatiques ainsi que la reproductibilité ont ensuite été effectuées. Les graphiques de Bland-Altman ont été calculés pour évaluer les biais et les limites entre segmentations manuelles et automatiques.

RESULTATS:

Le coefficient de Dice de la segmentation automatique de la graisse épigardique (Dice EAT) est de 0,85 ($\pm 0,03$). Le Dice EAT réalisée par l'observateur 1 (O1) est de 0,84 ($\pm 0,04$) et de 0,86 ($\pm 0,04$) pour la segmentation manuelle réalisée par l'observateur 2 (O2). Concernant la comparaison entre les segmentations manuelles réalisées par O1 et la segmentation automatique (Auto) pour le volume de graisse épigardique le biais était de -15,5% ($\pm 20,8$; $p : 0,04$), la marge d'erreur absolue (MAE) était de 17,8 cm³ ($\pm 18,6$) soit une corrélation de 0,904. Pour le volume de graisse épigardique entre O1a et O2 le biais était de -19,9% ($\pm 12,6$; $p : p < 0,01$), la MAE était de 19,9 cm³ ($\pm 12,6$) soit une corrélation de 0,967.

CONCLUSION:

Un algorithme d'intelligence artificielle par Deep learning a été développé pour une segmentation précise, rapide et reproductible de la graisse épigardique sur des TDM basse dose en fenêtre médiastinale.

MOTS-CLES :

Deep learning, segmentation automatique, tissu adipeux épigardique, tomographie densitométrie (TDM) thoracique basse dose.