



HAL
open science

Évaluation d'un système d'intelligence artificielle pour le dépistage et l'évaluation de la gravité de la pneumopathie à SARS-CoV-2

Justine Mugnier

► **To cite this version:**

Justine Mugnier. Évaluation d'un système d'intelligence artificielle pour le dépistage et l'évaluation de la gravité de la pneumopathie à SARS-CoV-2. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03207893

HAL Id: dumas-03207893

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03207893>

Submitted on 26 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.

**Evaluation d'un système d'intelligence artificielle pour le dépistage et
l'évaluation de la gravité de la pneumopathie à SARS-CoV-2**

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

Présentée et publiquement soutenue devant

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

Le 23 Avril 2021

Par Madame Justine MUGNIER

Née le 5 avril 1990 à Dijon (21)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de RADIODIAGNOSTIC ET IMAGERIE MÉDICALE

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur CHAGNAUD Christophe

Président

Monsieur le Professeur VAROQUAUX Arthur

Directeur

Monsieur le Professeur JACQUIER Alexis

Assesseur

Monsieur le Professeur GAUBERT Jean-Yves

Assesseur

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
Asseseurs :		
➤ 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 MEDECINE DENTAIRE

Directeur : **Pr. Bruno FOTI**

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		JOUVE 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

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

MM MICHOTÉY 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

VANUXEM Paul
VERVLOET Daniel
VIALETTES Bernard
WEILLER Pierre-Jean

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

EMERITAT

2008

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

2009

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

2010

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

2011

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

2012

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

2013

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

2014

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

2015

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

EMERITAT

2016

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

2017

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

2018

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

2019

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

2020

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

EMERITAT

M. le Professeur

NAZARIAN Serge

31/08/2021

Honoris causa

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

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

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

2000

MM. les Professeurs

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

2001

MM. les Professeurs

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

2002

MM. les Professeurs

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

2003

M. le Professeur
Sir

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

2004

M. le Professeur

M. DAKE (U.S.A.)

2005

M. le Professeur

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

2006

M. le Professeur

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

2007

M. le Professeur

S. KAUFMANN (Allemagne)

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AGOSTINI FERRANDES Aubert	CHOSSEGROS Cyrille
ALBANESE Jacques	COLLART Frédéric
ALIMI Yves	COSTELLO Régis
AMABILE Philippe	COURBIERE Blandine
AMBROSI Pierre	COWEN Didier
ANDRE Nicolas	CRAVELLO Ludovic
ARGENSON Jean-Noël	CUISSET Thomas
ASTOUL Philippe	DA FONSECA David
ATTARIAN Shahram	DAHAN-ALCARAZ Laetitia
AUDOUIN Bertrand	DANIEL Laurent
AUQUIER Pascal	DARMON Patrice
AVIERINOS Jean-François	DAVID Thierry
AZULAY Jean-Philippe	D'ERCOLE Claude
BAILLY Daniel	D'JOURNO Xavier
BARLESI Fabrice	DEHARO Jean-Claude
BARLIER-SETTI Anne	DELAPORTE Emmanuel
BARLOGIS Vincent	DENIS Danièle
BARTHET Marc	DISDIER Patrick
BARTOLI Christophe	DODDOLI Christophe
BARTOLI Jean-Michel	DRANCOURT Michel
BARTOLI Michel	DUBUS Jean-Christophe
BARTOLOMEI Fabrice	DUFFAUD Florence
BASTIDE Cyrille	DUFOUR Henry
BENSOUSSAN Laurent	DURAND Jean-Marc
BERBIS Philippe	DUSSOL Bertrand
BERBIS Julie	EBBO Mikaël
BERDAH Stéphane	EUSEBIO Alexandre
BEROUD Christophe	FABRE Alexandre
BERTUCCI François	FAKHRY Nicolas
BLAISE Didier	FELICIAN Olivier
BLIN Olivier	FENOLLAR Florence
BLONDEL Benjamin	FIGARELLA/BRANGER Dominique
BONIN/GUILLAUME Sylvie	FLECHER Xavier
BONELLO Laurent	FOUILLOUX Virginie
BONNET Jean-Louis	FOURNIER Pierre-Edouard
<i>BOUBLI Léon Surnombre</i>	FRANCESCHI Frédéric
BOUFI Mourad	FUENTES Stéphane
BOYER Laurent	GABERT Jean
BREGEON Fabienne	GABORIT Bénédicte
BRETELLE Florence	GAINNIER Marc
BROUQUI Philippe	GARCIA Stéphane
BRUDER Nicolas	GARIBOLDI Vlad
BRUE Thierry	GAUDART Jean
BRUNET Philippe	GAUDY-MARQUESTE Caroline
BURTEY Stéphane	GENTILE Stéphanie
CARCOPINO-TUSOLI Xavier	GERBEAUX Patrick
CASANOVA Dominique	GEROLAMI/SANTANDREA René
CASTINETTI Frédéric	GILBERT/ALESSI Marie-Christine
CECCALDI Mathieu	GIORGI Roch
CHAGNAUD Christophe	GIOVANNI Antoine
CHAMBOST Hervé	GIRARD Nadine
CHAMPSAUR Pierre	GIRAUD/CHABROL Brigitte
CHANEZ Pascal	GONCALVES Anthony
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
<i>PANUEL Michel Surnombre</i>	ROCH Antoine
PAPAZIAN Laurent	ROCHWERGER Richard
PAROLA Philippe	ROLL Patrice
<i>PARRATTE Sébastien Disponibilité</i>	ROSSI Dominique
PELLISSIER-ALICOT Anne-Laure	ROSSI Pascal
PELLETIER Jean	ROUDIER Jean
PERRIN Jeanne	SALAS Sébastien
PETIT Philippe	SARLON-BARTOLI Gabrielle
PHAM Thao	SCAVARDA Didier
PIERCECCHI/MARTI Marie-Dominique	SCHLEINITZ Nicolas
PIQUET Philippe	SEBAG Frédéric
PIRRO Nicolas	SIELEZNEFF Igor
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

REVIS Joana

PROFESSEUR DES UNIVERSITES MEDECINE GEN

GENTILE Gaëtan

PROFESSEUR ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE

GUIDA Pierre

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

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

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

TURRINI Olivier

VALERO René

VAROQUAUX Arthur Damien

VELLY Lionel

VEY Norbert

VIDAL Vincent

VIENS Patrice

VILLANI Patrick

VITON Jean-Michel

VITTON Véronique

VIEHWEGER Heide Elke détachement

VIVIER Eric

XERRI Luc

AHERFI Sarah	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	SECQ Véronique (<i>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 Héléne
DADOUN Frédéric (<i>disponibilité</i>)	LAGIER Aude (<i>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

**ESSEURS 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 CELLULAIRE 4403

ROLL Patrice (PU-PH)

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

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

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

BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE 4301

GUEDJ Eric (PU-PH)

CARDIOLOGIE 5102

AVIERINOS Jean-François (PU-PH)

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

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

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

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

**BIostatistiques, Informatique Médicale
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 ORTHOPÉDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE 5002

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

ROLOGIE ; RADIOTHERAPIE 4702 CANCÉROLOGIE ; RADIOTHERAPIE

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

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

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

CHIRURGIE VISCÉRALE 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 CHIRURGIE INFANTILE 5402

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

FACIALE ET STOMATOLOGIE 5503 CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE 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
 BRETELLE 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)

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)
 PELISSIER-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/VITTE 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

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

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

MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL 4602

ELDIN Carole (MCU-PH)

LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-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 25/09/2012 (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) DUFOUR Henry (PU-PH)

THERY Didier (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps) (nomination au 1/11/2012) FUENTES Stéphane (PU-PH)

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)

MOAL Valérie (PU-PH)

ROBERT Thomas (MCU-PH)

NEUROCHIRURGIE 4902

DUFOUR Henry (PU-PH)

FUENTES Stéphane (PU-PH)

REGIS Jean (PU-PH)

ROCHE Pierre-Hugues (PU-PH)

SCAVARDA Didier (PU-PH)

CARRON Romain (MCU PH)

GRAILLON Thomas (MCU PH)

NEUROLOGIE 4901

ATTARIAN Sharham (PU PH)

AUDOIN Bertrand (PU-PH)

AZULAY Jean-Philippe (PU-PH)

CECCALDI Mathieu (PU-PH)

EUSEBIO Alexandre (PU-PH)

FELICIAN Olivier (PU-PH)

PELLETIER Jean (PU-PH)

MAAROUF Adil (MCU-PH)

PEDOPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE 4904

DA FONSECA David (PU-PH)

POINSO François (PU-PH)

GUIVARCH Jokthan (MCU-PH)

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

BLIN Olivier (PU-PH)

MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH)

SIMON Nicolas (PU-PH)

BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

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)

PHYSIOLOGIE 4402

PEDIATRIE 5401

ANDRE Nicolas (PU-PH)

BARLOGIS Vincent (PU-PH)

CHAMBOST Hervé (PU-PH)

DUBUS Jean-Christophe (PU-PH)

FABRE Alexandre (PU-PH)

GIRAUD/CHABROL Brigitte (PU-PH)

MICHEL Gérard (PU-PH)

MILH Mathieu (PU-PH)

OVAERT-REGGIO Caroline (PU-PH)

REYNAUD Rachel (PU-PH)

TSIMARATOS Michel (PU-PH)

TOSELLO Barthélémy (MCU-PH)

BARTOLOMEI Fabrice (PU-PH)

BREGEON Fabienne (PU-PH)

GABORIT Bénédicte (PU-PH)

MEYER/DUTOUR Anne (PU-PH)

TREBUCHON/DA FONSECA Agnès (PU-PH)

BONINI Francesca (MCU-PH)

BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH)

DADOUN Frédéric (MCU-PH) (disponibilité)

DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)

LAGARDE Stanislas (MCU-PH)

RUEL Jérôme (MCF) (69ème section)

THIRION Sylvie (MCF) (66ème section)

PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE 4903

BAILLY Daniel (PU-PH)

LANCON Christophe (PU-PH)

NAUDIN Jean (PU-PH)

RICHERI Raphaëlle (PU-PH)

CERMOLACCE Michel (MCU-PH)

PNEUMOLOGIE; ADDICTOLOGIE 5101

ASTOUL Philippe (PU-PH)

BARLESI Fabrice (PU-PH)

CHANEZ Pascal (PU-PH)

GREILLIER Laurent (PU PH)

REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

CHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PSYCHOLOGIE SOCIALE 16

AGHABABIAN Valérie (PR)

LAZZAROTTO Sébastien (MAST)

TOMASINI Pascale (MCU-PH)

RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE 4302

RHUMATOLOGIE 5001

BARTOLI Jean-Michel (PU-PH)

CHAGNAUD Christophe (PU-PH)

CHAUMOITRE Kathia (PU-PH)

GIRARD Nadine (PU-PH)

JACQUIER Alexis (PU-PH)

MOULIN Guy (PU-PH)

PANUEL Michel (PU-PH) surnombre

PETIT Philippe (PU-PH)

VAROQUAUX Arthur Damien (PU-PH)

VIDAL Vincent (PU-PH)

STELLMANN Jan-Patrick (MCU-PH)

GUIS Sandrine (PU-PH)

LAFFORGUE Pierre (PU-PH)

PHAM Thao (PU-PH)

ROUDIER Jean (PU-PH)

HERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE 4801

AMBROSI Pierre (PU-PH)

VILLANI Patrick (PU-PH)

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

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

HRAIECH Sami (MCU-PH)

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

REMERCIEMENTS

Aux membres du Jury

A Monsieur le Professeur Christophe Chagnaud, merci de me faire l'honneur de présider ce jury de thèse. Je vous remercie de m'accueillir dans votre service, au sein de votre équipe que je chéris tant. Soyez assurés de ma reconnaissance, de mon respect et de ma profonde admiration.

A Monsieur le Professeur Arthur Varoquaux, merci de m'avoir transmis votre passion pour la science, merci pour votre excellente pédagogie. Merci de m'avoir fait confiance pour ce beau projet que nous avons mené ensemble. Il me tarde de commencer cette nouvelle étape professionnelle pour travailler à vos côtés. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon respect. (Compléments en page 8).

A Monsieur le Professeur Alexis Jacquier, merci de me faire l'honneur de juger mon travail de thèse, votre expertise en intelligence artificielle est reconnue. Merci pour votre accueil lors de mes tout débuts en radiologie au sein de votre éminent service de la Timone. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Jean-Yves Gaubert, vous me faites l'honneur de siéger dans mon jury de thèse et j'en suis touchée. Vos compétences dans le domaine de la radiologie thoracique, que vous m'avez fait partager lors de mon premier semestre, me suivent au quotidien. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A l'ensemble des Professeurs qui m'ont guidé au cours de mon internat

A Monsieur le Professeur Olivier Hélénon, merci de m'avoir accueilli dans votre service de l'hôpital Necker, merci pour le partage de vos intarissables connaissances en uro-radiologie. Soyez assurés de ma reconnaissance, de mon respect et de ma profonde admiration.

A Monsieur le Professeur Jean-Michel Correas, merci pour votre motivation quotidienne, votre engouement sans limite pour la radiologie interventionnelle et l'échographie, merci pour votre proximité. Mais surtout merci pour le partage de votre amour pour la poésie et Barbara. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A Madame le Professeur Nadine Girard, merci pour votre investissement auprès des internes et de votre passion contagieuse pour la neuroradiologie. Mon semestre dans votre service est l'un de mes meilleurs souvenirs d'internat. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A Madame le Professeur Kathia Chaumôtre, merci pour la qualité de vos enseignements radiologiques et votre implication au sein des internes. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Pierre Champsaur, merci pour votre implication dans le domaine de l'imagerie ostéo-articulaire et de l'informatique qui nous permet de travailler avec fluidité et omniscience des dossiers des patients au sein de tous les centres de l'APHM. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Thomas Le Corroller, merci de nous transmettre vos compétences et votre expertise dans le domaine de l'imagerie ostéo-articulaire, pour votre compréhension et proximité auprès des internes. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Moulin, merci pour votre apprentissage de la pathologie ORL, pour votre aide toujours rapide et efficace sur le plan administratif. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Bartoli, merci de faire rayonner nationalement la radiologie Marseillaise, votre énergie communicative est un modèle de motivation. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Arrivé, merci de m'avoir accueilli dans votre service de l'hôpital Saint-Antoine, au sein d'une équipe compétente et que j'adore. Merci pour ces innombrables et variés Staff et cours qui nous font progresser. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

Merci à Maria Sklodowska sans qui rien de tout ça n'aurait été possible.

Même si je suis toujours en retard, j'ai plein de petits calendriers dans la tête qui me font écrire par chronologie.

A ma Famille

Maman : Tu m'as bercée par ton amour maternel profond et puissant et gâtée plus qu'il n'en faut pour toute une enfance. Merci de m'avoir toujours soutenue, nourrie d'amour et de bons petits plats pendant toutes ces années d'études à Dijon, que j'ai pu vivre dans un superbe appartement, fruit de ton intense travail. Je t'aime ma Maman.

Papa : Merci d'avoir été le diplomate à l'origine des compromis de mon adolescence « J'ai négocié avec ta mère : tu peux aller à la soirée si tu vas au cathé demain matin ». Merci d'être toujours présent et disponible « Allô Papa, ça ne va pas ». Merci de m'avoir poussé et aidé à acheter cet appartement marseillais que j'aime tant. Je t'aime Papa GPJM.

Merci à votre couple et son amour d'adolescent qui dure depuis 53 ans.

Ma sœur : Merci d'être notre aînée et heureusement, car c'est bien toi qui détiens la sagesse entre nous trois. Merci à toi qui m'as toujours emmené en vacances, en soirée. Toi qui sais me rassurer, qui m'apporte toujours les bons conseils qui me font avancer. Toi qui es si intelligente et si complexe. Nadège mon amour pour toi est si profond et admiratif, je suis très heureuse et fière d'être ta petite sœur.

Mon frère : mes premiers souvenirs sont ceux de batailles comme des enfants comme si nous n'avions pas toutes ses années d'écart, désormais ce sont de nombreuses soirées ensemble où nos quasi deux décennies ne se font jamais ressentir. Tu as toujours été là pour me protéger, je peux compter sur toi pour péter la gueule de n'importe qui, car tu es mon rital de frère que j'aime. A nos soirées comme des enfants, ces dernières années, tous les quatre avec Papa et Maman, qui ne nous font pas grandir, mais tant pis.

A la meilleure marraine, à Renille, à ton jardin, à l'arbre-renard, et à toutes les connaissances que tu m'as transmises, au chien-saucisse de mon enfance, aux petites pommes grillées des déjeuners chez toi et à la levure de bière que je mange toujours autant.

Fanny : La maternelle d'Annie et les coups fourrés pour faire punir les garçons. L'enfance instructive, libre, sauvage et ouverte, à notre labo de sciences, merci Jacqueline. L'enfance heureuse : gadouilles, barbies, cookies, La cabane et les Sims. A ta maman au fond de mon cœur. A Marion et Lulu, à Alain. J'espère qu'on se retrouvera un jour prochain...

Loïc : On pourrait te mettre chronologiquement à la place des frères et sœurs étant donné que tu me connais depuis que je suis née. Merci de m'avoir gardée toutes ces années d'enfance, à Dijon, à Marseille, en Bretagne et de me supporter encore souvent. Merci d'être parti à Aix en Provence car finalement c'est grâce à toi que je me trouve dans cette fantastique ville de Marseille. A Jeannine et Yves.

Erwan mon petit neveu-frère : Car tu es « the one » qui m'as piqué ma place d'enfant unique et oh comme j'ai aimé te le faire payer quand tu étais petit pour me venger. Comme ces années tous les deux furent belles « On arrive bientôt en Bretagne » « Oui Erwan » encore 7h en fait... « Regarde Erwan ! Perdita et Pongo ont eu un nouveau bébé » (tu étais un peu idiot quand même de croire que 2 peluches pouvaient faire des chiots). A l'homme que tu es devenu et que j'aime côtoyer.

Romain : petite boule de terreur, tu es le seul à jamais m'avoir fait craquer quand je vous gardais. Je suis fière de toi, de ton perfectionnisme, de ton intelligence et de ton goût prononcé pour la qualité et les belles choses. Je suis heureuse de pouvoir être une marraine du quotidien pendant que tu resteras ces quelques années à Marseille.

Victor : notre pitre à tous, tu es vraiment le plus comique des manchots. Tu as su nous montrer une détermination à toute épreuve, je suis triste que tu sois absent ce soir, mais je prie de tout cœur pour que tes efforts et ton travail soient payants cette année.

Claire : merci d'avoir été d'un grand soutien pour mes années bac et ma première année de médecine je ne l'oublierai jamais.

Hermine : enfin une fille dans ce troupeau de neveux ! La plus mignonne, la plus intrépide et la moins timide des petites blondes bouclées, tu nous as fait craquer. Je t'aime ma nièce, ne lâche rien même si les choses ne sont pas toujours simples. Tu peux compter sur moi, n'hésite jamais, je suis là pour toi et notamment pour faire une aprèm et une soirée fille !

Stanislas le plus beaux des nouveaux nés, tu étais déjà plus mature que ton âge. Ne grandit pas trop vite et viens faire des câlins à ta marraine chérie ;).

Alix : A toi la petite bouille d'amour qui nous permet de croire encore au père Noël, j'espère qu'on saura partager de bons moments malgré la distance géographique qui nous sépare.

A mon cousin Matthieu, heureusement que l'on était deux enfants de vieux, à notre belle enfance ensemble, à la bienveillance dont tu fais toujours preuve pour moi.

A mes oncles et tantes : Nadette, Chantale, Christiane et Patrick (encore merci pour ce CD des 2BE3). Geneviève, Aleth et Daniel.

A mes cousines et cousins : Sophie là-haut, Julie, Elodie, Aurélie, Sylvie, Emilie, à mon parrain Philippe, David, Alexandre, Estelle, Florence.

A Pietro, Renée, Paul et Marie.

Au collège Pardé et au Lycée Montchapet

Charline : vive Indochine et vive le bal ! On aura su adopter tous les styles vestimentaires et les modes de vie.

Marie-Ange : ma meilleure des protectrices de Pardé. Des courses nues pour avoir de l'eau chaude à nos soirées sushis à Colombes, c'est une amitié qui en a traversé.

Aude : Je ne serais jamais arrivée ici sans toi. Je ne sais quelle bonne étoile m'a fait venir dans ton cours de sport en cette année de première S de l'an 2006, mais ma vie en a été changée à tout jamais. A notre lycée, à la fac, à nos week-end : Dijon, Peisey, l'Escalet, au Burkina. Et à nos nombreuses soirées, nos histoires, nos amis. Je suis si fière d'être prochainement une des témoins de votre amour avec Théo. A toutes ces belles années et à celles qui arrivent, à notre amitié sans faille. A ta famille que j'adore Christine, Jim, Louis-Marie et Jeannette.

Paul : A nos beaux moments et merci de m'avoir appris la rigueur dont j'avais besoin pour pouvoir réussir cette pénible année de P1.

Marie-Chloé, merci pour toutes ces années ensemble, à nos ragots, à nos potins, à nos peuples sur lesquels on est incollables, à ces soirées dijonnaises qui étaient fantastiques. J'aime désormais nos week-end trentenaires avec ce cher Medhi (et maintenant avec ta petite famille) et nous en aurons encore de nombreux.

Mes dijonnais expatriés, ma moutarde

Notre team de P2 (enfin 1/3 pour Jaja) :

Juliette : le temps passe depuis le moment où tu étais « la nouvelle » en 5ème à Pardé. Tu es une vieille amie maintenant, j'ai tant aimé vivre ces années de folies avec toi en clodo au parc Darcy et chez tes parents, devant Montchapet et pendant notre externat (Juliette tu as encore laissé traîner ton string).

Marie : de Montchapet à Marseille en passant par Lyon on ne s'est pas quitté ma maman anti-gosses préférée. Hâte de voir grandir ta petite famille avec Guss qu'on suit depuis la P2.

Brice : depuis cette soirée de P1 au vin rouge où je suis rentrée en rampant, tu es l'astre lumineux de mes folles soirées et le démon de nos chers voisins de la rue Vauban. Tu es mon besta hypochondriaque alcoolique. Heureuse que Simon soit entré dans la team !

Julie : que de bons stages d'externat ensemble, fait de siestes et de soirées dans ton appart incroyable ! Vive la Bavière et vive la bière.

Mon grand (gueule) de **Jaja**, merci encore de m'avoir pétié un kyste, je ne l'oublierai jamais ! A nos semaines marseillaises entre potos, nos vacances à la Baume et en Normandie, qui seront encore nombreuses je l'espère.

Les vacances en Baume-Normande :

MC : depuis les belles soirées Vodka du lycée à Fontaine, les années passent et tu gères toujours aussi sereinement les mille facettes de ta vie avec Narco, Alexis et bébé Edgar.

Ségolène : au jardin de tes parents et à nos partages de lits à chaque vacance à la Baume et en Normandie. A nos histoires secrètes sans fin qu'on aime se raconter.

Maman Lutch à l'apaisement et la tranquillité que tu procures, à toutes ses vacances ensemble et à nos discussions jardinage.

PA à l'hyperactivité tranquille et à ton super accueil en Normandie ou à Dijon, à tes talents de bricoleur qu'on adore admirer.

Gio : A nos discussions, à nos opinions contradictoires mais qui peuvent s'accorder. A ta venue à Marseille qui me ravie.

A **Benjamin** : parce qu'on s'est quand même bien marré cet été, merci pour ces bons moments ensemble et pour m'avoir fait découvrir les truites.

Ma bourgogne Mon châlonnais Ma Nièvre :

Soline : ma folle dingos d'amour, nos nombreux voyages ensemble me manquent déjà, Viêt Nam, hammam à poils entre copains au Maroc, Terschelling, Philippines, les weekends à Poitiers et ceux de La Rochelle, mes préférés. Est-Ouest on arrivera à maintenir le lien je n'ai aucun doute !

Théo : mon TT, à la rue Vauban et nos pauses clopes pendant ces saloperies de partiels. Au stress (dont tu n'avais aucune idée), pour la voiture de Aude garée sur un arrêt de bus quand elle avait préféré dormir à un autre numéro de la rue Vauban. A ta douceur pour elle, à votre amour, à notre amitié.

Mon bon Rine merci pour ta présence et ton soutien en D4 quand tu ne comprenais pas pour quelle raison je pouvais bien être stressée. Merci de nous avoir suivi à Marseille, ça aurait été trop con d'aller ailleurs. A notre semestre de glandouille à Avignon sur ta terrasse au soleil. Ta Mont.

PC : au premier souvenir de toi qui me marque encore, en amphi de P1, avec ce bon vieux diam's, Dieu merci tu as bien changé mon bon footeux italien-comédien. Et vive l'OM.

Chloé : merci de m'avoir invitée à cette fameuse soirée tupperware-sex toy qui a lancé une belle époque toutes les quatre avec Sarah et Julie. Depuis les groupes ont changé, avec les mecs à Dijon, entre filles avec Marie et Alizée pendant ce fou semestre où l'on attendait avec impatience l'arrivée d'Alma. Je ne sais pas où tu seras mais quoiqu'il en soit j'espère continuer à suivre tes passions et apprendre la nouvelle : le tarot marseillais.

Greg Boiv-Coud : le plus Marseillais des nouveaux venus, ton caractère trempé sera parfait pour cette ville, fais juste gaffe à ne pas te prendre une balle un de ces quatre ah ah. A ces fins de soirées où je peux faire sortir Dark-Mont sans complexe à tes côtés.

Laure Coud-Boiv : la plus discrète des fêtardes, quand la plupart sont couchées, on peut toujours compter sur une Coud bien réveillée vers les 6 heures du matin pour continuer de picoler jusqu'à la fin. Je suis ravie que tu viennes à Marseille, tu verras, tu vas adorer !

Pierre-Quentin : heureuse d'avoir un copain radiologue dans la Team. A nos prochaines JFR on démontrera la péniche comme la première fois (promis je ne partirai pas avec la Suisse). Et je n'oublierai pas de venir te voir dans l'ouest.

Laure de nombreuses années depuis Montchapet, plusieurs groupes d'amis, toujours cette même motiv d'organiser et recevoir, à la Cure que vous savez si bien mener avec Paul et qui reste et restera je l'espère l'un des moments forts de nos étés.

Guillaume à cette fantastique année de golf all-inclusive passé tous ensemble et aux nombreuses qui ont suivies. A cette soirée naturiste à Montenaille qui nous a tous marqué enfin surtout ta roue de voiture, aux soirées en Vreu et à ces nombreuses soirées où tu tenais encore le coup.

Marie Dub je suis très contente qu'on ait insisté pour que Guillaume aille te parler il y a si longtemps déjà. J'aime tellement retrouver notre super team de copine.

Lucas : à nos débats enflammés qui me manquent, aux vendanges à Cercot et au bon pinard que tu vas nous faire pour ces prochaines années. A vos nombreuses soirées d'accueil avec Alizée à Paris pendant que j'ignorais que Suzanne était déjà en train de pousser.

Alizée à ta bienveillance légendaire, tes pensées régulières qui n'oublient jamais de prendre des nouvelles, à tes bons plans boutiques et shopping qui font toujours la diff.

Benj mon petit dingo, à toi Mister Hyde de la night que Dark Mont aime bien côtoyer. Mais surtout merci à toi Dr Jekyll pour nos weekend bobo cocktail et shoopng mode panier percé.

A Bébert et à ta mère. Bonne installation le spécialiste tu vas régaler la bourgeoisie Beaunoise mon grand.

Au Pop et au pommier de ta tante.

Et à **Maugard** pour le pinard !

Antoine : A nos belles années, nos voyages, nos amis. Et merci de m'avoir fait découvrir ce monde merveilleux de la plongée sous-marine.

A l'internet :

A ce premier semestre marquant à Avignon :

Estelle rencontrée dès les premiers temps en garde aux urgences, je n'aurais pas cru en ce lieu de l'enfer y trouver une meilleure amie. Ton attention pour les autres (enfin ceux que tu aimes, les autres tu les frappes) est sans faille, on peut toujours compter sur toi. Tu es la meilleure des compagnes de soirées (et tu les aimes longues) j'ai rarement trouvé une chalengeuse comme cela. Notre courte vie en colloc fut des plus fast et des plus marquante, malgré une mauvaise période personnelle je n'en ai que de bons souvenirs et c'est grâce à toi. La suite ne fut que voyage et weekend entre filles, qu'on adore toujours autant.

Margaux, de nombreux week-end, de superbes vacances et enfin 6 mois de colloc parisienne nous auront permis de découvrir une amitié puissante et emplie de confiance. Ta détermination perpétuelle est pour moi un modèle, tout comme ta disponibilité sans pareille. Tu es une personne fantastique, un pilier fort de ma vie, une incroyable chirurgienne, je suis si fière de t'avoir pour meilleure amie. N'oublie pas l'extravagance qui sommeille en toi et qu'on aime tant revoir au détour de quelques verres.

Val qu'on était bien toutes les quatre. J'espère que tu as trouvé l'apaisement et qu'on se retrouvera un jour.

Alexis après une petite colloc lapin-chat (Booba vs Zizi), nous sommes souvent comme chien et chat mais toujours avec amour (j'arrête de jouer + jeter de cartes !!). Ce séjour plus que marquant en Nouvelle-Zélande et ces 3 jours de retour COVID t'auront encore plus ancré dans mon cœur, mon cher ami, ne nous oublie pas quand tu seras à la maison à Toulon.

Guillaume, LA Pierre-Google, on a bien rigolé, tu es maintenant un père de famille bien accompli. Merci pour ton soutien pendant notre colloc.

Matthieu : merci de m'avoir sauvé la mise et de m'avoir laissé ta place dans la colloc avec les deux zinzins sus-cités.

A MARSEILLE ma ville de cœur, j'ai tellement espéré pouvoir te rejoindre

A toi mon double bénéfique, **Ma Chloé**. Six semestres avec toi, 3 mois dans le même lit et 6 mois en colloc ne m'auront pas suffi, tu me manques déjà énormément et j'espère entendre à nouveau un jour prochain "Chloé ?" quand on cherchera à m'interpeller. Profite bien au paradis et ne m'oublie pas.

Claire je ne sais pas comment on a pu se rater toutes ses années avant Marseille. Je suis très heureuse que tu aies finalement bravé les dangereux footings à Marseille, j'ai adoré vivre avec toi, j'adore ta frontalité légendaire et ta folie grandissante.

Alice à la plus Nivernaise des Parisiennes, on a toute suite sue te reconnaître. Mamie-zinzin tu nous régales, fais-toi confiance car tu es fantastique.

Marie Minv notre parcours de vie s'est croisé et confondu, nos nombreux points communs furent un régal lors de notre dispo écourtée pendant notre voyage en NZ. Je pense être une des rares personnes qui eurent un confinement de cette qualité, un très bon souvenir même en fêtant ses trente ans, et cela grâce à toi et ta famille que je remercie.

Manon : heureuse que tu aies quitté Paris pour t'installer à Marseille, je suis ravie et impatiente dans l'attente des moments que nous allons passer, désormais en tant que voisines.

A la Nouvelle-Calédonie :

Ma **Julie** tu es hors calendrier, mais tu es tellement plus affiliée à La Nouvelle-Calédonie qu'à Dijon ou Marseille où l'on s'est pourtant suivie. J'ai adoré ces nombreux weekends avec Léo et toi chez vous à Bourail et j'espère pouvoir vous y retrouver un jour.

A **Noémie** mon coup de cœur amical, à **Fred** mon colloc le plus chill, à **Kim** mon chat d'amour, à tous les mono de **latok**, à Servane, Nawel, Marine, Teddy, François...

Merci aux manips de la clinique de Nouville et aux soirées à la Bodega et au Xo.

Et bien sûr, vive la RADIOLOGIE !!!!

Au meilleur directeur-PU-colloc-poto-zinzin de la terre : **ARTURO**. Merci pour cette colloc de la science, des films, des rando nocturnes, de la rigolade et des plantes. A notre amitié. Et surtout merci pour la Citroën.

Ugo mon ami-confident et mon meilleur playlisteur musical, tu es le meilleur radiologue que je connaisse ! J'ai adoré ces 6 mois d'angio avec toi à Nord. Mais j'aime encore plus les petits dîners ancienne team Conception ou chez vous avec Caro à la Pointe-Rouge.

Mes frères, mes glisseurs, mes glisseuses :

Alex mon protecteur le radiologue le plus drôle, à **Clem** ma sportive-fêtarde préférée, à **Camille** voyageuse de l'extrême-influenceuse-kiteuse, à **Charlotte** j'espère que tu ne me lâcheras pas pour les bières au café de l'abbaye, à **François A** et à ton cinéma contre Merdic, à **Julian** le pécheur meilleur danseur hâte de travailler 6 mois avec toi, à **Marie B** pour ta présence indispensable aux thèses, à **Axel** et au surf à Bali, à **Dara** le plus costaud des alcoolo-neuroradio, à **Lisa** la douceur incarnée, à **Pierre** et aux bières du DU d'Uro, à **François** mon poupou, à **Robin** des bois.

A la Conception tant attendue:

Merci **Marc André**, tu m'as lancé dans la voie de l'uro-radiologie et de l'inter-chu parisien, merci pour ton soutien qui me permet aujourd'hui de venir travailler à la Conception.

A **Rémi** et **Ana** (Julian déjà cité) je vais enfin intégrer la team Conception !!

Aux manip de la Conception, hâte de travailler avec vous après toutes ces années !
Saveria (3>), Cécile, Anne-cécile, Cécile, Anne-Marie, Charlotte, Audrey, François, Said, Hassan, Olivier, et Marie-Joooooo !!!

A mes anciens co-internes :

A **Antoine Lefrère** en radio pédiatrie, bon même si tu es psychiatre, je te mets pour une dernière fois dans la case radio. Heureuse que tu sois venu faire le canard, cela m'aura permis de vous connaître avec Manon et de pouvoir copier l'alternance Paris-Marseille avec vous !

Le BMT : Basile P, Marie L, Laure Martin et notre voyage à Bali, Mélinda, Sarah et Elo.

La neuroradio de la folie : mon Beubeu, Basile K, François, Panneau-Planche.

Assmaa, Lilia la teuf, Capucine, Morgane et Maxime, Rémi la folie, Clotilde la zinzin santard, Laurent le socle.

Aux assistants et PH :

Claaaiirrre Falque mon idole sans pincette, merci de m'avoir entre autre fait découvrir le nodule de rate accessoire.

Julien Vaccaro et non pas Varocco même s'ils sont capillairement proche, l'assistant-potemarrant, oublie pas d'appeler pour le barbecue, ça fait un moment !

Gilles Brun enfin un râleur à mon égal, ce semestre fut un régal.

A **Antho** le neuro-radio qui nous emmène toujours faire du bateau.

A **Guillaume** Louis, **Jérôme** Soussan (merci pour les paniers de légumes aoûtiers), **Daphné**, **Steph**.

A Paris

A **Necker** : mon cher Tetel, Tantel le privé, Julien le savant et Lucas le BG.

A Saint-Antoine :

Ma team os vieux glandus avec Sarrot le boomer et Léa la mère fêtarde les bons plans. Les visceraux qui bossent (genre) : Lucas le bouillon, Zak le bouillant, Ben le blagueur (putain de mail), Hippolyte l'écolo, Eric le bucheron couteau-bite, Zeineb la clopeuse-parfumeuse et boooooonn Hatem. A Alex et à la raclette évidemment. Merci Cédi pour les (nombreuses) corrections de dernière minute...

A l'intelligence artificielle et à Milvue qui nous changerons la vie

TABLE DES MATIERES

ABRÉVIATIONS	12
RÉSUMÉ	13
INTRODUCTION	14
MATERIELS ET METHODES	16
Acquisition d'images et éthique	16
Génération de pseudo-étiquettes et segmentation supervisée de lésions pulmonaires	16
Validation du modèle à l'aide de comparaisons de volumes avec 4 évaluations manuelles et leur impact sur les données cliniques	19
Analyse statistique	20
RÉSULTATS	21
Segmentation sémantique des lésions pulmonaires par apprentissage profond (COViaX)	21
La qualité des masques COViaX et la confiance du radiologue dans les volumes calculés	22
L'influence des masques COViaX sur les évaluations manuelles des volumes .	22
Conformité des volumes COViaX avec ceux obtenus manuellement et son intérêt en tant que biomarqueurs de diagnostic et de sévérité	24
DISCUSSION	27
Masque COViaX pour la segmentation des lésions pulmonaires	27
COViaX comme outil pour le triage des patients COVID-19.	28
COViaX comme outil de diagnostic immédiat du COVID-19	29
L'utilisation de COViaX à l'hôpital	29
CONCLUSION	31
REFERENCES	32
TABLES	36
Table 1: Caractéristiques des patients	36
Table 2: Évaluation qualitative de l'IA selon différentes machines	37
Table 3: Performances cliniques de COViaX et comparaisons inter-observateurs pour le diagnostic et la sévérité	38

FIGURES	39
Figure 1 : Schéma de la méthode de segmentation sémantique	39
Figure 2 : Exemple de segmentation et de reconstruction 3D.....	39
Figure 3 : Valeur ajoutée de l'évaluation manuelle du volume à l'aide des masques COViaX.....	39
Figure 4 : Comparaison des volumes de l'IA et de ceux de 4 observateurs : reproductibilité et leur comparaison avec les données cliniques.....	39

ABRÉVIATIONS

AUC : aire sous la courbe

CNN : réseau neuronal convolutif

Cs : consolidation

CT : tomographie informatisée

DL : deep-learning (apprentissage profond)

GGO : opacités en verre dépoli

IA : intelligence artificielle

ICC : coefficients de corrélation intraclasse

Msk : COViaX Masques

Obs-Msk : Observateurs-Masks

ROC : Receiver operating characteristic= fonction d'efficacité du récepteur

RT-PCR : transcription inverse puis amplification en chaîne par polymérase

SARS-CoV-2 : severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 = syndrome respiratoire aigu sévère à coronavirus 2

Se : sensibilité

Sp : spécificité

VR : la quantification du rapport volume affecté/volume total

VRall : rapport volume pulmonaire affecté/total pour toutes les lésions présumées de SARS-CoV2 sur le scanner à faible dose

VRcs : rapport volume affecté/volume total pour les lésions de consolidation (condensations)

VRggo : rapport volume affecté/volume total pour les opacités en verre dépoli.

RÉSUMÉ

Contexte : La première vague épidémique de COVID-19 s'est propagée depuis la Chine et a touché presque tous les pays du monde. La détection et l'évaluation de la gravité de la pneumopathie du SRAS-CoV-2 à l'aide de la tomodensitométrie à faible dose se sont avérées rapides et sensibles.

Objectif : Construire et valider un outil de segmentation automatique par intelligence artificielle (IA) pour automatiser la quantification du rapport volume affecté/volume total (VR) chez les patients suspectés de pneumopathie SARS-CoV2.

Matériels et Méthodes : Entre le 9 mars et le 20 avril 2020, 3422 scanners thoraciques à faible dose ont été réalisées dans notre institution pour la gestion du COVID. Un réseau neuronal convolutif tridimensionnel a été appliqué à un ensemble de 234 scanners d'entraînement pour construire l'outil d'IA. Le logiciel d'IA a été testé sur 60 examens scannographiques indépendants sélectionnés de manière aléatoire à partir de 3 scanners différents. Le rapport des volumes d'atteinte à SARS COV2 sur le volume pulmonaire total (VR) ont été automatiquement segmentés.

Tout d'abord, la tomodensitométrie sans IA a été évaluée en aveugle et de manière indépendante par 4 experts pour déterminer quantitativement les opacités en verre dépoli (VR_{ggo}), les lésions de consolidation (VR_{cs}) et la somme des deux (VR_{all}). Une semaine plus tard, les experts ont à nouveau évalué les différents volumes d'atteinte à l'aide des masques d'IA de manière qualitative. Les volumes donnés par l'IA ont été comparés aux volumes des experts pour vérifier leur concordance. Les VR ont été testés comme biomarqueur de la maladie (prélèvements RT-PCR) et de la sévérité (dépendance à l'oxygène). Une comparaison statistique avec la RT-PCR et la sévérité a été effectuée. L'accord intra- et inter-observateur pour les VR et comparé à ceux des experts.

Résultats : Les volumes générés par l'IA ont démontré un haut niveau de précision. Les VR de l'IA étaient comparables à ceux des experts. Les VR des experts étaient plus reproductibles avec les masques de l'IA. Les performances de l'IA pour le diagnostic et la sévérité étaient au moins équivalentes à celles des experts.

Conclusion : L'outil de segmentation d'IA et les volumes calculés de notre logiciel COViaX sont fiables et donnent un biomarqueur robuste de la sévérité de la maladie.

INTRODUCTION

La nouvelle maladie à coronavirus (SRAS-CoV-2/COVID-19) signalée en décembre 2019 à Wuhan, en Chine, a été désignée comme pandémie en mars 2020 par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Au 8 mars 2021, la maladie a causé 2 587 225 décès dans le monde et 116 363 935 patients infectés, selon l'OMS (1). Sans mesures de confinement et de distanciation sociale, le taux de reproduction de la maladie COVID-19 (R_0) est estimé à environ 2,2 (2). En l'absence de traitement et en raison de la vitesse de propagation, des mesures drastiques d'éloignement social, aussi extrêmes que des fermetures nationales répétées, ont été appliquées dans le monde entier pour contenir l'épidémie. Alors que des vaccins sont actuellement déployés dans le monde entier et que les variants émergents semblent être plus contagieux (3), le suivi de l'épidémie reste plus que jamais crucial et nécessite des outils de diagnostic robustes (4). Une combinaison de signes cliniques (par exemple, toux et fièvre) et une analyse moléculaire obtenue par PCR à partir d'un écouvillon nasopharyngé est utilisée pour un diagnostic généralisé.

Les examens par scanners constituent une approche d'imagerie performante pour cartographier les lésions cliniques d'organes entiers, ici les poumons des patients. Les examens tomodensitométriques des poumons présentent des caractéristiques très suggestives (5–7), notamment des opacifications bilatérales dites "en verre dépoli" (GGO) avec une distribution périphérique et postérieure. Des images de consolidation (Cs) sont ensuite observées au cours de l'évolution de la maladie (8–10). L'aspect de crazy-paving intra-lobulaire (épaississement des septa lobulaire avec remplissage alvéolaire) est moins fréquent. Par conséquent, compte tenu de la sensibilité et de la spécificité du scanner, la pneumonie SARS-CoV2 peut être découverte de manière fortuite. De plus, comme les anomalies de la tomodensitométrie peuvent précéder la positivité de la RT-PCR chez les patients symptomatiques et ceux qui ne présentent pas de symptômes (11). Le dépistage immédiat par tomodensitométrie a été utilisé dans certains centres pour limiter la contagion intra-hospitalière, notamment avant l'entrée dans les salles d'opération (12) dans le contexte de l'urgence et de faible disponibilité des tests RT-PCR.

Le scanner thoracique est également un outil efficace pour évaluer l'étendue anatomique de la pneumopathie du SRAS-CoV-2 (13). En effet, la gravité de l'infection à coronavirus est surtout liée à une pneumonie conduisant à un syndrome de détresse respiratoire aiguë (14). Sa survenue est actuellement imprévisible. Une évaluation tomodensitométrique quantitative de l'étendue des lésions liées au SRAS CoV-2 dans les reconstructions de volumes pulmonaires pourrait améliorer de façon décisive la qualité du diagnostic. Cependant, les radiologues procèdent actuellement à cette évaluation manuellement, généralement par inspection visuelle des coupes transversales de la tomodensitométrie, ce qui fait de la reconstruction 3D des volumes des lésions une tâche difficile et peu fiable. Des travaux récents suggèrent que la quantification automatique des lésions basée sur l'apprentissage profond en intelligence artificielle peut résoudre efficacement la segmentation automatique de manière supervisée ou faiblement supervisée (15–17). L'IA sur les tomodensitométries pulmonaires pourrait donc réduire le temps de diagnostic, augmenter la fiabilité de la quantification des volumes lésionnels et ainsi minimiser l'impact de la subjectivité dans les interprétations radiologiques.

Dans ce travail, nous avons développé une méthode de segmentation basée sur l'apprentissage profond (DL), COViaX, conçue pour la segmentation volumétrique des opacités en verre dépoli (GGO) et des consolidations (Cs) dans des séries de tomographies pulmonaires, permettant des reconstructions volumiques 3D précises des lésions. La méthode a d'abord été validée par une analyse d'accord inter-observateur où la qualité de la segmentation automatique a été comparée aux interprétations des radiologues. Ensuite, la performance de COViaX a été évaluée en tant que biomarqueur pour le diagnostic du SRAS-CoV-2 et en tant que prédicteur de la gravité de la maladie.

Nous concluons que la quantification des lésions dans la pneumonie SARS-CoV-2 peut être réalisée avec un cadre d'IA faiblement supervisé permettant une segmentation robuste et qualitative des lésions pulmonaires qui pourrait grandement aider les radiologues.

MATERIELS ET METHODES

Acquisition d'images et éthique

Cette étude clinique rétrospective a été approuvée par le comité d'éthique institutionnel (IRB : CRM-2004-069) et le règlement général sur la protection des données selon les directives de la déclaration d'Helsinki III.

Du 9 mars 2020 au 20 avril 2020, 3422 tomographies thoraciques à faible dose ont été réalisées sur 3 scanners différents.

L'ensemble des examens tomodensitométriques à ultra-faible dose (DLP < 45 mGy.cm) ont été réalisés en acquisition hélicoïdale cranio-caudale avec des paramètres fixes selon les recommandations industrielles sur 3 appareils différents : Aquilion Prime (Toshiba Medical Systems, Otawara, Japon), détecteurs 80 × 0,5 mm, collimation 40 mm, temps de rotation 0,5s, pas de 1,388 mm/ rotation, tension du tube 135 kVp, intensité 20mAs, filtre pulmonaire), Revolution EVO (GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA), détecteurs 64 × 0,625 mm, collimation 40 mm, temps de rotation 0.35s, pas de 1,375 mm/rotation, tension du tube 120 kVp, intensité de 45mAs, filtre pulmonaire, Discovery CT 750 HD (GE Healthcare), 64 détecteurs de 0,625 mm, collimation 40 mm, temps de rotation 0,4s, pas de 1,375 mm/rotation, tension du tube 120 kVp, intensité de 45mAs, filtre pulmonaire.

Génération de pseudo-étiquettes et segmentation supervisée de lésions pulmonaires

Les outils de segmentation par apprentissage profond peuvent segmenter de manière fiable des images complexes lorsqu'ils sont entraînés à l'aide d'images bien étiquetées couvrant une variété de cas, une méthode appelée entraînement supervisé. Cependant, le contourage manuel des régions de GGO et de consolidation dans un scanner avec une précision au niveau du pixel est une tâche énorme et un tel ensemble de données qui s'étend sur des cas d'imagerie variés n'est pas disponible. En outre, la délimitation des lésions sans limites claires, telles que les lésions en verre dépoli, peut être très peu reproductible. Pour contourner ce manque de données de base, nous avons d'abord généré des pseudo-contourage de manière non supervisée pour un ensemble limité de données et appliqué des corrections avant d'entraîner un réseau de neurones convolutifs (CNN) final pour la segmentation sémantique.

Tout d'abord, nous avons utilisé un modèle robuste de segmentation de la cavité pulmonaire (18), appelé masque pulmonaire, pour produire un masque de volume pulmonaire pour notre ensemble de données. En utilisant un ensemble de données de 50 patients, nous avons sélectionné les voxels dans la cavité pulmonaire qui ont des valeurs d'unités Hounsfield (HU) supérieures à -700. Ces voxels sont ensuite regroupés en 3 classes à l'aide d'une classification K-Means (par lots) employée sur des caractéristiques de voxel créées à la main, comme le montre la figure 1A. Les caractéristiques ont été obtenues à chaque voxel en utilisant : l'intensité de l'image (en HU), le hessien de la pile d'images dans trois directions, et le filtre de vaisseaux de Frangi à trois échelles différentes. Chaque voxel est ensuite converti en un vecteur à 8 dimensions.

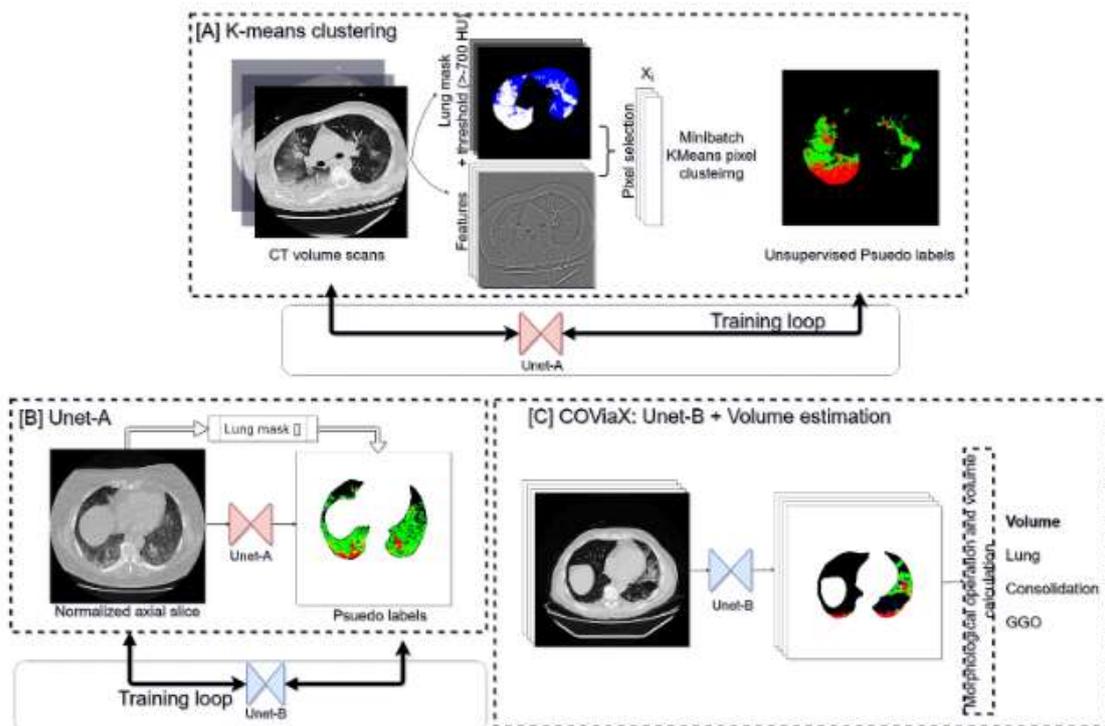


Figure 1 : Schéma de la méthode de segmentation sémantique. A] Les images non étiquetées ont d'abord été décomposées en caractéristiques, puis, en utilisant le masque pulmonaire (18) et un seuil, les pixels sélectionnés ont été regroupés à l'aide de K-means. B] Unet-A a été entraîné sur le jeu de données pseudo-étiqueté obtenu par le clustering K-means. C] Unet-B a été entraîné sur les images pseudo-étiquetées prédites par Unet-A, et l'analyse volumétrique fournit les volumes de la consolidation, du verre dépoli et de la cavité thoracique.

Ensuite, les k-means ont été utilisés pour regrouper ces voxels en 3 classes qui représentent les vaisseaux, la consolidation et le verre dépoli comme le montre la figure 1[A]. Cette segmentation non supervisée reste imparfaite, par exemple, certains pixels qui appartiennent à la région des vaisseaux sont regroupés dans la consolidation et vice-versa en raison de leur similarité à la fois dans la texture et les intensités. Grâce à un nettoyage morphologique, les petits volumes de consolidation ont été érodés et des pseudo-étiquettes ont été obtenues pour 9000 coupes sélectionnées au hasard. Environ 50 de ces images générées ont été vérifiées au hasard et les erreurs de regroupement entre vaisseaux et consolidation ont été corrigées à la main, en particulier pour les images à faible dose et à fort bruit.

Comme nous l'avons déjà mentionné et comme le montre Hofmanninger (18), pour qu'une méthode supervisée puisse être généralisée à des tomodensitogrammes inconnus, un ensemble de données contenant des images variées est nécessaire. Dans cette optique, nous entraînons un CNN avec l'architecture UNET (19) sur le jeu de données non supervisé et pseudo-étiqueté, avec une augmentation importante de l'image. Les coupes de scanners ont d'abord été normalisées entre $[-1024,300]$ et l'augmentation aléatoire de l'image comprenait un bruit gaussien additif, une mise à l'échelle, une rotation et un flou gaussien. Cette UNET (appelée Unet-A, dans la figure 1[A]) a permis de généraliser la segmentation sémantique à d'autres images. Ensuite, un jeu de données contenant des volumes de tomodensitométrie de 200 patients a été segmenté à l'aide de Unet-A et un autre jeu de données de 20 000 images et de pseudo-étiquettes a été généré. Le jeu de données a été sélectionné pour être un mélange d'images saines et d'images contenant des zones de consolidation et de GGO.

Enfin, une deuxième UNET indépendante (Unet-B sur la figure 1[B]) a été entraînée sur le jeu de données sélectionné, avec la même augmentation importante des données que celle mentionnée ci-dessus.

Validation du modèle à l'aide de comparaisons de volumes avec 4 évaluations manuelles et leur impact sur les données cliniques

Pour tester par la suite la fiabilité de COViaX dans la détection des lésions et son impact sur le diagnostic, nous avons mené une étude sur des lecteurs où quatre radiologues certifiés (entre 7 et 20 ans d'expérience) conformes aux exigences de la société française de radiologie, ont interprété des scanners thoraciques, en aveugle des données cliniques. Les tomodensitométries ont été réalisées sur trois appareils différents à partir d'une cohorte de 60 patients, soit pour la caractérisation d'une pneumopathie à COVID-19, soit pour un dépistage avant chirurgie dans l'attente des résultats de la PCR. Dans cette cohorte, 18 patients étaient négatifs pour le SARS-CoV-2 détecté par PCR ; 32 patients ont été hospitalisés dont 23 étaient oxygénodépendants, tous les patients dépendants de l'oxygène étaient positifs au SARS CoV 2 en test PCR. Les lecteurs ont évalué chaque cas pour le diagnostic du SRAS-CoV-2, le pourcentage du poumon infecté (VRall), du verre dépoli (VRggo) et des lésions de consolidation (VRcs).

Deux semaines après la première session d'interprétation, les radiologues, en aveugle de leur première évaluation, ont repris l'interprétation des 60 scans, à l'aide du masque donné par AI. A nouveau, ils devaient prédire le diagnostic du SRAS-CoV-2 et donner la quantification de l'atteinte pulmonaire de manière globale et selon les deux motifs fréquents : les consolidations et le verre dépoli. Le critère de base était un score de qualité qualitatif sur une échelle de Likert à 4 points sur les masques de segmentation de l'IA comme suit : 1, fortement en désaccord (>10 % de surface de masque inappropriée) ; 2, en désaccord (entre 5 et 10 %), 3 en accord (entre 1 et 5 %) ; 4, fortement en accord (< 1 % d'erreur de segmentation). En utilisant une échelle similaire, on a demandé à chaque radiologue son avis sur la pertinence des volumes globaux calculés comme suit : 1 aucune pertinence, 2 modérée, 3 élevée, 4 excellente.

Analyse statistique

Des coefficients de corrélation intraclasse (ICC) à mesure unique ont été utilisés pour évaluer la reproductibilité inter-juges des mesures de RV. Les ICC ont été calculés à l'aide de l'analyse de variance (ANOVA) aléatoire à deux voies sur les mesures moyennes (les ICC vont de 0,00 à 1,00, les valeurs plus proches de 1,00 représentant une meilleure reproductibilité) (20). L'interprétation de l'ICC a été catégorisée selon Landis et Koch (21) comme suit : <0, aucune reproductibilité ; 0,0-0,20, reproductibilité légère ; 0,21-0,40, reproductibilité moyenne ; 0,41-0,60, reproductibilité modérée ; 0,61-0,80, reproductibilité substantielle ; et 0,81-1,00, reproductibilité presque parfaite.

La concordance entre l'IA et les observateurs a été déterminée selon les méthodes de Bland et Altman (22). La différence critique a été définie par la moitié de la différence entre la limite inférieure et la limite supérieure.

La comparaison avec les données cliniques a utilisé les aires sous la courbe (AUC) déterminées sur les courbes caractéristiques de fonction d'efficacité du récepteur (ROC) lissées par ajustement binomial (Jokiel-Rokita et Pulit 2013 (23)). Le test de DeLong (24) a été utilisé pour comparer les AUC des courbes ROC appariées avec le package pROC pour R. Pour les variables quantitatives, la méthode de Youden a été utilisée pour déterminer les seuils des courbes ROC.

RÉSULTATS

Segmentation sémantique des lésions pulmonaires par apprentissage profond (COViaX)

À partir d'une coupe de scanner thoracique, COViaX classe chaque pixel en 4 classes, à savoir consolidation, verre dépoli, vaisseaux et cavité pulmonaire. Le volume des lésions dans l'image segmentée reconstruite en 3D est calculé et les centroïdes des plus gros blobs sont également déterminés. L'ensemble de l'opération prend environ 1 minute pour un scanner 3D contenant 500 coupes sur une machine avec processeur graphique et processeur central standard. La partie segmentation, qui est calculée sur un processus graphique, prend 20 secondes, tandis que les calculs de volume et de centroïde prennent plus de temps car ils sont traités par un CPU. Les tranches segmentées sont également produites en Dicom, un format qui peut être facilement superposé aux images originales à l'aide d'un logiciel standard. La méthode se généralise bien aux images non vues par le réseau pendant l'apprentissage. La figure 2 présente un exemple de segmentation et de reconstruction 3D.

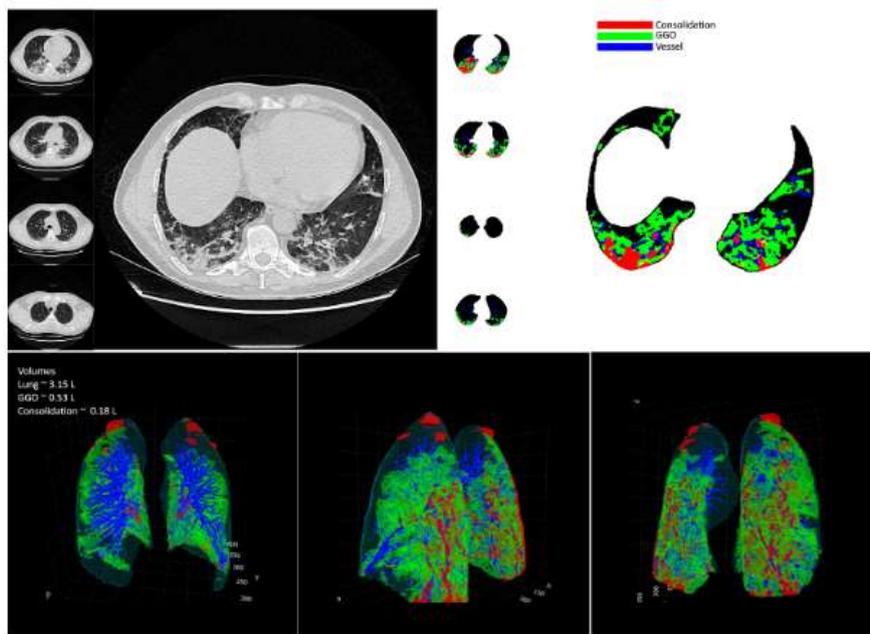


Figure 2 : Segmentation de la coupe unique (A) et sa reconstruction 3D correspondante (B). Avec un espacement de $(0,763672, 0,763672, 0,625)$ mm, le volume de la cavité pulmonaire, le volume du GGO et le volume de consolidation ont été estimés à 3,15 L, 0,53 L et 0,18 L, respectivement.

La qualité des masques COViaX et la confiance du radiologue dans les volumes calculés

Tous les masques COViaX (n=28894) ont été analysés manuellement par chaque expert (n=4) pour les lésions segmentées (consolidations et opacités en verre dépoli) et leur qualité globale a été évaluée (comme décrit dans matériels et méthodes) comme "fortement en désaccord", "en désaccord", "d'accord", "fortement d'accord" dans 9%, 22%, 19%, et 50% respectivement. Les observateurs étaient d'accord de manière substantielle (k=0,7) pour cette évaluation de la qualité. De même, la confiance dans les volumes de lésions reconstruits a été évaluée comme " aucune confiance ", " modérée ", " élevée " et " excellente " dans 12 %, 15 %, 18 % et 55 % respectivement. Aucune différence statistique n'a été observée entre les 3 appareils de scanner ni entre les observateurs (tableau 2). Au total, une grande majorité a trouvé une grande précision et avait confiance dans les volumes calculés par COViaX.

L'influence des masques COViaX sur les évaluations manuelles des volumes

Dans un deuxième temps pour valider l'intérêt de l'IA, nous avons comparé les volumes obtenus manuellement sans et avec l'aide des masques de l'IA (masques COViaX) à ceux obtenus de manière entièrement informatisée (volumes COViaX) par intégration sur les surfaces des masques sans aucune intervention humaine. La reproductibilité était substantielle entre les prédictions COViaX et les radiologues (Obs, ICC=0.79 +/- 0.01). Ces accords ont été encore renforcés avec des indices de confiance montrant une reproductibilité presque parfaite lorsque les masques COViaX ont été comparés aux radiologues faisant des interprétations en utilisant les masques COViaX (Obs-Msk, ICC=0.83 +/- 0.06).

Sur les graphiques de Bland-Altman, l'incertitude du volume diminue de 28,3 % à 21,8 %, tout comme la surestimation du volume des lésions (biais) faite par les radiologues (de 5,5 % à 2,8 %). Cela indique que l'estimation du volume assistée par COViaX augmente la concordance entre les radiologues, ce qui entraîne une réduction de la subjectivité.

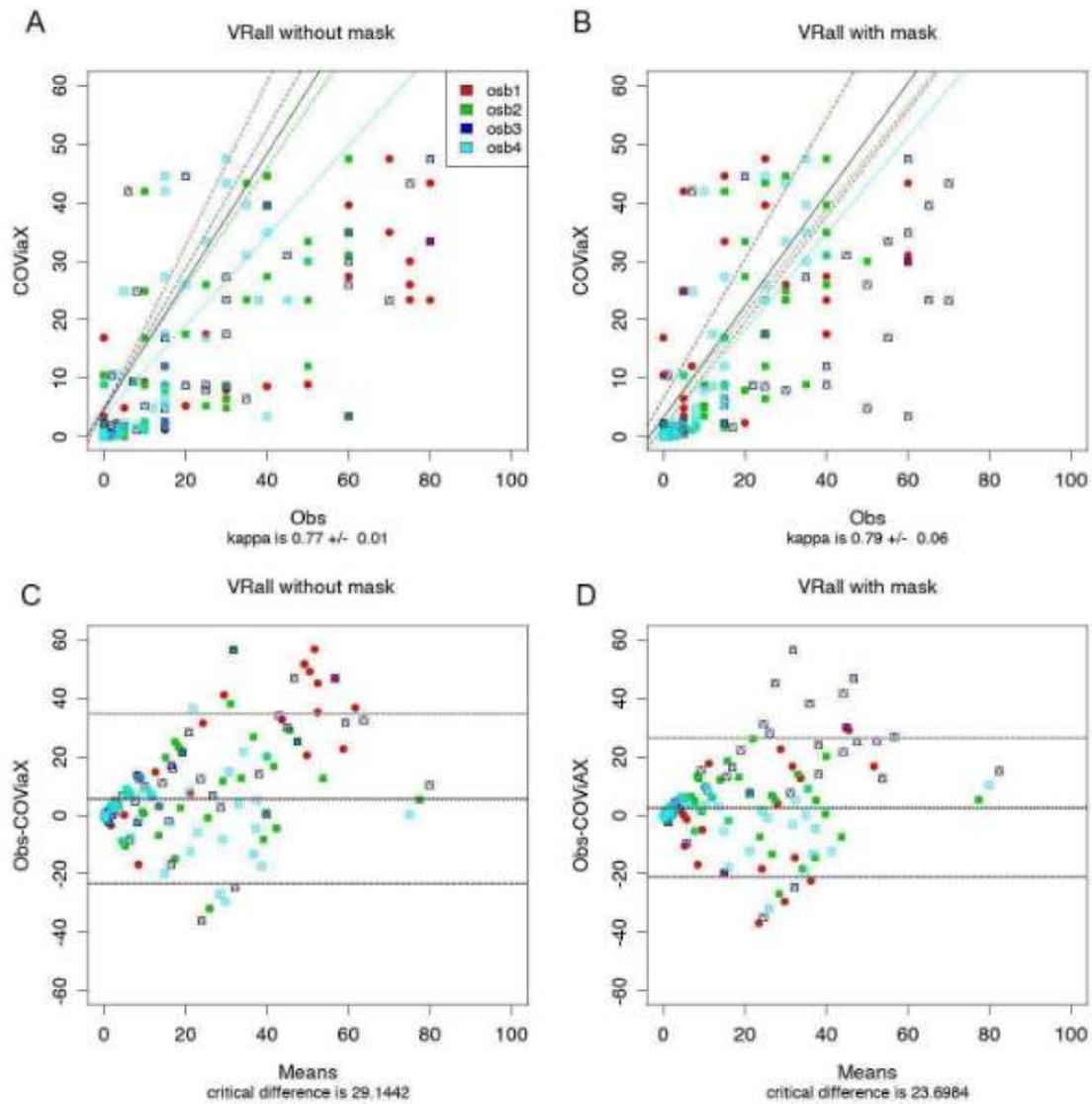


Figure 3 : Valeur ajoutée de l'évaluation manuelle du volume à l'aide des masques COViaX

La valeur ajoutée des masques AI aux évaluations subjectives du rapport de volume est démontrée par une augmentation de la corrélation (A : sans masques, B avec masques) entre les observateurs de 0,79 à 0,81. La différence critique a été définie sur les graphiques de Bland-Altman (C : sans masques, D : avec masques) par la moitié de la différence entre la limite inférieure (biais - 2SD) et la limite supérieure (biais + 2SD). L'utilisation des masques COViaX a diminué sa valeur de 28,3 % à 21,8 % ainsi que le biais de 5,5 % à 2,8 %.

Conformité des volumes COViaX avec ceux obtenus manuellement et son intérêt en tant que biomarqueurs de diagnostic et de sévérité

Des analyses de concordance inter-observateur ont également été réalisées pour tester les performances de COViaX dans la détection du volume des lésions. Les résultats de ces trois analyses sont compilés dans la figure 4.

Dans le cas du volume lésionnel total (VRall), les accords inter-observateurs sur le volume (ICC=0,85 +/- 0,04) étaient presque parfaits. Les accords étaient substantiels entre les prédictions de volume COViaX et les radiologues (Obs, ICC=0,79 +/- 0,01). Des résultats similaires ont été trouvés pour les lésions de condensation où les corrélations étaient presque parfaites entre les observateurs et entre les observateurs et les volumes COViaX (ICC=0,85 +/- 0,03 et 0,87 +/- 0,05 respectivement).

Les lésions en verre dépoli sont le plus souvent diffuses et plus difficiles à définir. En effet, dans ce cas (Fig 4), bien que les corrélations entre observateurs soient importantes (ICC=0,76 +/- 0,07), elles sont modérées entre volumes COViaX et observateurs (ICC=0,53 +/- 0,04).

Au total, l'analyse de la concordance inter-observateur montre que les volumes COViaX étaient fortement corrélés à ceux des observateurs. Les résultats ne semblent être que modérément corrélés pour les opacités en verre dépoli. Ces résultats ont été mis en perspective avec l'intérêt de ces biomarqueurs pour le diagnostic et la sévérité de la pneumopathie.

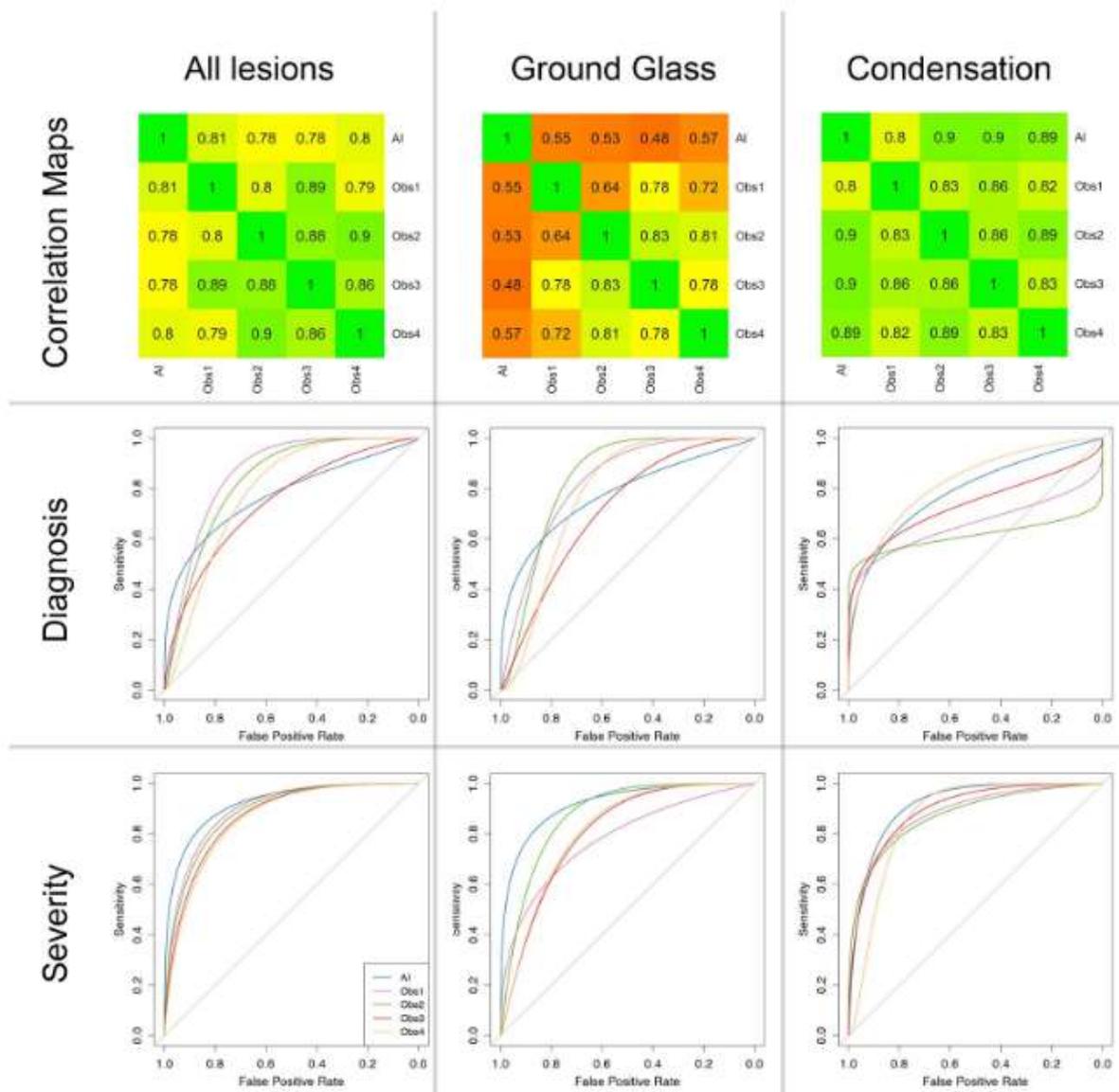


Figure 4. Comparaison des volumes de l'IA et de ceux de 4 observateurs : reproductibilité et leur comparaison avec les données cliniques

L'évaluation manuelle indépendante du rapport des lésions par les observateurs (n=4) a été comparée à celle de l'IA calculée de manière entièrement automatique (COViaX) en termes de reproductibilité des 3 volumes (toutes les atteintes, atteinte verre dépoli, atteinte de type condensation = consolidation) sur les cartes de corrélation (ICC) et de leur intérêt (courbes ROC) comme biomarqueurs pour le diagnostic (RT-PCR) et la gravité (dépendance à l'oxygène). Pour le verre dépoli (VRggo), la reproductibilité des IA et des observateurs n'était que modérée. Il est

intéressant de noter que COViaX a démontré une tendance à la supériorité pour l'évaluation de la gravité, indiquant sa robustesse par rapport à celles des observateurs. Pour les atteintes totales et la condensation, une reproductibilité substantielle à presque parfaite a été observée, avec des résultats similaires sur les performances cliniques.

Pour valider l'intérêt clinique de COViaX, nous avons comparé les volumes (manuel et COViaX) avec la PCR (critère de diagnostic) et la dépendance à l'oxygène (critère de gravité).

Les observateurs ont diagnostiqué le SRAS-CoV-2 sur un scanner thoracique à faible dose avec une sensibilité (se) de 74% (+/- 7%) et une spécificité (sp) et 74% (+/- 3%) respectivement. Ces performances étaient comparables à celles des volumes obtenus manuellement. L'AUC des volumes COViaX était de 0,78 (2ème place), 0,78 (1ère place), 0,77 (1ère place) pour VRall, VRggo, VRcs respectivement, comparable à celle des volumes manuels (AUC de 0,66 à 0,80). COViaX a surpassé obs3 pour VRall (0,78 vs 0,7, $p=0,003$) et VRggo (0,78 vs 0,66, $p=0,001$).

Les volumes pulmonaires lésés étaient tous des marqueurs de sévérité. Les AUC de COViaX étaient de 0,92 (1ère place), 0,92 (1ère place), 0,91 (1ère place) pour VRall, VRggo, VRcs respectivement. Les volumes COViaX sont apparus comme des biomarqueurs robustes avec une tendance à la supériorité par rapport à ceux des observateurs (AUC de 0,79 à 0,89). COViaX a surpassé obs1 et obs3 pour VRggo ($p<0,05$). Ces divergences apparentes pour le verre dépoli entre les accords modérés de COViaX et ses hautes performances cliniques sont discutées plus en détail.

DISCUSSION

Dans le monde entier, l'épidémie de SRAS-Cov2 a augmenté la charge de travail des professionnels de la santé jusqu'au point de rupture. Dans le cas des spécialistes de l'imagerie médicale, le nombre d'images à analyser a augmenté soudainement et massivement (25). Dans ce contexte, l'un des principaux objectifs d'un outil d'analyse d'images par l'IA tel que COViaX est donc d'aider les radiologues à évaluer les lésions pulmonaires chez les patients infectés par le SRAS-CoV-2 et de soulager leur charge de travail. En raison du besoin urgent d'un tel outil, nous avons développé un logiciel U-NET de segmentation pulmonaire sémantique faiblement supervisé qui apprend à partir d'images partiellement annotées en se basant sur des annotations manuelles assistées par un clustering K-means. Nous montrons ici que cette approche contourne avec succès le besoin d'un ensemble de données entièrement annotées pour la prédiction de masques fiables à utiliser par les radiologues.

Masque COViaX pour la segmentation des lésions pulmonaires.

Quatre observateurs experts indépendants ont évalué la précision du masque COViaX pour la segmentation des lésions pulmonaires. Dans l'ensemble, ils ont déterminé que la segmentation COViaX était très bonne à parfaite dans 69% des masques et que la confiance était élevée à excellente dans 73% des masques, indépendamment de l'appareil utilisé (3 scanners différents). L'analyse de concordance a révélé que les volumes de condensation COViaX étaient fortement corrélés à ceux des observateurs et avec une grande précision. La concordance des opacités de verre dépoli était moins solide entre les observateurs mais surtout entre COViaX et les observateurs. Une analyse plus approfondie a révélé que malgré ces résultats décevants, les volumes de verre dépoli prédits par COViaX étaient les plus précis pour prédire la maladie du SRAS-CoV2 et sa gravité, dépassant les performances de tous les observateurs. Ces résultats démontrent que l'approximation manuelle du volume de verre dépoli est difficile à évaluer avec précision dans la pratique clinique. Ceci semble être préjudiciable car la plupart des lésions de verre dépoli sont liées à une destruction aiguë des cellules épithéliales pulmonaires dans l'espace alvéolaire (26) dont l'étendue semble particulièrement importante dans la pratique de l'urgences. Par conséquent, nous pensons que la mesure COViaX est de meilleure qualité par rapport à l'approximation manuelle.

COViaX comme outil de triage des patients COVID-19.

Il est important de connaître la fraction volumique du poumon infecté (VRall) car elle peut servir de prédicteur de décès précoce ou d'admission en soins intensifs. Pour Ruch (27), l'étendue des lésions sur le scanner initial était indépendamment associée au pronostic (odds ratio=2,35). Dans leur expérience, alors qu'aucun patient avec un scanner thoracique normal n'a développé une maladie sévère, c'était le cas pour 70% des patients avec un VRall >50%. Dans la présente étude, les VRall déterminés étaient clairement corrélés à l'oxygène-dépendance des patients, et étaient donc un facteur prédictif de la gravité de la maladie. Il est important de noter que les performances du COViaX étaient systématiquement supérieures à celles des experts avec une AUC de 92%, 92%, 91% pour VRall, VRgg, VRcs respectivement. Ainsi, COViaX a une application potentielle pour la prédiction de la progression de la maladie et de son issue chez les patients.

Il pourrait être intéressant d'inclure les mesures de COViaX dans une approche multiparamétrique pour des prédictions plus fines et la détermination des comorbidités. Par exemple, Shuo Wang and al (28) a testé l'application de l'IA pour la prédiction du risque sur la base d'une cohorte de validation de 471 patients présentant des caractéristiques d'imagerie déterminées ainsi que des caractéristiques cliniques (âge, sexe et comorbidité). Deux groupes de risque statistiquement distincts ont ainsi été identifiés avec des différences dans la durée d'hospitalisation ($p < 0,0001$). De légères corrélations entre le VRall et les biomarqueurs inflammatoires (leucocytes, neutrophiles et IL-2R) pourraient également être indicatives (29). Mei et al (30) dans une récente étude de dépistage ont établi que la combinaison de l'analyse automatisée du scanner avec l'histoire clinique et biologique d'un patient pourrait aider à déterminer un score de sévérité COVID-19 comme pronostic pour trier les patients à risque. Une telle approche, développée de manière automatisée, pourrait soulager significativement la prise en charge des patients, un enjeu majeur dans un contexte de ressources sanitaires dégradées. De manière générale, les outils d'IA sont parfaitement adaptés à cet objectif, en raison de leur faible coût et de leur potentiel d'application à haut débit.

COViaX comme outil de diagnostic immédiat du COVID-19.

Dans cette étude, nous avons observé que le scanner thoracique était modérément performant en tant qu'outil de diagnostic des patients affectés par le COVID-19, la moyenne des Se et Sp du diagnostic du SRAS-CoV2 pour le scanner thoracique était de 74% et 74% respectivement. L'utilisation des masques COViaX n'a pas augmenté ces performances (71% et 78% respectivement). Ces performances sont inférieures à celles décrites précédemment. Dans une grande enquête nationale menée dans 26 hôpitaux (n= 4824 sujets), la sensibilité et la spécificité du CT thoracique pour le diagnostic de la pneumonie COVID-19 étaient respectivement de 90% et 91% (31). D'autres rapports ont montré des résultats dans le même taux de performance : 87 % et 97 % pour (15) (AUC=0,974) ; 97 % et 92 % pour Bo Wang and al (32). Ici, la sensibilité inférieure n'était pas due au logiciel d'IA car il était tout aussi efficace que les 4 observateurs. Il est probable que les taux de performance inférieurs s'expliquent par l'inclusion de patients asymptomatiques aux premiers stades de l'infection, empêchant la détection de lésions pulmonaires sur les scanners. Des taux de sensibilité significativement plus élevés seraient probablement trouvés dans une population de patients symptomatiques. En raison des impacts variables de la maladie sur les patients, il est à nouveau probable que les approches multiparamétriques renforcent également les performances diagnostiques de l'IA ou des radiologues seuls. Par exemple, Mei et al (30) ont observé une augmentation de la spécificité de 75,9 % à 82,8 % lorsque l'IA était associée à d'autres paramètres.

L'utilisation de COViaX à l'hôpital.

Cette étude démontre que la quantification des lésions dans la pneumonie SARS-CoV-2 peut être réalisée avec un cadre d'IA faiblement supervisé permettant une segmentation robuste et qualitative des lésions pulmonaires. COViaX n'est pas sensible à des constructeurs de scanners spécifiques car les examens rapportés ont eu lieu sur trois scanners différents sans différence notable dans l'appréciation qualitative des radiologues. Ainsi, COViaX peut être utilisé en téléradiologie ou dans des essais multicentriques.

Ces résultats montrent que COViaX peut être immédiatement mis en œuvre dans un contexte clinique pour soutenir les analyses de scanners thoraciques avec une grande précision, en particulier dans un contexte épidémique.

À plus long terme, COViaX (ainsi que d'autres approches basées sur l'IA) pourrait être utilisé comme un outil à haut débit pour l'évaluation de l'efficacité de traitements potentiels surveillant les dommages pulmonaires au fil du temps dans de grandes populations de patients. Les approches d'IA pourraient également conduire à la surveillance automatisée de toute l'imagerie thoracique (par exemple via un matériel dédié, un processeur GPU et une extraction automatique) afin de détecter et d'alerter sur les cas positifs quelques secondes après l'acquisition. Un tel workflow pourrait contribuer à réduire la transmission nosocomiale de la maladie, en permettant une décontamination rapide du scanner, de sa table et de sa salle, et une prise en charge adaptée du patient avec analyse et isolement par PCR.

CONCLUSION

L'outil de contourage d'intelligence artificielle et les volumes calculés de notre logiciel COViaX sont fiables et donnent un biomarqueur robuste de la sévérité de la maladie.

REFERENCES

1. Practice BB. Coronavirus disease 2019. World Heal Organ [Internet]. 2020;2019:2633. Available from: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>
2. Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y, et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus–Infected Pneumonia. *N Engl J Med* [Internet]. 2020 Mar 26 [cited 2020 May 22];382(13):1199–207. Available from: <http://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMoa2001316>
3. Priesemann V, Balling R, Brinkmann MM, Ciesek S, Cypionka T, Eckerle I, et al. An action plan for pan-European defence against new SARS-CoV-2 variants [Internet]. Vol. 397, *The Lancet*. Elsevier B.V.; 2021 [cited 2021 Mar 22]. p. 469–70. Available from: <https://cmmid.github.io/topics/covid19/local->
4. Huang P, Liu T, Huang L, Liu H, Lei M, Xu W, et al. Use of Chest CT in Combination with Negative RT-PCR Assay for the 2019 Novel Coronavirus but High Clinical Suspicion. *Radiology*. 2020 Feb 12;200330.
5. Chung M, Bernheim A, Mei X, Zhang N, Huang M, Zeng X, et al. CT imaging features of 2019 novel coronavirus (2019-NCoV). *Radiology* [Internet]. 2020 Feb 4 [cited 2020 Nov 27];295(1):202–7. Available from: <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200230>
6. M N, EY L, J Y, F Y, X L, H W, et al. Imaging Profile of the COVID-19 Infection: Radiologic Findings and Literature Review. *Radiol Cardiothorac Imaging* [Internet]. 2020 Jun 5 [cited 2020 Nov 27];2(1). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7233595/?tool=EBI>
7. Shi H, Han X, Jiang N, Cao Y, Alwalid O, Gu J, et al. Radiological findings from 81 patients with COVID-19 pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *Lancet Infect Dis* [Internet]. 2020 Apr 1 [cited 2020 Nov 27];20(4):425–34. Available from: www.thelancet.com/infection
8. Pan F, Ye T, Sun P, Gui S, Liang B, Li L, et al. Time Course of Lung Changes On Chest CT During Recovery From 2019 Novel Coronavirus (COVID-19)

- Pneumonia. *Radiology*. 2020 Feb 13;200370.
9. Bernheim A, Mei X, Huang M, Yang Y, Fayad ZA, Zhang N, et al. Chest CT findings in coronavirus disease 2019 (COVID-19): Relationship to duration of infection [Internet]. Vol. 295, *Radiology*. Radiological Society of North America Inc.; 2020 [cited 2020 Nov 27]. p. 685–91. Available from: <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200463>
 10. Shi H, Han X, Zheng C. Evolution of CT Manifestations in a Patient Recovered from 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV) Pneumonia in Wuhan, China. *Radiology* [Internet]. 2020 Apr 7 [cited 2020 Nov 27];295(1):20–20. Available from: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2020200269>
 11. Chua F, Armstrong-James D, Desai SR, Barnett J, Kouranos V, Kon OM, et al. The role of CT in case ascertainment and management of COVID-19 pneumonia in the UK: insights from high-incidence regions [Internet]. Vol. 8, *The Lancet Respiratory Medicine*. Lancet Publishing Group; 2020 [cited 2020 Nov 27]. p. 438–40. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32220663/>
 12. Touati J, Rico G, Habert P, G erault M, Gaubert JY, Chagnaud C, et al. Prevention of nosocomial transmission of SARS-CoV-2 using pre-operative chest CT: a monocentric study during the outbreak. 2020 [cited 2020 Aug 28]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.07.005>
 13. Med LR. Comment The role of CT in case ascertainment and management of COVID-19 pneumonia in the UK : insights from high-incidence regions. *Lancet Respir Med*. 2020;2600(20):19–20.
 14. Gupta S, Hayek SS, Wang W, Chan L, Mathews KS, Melamed ML, et al. Factors Associated with Death in Critically Ill Patients with Coronavirus Disease 2019 in the US. *JAMA Intern Med* [Internet]. 2020 [cited 2021 Mar 22];180(11). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32667668/>
 15. Jin C, Chen W, Cao Y, Xu Z, Tan Z, Zhang X, et al. Development and evaluation of an artificial intelligence system for COVID-19 diagnosis. *Nat Commun* [Internet]. 2020 Dec 1 [cited 2020 Nov 27];11(1). Available from: </pmc/articles/PMC7547659/?report=abstract>

16. Shan F, Gao Y, Wang J, Shi W, Shi N, Han M, et al. Lung Infection Quantification of COVID-19 in CT Images with Deep Learning Author list.
17. Wang S, Zha Y, Li W, Wu Q, Li X, Niu M, et al. A fully automatic deep learning system for COVID-19 diagnostic and prognostic analysis. *Eur Respir J* [Internet]. 2020 Aug 1 [cited 2020 Nov 27];56(2). Available from: [/pmc/articles/PMC7243395/?report=abstract](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32811111/)
18. Hofmanninger J, Prayer F, Pan J, Rohrich S, Prosch H, Langs G. Automatic lung segmentation in routine imaging is a data diversity problem, not a methodology problem. 2020 Jan 31 [cited 2020 Apr 14]; Available from: <http://arxiv.org/abs/2001.11767>
19. Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* [Internet]. Springer Verlag; 2015 [cited 2021 Mar 22]. p. 234–41. Available from: <http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/people/ronneber/u-net>.
20. Donner A, Koval JJ. The Estimation of Intraclass Correlation in the Analysis of Family Data. *Biometrics*. 1980 Mar;36(1):19.
21. Landis JR, Koch GG. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*. 1977 Mar;33(1):159.
22. Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res* [Internet]. 1999 Apr 2 [cited 2021 Mar 22];8(2):135–60. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/096228029900800204>
23. Jokiel-Rokita A, Pulit M. Nonparametric estimation of the ROC curve based on smoothed empirical distribution functions. *Stat Comput* [Internet]. 2013 Nov 28 [cited 2021 Mar 22];23(6):703–12. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11222-012-9340-x>
24. DeLong ER, DeLong DM, Clarke-Pearson DL. Comparing the Areas under Two or More Correlated Receiver Operating Characteristic Curves: A Nonparametric Approach. *Biometrics*. 1988 Sep;44(3):837.

25. Herpe G, Naudin M, Léderlin M, Enikeeva F, Boumendil O, Cassagnes L, et al. COVID-19 impact assessment on the French radiological centers: a nationwide survey. *Eur Radiol* [Internet]. 2020 Jul 3 [cited 2020 Sep 25];1–8. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07035-w>
26. Yuki K, Fujiogi M, Koutsogiannaki S. COVID-19 pathophysiology: A review. Vol. 215, *Clinical Immunology*. Academic Press Inc.; 2020. p. 108427.
27. Ruch Y, Kaeuffer C, Ohana M, Labani A, Fabacher T, Bilbault P, et al. CT lung lesions as predictors of early death or ICU admission in COVID-19 patients. *Clin Microbiol Infect* [Internet]. 2020 Oct 1 [cited 2020 Nov 27];26(10):1417.e5-1417.e8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32717417/>
28. Wang S, Zha Y, Li W, Wu Q, Li X, Niu M, et al. A Fully Automatic Deep Learning System for COVID-19 Diagnostic and Prognostic Analysis. *medRxiv* [Internet]. 2020 Mar 26 [cited 2020 Mar 31];2020.03.24.20042317. Available from: <http://medrxiv.org/content/early/2020/03/26/2020.03.24.20042317.abstract>
29. Hu Y, Zhan C, Chen C, Ai T, Xia L. Chest CT findings related to mortality of patients with COVID-19: A retrospective case-series study. *PLoS One* [Internet]. 2020 Aug 1 [cited 2020 Nov 27];15(8 August). Available from: </pmc/articles/PMC7447035/?report=abstract>
30. Mei X, Lee HC, Diao K yue, Huang M, Lin B, Liu C, et al. Artificial intelligence-enabled rapid diagnosis of patients with COVID-19. *Nat Med* [Internet]. 2020 Aug 1 [cited 2020 Aug 24];26(8):1224–8. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0931-3>
31. Herpe G, Lederlin M, Naudin M, Ohana M, Chaumoitre K, Gregory J, et al. Efficacy of Chest CT for COVID-19 Pneumonia in France. *Radiology* [Internet]. 2020 Sep 1 [cited 2020 Nov 27];202568. Available from: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2020202568>
32. Wang B, Jin S, Yan Q, Xu H, Luo C, Wei L, et al. AI-assisted CT imaging analysis for COVID-19 screening: Building and deploying a medical AI system. *Appl Soft Comput* [Internet]. 2020 Nov 10 [cited 2020 Nov 27];106897.

TABLES

Table 1: Caractéristiques des patients

	All	PCR-	PCR+	p
n	60 (100%)	18 (100%)	42 (100%)	0.023
Age	52+/-17	49+/-13	53+/-19	0.282
Sexe				
F	29 (48%)	11 (61%)	18 (43%)	0.195
M	31 (52%)	7 (39%)	24 (57%)	0.195
Sexe Ratio	0.94	1.57	0.75	0.195
Antécédents				
Tabac	7 (12%)	1 (6%)	6 (14%)	0.334
Obésité	9 (15%)	1 (6%)	8 (19%)	0.18
Hypertension	11 (18%)	1 (6%)	10 (24%)	0.094
Asthme	1 (2%)	1 (6%)	0 (0%)	0.123
Diabète	3 (5%)	0 (0%)	3 (7%)	0.245
Immunodéficience	6 (10%)	2 (11%)	4 (10%)	0.851
Cancer	9 (15%)	2 (11%)	7 (17%)	0.581
Symptômes	50 (83%)	12 (67%)	38 (90%)	0.023
Fièvre	11 (18%)	1 (6%)	10 (24%)	0.094
Diarrhée	10 (17%)	4 (22%)	6 (14%)	0.45
Myalgie	22 (37%)	5 (28%)	17 (40%)	0.35
Anosmie	16 (27%)	3 (17%)	13 (31%)	0.252
Céphalée	17 (28%)	5 (28%)	12 (29%)	0.95
Toux	28 (47%)	5 (28%)	23 (55%)	0.055
Dyspnée	18 (30%)	3 (17%)	15 (36%)	0.14
Soins				
O2	22 (37%)	0 (0%)	22 (52%)	<0.001
Hospitalisation	32 (53%)	3 (17%)	29 (69%)	<0.001
Réanimation	10 (17%)	0 (0%)	10 (24%)	0.023

Table 2: Évaluation qualitative de l'IA selon différentes machines

Score	n	ICC	All.obs	Obs1	Obs2	Obs3	Obs4
Qualité des masques							
Tous	60	0.7	3.1 ± 1	2.8 ± 1.2	± 3.5 ± 0.8	± 3.3 ± 0.9	± 2.8 ± 1
Scanner 1	20	0.61	3.2 ± 1	2.7 ± 1.3	± 3.8 ± 0.5	± 3.3 ± 0.9	± 2.9 ± 1
Scanner 2	20	0.3	3.3 ± 0.9	± 3 ± 1.1	± 3.5 ± 0.7	± 3.5 ± 0.8	± 3.2 ± 0.9
Scanner 3	20	0.84	2.8 ± 1.1	± 2.8 ± 1.4	± 3 ± 1	± 3.2 ± 1.1	± 2.2 ± 0.8
Confiance au volume de l'IA							
Tous	60	0.7	3.2 ± 1.1	± 3 ± 1.2	± 3.4 ± 0.8	± 3.2 ± 1	± 3 ± 1.2
Scanner 1	20	0.59	3.3 ± 1.1	± 3.3 ± 1.3	± 3.7 ± 0.6	± 3.6 ± 0.7	± 2.9 ± 1.3
Scanner 2	20	0.58	3.2 ± 1	± 2.9 ± 1.2	± 3.5 ± 0.6	± 3.2 ± 0.9	± 3.2 ± 1.1
Scanner 3	20	0.82	2.9 ± 1.1	± 2.9 ± 1.2	± 3 ± 0.9	± 3 ± 1.3	± 2.8 ± 1.1

Table 3: Performances cliniques de COViaX et comparaisons inter-observateurs pour le diagnostic et la sévérité

Eval	Obs	Mask	AUC	p	Seuil	Se	Sp	Vpp	Vpn
Diagnostic									
Expertise	obs1					0.83	0.71	0.56	0.91
Expertise	obs2					0.72	0.73	0.54	0.86
Expertise	obs3					0.72	0.73	0.54	0.86
Expertise	obs4					0.67	0.78	0.57	0.84
Volume	ai	all	0.78		1.5	0.71	0.78	0.88	0.54
Volume	obs1	all	0.8	0.64	1	0.71	0.83	0.91	0.56
Volume	obs2	all	0.75	0.6	1.5	0.73	0.72	0.86	0.54
Volume	obs3	all	0.7	0.03	4	0.66	0.78	0.87	0.5
Volume	obs4	all	0.74	0.41	4.5	0.68	0.78	0.88	0.52
Volume	ai	gg	0.78		0.8	0.73	0.78	0.88	0.56
Volume	obs1	gg	0.74	0.47	1	0.61	0.83	0.89	0.48
Volume	obs2	gg	0.74	0.38	1	0.73	0.72	0.86	0.54
Volume	obs3	gg	0.66	0.01	1.4	0.63	0.72	0.84	0.46
Volume	obs4	gg	0.72	0.19	0.5	0.76	0.67	0.84	0.55
Volume	ai	cs	0.77		0.4	0.59	0.94	0.96	0.5
Volume	obs1	cs	0.73	0.38	2.2	0.49	1	1	0.46
Volume	obs2	cs	0.74	0.52	2	0.51	1	1	0.47
Volume	obs3	cs	0.74	0.45	2.3	0.54	0.94	0.96	0.47
Volume	obs4	cs	0.76	0.58	2	0.55	0.94	0.96	0.49
Sévérité									
Volume	ai	all	0.92		2.5	0.91	0.78	0.72	0.94
Volume	obs1	all	0.89	0.33	7.5	0.87	0.78	0.71	0.91
Volume	obs2	all	0.86	0.27	22.5	0.7	0.92	0.84	0.83
Volume	obs3	all	0.87	0.12	4	0.91	0.7	0.66	0.93
Volume	obs4	all	0.85	0.11	3.5	0.91	0.62	0.6	0.92
Volume	ai	gg	0.92		2.3	0.91	0.78	0.72	0.94
Volume	obs1	gg	0.77	0.02	4	0.74	0.73	0.63	0.82
Volume	obs2	gg	0.84	0.15	11	0.7	0.89	0.8	0.82
Volume	obs3	gg	0.79	0.01	1.4	0.87	0.68	0.62	0.89
Volume	obs4	gg	0.8	0.05	3	0.87	0.65	0.61	0.89
Volume	ai	cs	0.91		0.4	0.91	0.81	0.75	0.94
Volume	obs1	cs	0.83	0.08	2.2	0.74	0.89	0.81	0.85
Volume	obs2	cs	0.84	0.11	2	0.74	0.86	0.77	0.84
Volume	obs3	cs	0.89	0.62	1.8	0.83	0.81	0.73	0.88
Volume	obs4	cs	0.87	0.35	1.6	0.87	0.81	0.74	0.91

FIGURES

Figure 1 : Schéma de la méthode de segmentation sémantique

A] Les images non étiquetées ont d'abord été décomposées en caractéristiques, puis, en utilisant le masque pulmonaire (18) et un seuil, les pixels sélectionnés ont été regroupés à l'aide de K-means. B] Unet-A a été entraîné sur le jeu de données pseudo-étiqueté obtenu par le clustering K-means. C] Unet-B a été entraîné sur les images pseudo-étiquetées prédites par Unet-A, et l'analyse volumétrique fournit les volumes de la consolidation, du verre dépoli et de la cavité thoracique.

Figure 2 : Exemple de segmentation et de reconstruction 3D

Segmentation de la coupe unique (A) et sa reconstruction 3D correspondante (B). Avec un espacement de (0,763672, 0,763672, 0,625) mm, le volume de la cavité pulmonaire, le volume du GGO et le volume de consolidation ont été estimés à 3,15 L, 0,53 L et 0,18 L, respectivement.

Figure 3 : Valeur ajoutée de l'évaluation manuelle du volume à l'aide des masques COViaX

Figure 4 : Comparaison des volumes de l'IA et de ceux de 4 observateurs : reproductibilité et leur comparaison avec les données cliniques

SERMENT 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.